

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА МНОГОКАНАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЕЕ НАДЕЖНОСТИ

В. И. Мищенко¹, С. С. Верхушин²

^{1,2} Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

^{1,2} vka@mil.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Применение многоканальной измерительной системы (ИС) наземного технологического оборудования по назначению предполагает реализацию измерительных процедур, выполнение и (или) управление выполнением измерений параметров систем ракет космического назначения и бортовой аппаратуры космических аппаратов на техническом и стартовом комплексах с оценкой их значений, с нормированной точностью, в связи с этим ИС отнесена к средствам измерений. *Материалы и методы.* Разработана модель процесса функционирования измерительного канала (ИК) многоканальной измерительной системы при ограниченной информации о ее надежности, позволяющая обеспечить обоснование параметров стратегии метрологического обслуживания, в частности интервал между поверками при гарантированной величине коэффициента готовности, и комплексно учесть влияние на надежность ИК ИС основных параметров, от которых она зависит. *Результаты и выводы.* Определено, что использование данной модели с применением аппарата континуального линейного программирования на этапе проектирования ИК ИС является одним из перспективных направлений обоснования величины интервала между поверками ИК ИС и расчета показателя эффективности функционирования ИС.

Ключевые слова: измерительный канал, многоканальная измерительная система, интервал между поверками, метрологическая надежность

Для цитирования: Мищенко В. И., Верхушин С. С. Модель процесса функционирования измерительного канала многоканальной измерительной системы при ограниченной информации о ее надежности // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2025. № 3. С. 16–22. doi: 10.21685/2307-5538-2025-3-2

A MODEL OF THE PROCESS OF FUNCTIONING OF A MULTICHANNEL MEASURING SYSTEM OF GROUND-BASED TECHNOLOGICAL EQUIPMENT WITH LIMITED INFORMATION ABOUT ITS RELIABILITY

V.I. Mishchenko¹, S.S. Verkhushin²

^{1,2} Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg, Russia

^{1,2} vka@mil.ru

Abstract. *Background.* The use of a multi-channel measuring system (MS) for ground-based technological equipment for its intended purpose involves the implementation of measurement procedures, the execution and (or) control of measurements of the parameters of space-purpose rocket systems and onboard equipment of spacecraft at the technical and launch complexes, with the evaluation of their values and the required accuracy. Therefore, the IS is classified as a measuring instrument. *Materials and methods.* The article develops a model of the process of functioning of the measuring channel (MC) of a multichannel measuring system with limited information about its reliability, which makes it possible to provide justification for the parameters of the metrological service strategy, in particular, the interval between verifications with a guaranteed availability factor, and comprehensively take into account the impact on the reliability of the MS of the main parameters on which it depends. *Results and conclusions.* It is determined that the use of this model using the apparatus of continuous linear programming at the design stage of the MC MS is one of the promising directions for substantiating the interval between the MC MS checks and calculating the efficiency indicator of the MS.

Keywords: measuring channel, multi-channel measuring system, interval between verifications, metrological reliability

For citation: Mishchenko V.I., Verkhushin S.S. A model of the process of functioning of a multichannel measuring system of ground-based technological equipment with limited information about its reliability. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2025;(3):16–22. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2025-3-2

Введение

Применение многоканальной измерительной системы наземного технологического оборудования (ИС) по назначению предполагает реализацию измерительных процедур, выполнение и (или) управление выполнением измерений параметров систем ракет космического назначения (РКН) и бортовой аппаратуры космических аппаратов (КА) на техническом и стартовом комплексах с оценкой их значений, с нормированной точностью, в связи с этим ИС отнесена к средствам измерений (СИ).

В соответствии с законом СИ, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, до ввода в эксплуатацию и после ремонта должны проходить первичную поверку, а в период эксплуатации – периодическую поверку¹. Поверку необходимо проводить через определенные интервалы времени, называемые интервалами между поверками (ИМП).

Интервал между поверками является одной из важных характеристик ИС, поскольку она определяет не только технические характеристики ИС, но и существенно влияет на своевременную готовность ракетно-космического комплекса (РКК). Поэтому требования к ИМП постоянно ужесточаются, что находит свое отражение в технических требованиях на вновь разрабатываемые и модернизируемые ИС. Так как ИС представляет собой набор измерительных каналов (ИК) измерений различных физических величин, которые предусматривают индивидуальный ИМП для каждого ИК, то в дальнейшем целесообразно будет определять ИМП для одного ИК.

На этапе утверждения типа СИ и для установления ИМП используются расчетные методы². Также в данных рекомендациях приведен ряд расчетов ИМП СИ, основанных на использовании показателей метрологической надежности, в том числе аналогом коэффициента метрологической исправности СИ является комплексный показатель надежности – коэффициент готовности, т.е. $K_{\text{ми}} \sim K_{\text{г}}$, что в свою очередь может быть применено и для ИК.

Наступление метрологического отказа может быть обнаружено только при поверке измерительных каналов ИС, результаты которой позволят утверждать, что отказ произошел в период времени между двумя последними поверками. Является очевидным, что существует оптимальная величина ИМП, поскольку частые поверки приводят к материальным и трудовым затратам на их организацию и проведение, а редкие – могут привести к повышению погрешности измерений из-за метрологических отказов и, как следствие, к возникновению отказа в период проведения штатных работ ИС РКК. Действительно, частые поверки приводят к исключению ИК от использования их по назначению, снижают готовность РКК. Последнее обусловлено тем, что ИК, часто находясь на поверке, не может обеспечить контроль и оценку технического состояния РКН и это приводит к снижению коэффициента готовности ИК.

Редкие поверки приводят к тому, что в ИС накапливаются метрологические отказы, которые могут быть выявлены только при их поверке. И чем реже поверки, тем этих отказов больше. Накопление метрологических отказов приводит к тому, что после поверки ИС отправляются на ремонт. Это опять же приводит к снижению показателей готовности. Таким образом, можно предположить, что существует оптимальное значение ИМП, обеспечивающее максимум коэффициента готовности.

Другой не менее важной характеристикой при проведении поверки и определении ИМП является достоверность контроля, определяемая как показатель степени объективного отображения результатов контроля действительного технического состояния ИК. Количественно достоверность проведения поверки оценивается вероятностью ошибок первого (α) и второго (β)

¹ Об обеспечении единства измерений : федер. закон Российской Федерации № 102-ФЗ от 26.06.2008 // Российская газета. 2008. № 4697.

² РМГ 74–2004. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.

родов. Влияние этих ошибок существенно сказывается на эффективности функционирования современных ИК, созданных на элементной базе второго и третьего поколения, и особенно перспективных, разрабатываемых на элементной базе четвертого поколения. Это связано с возникновением неисправностей ИС, которые снижают эффективность ее функционирования, не приводя к полному отказу¹. А учет достоверности ИК ИС позволит выявить эти специфические метрологические отказы и таким образом поднять уровень готовности ИС.

Перспективным направлением для обоснования величины ИМП является использование моделей функционирования ИС в ходе их применения по назначению, позволяющих рассчитать их эффективность как функцию ИМП. При этом уровень сложности модели определяется не только перечнем учитываемых факторов, но и соответствующим наличием разнородных подсистем и элементов ИК.

При этом для определения ИМП разрабатываемой или проектируемой ИС с использованием разнородных подсистем и элементов ИК отсутствует статистическая информация об их неисправностях и отказах и, следовательно, отсутствует информация о законе распределения вероятностей наработки на отказ, а имеющаяся информация достаточна для определения оценок одного или двух моментов.

Следовательно, актуальной и в теоретическом, и в прикладном плане является задача разработки модели процесса функционирования ИК при ограниченной информации о ее надежности.

Разработка модели процесса функционирования ИК при ограниченной информации о ее надежности

В соответствии с работой [1] определено, что одним из перспективных направлений реализации моделирования процессов функционирования ИС является использование теории марковских и полумарковских процессов. Как показал анализ работ, посвященных моделированию процесса эксплуатации сложных технических систем [2–4], именно полумарковские модели позволяют комплексно обосновать периодичность контроля технического состояния технических систем. А наиболее адекватной для обоснования ИМП при ограниченной информации о надежности является модель, предложенная в работе [1]. Эта модель взята в качестве базовой. Также ее суть заключается в том, что контроль пригодности ИК, проводимый в рамках поверки, сводится к измерению, как правило, некоторого постоянного набора независимых параметров. По результатам поверки принимается решение об отнесении ИК к пригодному или непригодному состоянию. Обнаружение метрологических отказов, обусловивших непригодность ИК, осуществляется только при проведении поверки. Интервал между поверками ИК определяется как продолжительность временного промежутка T_{Π} , по истечении которого ИК поверяется в течение случайного времени $T_{\Pi\Pi}$ (продолжительности поверки). Своевременная поверка ИК обеспечивает требуемый уровень их пригодности к использованию по назначению. Чем выше уровень сложности ИК (соответственно, уровень избыточности), тем критичнее становятся принятые решения о годности ИК к достоверности полученных результатов.

При этом большое значение приобретает метрологическая исправность рабочего эталона. Поэтому при разработке модели процесса функционирования ИК ИС необходимо учитывать возможность снижения достоверности показаний ИК ИС в случае метрологического отказа рабочего эталона при проведении поверки ИК ИС.

Таким образом, при использовании ИС по назначению могут возникнуть следующие ситуации:

1. Перед началом проведения поверки ИК с вероятностью $1 - P_{\text{ИК}}(T_{\Pi})$ пригоден к использованию по назначению. В результате проведения поверки в течение времени $T_{\Pi\Pi}$ ИК можно принять следующие решения:

а) ИК пригоден (правильное решение) – с вероятностью $1 - \alpha$. После проведения поверки ИК ИС продолжает применяться по назначению до следующей поверки;

б) ИК непригоден (ошибочное решение, соответствующее ложной регистрации метрологической неисправности ИК, т.е. ошибке первого рода) с вероятностью α . В этом случае ИК

¹ ГОСТ 27.102–2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения.

дополнительно перепроверяется в течение времени $T_{\text{ДП}}$, что позволяет выявить достоверно отсутствие метрологического отказа.

2. До начала проведения поверки ИК с вероятностью $P_{\text{ИК}}(T_{\text{П}})$ перешел в состояние непригодности. В результате проведения поверки о состоянии ИК могут быть приняты следующие решения:

а) ИК непригоден (правильное решение) – с вероятностью $1-\beta$. После обнаружения метрологического отказа ИК дополнительно перепроверяется в течение времени $T_{\text{ДП}}$ и восстанавливается в течение среднего времени $T_{\text{В}}$;

б) ИК пригоден (пропуск отказа) – с вероятностью β . В этом случае ИК продолжает использоваться по назначению с метрологической неисправностью, снижающей эффективность функционирования ИС при использовании по назначению, до следующей поверки.

Граф, соответствующий этой модели, представлен на рис. 1. Предложенная модель процесса функционирования ИК учитывает основные факторы, влияющие на это функционирование, и позволяет определять основные показатели эффективности функционирования ИК при использовании по назначению.

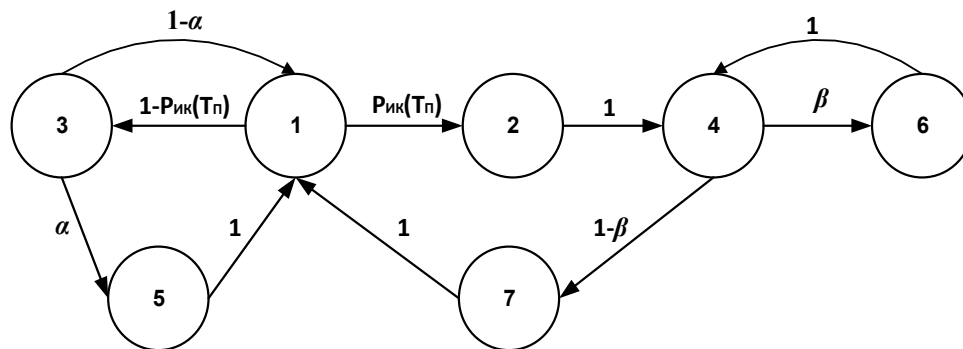


Рис. 1. Граф модели процесса функционирования ИК при использовании по назначению

Множество возможных состояний $R = \{1, 2, \dots, r\}$ включает 7 состояний (т.е. $r = 7$): R_1 – ИК пригоден и используется по назначению (исходное состояние); R_2 – ИК непригоден и функционирует с неисправностью, обусловившей непригодность, до начала контроля технического состояния; R_3 – ИК проверяется при условии, что он к началу проведения контроля технического состояния был исправен; R_4 – ИК проверяется при условии, что он к началу контроля технического состояния был неисправен; R_5 – ИК проходит дополнительную проверку при условии ложной регистрации неисправности; R_6 – ИК используется по назначению с неисправностью до очередного контроля технического состояния; R_7 – ИК проходит дополнительную проверку, подтверждающую ее неисправность, и восстанавливается.

Матрица переходных вероятностей $\mathbf{W}$ имеет вид

$$\mathbf{W} = \begin{vmatrix} 0 & P_{\text{ИК}}(T_{\text{П}}) & 1-P_{\text{ИК}}(T_{\text{П}}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1-\alpha & 0 & 0 & 0 & \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \beta & 1-\beta \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Вероятность возникновения метрологического отказа ИК в течение периода между поверками $P_{\text{ИК}}(T_{\text{П}})$ имеет вид

$$P_{\text{ИК}}(T_{\Pi}) = F_{\text{ИК}}(T_{\Pi}),$$

где $F_{\text{ИК}}(T_{\Pi})$ – функция распределения безотказной работы ИК; T_{Π} – интервал между поверками ИК.

Ненулевые элементы матрицы условных функций распределения продолжительности пребывания в состояниях $F(t)$, $F(t) = \{F_{ij}(t)\}$, $(i, j) = \overline{1, r}$ представлены ниже

$$F_{12}(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0, \\ \frac{F_{\text{ИК}}(t)}{F_{\text{ИК}}(t_{\Pi})}, & 0 < t < T_{\Pi}, \\ 1, & t \geq T_{\Pi}; \end{cases} \quad F_{24}(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0, \\ 1 - \frac{F_{\text{ИК}}(T_{\Pi} - t)}{F_{\text{ИК}}(t_{\Pi})}, & 0 < t < T_{\Pi}, \\ 1, & t \geq T_{\Pi}; \end{cases}$$

$$F_{13}(t) = F_{64}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{\Pi}, \\ 1, & t \geq T_{\Pi} \end{cases}; \quad F_{31}(t) = F_{35}(t) = F_{46}(t) = F_{47}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{\text{ПП}}, \\ 1, & t \geq T_{\text{ПП}}; \end{cases}$$

$$F_{71}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{\text{В}}, \\ 1, & t \geq T_{\text{В}} \end{cases}; \quad F_{51}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{\text{ДП}}, \\ 1, & t \geq T_{\text{ДП}}. \end{cases}$$

В представленных формулах обозначены: T_{Π} – интервал между поверками ИК; $T_{\text{ПП}}$ – математическое ожидание продолжительности поверки ИК; $T_{\text{В}}$ – математическое ожидание продолжительности восстановления работоспособности ИК; $T_{\text{ДП}}$ – продолжительность дополнительной перепроверки в случае ошибки 1-го рода.

Математические ожидания пребывания процесса в состояниях имеют вид

$$m_1 = \frac{F_{\text{ИК}}(T_{\Pi})}{1 - F_{\text{ИК}}(T_{\Pi})}; \quad m_2 = \frac{T_{\Pi} - m_1}{P_{\text{ИК}}}; \quad m_3 = m_4 = T_{\text{ПП}};$$

$$m_5 = T_{\text{ДП}}; \quad m_6 = T_{\Pi}; \quad m_7 = T_{\text{В}}.$$

Таким образом, с учетом функции распределения времени безотказной работы ИК коэффициент готовности ИК определяется в соответствии с формулой

$$K_{\Gamma} = \frac{\int_0^{T_{\Pi}} t dF_{\text{ИК}}(t)}{(T_{\Pi} + T_{\text{ПП}})(1 - F_{\text{ИК}}(T_{\Pi})) + \frac{F_{\text{ИК}}(T_{\Pi})}{1 - \beta} + (1 - F_{\text{ИК}}(T_{\Pi}))T_{\text{ДП}}\alpha + F_{\text{ИК}}(T_{\Pi})T_{\text{В}}} =$$

$$= \frac{\int_0^{T_{\Pi}} t dF_{\text{ИК}}(t)}{T_{\Pi} + T_{\text{ПП}} - F_{\text{ИК}}(T_{\Pi})T_{\Pi} - F_{\text{ИК}}(T_{\Pi})T_{\text{ПП}} + \frac{T_{\Pi}}{1 - \beta} F_{\text{ИК}}(T_{\Pi}) +}$$

$$\rightarrow \frac{\frac{T_{\text{ПП}}}{1 - \beta} F_{\text{ИК}}(T_{\Pi}) + T_{\text{ДП}}\alpha - F_{\text{ИК}}(T_{\Pi})T_{\text{ДП}}\alpha + F_{\text{ИК}}(T_{\Pi})T_{\text{В}}}{\int_0^{T_{\Pi}} t dF_{\text{ИК}}(t)} =$$

$$= \frac{\int_0^{T_{\Pi}} t dF_{\text{ИК}}(t)}{T_{\Pi} + T_{\text{ПП}} + T_{\text{ДП}}\alpha - F_{\text{ИК}}(T_{\Pi}) \left(T_{\Pi} + T_{\text{ПП}} - \frac{T_{\Pi} + T_{\text{ПП}}}{1 - \beta} + T_{\text{ДП}}\alpha - T_{\text{В}} \right)}.$$

С учетом того, что $\int_0^{T_{\Pi}} t dF_{\text{ИК}}(t) = \int_0^{T_{\Pi}} t f(t) dt$ и $F_{\text{ИК}}(T_{\Pi}) = \int_0^{T_{\Pi}} f(t) dt$, то коэффициент готовности

ИК примет вид

$$K_{\Gamma} = \frac{\int_0^{T_{II}} tf(t)dt}{T_{II} + T_{III} + \alpha T_{дп} - \int_0^{T_{II}} f(t)dt \left(T_{II} + T_{III} - \frac{T_{II} + T_{III}}{1-\beta} + T_{дп}\alpha - T_{в} \right)}, \quad (1)$$

где T_{II} – интервал между поверками ИК; T_{III} – математическое ожидание продолжительности поверки ИК; $T_{в}$ – математическое ожидание продолжительности восстановления работоспособности ИК; $T_{дп}$ – продолжительность повторной проверки в случае ошибки 1-го рода; α, β – вероятности возникновения ошибок контроля I и II рода; $f(t)$ – плотность распределения метрологических отказов ИК.

Как видно из выражения (1), коэффициент готовности ИК зависит от плотности распределения вероятности метрологических отказов. Плотность распределения вероятности метрологических отказов ИК определяется на основании оценок моментов распределения отказов (математического ожидания μ_1 и дисперсии μ_2). При этом вся информация о функции распределения вероятностей моментов отказов $F(t)$ содержится в выражении $F(t) \in \Omega(\mu_1, \mu_2)$, где $\Omega(\mu_1, \mu_2)$ – множество функций распределения положительных случайных величин.

Для решения данной задачи при имеющейся информации об оценках моментов необходимо применить математический аппарат континуального линейного программирования (КЛП). Этот аппарат позволяет отыскивать неизвестные функции, в том числе плотность распределения вероятности метрологических отказов, оптимизирующий функционал (коэффициент готовности), т.е. нахождение такой плотности распределения вероятности метрологических отказов ИК, которая минимизирует коэффициент готовности и удовлетворяет некоторым ограничениям. Теория и математические методы для решения задач аппаратом КЛП хорошо отработаны и находят широкое применение [5]. Такой подход обеспечивает обоснование ИМП ИК для требуемой величины коэффициента готовности.

Заключение

Представленная модель процесса функционирования ИК при ограниченной информации о надежности отличается от известных тем, что использует новый подход расчета коэффициента готовности, который комплексно учитывает влияние основных параметров процесса функционирования: периодичности поверки, продолжительности проведения поверки, продолжительности повторной перепроверки, продолжительности восстановления и вероятностей возникновения ошибок I и II рода. Данная модель позволяет обосновать оптимальную величину ИМП ИК, которая обеспечивает требуемое значение коэффициента готовности.

Особенностью предложенной модели является использование в расчетах функции распределения безотказной работы ИК, и в дальнейшем плотности распределения вероятности метрологических отказов, которая определяется на основании оценок моментов распределения отказов.

В дальнейших исследованиях необходимо разработать методику определения ИМП ИС при ограниченной информации о надежности учитывающей ИМП каждого ИК.

Представленная в статье модель имеет наряду с теоретическим значением и прикладную значимость, а именно позволит повысить результативность и достоверность измерений при выполнении технологических операций по подготовке и пуску РКН за счет использования оптимального ИМП ИК. Прикладной аспект полученных результатов заключается в том, что проблема обеспечения надежности систем РКН приобретает большую актуальность и значимость в связи с наращиванием орбитальной группировки КА.

Список литературы

1. Верхушин С. С., Мищенко В. И., Мищенко И. В., Исаков К. Н. Выбор прототипа модели процесса функционирования измерительного канала многоканальной измерительной системы для расчета ее коэффициента готовности при ограниченной информации о надежности // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2024. № 4. С. 30–39. doi: 10.21685/2307-5538-2024-4-4
2. Волков Л. И. Управление эксплуатацией летательных комплексов. М. : Высш. шк., 1981. 368 с.

3. Сычев Е. И. Метрологическое обеспечение радиоэлектронной аппаратуры. М. : Татьянин день, 1993. 274 с.
4. Мищенко В. И., Храмов М. Ю. Проблематика эксплуатации сложных технических систем. СПб. : Политехника-сервис, 2016. 218 с.
5. Раскин Л. Г., Кириченко И. О. Континуальное линейное программирование. Харьков : Военный институт ВВ МВС, 2005. 176 с.

References

1. Verkhushin S.S., Mishchenko V.I., Mishchenko I.V., Isakov K.N. Selection of a prototype model of the process of functioning of the measuring channel of a multichannel measuring system for calculating its availability coefficient with limited information about reliability. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control*. 2024;(4):30–39. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2024-4-4
2. Volkov L.I. *Upravlenie ekspluatatsiy letatel'nykh kompleksov = Management of the operation of aircraft complexes*. Moscow: Vyssh. shk., 1981:368. (In Russ.)
3. Sychev E.I. *Metrologicheskoe obespechenie radioelektronnoy apparatury = Metrological support of radio electronic equipment*. Moscow: Tat'yanin den', 1993:274. (In Russ.)
4. Mishchenko V.I., Khramov M.Yu. *Problematika ekspluatatsii slozhnykh tekhnicheskikh sistem = Problems of operation of complex technical systems*. Saint-Petersburg: Politehnika-servis, 2016:218. (In Russ.)
5. Raskin L.G., Kirichenko I.O. *Kontinual'noe lineynoe programmirovaniye = Continuous linear programming*. Kharkov: Voennyi institut VV MVS, 2005:176. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Ильич Мищенко

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: vka@mil.ru

Vladimir I. Mishchenko

Doctor of technical sciences, professor,
professor of the sub-department of metrological
support of weapons, military and special equipment,
Mozhaisky Military Space Academy
(13 Zhdanovskaya street, St. Petersburg, Russia)

Сергей Сергеевич Верхушин

адъюнкт,
кафедра метрологического обеспечения вооружения
военной и специальной техники,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: vka@mil.ru

Sergey S. Verkhushin

Adjunct,
sub-department of metrological support of weapons,
military and special equipment,
Mozhaisky Military Space Academy
(13 Zhdanovskaya street, St. Petersburg, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 07.03.2025

Поступила после рецензирования / Revised 04.04.2025

Принята к публикации / Accepted 12.05.2025