

**МОДЕЛЬ  
ОЦЕНИВАНИЯ ГОТОВНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
С УЧЕТОМ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ**

Е. А. КОПЕЙКА\*, А. Л. КОПЕЙКА, А. М. БАРАНОВСКИЙ

*Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия*

\*vka@mil.ru

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы обеспечения надежного функционирования сложных технических систем в ходе эксплуатации путем проведения планового технического обслуживания с применением средств контроля. Исследуется возможность проведения имитационного моделирования в целях оценивания наиболее важных показателей надежности системы, например коэффициента готовности, с учетом метрологических характеристик средств контроля. Предложены аналитическая и имитационная модели оценивания показателей готовности сложной технической системы и на основе программной среды AnyLogic проведено имитационное моделирование, по результатам которого построены зависимости коэффициента готовности системы от метрологических характеристик (ошибок контроля) применяемых средств контроля и параметров обслуживания.

**Ключевые слова:** модель, контроль технического состояния, сложные технические системы, имитационное моделирование, AnyLogic, коэффициент готовности

**Ссылка для цитирования:** Копейка Е. А., Копейка А. Л., Барановский А. М. Модель оценивания готовности сложных технических систем с учетом метрологических характеристик средств контроля // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 9. С. 640—647. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-9-640-647.

**MODEL FOR ASSESSING  
THE READINESS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS  
TAKING INTO ACCOUNT  
THE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF CONTROL TOOLS**

E. A. Kopeyka\*, A. L. Kopeyka, A. M. Baranovsky

*A. F. Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg, Russia*

\*vka@mil.ru

**Abstract.** The issues of ensuring the reliable functioning of complex technical systems during operation by carrying out scheduled maintenance with the use of controls are considered. The possibility of conducting simulation modeling in order to evaluate the most important indicators of system reliability, for example, the availability coefficient, taking into account the metrological characteristics of the control means, is being investigated. The study is declared to be of great importance for confirming theoretical statements about the influence of quality control on reliability indicators. Analytical and simulation models for assessing the readiness indicators of a complex technical system are proposed. Simulation modeling is carried out on the basis of the AnyLogic software environment, the obtained results are used to construct dependences of the system readiness coefficient on the metrological characteristics (control errors) of applied control tools and service parameters.

**Keywords:** model, technical condition control, complex technical systems, simulation modeling, AnyLogic, readiness factor

**For citation:** Kopeyka E. A., Kopeyka A. L., Baranovsky A. M. Model for assessing the readiness of complex technical systems taking into account the metrological characteristics of control tools. *Journal of Instrument Engineering*. 2022. Vol. 65, N 9. P. 640—647 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-9-640-647.

**Введение.** В настоящее время к процессу подготовки сложных технических систем (СТС) к применению предъявляются достаточно жесткие требования по качеству и оперативности. Достижение требуемых показателей надежности СТС зависит от свойств и характеристик аппарат-

ных средств и качества выполнения всех функций управления процессом их подготовки и обслуживания. Этим аспектам посвящено множество исследований [1—3], позволяющих получить аналитические модели влияния характеристик и системы обслуживания на качество СТС.

Измерения параметров технических систем, входящих в состав СТС, являются ответственными операциями технологического процесса эксплуатации, организация и технико-экономические показатели которого оказывают существенное влияние на готовность СТС, эффективность и безопасность их применения.

Несмотря на то, что измерения контролируемых параметров сами по себе не улучшают качество находящихся в эксплуатации систем (а даже ухудшают вследствие дополнительной выработки их ресурса), результаты измерений используются для повышения эффективности применения СТС путем учета действительных значений технических характеристик при подготовке к применению, а также при планировании выполнения профилактических мер по поддержанию систем в работоспособном и готовом к применению состоянии.

Метрологические характеристики средств измерений, используемых в процессе подготовки СТС к применению, изменяются под воздействием различных факторов (внешняя среда, внутренние тепловые шумы электронных устройств, источники питающих напряжений), что приводит к методическим ошибкам определения технического состояния. Влияние этих факторов на средства измерения также приводит к их метрологическим отказам. В настоящей статье рассматриваются постепенные отказы, связанные с износом, старением элементов средств измерения, постепенным уходом погрешности измерений за границы допуска.

Время наступления постепенного отказа функционально связано с интенсивностью физических процессов, происходящих в работающем приборе. Учет влияния характеристик средств измерения приводит к повышению достоверности моделей обслуживания и процессов контроля технического состояния СТС, что в итоге способствует повышению эффективности процесса подготовки системы к применению. В работах [4—7] приведены модели, оценивающие влияние характеристик процесса контроля на надежность СТС, однако не рассмотрено влияние этих характеристик на простои СТС в неработоспособных состояниях.

Предлагаемая модель может служить инструментом поддержки принятия решений, например, при совершенствовании системы технического обслуживания уже используемого и (или) нового внедряемого оборудования СТС и средств контроля. Примененный подход отличается новизной и предусматривает следующее:

- учет достоверности, периодичности и продолжительности контроля технического состояния при оценивании времени простоев в неработоспособных состояниях СТС и показателя ее готовности в целом при наличии ошибок оценивания состояния, вызванных погрешностями измерений;

- возможность учета дополнительных состояний при проведении различных видов контроля (оперативный, полный, тестовый, функциональный и др.).

**Постановка задачи.** Рассмотрим функционирование некоторой системы контроля (СК), включающей СТС как объект контроля и средство контроля (рис. 1).



Рис. 1

В произвольный момент времени СТС находится в работоспособном состоянии  $S_1$  или неработоспособном состоянии  $S_2$ , подвергается со стороны средства контроля периодическому

контролю, в ходе которого на СТС оказываются воздействия (тестовые сигналы), а от СТС на средство контроля подаются измеряемые параметры, по которым определяется техническое состояние системы. Функционирование СК представляет собой множество событий (переходов). Событие, с одной стороны, есть переход СТС в определенный вид технического состояния ( $S_1, S_2$ ), который совершается при определенных условиях (значениях параметров СТС), а с другой — переход СК в следующие состояния: контроль работоспособного состояния ( $S_3$ ) или контроль неработоспособной СТС ( $S_4$ ). В этих состояниях СК возможны правильные и неправильные решения о переводе СТС в состояние восстановления работоспособности неработоспособной СТС ( $R_1$ ), эксплуатации неработоспособной СТС ( $R_2$ ), восстановления работоспособной СТС ( $R_3$ ) или перевод работоспособной СТС в режим штатной эксплуатации ( $R_4$ ). Модель СК представлена в виде кортежа:

$$M_{СК} = \langle S, T_{cp}, T_b, T_k, t_k, \alpha, \beta \rangle, \tag{1}$$

где  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_i | i \in \overline{1, k}\}$  — множество состояний (технические состояния СТС, состояния СК);  $T_{cp}$  — средняя наработка СТС на отказ;  $T_b$  — время восстановления работоспособности СТС;  $T_k$  и  $t_k$  — периодичность и время контроля технического состояния;  $\alpha$  — ошибка контроля первого рода: условная вероятность получения решения „неработоспособно“ при контроле СТС, находящейся в работоспособном состоянии;  $\beta$  — ошибка контроля второго рода: условная вероятность получения решения „работоспособно“ при контроле СТС, находящейся в неработоспособном состоянии.

Требуется определить зависимость коэффициента готовности системы от вариаций ошибок контроля технического состояния, вызванных неверным определением текущего состояния системы из-за деградации метрологических характеристик средств контроля.

**Допущение.** В отдельный момент времени возможен только один переход на множестве состояний  $S$ .

**Описание имитационной модели.** Процесс эксплуатации СТС [8, 9], учитывающий ее возможные состояния и процесс контроля, представим в виде направленного графа (рис. 2), где изображены состояния  $S_1—S_4$ , а также состояние  $S_5$  — поиск места отказа и восстановление СТС.

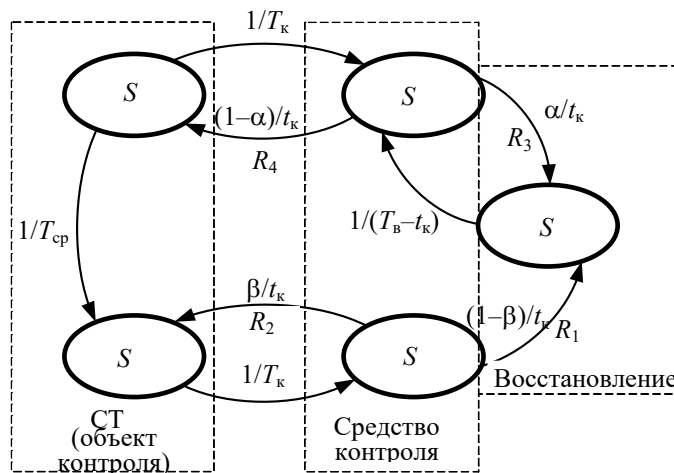


Рис. 2

Эксплуатация СТС начинается либо с работоспособного состояния  $S_1$ , либо с неработоспособного состояния  $S_2$  [10]. Переход из состояния  $S_1$  в состояние СК  $S_3$  осуществляется с интенсивностью  $1/T_k$ . При возникновении отказа в случайный момент времени происходит

переход из состояния  $S_1$  в состояние  $S_2$  с интенсивностью  $1/T_{cp}$ . Из состояния  $S_3$  при получении системой контроля результата „параметры в допуске“ происходит возврат в  $S_1$  с интенсивностью  $(1-\alpha)/t_k$ . Если же СК ложно получен результат „параметры не в допуске“, то осуществляется переход из состояния  $S_3$  в состояние  $S_5$  с интенсивностью  $\alpha/t_k$ . При неработоспособном состоянии  $S_2$  производится контроль неработоспособного состояния  $S_4$  с интенсивностью  $1/T_k$ . При выдаче системой контроля результата „параметры в допуске“ СТС остается в неработоспособном состоянии с интенсивностью  $\beta/t_k$  и переводится по результатам контроля в состояние  $S_2$ . Если отказ в состоянии  $S_4$  обнаруживается правильно, то осуществляется переход в состояние  $S_5$  с интенсивностью  $(1-\beta)/t_k$ . При восстановлении неисправного элемента СТС из состояния  $S_5$  осуществляется переход в  $S_3$  с интенсивностью  $1/(T_b - t_k)$ . Если восстановление СТС подтверждается контролем в состоянии  $S_3$ , то осуществляется возврат в состояние  $S_1$  с интенсивностью  $(1-\alpha)/t_k$ .

**Модель оценивания коэффициента готовности СТС.** Диаграмма состояний средства моделирования AnyLogic позволяет графически задать пространство состояний алгоритма поведения объекта и события, которые являются причинами срабатывания переходов из одних состояний в другие, а также действия, происходящие при смене состояний [11—13]. Средство моделирования AnyLogic дает возможность в процессе функционирования модели набрать статистические данные имитационной модели, что позволяет на основе этих данных определить зависимости коэффициента готовности СТС от различных характеристик процесса контроля технического состояния.

Графическое представление модели в среде AnyLogic состоит из диаграммы пяти состояний (рис. 3, скриншот), связанных между собой переходами, и совокупности переменных, задающих параметры условий переходов. На рис. 3 в правой части представлен интерфейс задания параметров: показатели достоверности при контроле технического состояния СТС (ошибки  $\alpha$  и  $\beta$ ) и временные параметры ( $T_{cp}$ ,  $T_k$ ,  $t_k$ ,  $T_b$ ); в нижней части — интерфейс вычисляемых в ходе моделирования параметров — времени пребывания  $t_i$ ,  $i = \overline{1,5}$ , в состояниях  $S_i$ ,  $i \in \overline{1,5}$ . Учет параметра  $t_i$  организуется за счет накопления интервалов времени по каждому входу и по каждому выходу из состояний.

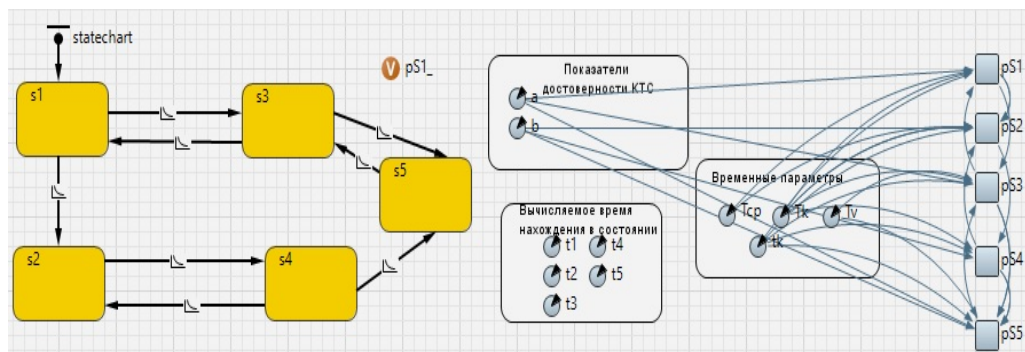


Рис. 3

На основе данных имитационной модели оценка коэффициента готовности СТС определяется как отношение

$$K_r = t_1 / \tau, \tag{2}$$

где  $t_1$  — суммарное время пребывания в состоянии  $S_1$  за время моделирования  $\tau$ ,  $\tau$  — суммарное время пребывания в состояниях  $S_1—S_5$ .

Для подтверждения достоверности имитационной модели получим аналитическое выражение зависимости коэффициента готовности СТС от характеристик процесса контроля технического состояния на основе марковской модели графа, представленного на рис. 2. В стационарном режиме марковский процесс графа состояний можно описать системой алгебраических уравнений

$$\left. \begin{aligned} -\left(\frac{1}{T_{\text{cp}}} + \frac{1}{T_{\text{к}}}\right) P_{S_1} + \frac{1-\alpha}{t_{\text{к}}} P_{S_3} &= 0; \\ -\frac{1}{T_{\text{к}}} P_{S_2} + \frac{1}{T_{\text{cp}}} P_{S_1} + \frac{\beta}{t_{\text{к}}} P_{S_4} &= 0; \\ -\left(\frac{1-\alpha}{t_{\text{к}}} + \frac{\alpha}{t_{\text{к}}}\right) P_{S_3} + \frac{1}{T_{\text{к}}} P_{S_1} + \frac{1}{T_{\text{в}}-t_{\text{к}}} P_{S_5} &= 0; \\ -\left(\frac{\beta}{t_{\text{к}}} + \frac{1-\beta}{t_{\text{к}}}\right) P_{S_4} + \frac{1}{T_{\text{к}}} P_{S_2} &= 0; \\ -\frac{1}{T_{\text{в}}-t_{\text{к}}} P_{S_5} + \frac{\alpha}{t_{\text{к}}} P_{S_3} + \frac{1-\beta}{t_{\text{к}}} P_{S_4} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В представленной системе уравнение  $P_{S_1} + P_{S_2} + P_{S_3} + P_{S_4} + P_{S_5} = 1$  является нормирующим (проверочным). Так как  $P_{S_1}$  — вероятность пребывания СТС в работоспособном состоянии в произвольный момент времени в процессе ее эксплуатации, то значение вероятности  $P_{S_1}$  есть оценка коэффициента  $K_{\Gamma}$ , определяемая как  $K_{\Gamma} = P_{S_1} / \sum_{i=1}^5 P_{S_i}$ .

Решив систему уравнений (3), получим

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{\text{к}}}{\frac{1}{1-\beta} T_{\text{к}}^2 + \left(1 + \frac{(T_{\text{в}}-t_{\text{к}})/T_{\text{cp}} + t_{\text{к}}/T_{\text{cp}}}{1-\alpha}\right) T_{\text{к}} + \frac{T_{\text{в}}}{1-\alpha} - (T_{\text{в}}-t_{\text{к}})}. \quad (4)$$

**Результаты экспериментов.** Исходные данные для проведения эксперимента:  $T_{\text{cp}} = 500$  ч,  $T_{\text{в}} = 2$  ч,  $T_{\text{к}} = 10$  ч,  $t_{\text{к}} = 0,2$  ч. Выходные параметры имитационной модели СТС — суммарное время пребывания системы в каждом из состояний  $S_1—S_5$ : ( $t_1 \dots t_5$ ).

После проведенных экспериментов оценки коэффициента  $K_{\Gamma}$  по имитационной и аналитической моделям отличаются только в начальном периоде моделирования, что объясняется переходным процессом (накопление достаточных данных). Таким образом, можно утверждать, что с помощью разработанной имитационной модели получены результаты, совпадающие с результатами вычислений по аналитической модели. Это подтверждает достоверность полученных моделей и возможность их применения в дальнейших исследованиях.

На рис. 4 показана полученная на основе имитационной модели поверхность, отображающая зависимость коэффициента готовности СТС от показателей  $\alpha$  и  $\beta$ . Достоверность контроля задается изменением вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода от 0 до 1. Областью допустимых значений достоверности контроля технического состояния, при которых коэффициент готовности СТС удовлетворяет заданным требованиям (превышает площадь критерияльной поверхности „требуемое значение  $K_{\Gamma}$ “), является проекция области над пересечением двух поверхностей.

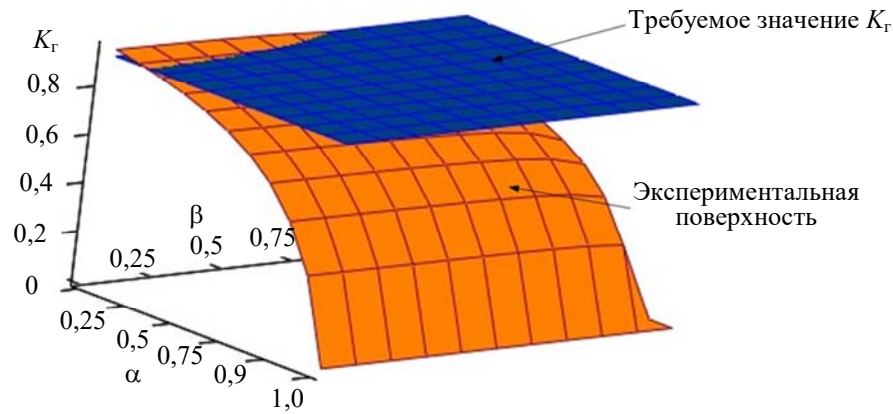


Рис. 4

Анализ соотношения (4) и полученных поверхностей позволяет сделать следующий вывод: при заданных параметрах надежности СТС контроль технического состояния мало эффективен с точки зрения обеспечения требуемого значения коэффициента  $K_r$  при больших ошибках контроля. Требуемое значение коэффициента  $K_r$  можно обеспечить за счет варьирования показателей надежности системы и определения оптимальной периодичности  $T_k$ , используя аналитическую модель. Для этого приравняем частную производную выражения (4) по  $T_k$  нулю:

$$\frac{d(K_r(T_k))}{dT_k} = 0,$$

и решим это уравнение относительно  $T_k$ . При найденном оптимальном значении  $T_k = 281,62$  ч значение коэффициента готовности СТС достигает уровня  $K_r(T_k) = 0,94$ .

На рис. 5 представлена поверхность, отображающая зависимость коэффициента готовности СТС от времени контроля технического состояния. Критериальная область значений этих параметров, удовлетворяющих требуемому значению  $K_r$ , соответствует области над пересечением представленных поверхностей.

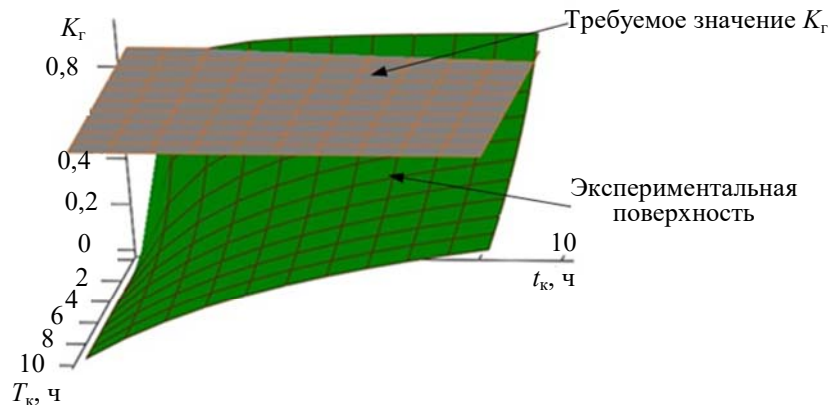


Рис. 5

**Заключение.** Применение методов программного моделирования процессов оценивания готовности СТС в среде AnyLogic позволяет оперативно произвести расчеты и выбрать приемлемые значения показателей обслуживания системы для достижения требуемых значений коэффициента ее готовности.

Результаты моделирования на основе разработанных моделей дают возможность перейти к решению широкого спектра прикладных задач, к которым можно отнести:

— разработку перспективных и доработку существующих СТС с учетом вероятностно-временных параметров контроля технического состояния;

— формирование требований к метрологическим характеристикам средств контроля и показателям контроля СТС в целом, обеспечивающим необходимый уровень коэффициента готовности СТС.

На основе развития предложенной имитационной модели может быть обеспечен более глубокий уровень детализации моделируемых процессов. Можно учитывать различные режимы эксплуатации сложных технических комплексов, деградации характеристик СТС и метрологических характеристик средств контроля. Дальнейшее развитие имитационной и аналитической моделей может быть связано также с расширением перечня оцениваемых затрат и переводом затрат, вызванных ошибками контроля, в область экономических показателей и показателей рисков в каждом из возможных состояний в ходе эксплуатации расширенной системы „СТС — средства контроля“. Представление СТС как многоканальной системы позволит оптимизировать совместный синтез элементов такой расширенной системы, обеспечивающий оптимальное сочетание показателей избыточности СТС и показателей контроля технического состояния системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копейка А. Л., Дорожко И. В., Осипов Н. А. Имитационная модель оценивания коэффициента готовности сложных технических комплексов с учетом показателей контроля и диагностирования технического состояния // Тр. Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. СПб, 2019. № 652. С. 303—313.
2. Захарова Е. А., Дорожко И. В., Копейка А. Л. Имитационная модель для оценивания показателей надежности сложных технических комплексов с учетом показателей контроля и диагностирования // Изв. ТулГУ. 2018. № 10. С. 490—498.
3. Аверьянов А. В., Барановский А. М., Эсаулов К. А. Определение пределов аппаратной избыточности информационных управляющих систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 3. С. 23—25.
4. Захарова Е. А., Копейка А. Л., Кузнецов А. Б., Шавин А. С. Модель прогнозирования надежности автоматизированных систем с учетом этапов эксплуатации // Изв. ТулГУ. 2018. № 10. С. 424—430.
5. Лубков Н. В., Спиридонов И. Б., Степаняц А. С. Влияние характеристик контроля на показатели надежности систем // Тр. МАИ. 2016. № 85.
6. Захарова Е. А., Привалов А. Е., Дорожко И. В., Копейка А. Л. Имитационная модель оценивания коэффициента готовности сложных технических систем с учетом характеристик процесса диагностирования // Тр. МАИ. 2018. № 103.
7. Захарова Е. А., Барановский А. М. Модель оценивания готовности сложных технических систем с учетом показателей качества диагностирования // Тр. Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. 2019. № 669. С. 124—132.
8. Боев В. Д. Компьютерное моделирование. Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic 7. СПб, 2014. 432 с.
9. Зверев Г. Я. Оценка надежности изделия в процессе эксплуатации. М.: Ленанд, 2010. 96 с.
10. Дорожко И. В., Тарасов А. Г., Барановский А. М. Оценка надежности структурно-сложных технических комплексов с помощью моделей байесовских сетей доверия в среде GeNIe // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2015. № 3. С. 36—45.
11. Любченко А. А. Применение имитационного моделирования для определения вероятностных характеристик комплексных показателей надежности радиотехнических систем // Наука и современность. 2010. № 5—2. С. 246—251.
12. Якимов И. М., Кирпичников А. П., Мокин В. В. Моделирование сложных систем в имитационной среде AnyLogic // Вестн. Казан. технолог. ун-та. 2014. № 13. С. 352—357.
13. Витюк В. Л., Гузенко В. Л., Миронов Е. А., Севостьянов Д. А., Шестопалова О. Л. Модель для расчета показателей качества функционирования системы технического обслуживания и ремонта сети связи // Фундаментальные исследования. 2015. № 5—3. С. 493—498.

- Сведения об авторах**
- Екатерина Алексеевна Копейка** — канд. техн. наук; ВКА им. А. Ф. Можайского, Военный институт (научно-исследовательский); ст. научный сотрудник; E-mail: Mashenkokatay@mail.ru
- Александр Леонидович Копейка** — канд. техн. наук; ВКА им. А. Ф. Можайского, Военный институт (научно-исследовательский); начальник лаборатории; E-mail: vka@mail.ru
- Анатолий Михайлович Барановский** — канд. техн. наук, доцент; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения; ст. преподаватель; E-mail: vka@mail.ru

Поступила в редакцию 24.05.2022; одобрена после рецензирования 30.06.2022; принята к публикации 30.07.2022.

#### REFERENCES

1. Kopeika A.L., Dorozhko I.V., Osipov N.A. *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*, St. Petersburg, 2019, no. 652, pp. 303–313. (in Russ.)
2. Zakharova E.A., Dorozhko I.V., Kopeika A.L. *News of the Tula State University. Technical Sciences*, 2018, no. 10, pp. 490–498. (in Russ.)
3. Averyanov A.V., Baranovsky A.M., Esaulov K.A. *Journal of Instrument Engineering*, 2014, no. 3(57), pp. 23–25. (in Russ.)
4. Zakharova E.A., Kopeika A.L., Kuznetsov A.B., Shavin A.S. *News of the Tula State University. Technical Sciences*, 2018, no. 10, pp. 424–430. (in Russ.)
5. Lubkov N.V., Spiridonov I.B., Stepanyants A.S. *Trudy MAI*, 2016, no. 85. (in Russ.)
6. Zakharova E.A., Privalov A.E., Dorozhko I.V., Kopeika A.L. *Trudy MAI*, 2018, no. 103. (in Russ.)
7. Zakharova E.A., Baranovsky A.M. *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*, 2019, no. 669, pp. 124–132. (in Russ.)
8. Boyev V.D. *Komp'yuternoye modelirovaniye. Posobiye dlya prakticheskikh zanyatiy, kursovogo i diplomnogo proyektirovaniya v AnyLogic 7* (Computer Modelling. Handbook for Practical Training, Course and Diploma Design in AnyLogic 7), St. Petersburg, 2014, 432 p. (in Russ.)
9. Zverev G.Ya. *Otsenka nadezhnosti izdeliya v protsesse ekspluatatsii* (Assessment of Product Reliability during Operation), Moscow, 2010, 96 p. (in Russ.)
10. Dorozhko I.V., Tarasov A.G., Baranovsky A.M. *Intellectual Technologies on Transport*, St. Petersburg, 2015, no. 3, pp. 36–45. (in Russ.)
11. Lyubchenko A.A. *Nauka i sovremennost'*, 2010, no. 5-2, pp. 246–251. (in Russ.)
12. Yakimov I.M., Kirpichnikov A.P., Mokshin V.V. *Bulletin of Kazan Technological University*, 2014, no. 13, pp. 352–357. (in Russ.)
13. Vityuk V.L., Guzenko V.L., Mironov E.A., Sevostyanov D.A., Shestopalova O.L. *Basic Research*, 2015, no. 5–3, pp. 493–498. (in Russ.)

#### Data on authors

- Ekaterina A. Kopeyka** — PhD; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Military Research Institute; Senior Researcher; E-mail: Mashenkokatay@mail.ru
- Alexander L. Kopeyka** — PhD; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Military Research Institute; Head of the Laboratory; E-mail: vka@mail.ru
- Anatoly M. Baranovsky** — PhD, Associate Professor; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Automated Systems for the Preparation and Launch of Space Rockets; Senior Lecturer; E-mail: vka@mail.ru

Received 24.05.2022; approved after reviewing 30.06.2022; accepted for publication 30.07.2022.