

УДК: 623.4.018

DOI: 10.53816/23061456_2022_3-4_95

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ
ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ
ОГРАНИЧЕННОГО ОБЪЕМА НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

**A METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSESSING THE RELIABILITY
OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT ON THE BASIS
OF A LIMITED VOLUME OF FULL-SCALE TESTS**

*Д-р техн. наук В.Г. Анисимов¹, д-р техн. наук, д-р воен. наук Е.Г. Анисимов²,
канд. техн. наук А.М. Сазыкин³, А.М. Ковальчук⁴, А.Е. Романюта⁴*

D.Sc. V.G. Anisimov, D.Sc. E.G. Anisimov, Ph.D. A.M. Sazikin, A.M. Kovalchuk, A.E. Romanyuta

*¹СПб ПУ Петра Великого, ²Российский университет дружбы народов,
³АО «НПО Спецматериалов», ⁴ГНИИМЦ ПВ*

В статье рассматривается методический подход к оценке надежности вооружения и военной техники с циклическим характером функционирования на основе данных, полученных в результате натурных испытаний их опытных образцов. В качестве характеристики надежности предлагается использовать количество циклов безотказной работы. В основу подхода положено представление результатов натурных испытаний в виде малой выборки из генеральной совокупности значений случайной величины количества циклов безотказной работы оцениваемых образцов перспективного вооружения и военной техники. В качестве показателя надежности принята вероятность того, что количество циклов превысит заданную величину. Построение функции распределения этой вероятности опирается на принцип максимума неопределенности. Это позволяет повысить достоверность оценки в условиях ограниченности объемов испытаний образцов вооружения и военной техники.

Ключевые слова: вооружение и военная техника, натурные испытания, надежность, модель оценки.

The article discusses a methodological approach to assessing the reliability of weapons and military equipment with a cyclical nature of functioning based on data obtained as a result of full-scale tests of their prototypes. As a characteristic of reliability, it is proposed to use the number of cycles of no-failure operation. The approach is based on the presentation of the results of full-scale tests in the form of a small sample from the general set of values of the random variable of the number of cycles of non-failure operation of the evaluated samples of advanced weapons and military equipment. The reliability indicator is the probability that the number of cycles will exceed a given value. The construction of the distribution function of this probability is based on the principle of maximum uncertainty. This makes it possible to increase the reliability of the assessment in the context of limited testing of weapons and military equipment.

Keywords: weapons and military equipment, full-scale tests, reliability, evaluation model.

Введение

Характерной особенностью современного этапа развития вооружения и военной техники (ВВТ) является возрастание их сложности и роли в достижении целей боевых действий. Каждый из образцов этого ВВТ вносит значительный вклад в совокупный боевой потенциал войскового формирования, на вооружении которого они состоят. Функциональные отказы этих образцов приводят к существенному снижению потенциала формирования в целом [1]. Следовательно, имеет место проблема обеспечения надежности соответствующих образцов разрабатываемого и модернизируемого вооружения и военной техники. Важная роль в решении этой проблемы принадлежит развитию способов оценки их надежности. В данной статье рассматривается оценка надежности ВВТ с циклическим характером функционирования. К этому классу можно отнести, например, противотанковые робототехнические комплексы, беспилотные летательные аппараты, средства космической разведки, пусковые установки ракетных комплексов, стволы артиллерийских орудий, и др. Для циклически функционирующих образцов ВВТ и их элементов важным показателем надежности является количество X циклов безотказной работы. Наиболее объективным источником информации, обеспечивающим достоверную оценку этого показателя, являются натурные испытания [2, 3]. Это обусловлено тем, что в при таких испытаниях создается возможность максимально приблизить условия эксперимента к реальной ситуации последующего применения создаваемого или модернизируемого вооружения и военной техники. Вместе с тем невозможность создания полностью однородных условий проведения испытаний приводит к недетерминированности получаемых в результате количественных значений показателей надежности. Эти обстоятельства обуславливают целесообразность моделирования результатов натурных испытаний в виде функции распределения случайной величины X , характеризующей значения соответствующего показателя [4, 5].

Важной особенностью натурных испытаний является существенная ограниченность количества измерений этой случайной вели-

чины, обусловленная ограниченностью временных и материальных ресурсов и невозможностью привлечения к испытаниям большого количества опытных образцов ВВТ. Поэтому возникает задача построения функции распределения случайной величины X по малой выборке.

Формирование методического подхода к решению задачи оценки надежности ВВТ с циклическим характером функционирования в условиях ограниченности объема испытаний составляет цель настоящей статьи.

Формализованное представление подхода

Количество X циклов безотказной работы является дискретной случайной величиной и может принимать значения $\{0, 1, 2, \dots\}$. Поэтому распределение величины X задается указанием вероятности того, что она примет значение x из множества $\{0, 1, 2, \dots\}$, то есть

$$P(x) = P(X = x), \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Функция (1) в указанном контексте является моделью оценки надежности указанных образцов и систем. В основу определения конкретного вида этой функции может быть положен принцип максимума неопределенности [6–8]. Его суть состоит в том, что из всех возможных вариантов представления функции (1) выбирается вариант, обладающий максимальной неопределенностью при учете всей имеющейся объективной информации о результатах натурных испытаний. Тем самым минимизируется влияние субъективных факторов при оценке надежности циклически применяемых образцов ВВТ.

Как правило, получаемая в результате натурных испытаний информация исчерпывается знанием среднего количества \bar{x} циклов безотказной работы испытуемого образца ВВТ. При этом в качестве меры неопределенности распределения вероятностей дискретной случайной величины X целесообразно использовать энтропию Шеннона. Тогда определение конкретного вида функции (1) обеспечивается решением следующей экстремальной задачи:

$$H = - \sum_{x=0}^{\infty} P(x) \ln P(x) \xrightarrow{P(x)} \max; \quad (2)$$

$$\sum_{x=0}^{\infty} P(x) = 1; \quad (3)$$

$$\bar{x} = \sum_{x=0}^{\infty} xP(x). \quad (4)$$

Для решения задачи (2)–(4) может быть использован метод Лагранжа.

Для его применения введем неопределенные множители Λ_1 , Λ_2 и исследуем на экстремум по $P(x)$ соответствующую этой задаче функцию Лагранжа

$$L = -\sum_{x=0}^{\infty} P(x) \ln P(x) + \Lambda_1 [1 - \sum_{x=0}^{\infty} P(x)] + \Lambda_2 [\bar{x} - \sum_{x=0}^{\infty} xP(x)]. \quad (5)$$

Необходимым условием экстремума функции является равенство нулю ее первой производной. Следовательно, с учетом (5) получим:

$$\frac{dL}{dP(x)} = -\ln P(x) - 1 - \Lambda_1 - \Lambda_2 x = 0. \quad (6)$$

Из соотношения (6) непосредственно следует, что

$$P(x) = e^{-1-\Lambda_1-\Lambda_2 x}. \quad (7)$$

Обозначим

$$P_0 = e^{-1-\Lambda_1}, \quad (8)$$

тогда соотношение (7) принимает вид

$$P(x) = P_0 e^{-\Lambda_2 x}. \quad (9)$$

В полученном таким образом соотношении (9) содержатся неизвестные параметры P_0 и Λ_2 .

Для определения этих параметров воспользуемся ограничениями (3), (4), накладываемыми на функцию распределения случайной величины X .

С учетом (7) соотношения (3), (4) принимают вид

$$\sum_{x=0}^{\infty} P_0 e^{-\Lambda_2 x} = 1; \quad (10)$$

$$\bar{x} = \sum_{x=0}^{\infty} x P_0 e^{-\Lambda_2 x}. \quad (11)$$

В соотношении (10) левая часть представляет собой сумму убывающей геометрической прогрессии. С учетом этого соотношение (10) можно представить в виде

$$P_0 \frac{1}{1 - e^{-\Lambda_2}} = 1. \quad (12)$$

В соотношении (11) правая часть представляет собой сумму арифметико-геометрической прогрессии. Следовательно это соотношение можно представить в виде

$$\bar{x} = \frac{P_0 e^{-\Lambda_2}}{(1 - e^{-\Lambda_2})^2}. \quad (13)$$

Из соотношений (12) и (13) следует, что

$$P_0 = \frac{1}{\bar{x} + 1}; \quad (14)$$

$$\Lambda_2 = \ln\left(\frac{\bar{x} + 1}{\bar{x}}\right). \quad (15)$$

Подставив соотношения (14), (15) в (9), получим

$$P(x) = \frac{1}{\bar{x} + 1} \left(\frac{\bar{x}}{\bar{x} + 1}\right)^x. \quad (16)$$

Таким образом, значения случайной величины X количества циклов безотказной работы испытуемого образца ВВТ описываются геометрическим распределением

$$P(x) = p(1 - p)^x \quad (17)$$

с параметром

$$p = \frac{1}{1 + \bar{x}}. \quad (18)$$

Тогда вероятность того, что количество циклов безотказной работы превысит величину x_i ($x_i = 0, 2, \dots$), определяется соотношением

$$Q(x_i) = 1 - \sum_{x=0}^{x_i} P(x). \quad (19)$$

Распределения (17) и (19) являются моделями оценки надежности ВВТ с циклическим характером функционирования на основе существенно ограниченного объема натуральных испытаний.

В целом предлагаемый в статье методический подход к оценке надежности позволяет в максимальной степени учитывать полученную в результате натурных испытаний объективную информацию. При этом практическое применение моделей (17), (19) позволяет получать приемлемые оценки рассматриваемого показателя надежности вооружения и военной техники даже при небольших объемах натурных испытаний его образцов.

Литература

1. Самоленков В.А. Введение в теорию эффективности боевых действий ракетных войск и артиллерии: Монография. — Москва: Военная академия Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации. 2008. 180 с.
2. Бажин Д.А., Барабанов В.В., Филиппов А.А. Модели организации и проведения испытаний элементов системы информационного обеспечения применения высокоточных средств // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. № 648. С. 6–12.
3. Гасюк Ю.Д. Моделирование приемо-сдаточных испытаний ракетно-артиллерийского вооружения // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2015. № 2 (87). С. 95–100.
4. Усиков Р.Ф. Методические положения сокращения объема выборки при испытаниях артиллерийских боеприпасов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 9–10 (135–136). С. 90–96.
5. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. Математические модели и методы в управлении развитием сложных технических систем. — Санкт-Петербург, 2004. 280 с.
6. Jaynes E.T. Information Theory and Statistical Mechanics // *PHYS. REV.*, 1957. V. 106. 620 p.
7. Anisimov V.G., Zegzhda P.D., Anisimov E.G., Bazhin D.A. A risk-oriented approach to the control arrangement of security protection subsystems of information systems // *Automatic Control and Computer Sciences*. 2016. 50 (8): 717–721. DOI: 10.3103/S0146411616080289.

8. Мартыщенко Л.А., Шатохин Д.В. Методы оперативного статистического анализа результатов выборочного контроля качества промышленной продукции. — Санкт-Петербург, Тула: Гриф и К (Тула). 2001. 72 с.

References

1. Samolenkov V.A. Introduction to the theory of the effectiveness of combat operations of rocket troops and artillery: Monograph. — Moscow: Military Academy of the General Staff of the Armed Forces of the Russian Federation. 2008. 180 p.
2. Bazhin D.A., Barabanov V.V., Filippov A.A. Models for the organization and testing of elements of the information support system for the use of high-precision means // *Proceedings of the Military Space Academy*. A.F. Mozhaisky. 2015. № 648. Pp. 6–12.
3. Gasyuk Yu.D. Modeling of acceptance tests of rocket and artillery weapons // *News of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences*. 2015. № 2 (87). Pp. 95–100.
4. Usikov R.F. Methodological provisions for reducing the sample size during testing of artillery ammunition // *Questions of defense technology*. Series 16: Technical means of countering terrorism. 2019. № 9–10 (135–136). Pp. 90–96.
5. Anisimov V.G., Anisimov E.G. Mathematical models and methods in managing the development of complex technical systems. — St. Petersburg, 2004. 280 p.
6. Jaynes E.T. Information Theory and Statistical Mechanics // *PHYS. REV.*, 1957. V. 106. 620 p.
7. Anisimov V.G., Zegzhda P.D., Anisimov E.G., Bazhin D.A. A risk-oriented approach to the control arrangement of security protection subsystems of information systems // *Automatic Control and Computer Sciences*. 2016. 50 (8): 717–721. DOI: 10.3103/S0146411616080289.
8. Martyshchenko L.A., Shatokhin D.V. Methods of operational statistical analysis of the results of selective quality control of industrial products. — St. Petersburg, Tula: Grif and K (Tula). 2001. 72 p.