

ОЦЕНКА РИСКОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Сергей Семенов¹⁾, Вячеслав Давыдов²⁾

НТУ “ХПИ”, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Кирпичева, 21,

e-mails: s_semenov@ukr.net, davs87@inbox.ru

Резюме: В докладе приведен усовершенствованный подход оценки рисков и уязвимости объектов критического применения. Рассмотрен вероятностный подход к оценке остаточного ресурса с учетом выявленных дефектов. Предложенные эквиваленты потерь при оценке рисков прямых или косвенных последствий неисправного технического состояния объектов критического применения. Определено, что задача оценки рисков, поиска дефектов и повреждений, а также прогнозирования остаточного ресурса по данным мониторинга в математическом смысле относятся к категории обратных задач, оптимальным методом решения которых является метод байесовскими реконструкции с использованием априорной информации.

Ключевые слова: контроль и диагностика технического состояния, объекты критического применения, оценка рисков.

Введение. В ряде нормативных и подзаконных актов Украины отмечается, что «обеспечение безопасности в системах критического применения является первоочередной задачей государственного регулирования ...» [3, 4].

В ряде документов, регламентирующих системы критического применения под безопасностью определяется отсутствие недопустимого риска, связанного с травмированием или гибелью людей, причинением ущерба окружающей среде [5]. Так, например, в п. 1.5 Положения о надзоре за безопасностью полетов при организации воздушного движения безопасность, на наш взгляд, определенная еще точнее - как состояние, при котором риск вреда или повреждения ограничен до приемлемого уровня [6].

Как видно из законов, подзаконных актов и нормативных документов, анализ и оценка рисков в системах критического применения - это важнейший шаг на пути управления рисками в этой области.

Анализ литературы [1, 6, 7] позволил отметить успешные примеры компетентного подхода к анализу и управлению рисками объектов критического применения (ОКП). Однако, как показывает практика пренебрежение рисками по-прежнему приводит к ощутимым потерям. Например, отказы авиационной техники остаются решающими в 15-23% случаев катастроф.

В этой связи конечной целью анализа и оценки рисков является определение количественной или качественной меры риска по отношению к осознанной угрозе или к конкретной

ситуации.

Определим, что количественная оценка рисков требует расчета двух компонент риска R : величины потенциальных потерь L , и вероятности p , того, что эти потери будут иметь место при определенных обстоятельствах в течение некоторого промежутка времени.

Проведенные исследования показали, что риски в ОКП возникают в результате появления в них нарушений, которые по степени опасности относят к категориям дефекта, повреждения, разрушения и отказа.

В этом контексте решим задачи оценки рисков по данным мониторинга технического состояния ОКП.

Основная часть. Разобьем множество последствий неисправного технического состояния ОКП на прямые и косвенные последствия. Задача оценки рисков прямых последствий (ПП) и косвенных последствий (КП) может рассматриваться только во взаимосвязи с влиянием, действующая на объект. Под ПП здесь понимаются разрушения элементов конструкции, которые не приводят к разрушениям других элементов и потерям функциональности конструкции.

КП связывают с последовательными разрушениями других элементов. Способности противостоять КП и ПП характеризуются соответственно уязвимостью и робастностью конструкции. Риск R_e , ассоциированный с одним конкретным воздействием e , можно оценить с помощью произведения вероятности возник-

новения этого влияния p_e , и последствий c_e , вызванных этим событием:

$$R_e = p_e \cdot c_e. \quad (1)$$

В предложенном подходе риск и его последствия оцениваются в некотором эквиваленте, что можно представить в виде множества

$$(rp, mp, ep, ip, vp)_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где rp - потери трудового ресурса; mp - потери материального ресурса; ep - потери энергетического ресурса; ip - потери ресурса инфраструктуры, vp - стоимость «экологической нагрузки» на окружающую среду.

Мероприятия и правила безопасности должны быть гибкими и отвечать оцениваемой степени угрозы, которая может варьироваться в зависимости от изменяющихся факторов. При наличии конкретной угрозы следует применять выборочные и заранее установленные превентивные меры безопасности в зависимости от характера угрозы. Рассмотрим возможности оценки рисков технического состояния авиационной техники по данным мониторинга.

Пусть c_i характеризует последствия каждого следующего i -го состояния, которое может произойти, только если перед этим было состояние n .

Вероятность i -го состояния как следствие состояния n по формуле Байеса [2] равна условной вероятности

$$p(i) = p(i|n) = \frac{p(i) \cdot p(n|i)}{p(n)}. \quad (3)$$

где $p(i|n)$ - условная вероятность возникновения апостериорным i -го состояния (например, разрушение одного или нескольких элементов конструкции), если имел место первоначальное состояние n (повреждение или разрушение другого элемента). Вероятность $p(i|n)$ - это так называемая переходная вероятность между двумя состояниями системы. Она характеризует вероятность последовательного перехода от одного повреждения к другому. Вероятность $p(i|n)$ является одной из составляющих локальной уязвимости системы, если состояние не влечет за собой полное разрушение конструкции, последнее идентифицируется как состояние I .

Иначе вероятность $p(I|n)$ является одной из

составляющих глобальной уязвимости системы, а величина $p(I|n)$ - одной из составляющих ее робастности.

Математическое описание определений уязвимости и робастности приведены как:

$$I_{\text{ПН}} = \frac{R_{\text{ПН}}}{C_{\text{ПН}}}, \quad (3)$$

$$I_R = \frac{R_{\text{ПН}}}{R_{\text{ПН}} + R_{\text{ППН}}}. \quad (4)$$

где $I_{\text{ПН}}$ - уязвимость, I_R - робастность, $R_{\text{ПН}}$ и $R_{\text{ППН}}$ - риски соответственно прямых и косвенных последствий, $C_{\text{ПН}}$ - стоимость прямого риска (последствий).

Целью моделирования системы мониторинга является определение функции распределения переходных вероятностей при наличии заданного набора статистических данных с сенсоров и заданной априорной вероятности нарушения целостности.

Правомерно предположить, что последовательность состояний элементов исследования является Марковской, поскольку каждый последующий состояние системы зависит только от текущего состояния и не зависит от предыстории [2]. Пусть начальные вероятности состояний и матрица переходных вероятностей известны. Тогда вероятности конкретных состояний вычисляются по рекуррентной формуле:

$$P_r(j) = \sum_{l=1}^L P_r(j-1) \cdot \|P_{r,l}\|, \quad (5)$$

где $P_r(j)$ - вероятность состояния j ; $\|P_{r,l}\|$ - матрица переходных вероятностей.

Очевидный путь для построения метамодели в представлении динамики поведения объекта в виде Марковской последовательности (модели).

Для получения множества переходных вероятностей на этапе проектирования ОКП производится выбор предельных состояний и моделирование поведения системы при различных критических воздействиях, в результате чего составляется матрица переходных вероятностей, оцениваются вероятности опасных состояний, риски, уязвимость и робастность, и, наконец, определяется оптимальный набор сенсоров.

В общем виде задача оптимизации сенсор-

ного набора может быть сформулирована в байесовской постановке [1, 2]:

$$\max P(D|A_r) = \frac{P(A_r|D) \cdot P(D)}{P(A_r)}.$$

где $P(D|A_r)$ - условная вероятность обнаружения прогнозируемого дефекта.

При функционировании системы мониторинга измеряются текущие значения параметров измерения, вычисляются их приращение, временной и пространственный распределение приращений, а также собственные частоты колебаний конструкции и другие характеристики, по которым проводят оценку вероятного места расположения и вид дефекта.

Далее следует этап моделирования. Вычисляются фактические переходные вероятности и вероятности состояний, которые являются основой при определении текущей надежности элементов конструкции ОКП. При более глубоком анализе возможно ситуационное моделирование рисков прямых и косвенных последствий и оценка остаточного ресурса.

Заключение

Доказана актуальность исследования рисков мониторинга технического состояния ОКП.

Определено, что задача оценки рисков, поиска дефектов и повреждений, а также прогнозирования остаточного ресурса по данным мониторинга в математическом смысле относятся к категории обратных задач, оптимальным методом решения которых является метод байесовскими реконструкции с использованием априорной информации. Особенностью является восстановление этих характеристик из непрерывного потока данных мониторинга, представленного в матричном виде.

Предлагается подход моделирования в виде Марковской последовательности взаимосвязи между состояниями объекта ОКП и состояниями системы мониторинга. В этом случае основным этапом моделирования является расчет переходных вероятностей объекта и системы мониторинга из одного состояния в другое.

Литература

[1] **В. Л. Венгринович** Мониторинг технического состояния. Анализ рисков в технических системах Неразрушающий контроль и диагностика №2, 2014, С.3-25.

[2] **В. Е. Гмурман** Теория вероятностей и математическая статистика М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

[3] Про транспорт: Закон Украины от 10 ноября 1994 г., № 232/94-ВР Ведомости Верховного Совета Украины. - 1994. - № 51. - Ст. 446.

[4] О неотложных мерах по обеспечению безопасности авиации Украины: Указ Президента Украины от 15 января 1998 г. № 17/98 Урядовий кур'єр. - 1998. - № 13-14.

[5] Об утверждении Положения о системе управления безопасностью полетов на авиационном транс порте: приказ Государственной службы Украины по надзору за обеспечением безопасности авиации от 25.11.2005 г. № 895 Официальный вестник Украины. - 2005. - № 51. - Ст. 3230.

[6] Об утверждении Положения о надзоре за безопасностью полетов при организации воздушного движения: приказ Государственной службы Украины по надзору за обеспечением безопасности авиации от 05.12.2005 г. № 917 Официальный вестник Украины. - 2005. - № 52. - Ст. 3377.

[7] **С. Г. Семенов, А. В. Петров, С. А. Енгальчев** Разработка общей структуры идентификационных измерений с использованием отдельных вероятностно-временных характеристик сигналов / Системы вооружения и военная техника. – Х.:ХУ ВС, 2011. – Вып. 1(25).

Сведения об авторах

Семенов Сергей Геннадьевич. Харьковский военный университет (1989). Д.т.н. (2014), с.н.с. (2012); Национальный технический университет «ХПИ», кафедра вычислительной техники и программирования. Научные интересы: безопасность в технических системах.

Давыдов Вячеслав Вадимович. Национальный технический университет «ХПИ» (2009). К.т.н. (2014), Национальный технический университет «ХПИ», кафедра вычислительной техники и программирования. Научные интересы: безопасность в технических системах.

RISK ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION CONTROL AND DIAGNOSTICS OF MISSION CRITICAL OBJECTS

*Sergey Semenov*¹⁾, *Vyacheslav Davydov*²⁾

NTU «KPI», Kirpicheva str., 21, Kharkov, 61002, Ukraine.

e-mails: s_semenov@ukr.net, davs87@inbox.ru

Abstract. An improved approach of mission critical objects risk assessment and vulnerability is provided. The Probabilistic approach to the residual life assessment, taking into account the identified defects has been considered. Equivalent losses in assessing the risks of direct or indirect consequences of faulty technical condition of mission critical objects are proposed. It is determined that the problem of the risk assessment, defects and damages search, residual life prediction according to the instrument monitoring data in the mathematical sense belong to the category of inverse problems. The best way to solve such problems is the Bayesian reconstruction method using a-priori information.

Keywords: technical condition control and diagnostics, mission critical objects, risk assessment.

References:

[1] **V. L. Vengrinovich** Monitoring tehnicheskogo sostoyaniya. Analiz riskov v tehnicheskikh sistemah Nerazrushayuschiy kontrol i diagnostika №2, 2014, S.3-25.

[2] **V. E. Gmurman** Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika M.: Vysshaya shkola, 2003. – 479 s.

[3] Pro transport: Zakon Ukrainyi ot 10 noyabrya 1994 g., № 232/94-VR Vedomosti Verhovnogo Soveta Ukrainyi. - 1994. - № 51. - St. 446.

[4] O neotlozhnykh merakh po obespecheniyu bezopasnosti aviatsii Ukrainyi: Ukaz Prezidenta Ukrainyi ot 15 yanvarya 1998 g. № 17/98 Uryadoviy kur'Er. - 1998. - № 13-14.

[5] Ob utverzhdenii Polozheniya o sisteme upravleniya bezopasnostyu poletov na aviatsionnom

trans porte: prikaz Gosudarstvennoy sluzhby Ukrainyi po nadzoru za obespecheniem bezopasnosti aviatsii ot 25.11.2005 g.. № 895 Ofitsialnyiy vestnik Ukrainyi. - 2005. - № 51. - St. 3230.

[6] Ob utverzhdenii Polozheniya o nadzore za bezopasnostyu poletov pri organizatsii vozdušnogo dvizheniya: prikaz Gosudarstvennoy sluzhby Ukrainyi po nadzoru za obespecheniem bezopasnosti aviatsii ot 05.12.2005 g.. № 917 Ofitsialnyiy vestnik Ukrainyi. - 2005. - № 52. - St. 3377.

[7] **S. G. Semenov, A. V. Petrov, S. A. Engalychev** Razrabotka obschey strukturyi identifikatsionnykh izmereniy s ispolzovaniem otdelnykh veroyatnostno-vremennykh harakteristik signalov / Sistemyi vooruzheniya i voennaya tehnika. – H.:HU VS, 2011. – Vyip. 1(25).

ОЦЕНКА НА РИСКОВЕТЕ НА КОНТРОЛА И ДИАГНОСТИКАТА НА ТЕХНИЧЕСКОТО СЪСТОЯНИЕ НА ОБЕКТИТЕ ПРИ КРИТИЧНО ИЗПОЛЗВАНЕ

Сергей Семенов¹⁾, Вячеслав Давыдов²⁾

НТУ “ХПИ”, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Кирпичева, 21,

e-mails: s_semenov@ukr.net, davs87@inbox.ru

Резюме: В доклада е предложен усъвършенстван подход за оценка на рисковете и уязвимостта на обектите при критично използване. Разгледан е вероятностен подход за оценка на остатъчния ресурс, като се имат предвид появилите се дефекти. Предложени са еквиваленти на загубите при оценка на рисковете от преки и косвени последствия от неизправно техническо състояние на обектите при критично използване. Определено е, че задачата за оценка на рисковете, търсенето на дефекти и повреди, а също и прогнозирането на остатъчния ресурс по данните от мониторинга на уредите в математически смисъл се отнасят към категорията на обратните задачи, оптимален метод за решаването на които е методът на байесовските реконструкции с използването на априорна информация.

Ключови думи: контрол и диагностика на техническото състояние, обекти при критично използване, оценка на рисковете.