

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

FUNDAMENTALS OF RELIABILITY ISSUES AND QUALITY

УДК 338.24.01

DOI 10.21685/2307-4205-2019-2-1

Н. А. Северцев, А. В. Бецков, А. Н. Дарьина

РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНЫХ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

N. A. Severtsev, A. V. Betskov, A. N. Dar'ina

DEVELOPMENT OF PROBABLE CRITERIA FOR SAFE MANAGEMENT OF SPECIAL TECHNIQUE OBJECTS

Аннотация. Традиционное научное мышление базируется главным образом на логике Аристотеля и ориентировано на точные количественные методы анализа. Эти методы ставят знак равенства между неопределенностью и случайностью и они не могут распознать неопределенности, связанные с человеком, техникой и внешней средой, возникающие по причине нечеткости последних. Согласно принципу несовместимости Заде [1] на верхнем уровне сложности системы точность и достоверность оценочных заявлений о поведении системы становятся почти что исключаящими друг друга характеристиками, т.е. попытка сделать точной и одновременно достоверной оценку опасности сложной СЧМС может быть иллюзорной задачей, при решении которой традиционные методы надежности не работают. Заде указывает [1]: «Несмотря на то, что обычный математический аппарат применяется и будет применяться для исследования человеко-систем, ясно, что большая сложность таких систем требует подходов, которые по духу и по существу значительно отличаются от традиционных методов – методов, которые весьма эффективны, если применяются к механическим системам, но являются слишком неточными по отношению к системам, в которых поведение человека играет важную роль». Более того, Заде считает, что «для того, чтобы можно было сделать достоверное заключение относительно

Abstract. Traditional scientific thought is mainly based on Aristotle's logic and oriented to accurate quantitative methods of analysis. These methods put equal-sign between ambiguity and accident and it is impossible to recognize the ambiguity connected with person, technique and environment due to illegibility of the last. According Zade's incompatibility principle [1] on top level of system's complexity accuracy and the reliability of evaluation applications of system behavior become mutually exclusive characteristics, i.e. the attempt of making danger of man-machine-environment systems evaluation accurate and simultaneously may be illusory task, while deciding it traditional methods of reliability do not work. Zade indicates [1]: "In spite of the fact that ordinary mathematical apparatus is applied and will be applied for searching "person-systems", it is clear that huge complexity of these systems require such system approaches, which are essentially different from considerably traditional methods which are quite effective, if they are applied to the mechanical systems, but are too inexact to systems, in which behaviour of the person plays an important role". Moreover Back believes that "to make a reliable conclusion regarding behaviour of the person-system, it is possibly required to decline high standards of strictness and accuracy, to which they accustomed in traditional mathematical analysis of well structured mechanical systems, and become more tolerant with reference to

поведения человеко-системы, возможно потребуется отказаться от высоких стандартов строгости и точности, к которым привыкли в традиционном математическом анализе хорошо структурированных механических систем, и стать более терпимым по отношению к подходам, являющимся по своей природе приближенными». Однако авторы полагают, что теория матриц и теория нечетких множеств могут решить такую сложную задачу, как задача управления объектами специальной техники в общем, и задачу качественного обучения операторов в частности. В статье на основе теории матриц определены теоретические и практические знания оператора (экипажа) для безопасного управления системой оборонной техники.

Ключевые слова: матрицы, уровни, усвоение знаний оператором, управление, вероятность, показатель, гарантированные оценки.

approaches being approximate". However, authors believe that the theory of matrixes and the theory of indistinct plenty such can solve so complicated tasks, as the management of the special equipment objects, and the task of operators quality education, in particular. In the article on the basis of theory of matrix theoretical and practical knowledge of the operator (crew) for safe control of system of defensive equipment are defined.

Keywords: matrixes, levels, operator knowledges, control, probability, exponent, rating guaranteed evaluations.

Введение

Ранее было установлено [2], что в качестве условий безопасного управления ОСТ могут быть приняты

$$\rho(T, T_0) \leq \rho_{\text{тр}}, \quad \rho(\Pi, \Pi_0) \leq \rho_{\text{тр}}^*, \quad (1)$$

$$\tau(T, T_0) \leq \tau_{\text{тр}}, \quad \tau(\Pi, \Pi_0) \leq \tau_{\text{тр}}^*.$$

Первые два из них означают, что расстояния $\rho(T, T_0)$ и $\rho(\Pi, \Pi_0)$ между матрицами T и Π теоретических знаний и практических навыков оператора(ов) и матрицами их требуемых значений T_0 и Π_0 не превысят допустимых пределов (значений) $\rho_{\text{тр}}$ и $\rho_{\text{тр}}^*$ этих расстояний. Вторые два критерия означают, что коэффициенты корреляции $\tau(T, T_0)$ и $\tau(\Pi, \Pi_0)$ между матрицами T и Π теоретических знаний и практических навыков оператора(ов) и матрицами их требуемых значений T_0 и Π_0 будут не меньше допустимых значений $\tau_{\text{тр}}$ и $\tau_{\text{тр}}^*$ этих коэффициентов. Так, ответы оператора от одного теста опроса к другому могут изменяться в зависимости от многих и трудно учитываемых факторов, то следует признать, что элементы матриц T и Π имеют определенный разброс, т.е. являются случайными. Поэтому необходимы признаки, говорящие о выполнении (или невыполнении) критериев (1) успешного овладения операторами навыками безопасного управления системой, разработка которых проводится ниже.

Числа $\rho(T, T_0)$ и $\rho(\Pi, \Pi_0)$ назовем показателями уровня освоения оператором исследуемой системы (сложной человеко-машинной с учетом воздействия окружающей среды) теоретических знаний и практических навыков в области управления этой системой. Числа $\tau(T, T_0)$ и $\tau(\Pi, \Pi_0)$ далее назовем показателями уровня способности оператора к управлению этой системой. Изложенное позволяет перейти к следующему выводу: в качестве критериев безопасного управления человеко-машинной системой можно принять вероятности [3]

$$\rho_{\text{бп}} = \rho_p(T, T_0) \leq \rho_{\text{тр}}, \quad \rho_p(\Pi, \Pi_0) \leq \rho_{\text{тр}}^*; \quad (2)$$

$$\rho_{\tau}(T, T_0) \leq \tau_{\text{тр}}, \quad \rho_{\tau}(\Pi, \Pi_0) \leq \tau_{\text{тр}}^*.$$

Выполнением условий (2) является успешное освоение оператором теоретических и практических навыков, обеспечивающих безопасное управление системой.

Критерии безопасного управления

Рассмотрим более подробно критерии безопасного управления [4], при этом отметим следующие его особенности.

1. Число $\rho_{\text{бп}}$ изменяется в пределах от нуля до единицы, т.е. $0 \leq \rho_{\text{бп}} \leq 1$, причем, чем ближе к единице значение $\rho_{\text{бп}}$, тем выше уровень оператора по безопасности управления системой (СЧМС).

2. Элементы матриц T_0 и Π_0 содержат оценки T_{ij} и Π_{ij} за ответы на вопросы T_{ij} и Π_{ij} учебного плана (программы), который определяется матрицами T и Π . Здесь матрицы T_0 и Π_0 являются случайными, в то время как матрицы T и Π учебного плана (программы) фиксированы (не случайны).

3. В силу случайности матриц T_0 и Π_0 расстояния $\rho(T, T_0)$ и $\rho(\Pi, \Pi_0)$, а также коэффициенты корреляции $\tau(T, T_0)$ и $\tau(\Pi, \Pi_0)$ являются случайными.

4. Числа $\rho_{\text{тр}}$ и $\rho_{\text{тр}}^*$ являются фиксированными (неслучайными) числами, представляющими собой требуемое значение уровня $\rho(T, T_0)$ и $\rho(\Pi, \Pi_0)$ освоения оператором теоретических знаний и практических навыков.

5. Числа $\tau_{\text{тр}}$ и $\tau_{\text{тр}}^*$ являются фиксированными (неслучайными) числами, представляющими собой требуемые значения уровня знаний $\tau(T, T_0)$ и $\tau(\Pi, \Pi_0)$ – уровня способности оператора к управлению исследуемой системой. Определение требуемых значений $\rho_{\text{тр}}$ и $\rho_{\text{тр}}^*$ и $\tau_{\text{тр}}$ и $\tau_{\text{тр}}^*$ осуществляется на основе обработки статистических данных и представляет собой самостоятельную задачу дальнейших исследований в данной области.

Считается, что числа $\rho_{\text{тр}}$ и $\rho_{\text{тр}}^*$ и $\tau_{\text{тр}}$ и $\tau_{\text{тр}}^*$ известны и являются фиксированными. Примем допущение, что события (1) являются независимыми. Тогда вероятность $\rho_{\text{бп}}$ безопасного управления системой можно записать в виде произведения

$$P_{\text{бп}} = P(\rho(\Pi, \Pi_0) \leq \rho_{\text{тр}}^*) P(\tau(T, T_0) \leq \tau_{\text{тр}}) P(\tau(\Pi, \Pi_0) \leq \tau_{\text{тр}}^*)$$

или

$$P_{\text{бп}} = P_{\text{т}} P_{\text{п}} P_{\text{ст}} P_{\text{сп}}. \quad (3)$$

Здесь $P_{\text{т}} = P(\rho(T, T_0) \leq \rho_{\text{тр}})$ и $P_{\text{п}} = P(\rho(\Pi, \Pi_0) \leq \rho_{\text{тр}}^*)$, где $P_{\text{т}}$ – вероятность успешного освоения оператором теоретических сведений; $P_{\text{п}}$ – вероятность освоения практических навыков, обеспечивающих безопасное управление исследуемой человеко-машинной системой. Кроме того, $P_{\text{ст}} = P(\tau(T, T_0) \geq \tau_{\text{тр}})$ и $P_{\text{сп}} = P(\tau(\Pi, \Pi_0) \geq \tau_{\text{тр}}^*)$, где $P_{\text{ст}}$ – вероятность достаточного уровня способностей оператора в области теоретических знаний и $P_{\text{сп}}$ – практических навыков. Расчет каждой из четырех составляющих показателя (3) представляет собой самостоятельную задачу непростой сложности. Рассмотрим разработку метода расчета только одной из составляющих – вероятности $P_{\text{т}}$, имея в виду, что остальные вероятности, входящие в произведение (3), могут быть определены аналогичными методами. Рассмотрим метод расчета вероятности достаточного уровня теоретической подготовки специалиста (оператора) для управления сложной системой (технической и другой).

Рассмотрим вероятность $P_{\text{т}} = P(\rho(T, T_0) \leq \rho_{\text{тр}})$ [5], где $\rho_{\text{тр}}$ – требуемое (допустимое) значение показателя $\rho(T, T_0)$ теоретической подготовки специалиста в области управления исследуемой системой. Согласно изложенному выше показатель $\rho(T, T_0)$ может быть определен следующей формализацией:

$$\rho(T, T_0) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\pi_{ij} - \tau_{ij})^2},$$

откуда следует, что

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\pi_{ij} - \tau_{ij})^2 \leq \rho_{\text{тр}}^2.$$

Далее учитываем известное неравенство [6]

$$\frac{1}{\min \rho(T, T_0)} = \frac{1}{\min \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\pi_{ij} - \tau_{ij})^2}} \leq \max (\pi_{ij} - \tau_{ij})^2,$$

из которого получим $\max (\pi_{ij} - \tau_{ij})^2 \leq \frac{1}{\min \rho_{\text{тр}}^2}$, следовательно, $\frac{1}{\min \rho(T, T_0)} \leq \frac{1}{\min \rho_{\text{тр}}}$ или $\rho(T, T_0) \leq \rho_{\text{тр}}$, откуда, переходя к вероятности, находим

$$P \left(\max |\pi_{ij} - \tau_{ij}| \leq \frac{1}{\sqrt{\min \rho_{\text{тр}}}} \right) \leq P(\rho(T, T_0) \leq \rho_{\text{тр}}).$$

Таким образом, установлено, что $P_{\text{т}} \geq P_{\text{т}}^*$, где $P_{\text{т}} = P(\rho(T, T_0) \leq \rho_{\text{тр}})$ и $P_{\text{т}}^* = P \left(\max |\pi_{ij} - \tau_{ij}| \leq \frac{1}{\sqrt{\min \rho_{\text{тр}}}} \right)$, т.е. получена гарантированная оценка $P_{\text{т}}^*$ снизу для искомой вероятности $P_{\text{т}}$.

Метод нахождения оценки

Остановимся на разработке методов нахождения этой оценки. Обозначим $\xi \equiv \frac{1}{\sqrt{\min \rho_{\text{тр}}}}$ [7].

Учитывая неравенство $\max |\pi_{ij} - \tau_{ij}| \leq \frac{1}{\sqrt{\min \rho_{\text{тр}}}}$, получим, что $|\pi_{ij} - \tau_{ij}| \leq \xi$ для любой пары (i, j) .

Из этого следует, что вероятность пригодности оператора(ов) к управлению системой по уровню его теоретических знаний равна $P_{\text{т}}^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \{ |\pi_{ij} - \tau_{ij}| \leq \xi \}$.

Если события $\{ |\pi_{ij} - \tau_{ij}| \leq \xi \}$ независимы, то условие пригодности оператора находится как $P_{\text{т}} \geq P_{\text{т}}^*$. В другой записи приведенные выражения имеют следующий вид:

$$P_{\text{т}} \geq P_{\text{т}}^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij},$$

где $P_{ij} = P(|\pi_{ij} - \tau_{ij}| \leq \xi) = P(\pi_{ij} - \xi \leq \tau_{ij} \leq \pi_{ij} + \xi)$.

Предположим в первом приближении, что величина T_{ij} (оценка за ответ на вопрос T_{ij}) имеет нормальное распределение со средним $\bar{T}_{ij}$ и дисперсией T_{ij}^2 . Тогда по свойству нормального распределения: $P_{ij} = \Phi(\bar{T}_{ij} - \pi_{ij} + \xi) / \tau_{ij} - \Phi(\xi + \pi_{ij} + \bar{T}_{ij}) / \tau_{ij}$, где Φ – функция Лапласа [8, 9]. Таким образом, если величины T_{ij} независимы и нормально распределены, то гарантированная оценка для показателя $P_{\text{т}}$ имеет вид

$$P_{\text{т}} \geq P_{\text{т}}^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\Phi(\bar{T}_{ij} - \pi_{ij} + \xi) / \tau_{ij} - \Phi(\xi + \pi_{ij} + \bar{T}_{ij}) / \tau_{ij} \right),$$

или $P \geq P_{\text{т}}^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij}$, где вероятности P_{ij} определены выше.

Гарантированная оценка (4) может оказаться значительно завышенной, если не учитывать, что в действительности события $|\pi_{ij} - \tau_{ij}| \leq \xi$ зависимы [10, 11]. Там же доказана возможность учета зависимости этих событий в следующей форме:

$$P \geq P^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij} + K \left(P^* - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij} \right). \quad (4)$$

Здесь число K равно среднему значению коэффициентов корреляции между величинами T_{ij} , а P^* – меньшая из вероятностей P_{ij} . Если события $|\pi_{ij} - \tau_{ij}| \leq \xi$ независимы, то число $K = 0$, и из формулы (4) получается прежний результат: $P \geq P^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij}$. В другом крайнем случае, когда все коэффициенты корреляции равны единице, получим $K = 1$: $P \geq P^* = P^*$. Таким образом, неучет зависимости событий привел бы к ошибке [12]

$$P = \left(P^* - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij} \right) / (1 - P^*),$$

что может составить до нескольких процентов.

Библиографический список

1. Zaden, L. A. Man and Cybernetics / L. A. Zaden // IEEE Transactions on Systems, SMC-3. – 1973. – P. 28–44.
2. Северцев, Н. А. Введение в теорию безопасности / Н. А. Северцев, А. В. Бецов. – Москва : ВЦ им. А. А. Дородницына РАН, 2008. – 176 с.
3. Северцев, Н. А. Системный анализ теории безопасности / Н. А. Северцев, А. В. Бецов. – Москва : Изд-во МГУ «ТЕИС», 2009. – 452 с.
4. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – Москва : Наука, 1971.
5. Бард, И. Нелинейное оценивание параметров / И. Бард. – Москва : Статистика, 1979.
6. Гнеденко, Б. В. Математические методы теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – Москва : Наука, 1965.
7. Шолкин, В. Г. К вопросу использования критериальных моделей в практике расчета и испытаний на надежность / В. Г. Шолкин // Труды ВНИИМАШ. – 1977.
8. Рябинин, И. Н. Надежность, живучесть, безопасность систем / И. Н. Рябинин. – Санкт-Петербург, 2008.
9. Иличев, А. В. Основы анализа эффективности и рисков целевых программ / А. В. Иличев. – Москва : Научный мир, 2009.
10. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения : пер. с англ. / под ред. Р. Р. Ягера. – Москва : Мир, 1986.
11. Лесин, В. В. Основы методов оптимизации / В. В. Лесин, Ю. П. Лисовец. – Москва : Изд. дом МАИ, 1995.
12. Грущанский, В. А. О формализации показателей эффективности и безопасности комплексных программ в условиях неопределенности и риска / В. А. Грущанский, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 2. – С. 3–9.

References

1. Zaden L. A. *IEEE Transactions on Systems, SMC-3*. 1973, pp. 28–44.
2. Severtsev N. A., Betskov A. V. *Vvedenie v teoriyu bezopasnosti* [Introduction to the theory of security]. Moscow: VTs im. A. A. Dorodnitsyna RAN, 2008, 176 p. [In Russian]
3. Severtsev N. A., Betskov A. V. *Sistemnyy analiz teorii bezopasnosti* [A systematic analysis of the theory of security]. Moscow: Izdatel'stvo MGU «TEIS», 2009, 452 p. [In Russian]
4. Adler Yu. P., Markova E. V., Granovskiy Yu. V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy* [Experiment planning in search of optimal conditions]. Moscow: Nauka, 1971. [In Russian]
5. Bard I. *Nelineynoye otsenivanie parametrov* [Nonlinear parameter estimation]. Moscow: Statistika, 1979. [In Russian]
6. Gnedenko B. V., Belyaev Yu. K., Solov'ev A. D. *Matematicheskie metody teorii nadezhnosti* [Mathematical methods of reliability theory]. Moscow: Nauka, 1965. [In Russian]
7. Sholkin V. G. *Trudy VNIIMASH* [Proceedings of VNIIMS]. 1977. [In Russian]

8. Ryabinin I. N. *Nadezhnost', zhivuchest', bezopasnost' sistem* [Reliability, survivability, safety of systems]. Saint-Petersburg, 2008. [In Russian]
9. Ilich'ev A. V. *Osnovy analiza effektivnosti i riskov tselevykh programm* [Framework for the analysis of efficiency and risks of target programs]. Moscow: Nauchnyy mir, 2009. [In Russian]
10. *Nechetkie mnozhestva i teoriya vozmozhnostey. Poslednie dostizheniya: per. s angl.* [Fuzzy sets and possibility theory. Recent achievements : translation from English]. Ed. by R. R. Yager. Moscow: Mir, 1986. [In Russian]
11. Lesin V. V., Lisovets Yu. P. *Osnovy metodov optimizatsii* [Fundamentals of optimization methods]. Moscow: Izd. Dom. MAI, 1995. [In Russian]
12. Grushchanskiy V. A., Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2013, no. 2, pp. 3–9. [In Russian]

Северцев Николай Алексеевич

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Федеральный исследовательский центр
«Информатика и Управление»
Российской академии наук
(Вычислительный центр
им. А. А. Дородницына РАН)
(119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 40)
E-mail: severs@ccas.ru

Бецков Александр Викторович

доктор технических наук, доцент,
заместитель начальника,
Академия управления МВД России
(125171, Россия, г. Москва,
ул. Зои и Александра Космодемьянских, 8)
E-mail: abckov@mail.ru

Дарьина Анна Николаевна

кандидат физико-математических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник,
Федеральный исследовательский центр
«Информатика и Управление»
Российской академии наук
(Вычислительный центр
им. А. А. Дородницына РАН)
(119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 40)
E-mail: daryina@ccas.ru

Severtsev Nikolay Alekseevich

doctor of technical sciences, professor,
chief researcher,
Federal research center
«Computer science and control» of RAS
(Dorodnitsyn computer center
of the Russian Academy of Sciences)
(119333, 40 Vavilova street, Moscow, Russia)

Betskov Aleksandr Viktorovich

doctor of technical sciences,
associate professor, deputy chief,
Management Academy of the Ministry of the Interior
of the Russian Federation
(125171, 8 Zoi i Aleksandra Kosmodem'yanskikh
street, Moscow, Russia)

Darina Anna Nikolaevna

candidate of physical and mathematical sciences,
associate professor, leading researcher,
Federal research center
«Computer science and control» of RAS
(Dorodnitsyn computer center
of the Russian Academy of Sciences)
(119333, 40 Vavilova street, Moscow, Russia)

Образец цитирования:

Северцев, Н. А. Разработка вероятностных критериев безопасного управления объектами специальной техники / Н. А. Северцев, А. В. Бецков, А. Н. Дарьина // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 2 (26). – С. 3–8. – DOI 10.21685/2307-4205-2019-2-1.