

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ РИСКА ОТКАЗОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко, А.В. Вычужанин, А.Е. Козлов

Одесский национальный политехнический университет,  
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: 126.ist.onpu@gmail.com

Сложная техническая система является информационно-технической системой. Несмотря на широкие возможности современных методов, и моделей оценки риска отказов сложных технических систем в них не в полной мере используются результаты разработок в области информационных технологий для диагностики и прогнозирования работоспособности таких систем. Проведенный анализ методов моделирования для оценки риска отказов сложных технических систем показал перспективность и необходимость развития методов когнитивного имитационного моделирования для оценки структурного риска отказов элементов и межэлементных связей систем. Применяемая концепция оценки риска отказов сложной технической системы (на примере автомобильного двигателя внутреннего сгорания с подсистемами) в аварийных сценариях основывается на объединении разнородных элементов системы в единую модель. Модель призвана обеспечить оценку риска отказов элементов сложной технической системы с учетом взаимосвязанности и взаимодействия их элементов с точки зрения значимости и критичности для функционирования всей системы в целом, а также обеспечить выявление структурных угроз, уязвимых мест в системе. Проведение процесса моделирования реализовано средствами разработанного прикладного программного обеспечения, базирующегося на клиент-серверной архитектуре. Моделирование производилось на базе дистрибутива операционной системы Debian GNU/Linux 8.0 (stable). В качестве языка программирования использовался Python 3.7, среда разработки PyCharm 2018, библиотека создания интерфейса пользователя PyQt. Данные об элементах и МС рассматриваемой сложной технической системы размещены в NoSQL СУБД MongoDB. Обмен данными между клиентской и серверной стороной осуществляется использованием Restfull API. Исходные данные моделей представлены в формате JSON. Автоматизация работы системы осуществлялась на базе инструментов GNU make. Анализ полученных результатов проводился средствами Calc Libre Office. Разработанная когнитивная имитационная модель оценки риска отказов сложной технической системы позволяет исследовать степень влияния структурных свойств системы на оценку риска отказов, выявить наименее работоспособны элементы и межэлементные связи, функционирование которых существенно отражается на работоспособности и надежности всей сложной технической системы. Развитие методологической основы информационного обеспечения выявления риска отказов элементов диагностируемой сложной технической системы позволяет контролировать значения вероятности потери работоспособности и риска отказов элементов системы при поступлении информации об отказах в подсистемах.

**Ключевые слова:** сложная техническая система, автомобильный двигатель внутреннего сгорания, риск отказов, когнитивная имитационная модель, программное приложение, Python, NoSQL СУБД MongoDB.

### Введение

Критерием надежной эксплуатации сложных технических систем (СТС) является своевременная диагностика с оценкой риска отказов элементов таких систем [1-3]. С точки зрения технической безопасности количественные оценки риска отказов СТС представляют собой необходимую и сложную задачу, требующую разработки и применения специального математического аппарата. Решение прикладных задач

такого типа часто ґрунтується на методах математического моделювання, методі аналізу «дерева відмов» і т.д. [4,5]. Серед методів моделювання надійності має місце розвита технологія автоматизованого структурно-логічного моделювання безпеки складних системних об'єктів і процесів, розрахунок надійності, ефективності і ризику функціонування систем [6 - 8].

Надійність СТС залежить від значительного числа факторів, характеризуючих їх конструкцію, умови виробництва і експлуатації [9]. Це призводить до того, що процеси зміни технічного стану і надійності несуть випадковий характер, а при оцінці і аналізі показателів надійності необхідно використовувати методи теорії ймовірності. Перспективним в таких випадках є використання імітаційного моделювання (ІМ) [10] для діагностики і прогнозу рівня безпеки СТС. Відомі програмні продукти CARA і RCM-Tool, розроблені MARINTEK, представляють собою систему автоматизованого побудови «дерева відмов» СТС. Але вони не використовують ІМ, що суттєво обмежує можливість їх використання, особливо при невизначеності вихідних даних, виникаючої при експлуатації СТС. Перспективним методом ІМ для дослідження надійності СТС при переходах систем між різними варіантами технічного статусу є когнітивне імітаційне моделювання (КІМ) на основі моделей в формі орієнтованих графів, що відображають взаємодію елементів СТС [11,12]. На основі аналізу графів переходів для процесів визначення технічного статусу об'єктів всіх рівнів ієрархії розроблені і реалізовані алгоритми прийняття рішення в відповідних функціях програмного забезпечення менеджера системи управління. В процесі моделювання структурних властивостей систем і відносин між ними граф представляє собою структурну модель фізических об'єктів різної природи.

В сучасному розумінні СТС є інформаційно-техніческою системою [13-15]. Незважаючи на широкі можливості сучасних методів, і моделей оцінки ризику відмов СТС в них не в повній мірі використовуються результати розробок в області інформаційних технологій для діагностики і прогнозування робоспособності (оцінки ризику відмов) таких систем.

Проведений аналіз методів моделювання для оцінки ризику відмов СТС показав перспективність і необхідність розвитку методів когнітивного імітаційного моделювання для оцінки структурного ризику відмов елементів і міжелементних зв'язей (МС) СТС. Існує об'єктивна необхідність в подальших дослідженнях і інформаційній підтримці процесів оцінки ризику відмов елементів і в цілому СТС в цілях забезпечення надійності при їх експлуатації.

## **Цель работы**

*Целью работы является повышение надежности эксплуатации СТС на основе совершенствования информационного обеспечения системы выявления риска отказов элементов и систем в целом.*

## **Основная часть**

Інформаційне забезпечення процесів діагностики робоспособності (оцінки ризику відмов) СТС

Задачею при розробці концептуального підходу для досягнення поставленої мети є створення методических основ оцінки ризику відмов СТС в умовах поразючих малопродсказуємих зовнішніх і внутрішніх впливів. Предлагается

концепция базируется на методе Байесовского анализа и сетей Байеса [16,17] – оценки структурного риска отказов СТС в аварийных сценариях с учетом взаимосвязанности и взаимозависимости их элементов. Риск отказов элементов СТС оценивается как произведение вероятности возникновения опасности и ущерба от пораженных элементов.

Концепция оценки риска отказов СТС в аварийных сценариях основывается на объединении разнородных элементов СТС в единую модель. Модель призвана обеспечить оценку риска отказов элементов СТС с учетом взаимосвязанности и взаимодействия их элементов с точки зрения значимости и критичности для функционирования всей системы в целом, а также обеспечить выявление структурных угроз, уязвимых мест в СТС.

При проведении исследований модели генерируется поражающий моделирующий импульс (ПМИ) в условно заданной пораженной вершине (ребре) КИМ, движущийся к последующим вершинам (ребрам), последовательно выводя из строя взаимосвязанные элементы систем.

Когнитивная модель представлена в виде функционального графа

$$\Phi_{\Pi} \langle G, X, F, Q \rangle,$$

где  $G = \langle V, T, E \rangle$ ,  $G$ -знаковый орграф;  $V = \{v_i\}$ ,  $i=1,2,\dots,k$  - множество вершин когнитивной карты;  $E = \{e_{ij}\}$  - множество дуг, соединяющих вершины  $v_i$  и  $v_j$ ;  $X = \{x_i\}$  - множество параметров вершин;  $F = f\{v_i, v_j, e_{ij}\}$  - функция связи между вершинами;  $Q$  – пространство параметров вершин;  $T$ - время.

Состоянию элемента (взаимосвязи) соответствует 0, если ПМИ не проходит элемент (взаимосвязь), и – 1, если ПМИ проходит элемент (взаимосвязь). Импульсный вектор для  $V, E$

$$imp_{i(j)}(t) = (x_1, x_2, \dots, x_{V(E)}),$$

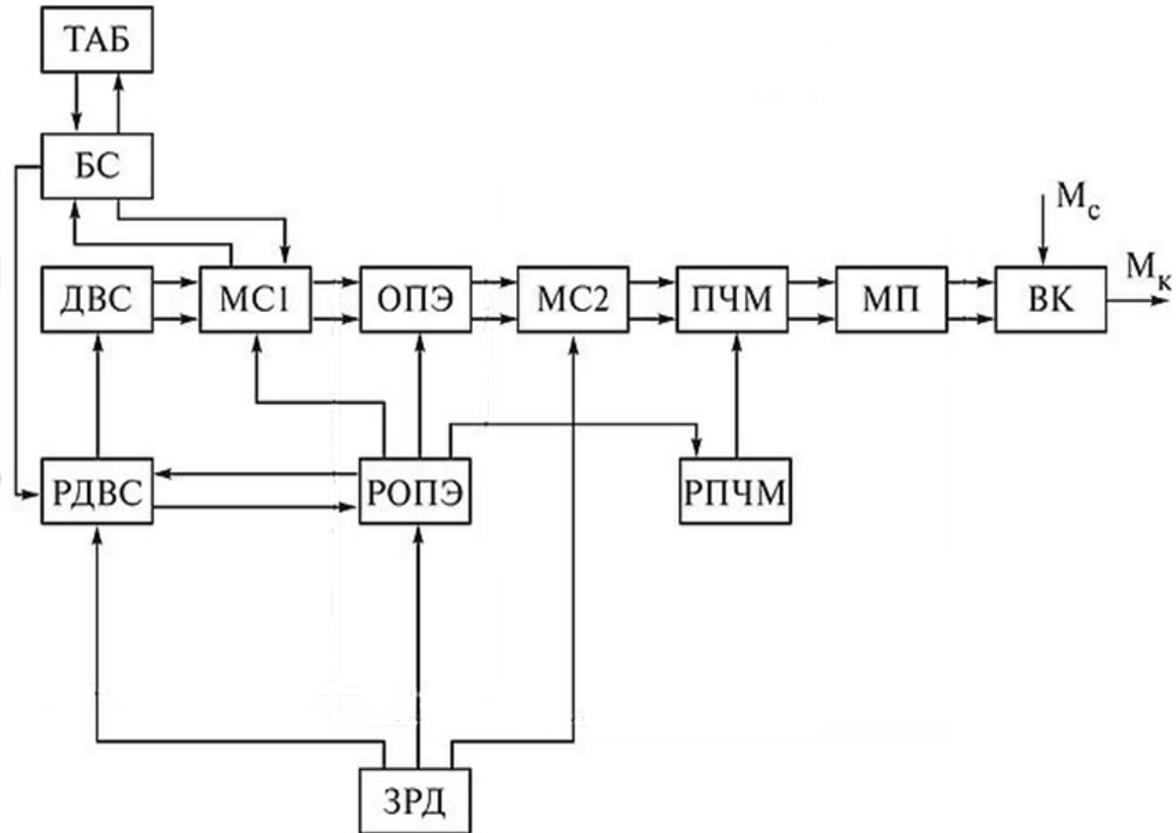
где  $x_1, x_2, x_{V(E)}$  – состояния элементов (взаимосвязей).

Для ранжирования оценки риска отказов элементов (взаимосвязей) СТС используется обобщенная функция желательности Харрингтона: 0-0,2 – уровень риска оценивается как минимальный, последствия аварии минимальны, не оказывающие на эксплуатацию СТС существенного воздействия; 0,2-0,37 – уровень риска оценивается как допустимый, последствия аварии незначительные, позволяющие эксплуатировать СТС без существенного ремонта; 0,37-0,63 – уровень риска оценивается как максимальный, последствия аварии значительные, но позволяющие эксплуатировать СТС при выполнении ремонтных работ; 0,63-1 – уровень риска оценивается как критический, последствия аварии катастрофические, не позволяющие эксплуатировать СТС.

Проведение процесса моделирования реализовано средствами разработанного прикладного программного обеспечения, базирующегося на клиент-серверной архитектуре. Моделирование действия ПМИ на систему производилось на базе дистрибутива операционной системы Debian GNU/Linux 8.0 (stable). В качестве языка программирования использован Python 3.7, среда разработки PyCharm 2018, библиотека создания интерфейса пользователя PyQt. Данные об элементах и МС рассматриваемой СТС размещены в NoSQL СУБД MongoDB. Обмен данными между клиентской и серверной стороной осуществляется использованием Restfull API. Исходные данные моделей представлены в формате JSON. Автоматизация работы

системы осуществлялась на базе инструментов GNU make. Анализ полученных результатов проводился средствами Calc Libre Office.

Для апробации программного приложения в нем создана КИМ СТС в виде ориентированного графа, на примере автомобильных подсистем двигателя внутреннего сгорания (ДВС), механически связанного с ведущими колесами соответствующими подсистемами (рис. 1).



**Рис. 1.** Структурная схема автомобильного ДВС с подсистемами (ТАБ – тяговая аккумуляторная батарея ; ДВС – двигатель внутреннего сгорания; ЗРД – задатчик режимов движения; ТЭП – тяговый электропривод; БС – блок суммирования напряжений и мощностей; ОПЭ – обратимый преобразователь энергии; ПЧМ – преобразователь частоты вращения и момента; МП – механическая передача; ВК – ведущие колеса; МС1 – муфта сцепления между валами ДВС и ОПЭ; МС2 – муфта сцепления между валами ОПЭ и МП; РОПЭ – регулятор ОПЭ; РПЧМ – регулятор ПЧМ; РДВС – регулятор ДВС;  $M_c$  – момент сопротивления на валу;  $M_k$  – крутящий момент на валу)

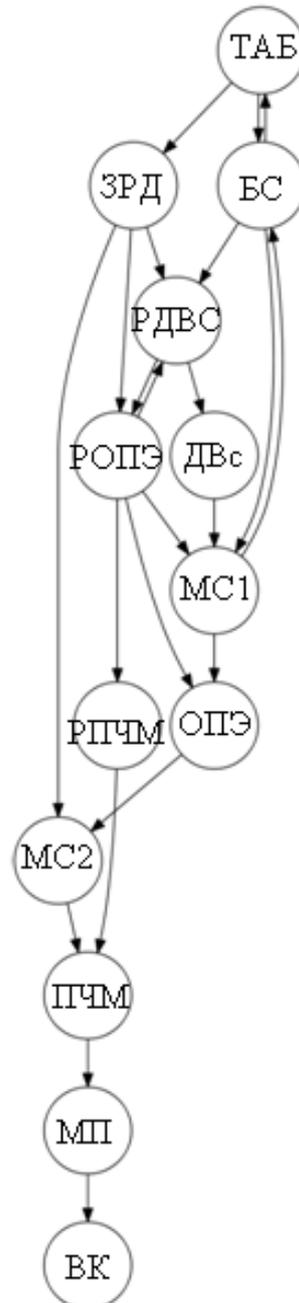
Схема ориентированного графа на примере автомобильного ДВС с подсистемами приведена на рисунке 2.

В качестве меры ущерба нежелательного события предлагается определять структурный ущерб элементов и МС в соответствии с методом оценок структурного риска СТС. Для оценок риска отказов элементов и МС ДВС с подсистемами необходимо определение вероятностей отказов для каждого отдельного элемента и МС. Для этого используются статистические данные, полученные за фиксированное время  $\tau$ , содержащие сведения о количестве выходов элементов и МС из строя ( $n$ ).

Вероятность выхода из строя элементов и МС автомобильной ДВС с подсистемами определяется

$$P_{v_i} = \frac{n_{v_i}}{\tau}, P_{a_j} = \frac{n_{a_j}}{\tau},$$

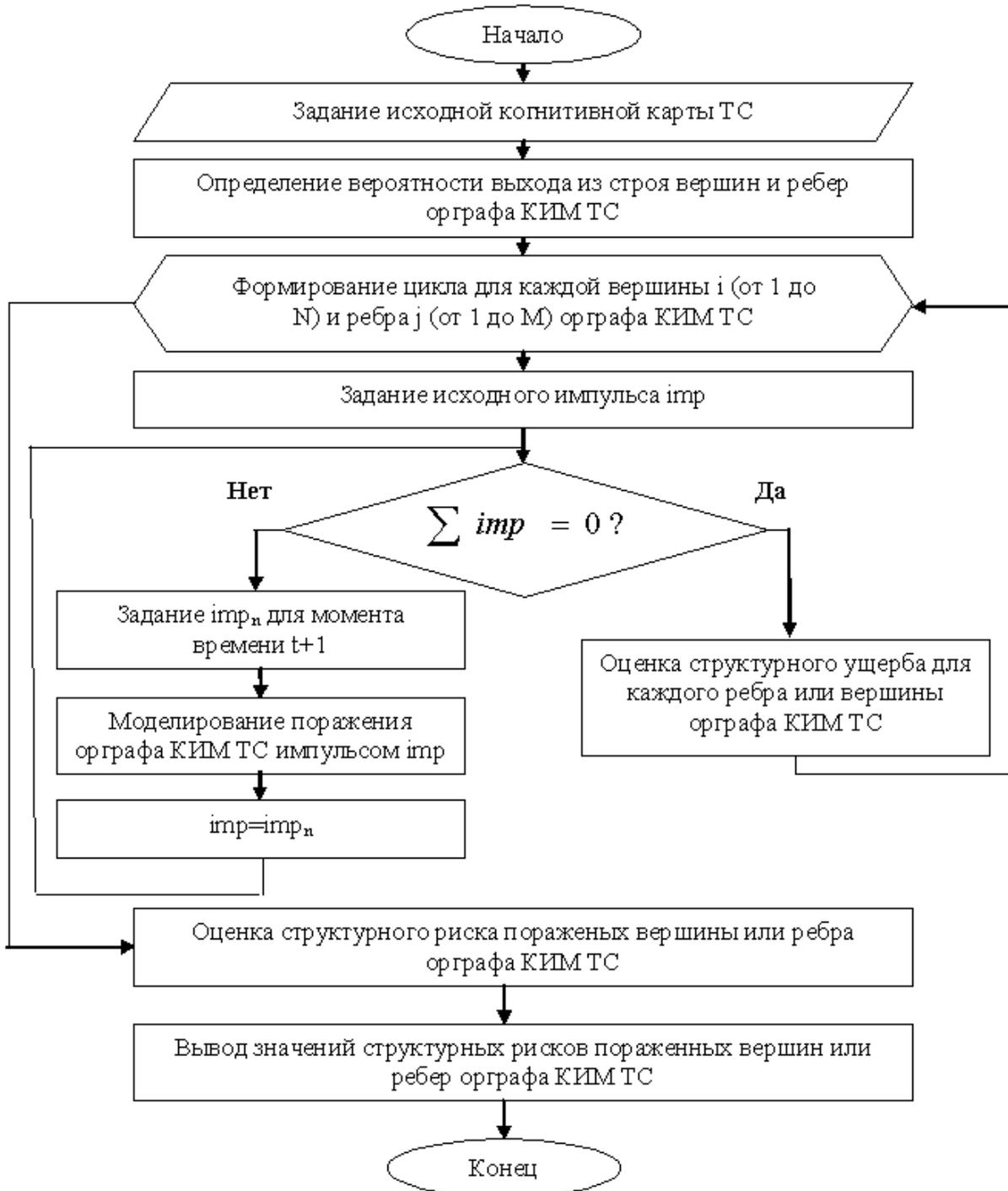
где  $p_{v_i}$  – вероятность выхода из строя  $i$ -го элемента;  $p_{a_j}$  – вероятность выхода из строя  $j$ -й МС;  $n_{v_i}$  – количество выходов из строя  $i$ -го элемента;  $n_{a_j}$  – количество выходов из строя  $j$ -й МС;  $\tau = 10^6$  ч. – период проведения статистических испытаний.



**Рис. 2.** Схема ориентированного графа автомобильной ДВС с подсистемами

Когнитивное имитационное моделирование СТС.

При проведении следований использовался алгоритм оценки структурного риска отказов вершин или ребер орграфа КИМ СТС (рис.3).



**Рис. 3.** Алгоритм оценки структурного риска отказов вершин или ребер орграфа КИМ ТС

По результатам моделирования КИМ были получены оценки структурных ущерба и риска отказов от вероятностей выходов из строя для всех элементов ДВС с подсистемами и осуществлено ранжирование результатов расчетов (рис. 4, 5).

Из результатов исследований и расчетов структурных ущербов элементов автомобильного ДВС с подсистемами следует, что наиболее критичными элементами являются элементы ТАБ – тяговая АКБ (аккумуляторная батарея), БС и РДВС, что обусловлено высокими значениями их структурных ущербов (1,0, 0,85 и 0,75). Менее критичными элементами являются элементы МП, ВК ДВС, а именно механическая передача, ведущие колеса; обладающие несколько меньшими значениями структурных ущербов (0,15 и 0,05). Из результатов моделирования, обобщения значений первой

выборки вероятностей отказов элементов ДВС следует, что к наиболее уязвимым элементам ДВС с подсистемами, исходя из полученных значений риска отказов элементов относятся сам ДВС (0,089). К менее уязвимым элементам ДВС с подсистемами относится регулятор ОПЭ (0,02).

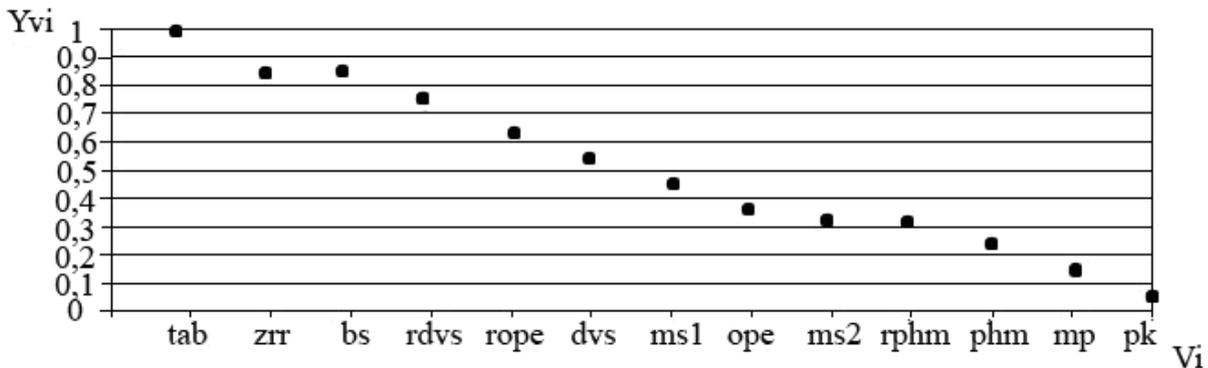


Рис. 4. Ранжирование результатов оценок структурных ущербов элементов ДВС с подсистемами

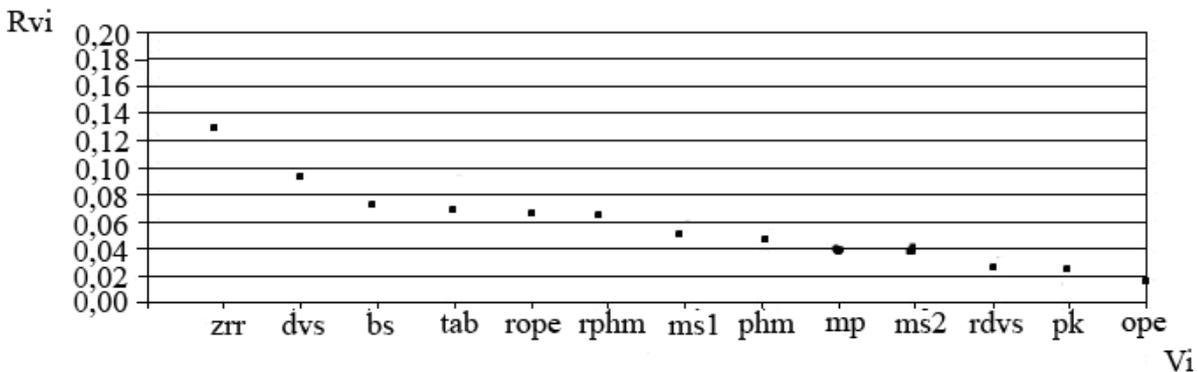


Рис. 5. Ранжирование результатов оценок структурного риска отказов элементов ДВС с подсистемами

Сравнительно невысокие значения структурного риска отказов элементов и МС обусловлены низкими значениями структурных ущербов, что свидетельствует об оправданности топологической компоновки элементов и МС, задаваемой на этапах проектирования ДВС с подсистемами.

## Выводы

Таким образом, разработанный концептуальный подход в целях повышения надежности СТС основанный на создании методических основ оценки риска отказов СТС в условиях поражающих малопредсказуемых воздействиях позволяет выявить наиболее уязвимые элементы и межэлементные связи СТС.

Разработанная когнитивная имитационная модель оценки риска отказов ДВС с подсистемами позволяет исследовать степень влияния структурных свойств системы на оценку риска отказов, выявить наименее работоспособны элементы и МС, функционирование которых существенно отражается на работоспособности и надежности всей СТС. Разработана КИМ ДВС с подсистемами позволила обосновать возможность использования методов поражения импульса и нормирует влияния для оценки риска а отказов элементов и МС ДВС с подсистемами, определить значение риск а отказов для элементов и МС системы.

Развитие методологической основы информационного обеспечения выявления риска отказов элементов диагностируемой СТС позволяет контролировать значения

вероятности потери работоспособности и риска отказов элементов системы при поступлении информации об отказах в подсистемах.

### Список литературы

1. Вычужанин В.В. Метод управления рисками судовых сложных технических систем / В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко // Проблемы техники. – 2014. – №2. – С. 138-142.
2. Рудниченко, Н.Д. Информационная когнитивная модель технологической взаимозависимости сложных технических систем / Н.Д. Рудниченко, В.В. Вычужанин // Информатика та математичні методи в моделюванні. – 2013. – Т.3, №3. – С. 240-247.
3. Вычужанин, В.В. Модель оценки живучести судовых технических систем / В.В. Вычужанин // Вестник Николаївського кораблебудівного університету. – 2012. – №3. – С. 62-67.
4. Гуськов, А.В. Надежность технических систем и техногенный риск / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский. – Новосибирск: НГУ, 2007. – 427 с.
5. Бигус, Г.А. Диагностика технических устройств / Г.А. Бигус, Ю.Ф. Даниев, Н.А. Быстрова, Д.И. Галкин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014 – 615 с.
6. Klein, J.H. An approach to technical risk assessment / J.H. Klein, R.B. Cork // International Journal of Project Management, 1998. – 16(6). – Pp. 345-351.
7. Kertzner, P. Process Control System Security Technical Risk Assessment Methodology & Technical Implementation / P. Kertzner, J. Watters // Research Report. – 2008. – №13. – 47 p.
8. O'Neill John Technical Risk Assessment: a Practitioner's Guide / John O'Neill, Nitin Thakur, Alan Duus. – Australia, 2007. – 29 p.
9. Половко, А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
10. Шеннон, Р.Дж. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р.Дж. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 420 с.
11. Beetz, M. Cognitive technical systems—what is the role of artificial intelligence / M. Beetz, M. Buss, D. Wollherr // Advances in Artificial Intelligence. – 2007. – Pp. 19-42.
12. Вычужанин, В.В. Методы информационных технологий в диагностике состояния сложных технических систем. Монография/ В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко . – Одесса, Из-во Экология, 2019. – 178 с.
13. Цветков, В.Я. Сложные технические системы / В.Я. Цветков // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – №3(20). – С. 86-92.
14. Vychuzhanin, V.V. Assessment of risks structurally and functionally complex technical systems / V.V. Vychuzhanin, N.D. Rudnichenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. – Vol.1 – №2. – С. 18-22.
15. Вычужанин, В.В. Технические риски сложных комплексов функционально взаимосвязанных структурных компонентов судовых энергетических установок / В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко // Вісник Одеського національного морського університету, збірник наукових праць. – 2014. – Випуск 2(40) . – С. 68-77.
16. Jensen, F.V. Bayesian Networks and Decision Graphs / F.V. Jensen, T.D. Nielsen. – Berlin, Springer, 2007. – 457 p.
17. Тулупьев, А.Л. Байесовские сети доверия: логико-вероятностный вывод в ациклических направленных графах / А.Л. Тулупьев, А.В. Сироткин, С.И. Николенко. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2009. – 400 с.

## ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ВІЯВЛЕННЯ РИЗИКУ ВІДМОВ АВТОМОБІЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко, А.В. Вычужанин, А.Е. Козлов

Одеський національний політехнічний університет,  
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: 126.ist.onpu@gmail.com

Складна технічна система є інформаційно-технічною системою. Незважаючи на широкі можливості сучасних методів, і моделей оцінки ризику відмов складних технічних систем в них не повною мірою використовуються результати розробок в області інформаційних технологій для діагностики та прогнозування працездатності таких систем. Проведений аналіз методів моделювання для оцінки ризику відмов складних технічних систем показав перспективність і необхідність розвитку методів когнітивного імітаційного моделювання для оцінки структурного ризику відмов елементів і межелементних зв'язків систем. Застосовувана концепція оцінки ризику відмов складної технічної системи (на прикладі автомобільного двигуна внутрішнього згоряння з підсистемами) в аварійних сценаріях ґрунтується на об'єднанні різнорідних елементів системи в єдину модель. Модель покликана забезпечити оцінку ризику відмов елементів складної технічної системи з урахуванням взаємозв'язку і взаємодії їх елементів з точки зору значущості та критичності для функціонування всієї системи в цілому, а також забезпечити виявлення структурних загроз, уразливих місць в системі. Проведення процесу моделювання реалізовано засобами розробленого прикладного програмного забезпечення, що базується на клієнт-серверній архітектурі. Моделювання проводилося на базі дистрибутива операційної системи Debian GNU / Linux 8.0 (stable). В якості мови програмування використовувався Python 3.7, середовище розробки PyCharm 2018, бібліотека створення інтерфейсу користувача PyQt. Дані про елементи і МС даної складної технічної системи розміщені в NoSQL СУБД MongoDB. Обмін даними між клієнтської і серверної стороною здійснюється використанням Restfull API. Вихідні дані моделей представлені в форматі JSON. Автоматизація роботи системи здійснювалася на базі інструментів GNU make. Аналіз отриманих результатів проводився засобами Calc Libre Office. Розроблена когнітивна імітаційна модель оцінки ризику відмов складної технічної системи дозволяє досліджувати ступінь впливу структурних властивостей системи на оцінку ризику відмов, виявити найменш працездатні елементи і межелементні зв'язи, функціонування яких істотно відбивається на працездатності і надійності всієї складної технічної системи. Розвиток методологічної основи інформаційного забезпечення виявлення ризику відмов елементів діагностується складної технічної системи дозволяє контролювати значення ймовірності втрати працездатності та ризику відмов елементів системи при надходженні інформації про відмови в підсистемах.

**Ключові слова:** складна технічна система, автомобільний двигун внутрішнього згоряння, ризик відмов, когнітивна імітаційна модель, програмний додаток, Python, NoSQL СУБД MongoDB.

**DETECTION SYSTEM INFORMATION RISK OF FAILURES OF AUTOMOBILE EQUIPMENT**

V.V. Vyuzhujanin, N.D. Rudnichenko, A.V. Vyuzhujanin, A.E. Kozlov

Odessa National Polytechnic University,  
1, Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: 126.ist.onpu@gmail.com

A complex technical system is an information technology system. Despite the wide possibilities of modern methods and models for assessing the risk of failures of complex technical systems, they do not fully use the results of developments in the field of information technology for diagnosing and predicting the operability of such systems. The analysis of modeling methods for assessing the risk of failures of complex technical systems showed the promise and need for the development of methods of cognitive simulation for assessing the structural risk of failures of elements and interconnections of systems. The applied concept of assessing the risk of failures of a complex technical system (using the example of an automobile internal combustion engine with subsystems) in emergency scenarios is based on combining heterogeneous system elements into a single model. The model is designed to provide an assessment of the risk of failures of elements of a complex technical system, taking into account the interconnectedness and interaction of their elements from the point of view of significance and criticality for the functioning of the entire system as a whole, and also to identify structural threats and vulnerabilities in the system. The simulation process is implemented using the developed application software based on the client-server architecture. The simulation was based on the distribution of the operating system Debian GNU / Linux 8.0 (stable). The programming language used was Python 3.7, the PyCharm 2018 development environment, and the PyQt user interface creation library. Data on the elements and the MS of the complex technical system under consideration is available in the MongoDB NoSQL DBMS. Data exchange between the client and server side is carried out using the Restfull API. The initial data of the models are presented in JSON format. Automation of the system was carried out on the basis of GNU make tools. Analysis of the results was carried out by means of Calc Libre Office. The developed cognitive simulation model of failure risk assessment of a complex technical system allows us to study the degree of influence of the structural properties of the system on the risk assessment of failures, to identify the least functional elements and interconnections, the functioning of which significantly affects the performance and reliability of the entire complex technical system. The development of the methodological basis of information support for identifying the risk of failure of elements of the diagnosed complex technical system allows you to control the values of the probability of loss of working capacity and the risk of failure of system elements upon receipt of information about failures in the subsystems.

**Keywords:** complex technical system, automotive internal combustion engine, failure risk, cognitive simulation model, software application, Python, NoSQL DBMS MongoDB.