

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 519.711.2



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-4-71-79

Оригинальная статья/ Original article

Моделирование процессов функционирования организационно-технической системы на основе марковских случайных процессов

А.О. Железняков¹, Р.А. Жилин²

¹Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,

¹394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 а, Россия,

²Воронежский институт МВД России,

²394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Россия

Резюме. Цель. В настоящей работе рассмотрены и проанализированы основные подходы к моделированию процессов функционирования организационно-технической системы, в частности процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР) вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) ремонтными подразделениями эксплуатирующей организации (ЭО) с использованием математической модели марковских случайных процессов, которая позволит оценить вероятностные характеристики процессов ТОиР ВВСТ при выполнении мероприятий повседневной деятельности, заключающихся в проведении работ по восстановлению исправности ВВСТ, а также проведению технического обслуживания и эксплуатации ОТС. **Метод.** В основе моделирование процессов - вероятностные модели, в частности, теория случайных процессов. **Результат.** Обосновано использование математической модели Марковских случайных процессов; разработан граф состояний процессов по техническому обслуживанию и ремонту ВВСТ; реализована система поддержки принятия решений на базе PTC Mathcad Prime. В качестве исходных параметров моделирования в работе использована усредненная обобщенная статистическая информация надежности ВВСТ. **Вывод.** Полученные результаты позволят восстанавливать исправность и работоспособность ВВСТ как на предприятиях ВПК, так и в условиях эксплуатирующей организации не выходя за временные рамки, установленные в нормативно-технических положениях. Рассмотренные подходы моделирования процессов функционирования организационно-технической системы являются мощным инструментом для принятия обоснованных и эффективных решений в управлении, они позволяют учесть множество факторов, провести сценарный анализ и оптимизировать решения, а также использовать ЭВМ для более точных и сложных расчетов.

Ключевые слова: организационно-технические системы, моделирование, принятие решений, управление, процесс, анализ

Для цитирования: А.О. Железняков, Р.А. Жилин. Моделирование процессов функционирования организационно-технической системы на основе марковских случайных процессов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(4):71-79. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-71-79

Modeling of the processes of functioning of an organizational and technical system based on Markov random processes

A.O. Zheleznyakov¹, R.A. Zhilin²

¹Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»,

¹54 a Old Bolsheviks St., Voronezh 394064, Russia,

²53 Patriotov Ave., Voronezh 394065, Russia

Abstract. Objective. In this paper, the main approaches to modeling the processes of functioning of the organizational and technical system, in particular the processes of maintenance and repair (MRO) of weapons, military and special equipment (VVST) by repair units of the operating organization (EO) using a mathematical model of Markov random processes, which will allow to evaluate the probabilistic characteristics of MRO processes of the VVST at carrying out activities of daily activities, which consist in carrying out work to restore the serviceability of the VST, as well as carrying out maintenance and operation of the OTS. **Method.** The modeling of processes is based on probabilistic models, in particular, the theory of random processes. **Result.** The use of a mathematical model of Markov random processes is justified. A graph of the states of the processes for maintenance and repair of VVST has been developed. A decision support system based on PTC Mathcad Prime has been implemented. The averaged generalized statistical information on the reliability of the VST was used as the initial modeling parameters in the work. **Conclusion.** The results obtained will make it possible to restore the serviceability and operability of the military-industrial complex both at the enterprises of the military-industrial complex and in the conditions of the operating organization without going beyond the time limits established in the regulatory and technical regulations. The considered approaches to modeling the processes of functioning of an organizational and technical system are a powerful tool for making informed and effective management decisions, they allow you to take into account many factors, conduct scenario analysis and optimize solutions, as well as use computers for more accurate and complex calculations.

Keywords: organizational and technical systems, modeling, decision-making, management, process, analysis.

For citation: A.O. Zheleznyakov, R.A. Zhilin. Modeling of the processes of functioning of an organizational and technical system based on Markov random processes. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(4):71-80. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-71-80

Введение. Организационно-технические системы (ОТС) – это сложные системы с организационно-штатной структурой управленческого и технического персонала, оснащенные производственными фондами и запасами материально-технических ресурсов (МТР), включающие в себя сложные технические объекты, эксплуатация которых является целью функционирования системы [1, 2, 3].

Отметим, что процесс эксплуатации организационно-технических систем осуществляется в соответствии с программой эксплуатации, которая представляет собой совокупность нормативно-технических положений, регламентирующих действия управленческого и технического персонала по отношению к техническим объектам на различных этапах жизненного цикла ОТС [4, 5, 6].

Постановка задачи. Целью работы является моделирование процессов функционирования организационно-технической системы, в частности процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР) вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) ремонтными подразделениями эксплуатирующей организации (ЭО) с использованием математической модели марковских случайных процессов, которая позволит оценить вероятностные характеристики процессов ТОиР ВВСТ при выполнении мероприятий повседневной деятельности, заключающихся в проведении работ по восстановлению исправности ВВСТ, а также проведению технического обслуживания и эксплуатации ОТС.

Образцы вооружения военной и специальной техники при интенсивной эксплуатации подвергаются механическим, термическим, акустическим, радиационным и другим видам воздействий, которые носят случайный характер и под воздействием которых в составных узлах изделий, агрегатов, из состава ВВСТ возникают накапливающиеся повреждения, отказы, неисправности, приводящие к необратимым последствиям и изменению технического состояния объекта.

Методы исследования. Техническое состояние объекта (ТСО) – это совокупность свойств объекта, изменяющихся при его эксплуатации. ТСО характеризуется в определённый момент времени степенью соответствия фактических показателей свойств установленным в нормативно-технической и конструкторской документации [7, 8]. Результаты механических, термических, акустических, радиационных и других видов воздействий на вооружение, военную и специальную технику носят стохастический характер. Одним из способов прогнозирования технического состояния ВВСТ является использование вероятностного подхода.

Моделирование процессов организации ремонтных работ по восстановлению исправности и работоспособности образцов вооружения военной и специальной техники, а также технического обслуживания целесообразно осуществлять, используя вероятностные модели, в частности, используя теорию случайных процессов [9, 10]. Учитывая тот факт, что согласно пространственно-временной модели, ВВСТ получают разного рода повреждения по результатам появления событий из множества случайных потоков, при этом обычно идет наложение (суммирование) потоков событий различной природы или их случайное разрежение, при этом события, приводящие к выходу из строя определенного оборудования ВВСТ, являются независимыми. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что поток событий приводящий к выводу из строя ВВСТ согласно предельной теореме потоков событий является потоком Пуассона с плотностью распределения длительностей интервалов $f_{\text{отк}}(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ [11, 12].

Если рассматривать поток заявок на выполнение технического обслуживания и ремонта оборудования ВВСТ после их поломки, то он обусловлен влиянием множества случайных факторов, что позволяет считать поток восстановленного оборудования ВВСТ после технического обслуживания и ремонта пуассоновским. Время восстановления случайно выбранного отказавшего оборудования ВВСТ характеризуется плотностью распределения вида:

$$f_{\text{рем}}(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (1)$$

где μ – интенсивность восстановления отказавшего оборудования ВВСТ одним ремонтным подразделением.

Вышеперечисленные обстоятельства нашли свое подтверждение в работах [13, 14], связанных с моделированием организационно-технических систем. Указанные авторы аргументированно доказывают, что поток событий, приводящий к выводу из строя ВВСТ, можно считать потоком Пуассона. Данные доказательства позволяют использовать для моделирования процессов технического обслуживания и ремонта отказавшего оборудования ВВСТ математическую модель марковских случайных процессов.

Введем следующие допущения и обозначения. Имеется некоторое количество ВВСТ, у которых периодически отказывает оборудование, количество которого обозначим M . Интенсивность заявок на техническое обслуживание и ремонт определим λ , которая является обобщенной или усредненной интенсивностью.

Предположим, что имеется L типов изделий из состава ВВСТ, которые могут выходить из строя, каждый с интенсивностью λ_k , $k=1, 2, \dots, L$. Количество изделий каждого типа равно n_k , следовательно, обобщенная интенсивность заявок на техническое обслуживание и ремонт может быть рассчитана по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{\sum_{k=1}^L n_k \lambda_k}{\sum_{k=1}^L n_k} \quad (2)$$

Далее, имеются ремонтные подразделения, выполняющие работы по техническому обслуживанию и ремонту ВВСТ, количество которых равно N . Рассмотрим ситуацию, когда время восстановления исправности изделий ВВСТ с номером m составляет T_m , общее число таких изделий K , а количество блоков каждого вида, требующих ремонта f_m . Тогда, обобщенный (усредненный) поток восстановлений будет рассчитан по следующей формуле:

$$\mu = \frac{\sum_{m=1}^K \frac{f_m}{T_m}}{\sum_{m=1}^K f_m} \quad (3)$$

В случае поступления заявки на техническое обслуживание и ремонт, т.е. наступление отказа или неисправности вооружения, военной и специальной техники, ВВСТ подлежит восстановлению в любом свободном ремонтном подразделении. Однако, если все специалисты данного подразделения обременены работой, то неисправное вооружение, военная и специальная техника становятся в очередь на обслуживание. В таком случае для оперативного восстановления вооружения, военной и специальной техники необходимо направить отказавшее изделие ВВСТ на предприятия военно-промышленного комплекса. Вышеперечисленные обстоятельства определяют принятие управленческого решения о выборе способа и места ремонта отказавшего оборудования ВВСТ с последующим анализом каждого типа неисправности и принятия решения по каждой из них.

Обсуждение результатов. На основании вышеуказанных допущений составим граф состояний процессов по техническому обслуживанию и ремонту ВВСТ, который приведен на рис. 1.

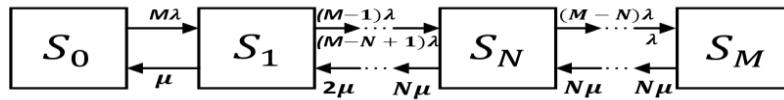


Рис. 1. Граф состояний процессов по ТОиР ВВСТ

Fig. 1. State graph of processes for maintenance and repair of air-technical equipment

Воспользовавшись теорией массового обслуживания, осуществим расчет показателей описанного случайного процесса [15, 16, 17].

Введем приведенную интенсивность $\rho = \lambda/\mu$, учитывая следующее:

1. Вероятность того, что все оборудование будет исправно и все ВВСТ полностью исправны (промежуточный показатель):

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^N}{N!} + \frac{\rho^{N+1}}{N \cdot N!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\rho}{N}\right)^{M-N}}{1 - \rho/N}} \quad (4)$$

2. Вероятность того, что в ремонте будет находиться n отказавшего оборудования ВВСТ:

$$P_n = \begin{cases} \frac{\rho^n}{n!} P_0, & n = 1, 2, \dots, N; \\ \frac{\rho^n}{N^{n-N} N!} P_0, & n = N + 1, N + 2, \dots, M. \end{cases} \quad (5)$$

Тогда, данное соотношение будет определять вероятность отказавшего оборудования ВВСТ, которое находится в очереди на обслуживание. В таком случае, среднее число отремонтированного оборудования ВВСТ за единицу времени будет определяться формулой (6), а среднее число задействованных ремонтных подразделений формулой (7):

$$A = \lambda \cdot \left(1 - \frac{\rho^M}{N^{M-N} N!} P_0 \right) \quad (6)$$

$$\bar{N} = \frac{A}{\mu} = \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho^M}{N^{M-N} N!} P_0 \right) \quad (7)$$

При данных условиях, средняя длина очереди отказавшего оборудования ВВСТ, которое требует ремонта будет определяться формулой (8):

$$L_q = \begin{cases} \frac{\rho^{N+1}}{N \cdot N!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\rho}{N} \right)^{(M-N)} \left(M - N + 1 - (M - N) \frac{\rho}{N} \right)}{\left(1 - \frac{\rho}{N} \right)^2} \cdot P_0, & \text{при } \rho \neq N \\ \frac{\rho^{N+1}}{N \cdot N!} \cdot \left(1 + 2 \left(\frac{\rho}{N} \right) + 3 \left(\frac{\rho}{N} \right)^2 + \dots + (M - N) \left(\frac{\rho}{N} \right)^{M-1} \right) \cdot P_0, & \text{при } \rho = N \end{cases} \quad (8)$$

В этом случае, среднее время, проведенное в очереди для восстановления отказавшего оборудования ВВСТ будет определяться формулой (9), а среднее время, проведенное в ремонте для отказавшего оборудования ВВСТ формулой (10):

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (9)$$

$$W_s = W_q + \frac{A}{\lambda \mu} = \frac{L_q}{\lambda} + \frac{A}{\lambda \mu} \quad (10)$$

Осуществим моделирование процессов технического обслуживания и ремонта отказавшего оборудования ВВСТ с использованием РТС Mathcad Prime. В качестве исходных параметров будем использовать усредненную обобщенную статистическую информацию надежности ВВСТ. На рис. 2 представлен график зависимости среднего отремонтированного оборудования за час от приведенной интенсивности при разном количестве ВВСТ.

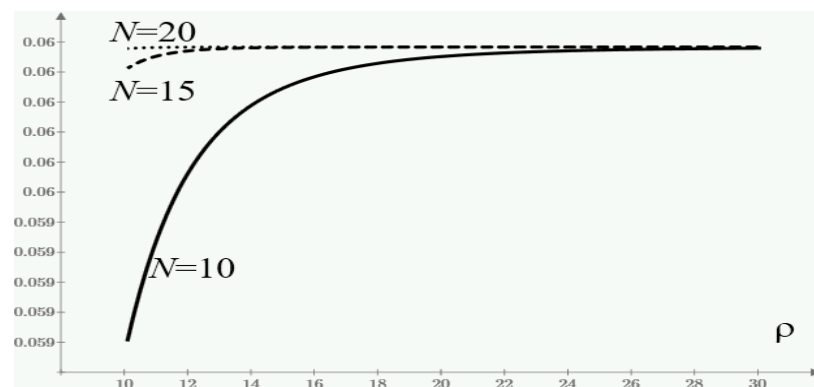


Рис. 2. Среднее число отремонтированного оборудования за час (A),

как функция приведенной интенсивности при разном количестве ВВСТ

Fig. 2. Average number of equipment repaired per hour (A) as a function of reduced intensity for different amounts of airborne equipment

Аналогичная зависимость для среднего количества задействованных ремонтных подразделений приведена на рис. 3. На основе выше представленных зависимостей реализуем систему поддержки принятия решений для управления ТОиР оборудования ВВСТ, которая позволит принимать управленческие решения о восстановлении исправности или работоспособности в условиях эксплуатирующей организации, либо об отправке в ремонт на предприятия ВПК.

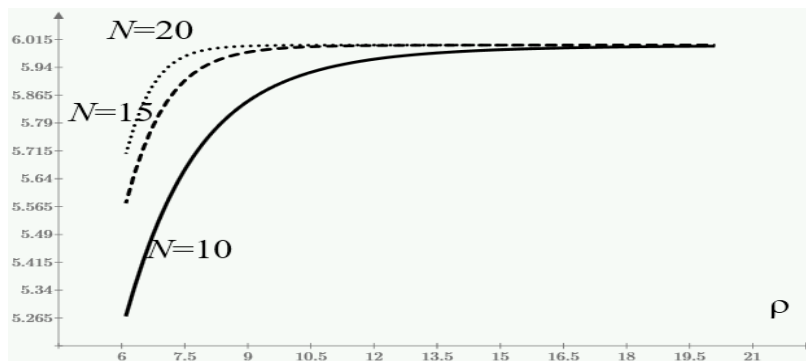


Рис. 3. Среднее количество занятых ремонтных подразделений $\bar{N}$, как функция приведенной интенсивности при разном количестве ВВСТ

Fig. 3. Average number of occupied repair units $\bar{N}$ as a function of reduced intensity for different numbers of military equipment

Одной из характеристик, которая позволит принять решение о выборе способа и места ремонта отказавшего оборудования ВВСТ с последующим анализом каждого типа неисправности будет являться средняя длина очереди (L_q) на ТОиР, график которой приведен на рис. 4.

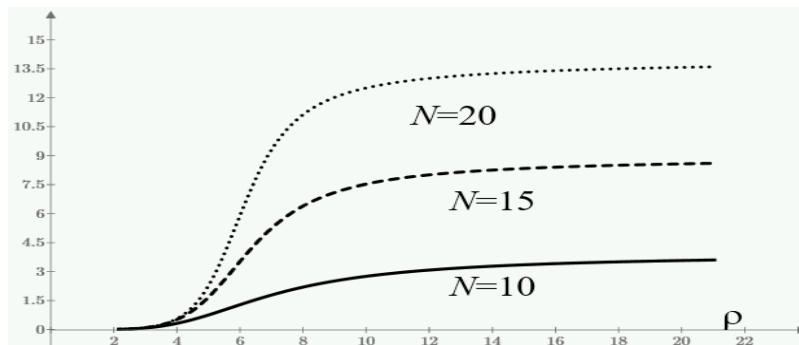


Рис. 4. Среднее количество ВВСТ, ожидающих ТОиР в очереди L_q ,

как функция приведенной интенсивности при разном количестве ВВСТ

Fig. 4. The average number of military equipment waiting for maintenance and repair in the queue L_q as a function of the reduced intensity for different numbers of military equipment

Другая, не менее важная характеристика – время, проведенное в очереди образца ВВСТ (W_q), графически представлена на рис. 5.

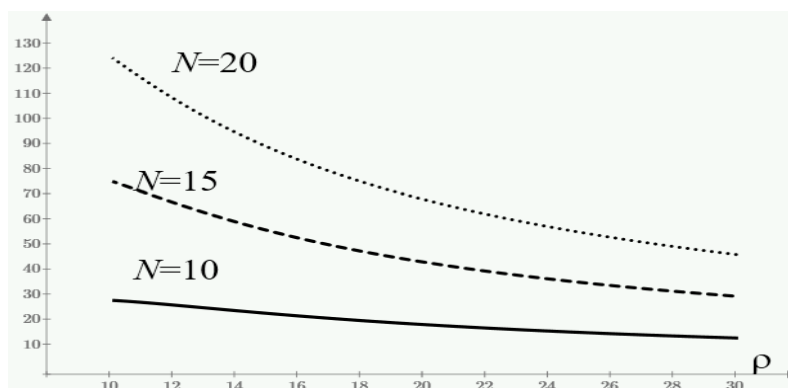


Рис. 5. Среднее время ожидания ВВСТ очереди на ремонт W_q (часы),

как функция приведенной интенсивности при разном количестве ВВСТ

Fig. 5. The average waiting time for a queue for repairs W_q (hours), as a function of the reduced intensity for different quantities of military equipment

Определим вероятность образования очереди образцов ВВСТ ($P_{очередь}$) с целью принятия решения об отправке ВВСТ на предприятие ВПК по следующей формуле:

$$P_{очередь} = P_0 \sum_{n=N+1}^M \frac{\rho^n}{N^{n-N} N!}. \quad (11)$$

Графическое представление полученного результата изображено на рис. 6.

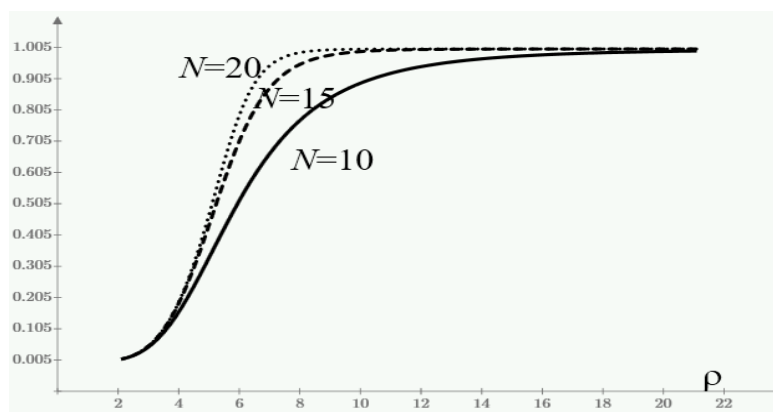


Рис. 6. Вероятность образования очереди на ремонт $P_{очередь}$, как функция приведенной интенсивности при разном количестве ВВСТ

Fig. 6. Probability of the formation of a queue for repairs $P_{очередь}$ as a function of the reduced intensity for different quantities of military equipment

Анализ данных показателей для каждой заявки на ТОиР в последующем позволит восстанавливать исправность и работоспособность ВВСТ как на предприятиях ВПК, так и в условиях эксплуатирующей организации не выходя за временные рамки, установленные в нормативно-технических положениях, регламентирующих действия управленческого и технического персонала по отношению к техническим объектам на различных этапах жизненного цикла организационно-технических систем.

Вывод. В ходе моделирования процессов технического обслуживания и ремонта отказавшего оборудования ВВСТ были решены следующие задачи:

1. Анализ научной литературы показал, что моделирование процессов организации ремонтных работ по восстановлению исправности и работоспособности образцов вооружения, военной и специальной техники, а также технического обслуживания целесообразно осуществлять используя вероятностные модели, в частности, используя теорию случайных процессов.

2. Для моделирования процессов технического обслуживания и ремонта отказавшего оборудования ВВСТ в ходе исследования обосновано использование математической модели марковских случайных процессов.

3. Разработан граф состояний процессов по техническому обслуживанию и ремонту ВВСТ.

4. Реализована система поддержки принятия решений на базе РТС Mathcad Prime.

5. В качестве исходных параметров моделирования в работе использована усредненная обобщенная статистическая информация надежности ВВСТ.

6. Полученные результаты позволят восстанавливать исправность и работоспособность ВВСТ как на предприятиях ВПК, так и в условиях эксплуатирующей организации не выходя за временные рамки, установленные в нормативно-технических положениях.

Библиографический список:

1. Управление организационно-техническими системами. Учебник для иностранных военнослужащих, обучающихся в Военно-воздушной инженерной академии им. проф. Н.Е. Жуковского. В.Я. Головин, А.С. Шаламов, В.Н. Миронычев, Ю.В. Митрофанов, А.Е. Гриценко, С.М. Ямпольский. Под ред. В.Я. Головина. – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2006. – 580 с.
2. Жилин, Р.А. Численный метод кластеризации однородных альтернатив, характеризующих качество антитеррористической защищенности объектов органов внутренних дел, на основе суммы различий взвешенных признаков / Р.А. Жилин, А.В. Мельников, Г.В. Перминов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8, № 4(31).
3. Жилин, Р.А. Формирование пространства признаков для оценки антитеррористической защищенности объектов органов внутренних дел / Р.А. Жилин // Охрана, безопасность, связь. – 2021. – № 6-2. – С. 79-83.
4. Головин, В.Я. Информационное и математическое обеспечение задач управления организационно-техническими системами. – Воронеж: Издание Военного авиационного технического университета, 2002. – 231 с.
5. Akhlyustin, S.B. Prediction of the Integrated Indicator of Quality of a New Object Under the Conditions of Multicollinearity of Reference Data / S.B. Akhlyustin, A.V. Melnikov, R.A. Zhilin // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. – 2020. – Vol. 13, No. 4. – P. 66-80.
6. Численный метод оценки значимости критериев в группах однородных альтернатив / Р.А. Жилин, А.В. Мельников, Д.Н. Черников, К.А. Мельник // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2021. – № 3. – С. 57-63.
7. Моделирование оценки эффективности функционирования систем безопасности объектов органов внутренних дел / Р.А. Жилин, А.В. Мельников, С.Б. Ахлюстин, В.В. Горлов. – Воронеж : Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2023. – 104 с.
8. Жилин, Р.А. Пространство признаков нарушителя систем безопасности общекриминальной направленности / Р.А. Жилин // Математические методы и информационные технологии в моделировании систем : Материалы V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Воронеж, 29 апреля 2021 года. – Воронеж: Издательство "Научная книга", 2021. – С. 25-27.
9. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высш. шк., 1998. – 354 с.
10. Матальцкий, М.А. Элементы теории случайных процессов: учеб. пособие. Гродно: ГрГУ, 2004. 326 с.
11. Алексеев О.Г., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г Марковские модели боя. – М.: МО СССР, 1985. – 85 с.
12. Козирацкий Ю.Л. Моделирование совместного применения средств радиоэлектронной борьбы и огневого поражения в интересах повышения эффективности борьбы за превосходство в управлении/ С.Н. Козлитин, С.А. Будников//Системы управления, связи и безопасности. – № 1. – 2020. – С. 49-73.
13. Бурков, В.Н. Модели, методы и механизмы управления и принятия решений в организационных системах : учебное пособие / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин. – Москва : Академия ИБС, 2009. – 222 с.
14. Баркалов, С.А. Моделирование процесса принятия решений на основе марковских случайных процессов / С.А. Баркалов, В.П. Морозов, С.И. Моисеев // Математические методы и информационные технологии в моделировании систем : Материалы V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Воронеж, 29 апреля 2021 года. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2021. – С. 52 - 59.
15. Плескунов, М.А. Теория массового обслуживания: учебное пособие / М.А. Плескунов; М-во науки и высшего образования РФ, Урал. федер. унт. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 264 с.
16. Мельников, А.В. Анализ основных подходов к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения / А.В. Мельников, А.А. Караваев, А.О. Железняков // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2024. – Т. 51, № 1. – С. 153-165. – DOI 10.21822/2073-6185-2024-51-1-153-165.
17. Патент № RU 2 778 170 C1, МПК B64F 5/40, B64F 5/60, G06Q 10/06. Способ ремонта авиационной техники в процессе эксплуатации в пунктах постоянной дислокации: № 2021129667: заявл. 11.10.2021: опубл. 15.08.2022 / Железняков А.О., Сидорчук В.П. – 8 с.

References:

1. Management of organizational and technical systems. Textbook for foreign military personnel studying at the Zhukovsky Military Air Engineering Academy. V.Ya. Golovin, A.S. Shalamov, V.N. Mironychev, Yu.V. Mitrofanov, A.E. Gritsenko, S.M. Yampolsky. Edited by V.Ya. Golovin. M.: Publishing House of the VVIA named after prof. N.E. Zhukovsky, 2006. (In Russ)

2. Zhilin R.A. Numerical method of clustering homogeneous alternatives characterizing the quality of anti-terrorist protection of objects of internal affairs bodies, based on the sum of differences in weighted signs. Modeling, optimization and information technologies. 2020; (8 4(31) (In Russ).
3. Zhilin R.A. Formation of a space of signs for assessing the anti-terrorist security of objects of internal affairs bodies. Protection, security, communications. 2021; (6-2) (In Russ).
4. Golovin V.Ya. Information and mathematical support of organizational and technical systems management tasks. Voronezh: Edition of the Military Aviation Technical University, 2002. (In Russ)
5. Akhlyustin S.B., Melnikov A.V., Zhilin R.A. Prediction of the Integrated Indicator of Quality of a New Object Under the Conditions of Multicollinearity of Reference Data. Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. 2020;. (13 (4)).
6. Zhilin R.A., Melnikov A.V., Chernikov D.N., Melnik K.A. A numerical method for assessing the significance of criteria in groups of homogeneous alternatives. Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia. 2021; (3). (In Russ)
7. Zhilin R.A., Melnikov A.V., Akhlyustin S.B. Modeling of the assessment of the effectiveness of the functioning of security systems of objects of internal affairs bodies. Voronezh : Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 2023. (In Russ)
8. Zhilin R.A. The space of signs of a violator of security systems of a general criminal orientation // Mathematical methods and information technologies in system modeling : Materials of the V All-Russian (national) scientific and practical conference, Voronezh, April 29, 2021. Voronezh: Publishing house "Scientific Book", 2021. (In Russ)
9. Wentzel E.S. Theory of random processes and its engineering applications / E.S. Wentzel, L.A. Ovcharov. – M.: Higher School, 1998; 354. (In Russ)
10. Matalytsky M.A. Elements of the theory of random processes: textbook. stipend. Grodno: GrSU, 2004; 326.. (In Russ)
11. Alekseev O.G., Anisimov V.G., Anisimov E.G. Markov models of combat. M.: Ministry of Defense of the USSR, 1985. (In Russ)
12. Koziratsky Yu.L., Kozlitsin S.N., Budnikov S.A. Modeling the joint use of electronic warfare and fire damage in the interests of increasing the effectiveness of the struggle for supremacy in management. Control systems, communications and security, 2020. (In Russ)
13. Burkov V.N., Korgin N.A. Models, methods and mechanisms of management and decision-making in organizational systems : a textbook. Moscow : Academy of IBS, 2009. (In Russ)
14. Barkalov S.A., Morozov V.P., Moiseev S.I. Modeling of the decision-making process based on Markov random processes. Mathematical methods and information technologies in system modeling : Materials of the V All-Russian (national) Scientific and Practical conference, Voronezh, April 29, 2021. Voronezh: Publishing House "Scientific Book", 2021. (In Russ)
15. Pleskunov M.A. Theory of mass service: textbook. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural. feder. unT. Yekaterinburg: Ural Publishing House. unita, 2022. (In Russ)
16. Melnikov A.V., Karavaev A.A., Zheleznyakov A.O. Analysis of the main approaches to modeling management processes of organizational and technical systems for special purposes. Herald of the Dagestan State Technical University. Technical sciences. 2024;51(1):153-165. – DOI 10.21822/2073-6185-2024-51-1-153-165. (In Russ)
17. RF Patent No. RU 2 778 170 C1, MPK B64F 5/40, B64F 5/60, G06Q 10/06. A method of repairing aircraft equipment during operation in permanent locations. Zheleznyakov A.O., Sidorchuk V.P., 2021. (In Russ)

Сведения об авторах:

Железняков Артем Олегович, преподаватель; artem.artemov48@mail.ru

Жилин Роман Андреевич, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра «Тактико-специальная подготовка»; zhilin99.zhilin@yandex.ru.

Information about authors:

Artem O. Zheleznyakov, Lecturer; artem.artemov48@mail.ru

Roman A. Zhilin, Cand. Sci. (Eng.), Senior lecturer, Department of Tactical and Special Training; zhilin99.zhilin@yandex.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 19.04.2024.

Одобрена после рецензирования/ Revised 20.05.2024.

Принята в печать/Accepted for publication 20.05.2024.