

ОБОБЩЕНИЕ ПОНЯТИЯ РЕСУРСА НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА Н. М. СЕДЯКИНА

В. А. Смагин¹, Р. О. Лавров², С. Ф. Литвиненко³

^{1,2,3} Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия
¹ va_smagin@mail.ru, ² 9432923@mail.ru, ³ 89818438422@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Статья посвящена 100-летию со дня рождения профессора Н. М. Седякина, который является пионером в области теории надежности. Им впервые сформулирован основной закон теории надежности, который гласит, что надежность системы зависит от величины выработанного ею ресурса надежности и не зависит от того, как он был выработан. *Материалы и методы.* В работе рассматриваются измерительные системы, метрологические комплексы с аппаратным и программным. Показано, что 80-е годы прошлого века были годами рождения и развития надежности программных средств. При этом работы в области надежности сложной техники были связаны с повышением надежности. *Результаты.* Показано, что величина выработанного полного ресурса работоспособности программного обеспечения наблюдается тем меньше, чем большее значение у предварительно введенного потенциального ресурса. Важно отметить, что существует прямая зависимость величины потенциального ресурса, введенного до применения программного обеспечения, и способности сохранять величину вырабатываемого ресурса. *Выводы.* Предложено количественное обобщение частных показателей надежности в один общий показатель – ресурс работоспособности объекта, а также даны рекомендации по его дальнейшему использованию на различных этапах жизненного цикла информационно-измерительных систем.

Ключевые слова: надежность, ресурс, информационно-измерительная система, программные средства, работоспособность, обобщенный показатель надежности

Для цитирования: Смагин В. А., Лавров Р. О., Литвиненко С. Ф. Обобщение понятия ресурса надежности информационно-измерительных систем на основе принципа Н. М. Седякина // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 4. С. 40–47. doi:10.21685/2307-4205-2022-4-5

GENERALIZATION OF THE CONCEPT OF RELIABILITY RESOURCE INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS BASED ON THE PRINCIPLE OF N.M. SEDYAKIN

V.A. Smagin¹, R.O. Lavrov², S.F. Litvinenko³

^{1,2,3} Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky, Saint Petersburg, Russia
¹ va_smagin@mail.ru, ² 9432923@mail.ru, ³ 89818438422@mail.ru

Abstract. *Background.* The article is dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor N.M. Sedyakin, who is a pioneer in the field of reliability theory. He was the first to formulate the basic law of the theory of reliability, which states that the reliability of a system depends on the value of the reliability resource developed by it and does not depend on how it was developed. *Materials and methods.* The paper deals with measuring systems, metrological complexes with hardware and software. It is shown that the 80s of the last century were the years of the birth and development of software reliability. At the same time, work in the field of reliability of complex equipment was associated with an increase in reliability. *Results.* It is shown that the value of the developed full resource of software operability is observed the less, the greater the value of its previously introduced potential resource. It is important to note that there is a direct relationship between the value of the potential resource introduced before the application of the software and the ability to maintain the value of the produced resource. *Conclusions.* A quantitative generalization of private indicators of reliability into one general indicator is proposed - the resource of the object's operability, and recommendations are given for its use and further at various stages of the life cycle of information-measuring systems.

Keywords: reliability, resource, information-measuring system, software, performance, generalized indicator of reliability

For citation: Smagin V.A., Lavrov R.O., Litvinenko S.F. Generalization of the concept of reliability resource information and measurement systems based on the principle of N.M. Sedyakin. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems*. 2022;(4):40–47. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2022-4-5

Введение

19 апреля 2022 г. исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося ученого, доктора технических наук, профессора Николая Михайловича Седякина, начальника кафедры эксплуатации автоматизированных систем управления и связи Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского (в настоящее время кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники), известного ученого в теории случайных импульсных потоков, теории эксплуатации сложных систем и теории надежности. В 1965 г. им сделан доклад на тему «Об одном физическом принципе теории надежности и его приложениях», а 1966 г. опубликована статья в журнале «Известия АН СССР. Техническая кибернетика» [1]. Сущность его работы сводится к тому, что им впервые сформулирован основной закон теории надежности, который гласит, что надежность системы зависит от величины выработанного ею ресурса надежности и не зависит от того, как он был выработан. Ресурс надежности количественно определяется в виде

$$r(t, \varepsilon) = \int_0^t \lambda(z, \varepsilon) dz, \quad (1)$$

где $\lambda(t, \varepsilon)$ – интенсивность отказа системы, работающей в течение времени t в условиях физического нагружения ε .

Закон многократно проверялся экспериментально на различных технических элементах и устройствах, и было установлено, что он выполнялся при недостаточно сильных физических нагружениях. Но при сильных нагружениях его выполнение не наблюдалось. Тем не менее на основе этого закона было написано большое количество научных работ по теории надежности, и он использовался при ускоренных и форсированных испытаниях элементов и систем на надежность.

В работе [2] представлен ряд научных исследований и опубликовано предложение с теоретическим обобщением закона. Сущность этого предложения заключалась в необходимости учета при расчетах надежности перепадов величин нагружений и времени их наблюдения. Если ранее вероятность безотказной работы объекта определялась по формуле

$$P(t, \varepsilon) = e^{-\int_0^t \lambda(z, \varepsilon) dz}, \quad (2)$$

то после теоретического обобщения было рекомендовано вводить относительное условное нагружение и выполнять расчеты надежности с применением не только интегральной формы расчета (2), но и с переходом к интегрально-дифференциальной форме расчета.

В качестве объекта применения в данной статье рассмотрим измерительные системы, метрологические комплексы с аппаратным и программным обеспечением или информационно-измерительные системы (ИИС), предназначенные для получения измерительной информации о значениях различных параметров аппаратуры военного и гражданского назначения [4].

Надежность программного обеспечения и формула D. Musa

Если 60-е гг. прошлого столетия были годами появления и становления теории надежности аппаратных средств, то 80-е гг. были годами рождения и развития надежности программных средств. Конечно, доработки на технике были связаны с повышением надежности и готовности на первом этапе развития этой науки. Но они не были столь характерными, как на втором этапе развития, а именно, периоде развития надежности программного обеспечения. Поэтому первый характеризуется появлением понятия ресурса надежности и формулы Н. М. Седякина для него, второй этап характеризуется появлением модели доработок в программном обеспечении в виде тестирования и формулы D. Musa для него [5].

В своей работе D. Musa показал, какого эффекта в надежности программного обеспечения можно достичь, если до его применения по назначению многократно подвергать тестированию с целью обнаружения и устранения дефектов в нем. Он предложил простейшую математическую модель расчета безошибочности работы программного обеспечения с учетом его предварительного

тестирования до использования по назначению [5]. Если воспользоваться понятием ресурса надежности Н. М. Седякина, то в обобщенном виде можно записать выражение для вероятности его безошибочного функционирования:

$$P(r, \rho) = e^{-r} \cdot e^{-\rho}, \quad (3)$$

где r – обычный ресурс надежности программного обеспечения после его изготовления; ρ – ресурс, потраченный на предварительное тестирование. Используя временные обозначения для времени использования программного обеспечения по назначению t и времени его тестирования τ , можно записать

$$P(t, \tau) = e^{-\int_0^t \lambda(z) dz} \cdot e^{-\int_0^{\tau} \nu(z) dz}, \quad (4)$$

где λ – интенсивность возникновения ошибки в программном коде; ν – интенсивность обнаружения и устранения дефекта в программном обеспечении при его тестировании до применения.

Если ранее вероятность безошибочной работы программного обеспечения обозначали как $P(t)$ и называли ее безотказностью, то в условиях получения формулы (4) будем вероятность $P(t, \tau)$ называть вероятностью работоспособности программы. С ней свяжем понятие ресурса $r(t, \tau)$ работоспособности программы, который в отличие от ресурса надежности будем понимать так:

$$r(t, \tau) = \int_0^t \lambda(z) dz + \int_0^{\tau} \nu(z) dz. \quad (5)$$

В приведенных выражениях временные показатели надежности (работоспособности) следует сопровождать показателями условий их получения или, точнее, физического нагружения, как это, например, делается в формуле ресурса надежности введением величины нагружения ε .

Исследование влияния процесса тестирования программного обеспечения информационно-измерительных систем на их работоспособность

Расчет надежности программного обеспечения рассматривается как один из возможных объектов расчета надежности в сложных технических системах. Рассмотрим упражнение в виде выполнения численных расчетов простого примера программного обеспечения ИИС с применением обобщенной формулы D. Musa с целью ее графического представления. Итак, мы имеем выражение для определения вероятности безошибочного функционирования программного обеспечения:

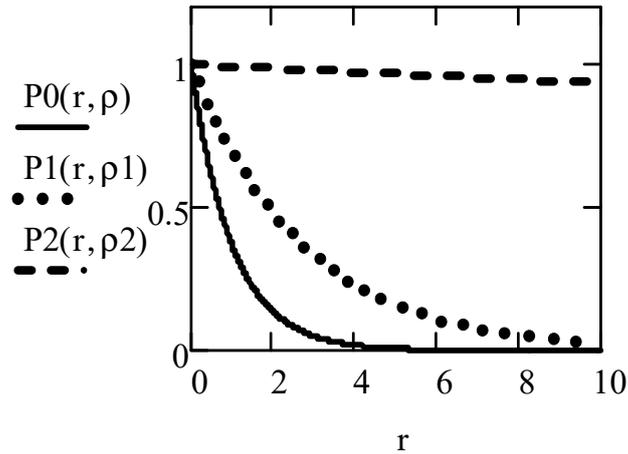
$$P(r, \rho) = e^{-r} \cdot e^{-\rho}, \quad (6)$$

где r – ресурс надежности программного кода в смысле Н. М. Седякина; ρ – дополнительный потенциальный ресурс работоспособности, вводимый в разработанную программу в процессе ее предварительных доработок или тестирования. Формальное количественное представление ρ выражается так же, как и ресурс r , но имеет совершенно другое смысловое содержание.

В выполняемом примере полагаем, что значения r изменяются непрерывно в некотором диапазоне значений, а значения ρ принимают значения $\rho = 0, \rho_1 = 1, \rho_2 = 5$. При этих значениях ρ вероятности успешной работоспособности, соответственно, принимают следующие выражения:

$$P_0(r, \rho) = e^{-r} e^{-\rho}, P_1(r, \rho_1) = e^{-r} e^{-\rho_1}, P_2(r, \rho_2) = e^{-r} e^{-\rho_2}. \quad (7)$$

На рис. 1 представлены вероятности (7). Из данного рисунка следует, что вероятность сохранения успешной работоспособности программного обеспечения в зависимости от величины предварительно введенного потенциального ресурса ρ до начала его применения возрастает с его увеличением.


 Рис. 1. Характер изменения вероятностей $P(0)$, $P(1)$, $P(2)$

Далее рассмотрим зависимость полного ресурса работоспособности программного обеспечения от ресурса надежности Н. М. Седякина при различных значениях введенного потенциального ресурса.

Полный ресурс работоспособности программного обеспечения представляется следующими выражениями:

$$R(r, \rho) = r \cdot e^{-\rho}, \quad R(t, \tau) = \left(\int_0^t \lambda(z) dz \right) \cdot e^{-\int_0^{\tau} \mu(u) du}. \quad (8)$$

Рассмотрим три значения величины полного ресурса работоспособности программного обеспечения при указанных выше значениях потенциального ресурса $\rho = 0, \rho_1 = 1, \rho_2 = 5$ по первой формуле из (7).

Они представляются такими выражениями:

$$R0(r) = re^{-\rho}, \quad R1(r) = re^{-\rho_1}, \quad R2(r) = re^{-\rho_2}. \quad (8)$$

На рис. 2 представлены графики зависимостей (8).

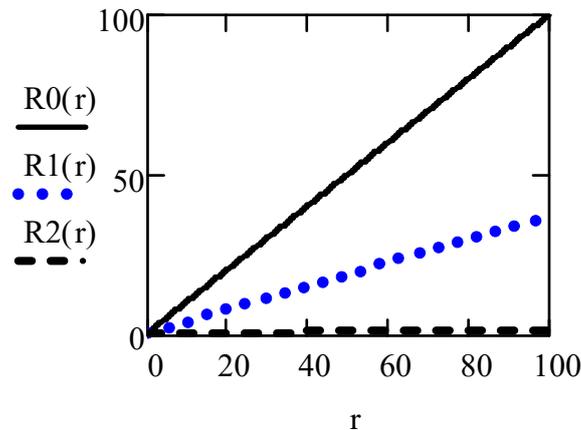


Рис. 2. Изменение полного ресурса работоспособности программного обеспечения

Они позволяют сделать вывод о том, что в зависимости от значения величины ресурса надежности Н. М. Седякина программного обеспечения значения полного ресурса его работоспособности увеличиваются. Это определяется тем, что величина выработанного программного обеспечения ресурса увеличивается. При этом величина выработанного полного ресурса работоспособности про-

граммного обеспечения наблюдается тем меньше, чем большее значение у него предварительно введенного потенциального ресурса. Иначе можно утверждать, что чем больше величина предварительно введенного в него потенциального ресурса до применения программного обеспечения по назначению, тем больше у него способность сохранять меньшую величину вырабатываемого его ресурса при эксплуатации. Для простоты восприятия эффекта рассмотрим простой расчетный пример. Пусть величина ресурса надежности изготовленного программного обеспечения (ресурса Н. М. Седякина) без его профилактического обслуживания (тестирования) равна $r = 0,5$. Рассмотрим, какой результат мы получим, если будем вводить в него потенциальный ресурс величиной ρ . На рис. 3 показана зависимость вероятности успешной реализации программного обеспечения в данном случае, которая вычислена по формуле

$$P(r, \rho) = e^{-re^{-\rho}}, \quad (10)$$

где $r = 0,5$, $\rho = 0, 0,1, \dots, 10$.

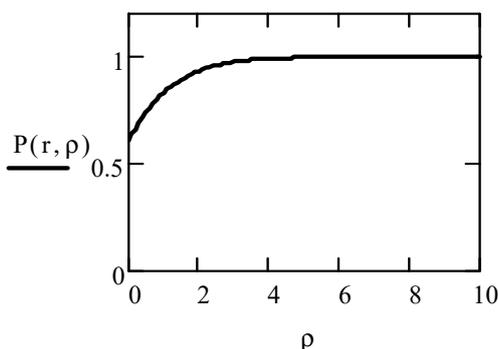


Рис. 3. Зависимость вероятности реализации

Обобщение понятия ресурса надежности Н. М. Седякина на основе вероятностной модели D. Musa до понятия ресурса работоспособности современных информационно-измерительных систем и его значение

Подведем условный вывод о кратком поэтапном развитии теории надежности, представленном в виде дух последовательных этапов, соответствующих появлению двух количественных характеристик или показателей Н. М. Седякина и D. Musa. Надежность – это свойство объекта сохранять его работоспособность в определенных условиях в течение определенного времени [1]. Имевшееся ранее различие к подходу теории надежности в формах математического и физического считаем несущественным, так как они преследовали одну и ту же цель и только дополняли и обогащали друг друга.

На первом этапе развития теории надежности профессор Н. М. Седякин предложил обобщенный интегральный показатель надежности технических систем, названный им ресурсом надежности на основе существования реальных физических и вероятностных (статистических) данных.

На втором этапе развития теории надежности, связанном с такими процессами, как доработка объектов по выявлению и устранению дефектов техники до ее применения по назначению, а также тестирование сложных программных средств, зарубежный ученый D. Musa предложил новую математическую модель, включающую количественный учет дополнительного экспериментального исследования объектов с целью повышения их работоспособности в процессе применения по назначению.

Рассмотрение двух совместных этапов количественного оценивания надежности аппаратных и программных средств позволило нам ввести обобщенный показатель работоспособности в виде формулы (5). С нашей точки зрения этот показатель может быть применен и для информационно-измерительных систем [6]. Действительно, данные системы в определенных условиях реализации различных этапов жизненного цикла определяются конечным статистическим (вероятностным) ресурсом. Его можно определить количественно в смысле ресурса надежности Н. М. Седякина. Работоспособность при данном ресурсе будет существенно зависеть от режима эксплуатации, проведения текущего ремонта и технического обслуживания объектов.

Как можно трактовать рассматриваемый обобщенный показатель работоспособности программного обеспечения информационно-измерительных систем? Предприятия промышленности

производят информационно-измерительные системы с определенным ресурсом надежности. Этот ресурс количественно статистически конечен из-за воздействия внешних и внутренних факторов. Выбирая жизненную стратегию, переходя ко второму этапу, он может управлять величиной потенциально вводимого ресурса работоспособности, вводя «доработки» и «процесс тестирования и устранения» этим некоторых определенных нежелательных событий жизни информационно-измерительных систем. В формуле (5) введен в показателе степени у ресурса надежности Седякина Н. М. множитель e^{-p} , означающий уменьшение утраченного ресурса надежности Седякина Н. М. тем больше, чем больше величина введенного предварительно потенциального ресурса. Физически это означает прореживание существующих вредоносных событий по мере введения значения и величины потенциального ресурса. Величина этого потенциального ресурса уже не может содержать дополнительного экспоненциального множителя, который мог бы только реально ухудшить ситуацию с наступлением новых по времени этапов жизненного цикла информационно-измерительных систем. Величина этого потенциального ресурса может быть представлена только суммой частных составляющих потенциального ресурса, вводимых в процессе его эксплуатации. Формально это представимо так:

$$\rho = \sum_{i=1}^{\hat{n}} \rho_i, \quad (11)$$

где \hat{n} – случайное число событий; ρ_i – величина частного жизненного ресурса. Если бы мы ввели величину для множителя показателя ресурса ρ в виде $e^{+\gamma}$, то пришли бы к нереальному выводу о единичной вероятности эксплуатации объекта. Если ρ представить в виде суммы частных ресурсов, то это может позволить решать новые, реальные для работоспособности информационно-измерительных систем задачи обеспечения его работоспособности с учетом различных затрат и факторов жизненного цикла.

Заключение

В статье выделено двухэтапное событие, имевшее место в процессе развития теории надежности систем. Первый этап связан с введением Седякиным Н. М. понятия ресурса надежности объекта как основного показателя надежности систем, который объект имеет и вырабатывает во время применения по назначению.

Второй этап связан с явлением увеличения продолжительности действия объекта за счет устранения его возможных отказов и дефектов благодаря доработкам технического объекта и тестирования функционирования программного обеспечения объекта перед применением по назначению.

На основе выделения этих двух этапов предложено количественное обобщение их частных показателей в один общий показатель – ресурс работоспособности объекта. Выполнено исследование свойств этого показателя и предложены рекомендации по его использованию и дальнейшему развитию в стратегиях реализации исправного технического состояния на различных этапах жизненного цикла информационно-измерительных систем с целью повышения их работоспособности.

Список литературы

1. Седякин Н. М. Об одном физическом принципе теории надежности // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1966. № 3. С. 80–87.
2. Смагин В. А. Обобщение физического принципа теории надежности профессора Н. М. Седякина // Информатика и космос. 2006. № 3. С. 71–78.
3. Смагин В. А. Модели оценивания надежности элементов на основе форсирования испытаний // Техническая синергетика. Вероятностные модели сложных систем : монография. СПб., 2004. 171 с.
4. Смагин В. А., Лавров Р. О., Пихтов А. И. Информационный подход оценивания точности метрологических систем // Информатика и космос. 2010. № 1. С. 42–44.
5. Полтавский А. В., Тюгашев А. А., Юрков Н. К. Оптимизация информационно-измерительной системы беспилотного воздушного судна // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 4. С. 44–55.
6. Musa J. A theory of software reliability and its application // IEEE Trans. on software Eng. 1975. Vol. SE-1. P. 312–327.

7. Смагин В. А., Лавров Р. О., Богданец А. В., Ширямов О. А. Расчет показателя вероятности выполнения измерительной задачи информационно-измерительной системой с временной избыточностью // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9, № 4. С. 42–47.
8. Ильин А. С., Плаксунов Р. Ф., Юрков Н. К. [и др.]. Модель обеспечения комплексной защиты информационно-измерительной системы поверки киловольтметров // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 2. С. 220–221.
9. Рыбаков И. М., Юрков Н. К., Баннов В. Я. Информационно-измерительная система на основе кибернетического модуля дистанционной коммутационной сети // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 2. С. 77–80.

References

1. Sedyakin N.M. On one physical principle of reliability theory. *Izvestiya AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika = Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Technical cybernetics*. 1966;(3):80–87. (In Russ.)
2. Smagin V.A. Generalization of the physical principle of the reliability theory of Professor N.M. Sedyakin. *Informatsiya i kosmos = Information and Cosmos*. 2006;(3):71–78. (In Russ.)
3. Smagin V.A. Models for estimating the reliability of elements based on forcing tests. *Tekhnicheskaya sinergetika. Veroyatnostnye modeli slozhnykh sistem: monografiya = Technical Synergetics. Probabilistic models of complex systems : monograph*. Saint Petersburg, 2004:171. (In Russ.)
4. Smagin V.A., Lavrov R.O., Pikhtov A.I. Informational approach to assessing the accuracy of metrological systems. *Informatsiya i kosmos = Information and Cosmos*. 2010;(1):42–44. (In Russ.)
5. Poltavskiy A.V., Tyugashev A.A., Yurkov N.K. Optimization of the information and measurement system of an unmanned aircraft. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2021;(4):44–55. (In Russ.)
6. Musa J.A theory of software reliability and its application. *IEEE Trans. on software Eng.* 1975;SE-1:312–327.
7. Smagin V.A., Lavrov R.O., Bogdanets A.V., Shiryamov O.A. Calculation of the probability of performing a measuring task by an information-measuring system with time redundancy. *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli = High-tech technologies in space exploration of the Earth*. 2017;9(4):42–47. (In Russ.)
8. Il'in A.S., Plaksunov R.F., Yurkov N.K. et al. A model for providing integrated protection of an information and measuring system for checking kilovoltmeters. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2022;2:220–221. (In Russ.)
9. Rybakov I.M., Yurkov N.K., Bannov V.Ya. Information and measurement system based on a cybernetic module of a remote switching network. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2022;2:77–80. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Александрович Смагин

доктор технических наук, профессор,
 профессор кафедры метрологического обеспечения
 вооружения, военной и специальной техники,
 Военно-космическая академия
 имени А. Ф. Можайского
 (Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
 E-mail: va_smagin@mail.ru

Роман Олегович Лавров

кандидат технических наук, доцент,
 заместитель начальника кафедры
 метрологического обеспечения вооружения,
 военной и специальной техники,
 Военно-космическая академия
 имени А. Ф. Можайского
 (Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
 E-mail: 9432923@mail.ru

Vladimir A. Smagin

Doctor of technical sciences, professor,
 professor of the sub-department of metrological support
 of weapons, military and special equipment,
 Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky
 (13 Zhdanovskaya street, Saint Petersburg, Russia)

Roman O. Lavrov

Candidate of technical sciences, associate professor,
 deputy head of the sub-department of metrological
 support of weapons, military and special equipment,
 Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky
 (13 Zhdanovskaya street, Saint Petersburg, Russia)

Сергей Федорович Литвиненко

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры метрологического обеспечения
вооружения, военной и специальной техники,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: 89818438422@mail.ru

Sergey F. Litvinenko

Candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the sub-department
of metrological support of weapons,
military and special equipment,
Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky
(13 Zhdanovskaya street, Saint Petersburg, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 17.05.2022

Поступила после рецензирования/Revised 13.06.2022

Принята к публикации/Accepted 04.07.2022