

УДК: 623.4.018

DOI: 10.53816/20753608_2022_1_42

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ВООРУЖЕНИЯ
И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**
**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ADVANCED WEAPONS
AND MILITARY EQUIPMENT BASED ON FIELD TESTS**

По представлению чл.-корр. РАРАН В.А. Кежаева

Е.Г. Анисимов¹, В.Г. Анисимов², А.М. Ковальчук³, А.Е. Романюта³, А.М. Сазыкин⁴

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

E.G. Anisimov, V.G. Anisimov, A.M. Kovalchuk, A.E. Romanyuta, A.M. Sazykin

Среди показателей качества перспективных систем вооружения и военной техники и, в частности, роботизированных систем, ведущая роль принадлежит эффективности. Эффективность является их комплексной характеристикой в части функционально-целевого предназначения. Поэтому оценка соответствия значений показателей эффективности установленным требованиям составляет основную цель испытаний указанных систем. Наиболее объективным источником информации, обеспечивающим оценку эффективности перспективного вооружения и военной техники, являются натурные испытания. Вместе с тем, невозможность реализации больших объемов натурных испытаний затрудняет оценку эффективности. В наибольшей мере это относится к перспективному вооружению и военной технике, для которых произведены только опытные образцы. Следовательно, имеет место важная задача разработки подходов, обеспечивающих оценку эффективности перспективных систем вооружения и военной техники в условиях ограниченных объемов натурных испытаний их образцов. В разработке одного из таких подходов состоит цель настоящей статьи.

Ключевые слова: перспективные системы вооружения и военной техники, эффективность, оценка, натурные испытания, модель оценки результатов.

Among the quality indicators of advanced weapons systems and military equipment and, in particular, robotic systems, the leading role belongs to efficiency. Efficiency is their complex characteristic in terms of functional purpose. Therefore, the assessment of the compliance of the values of performance indicators with the established requirements is the main goal of testing these systems. The most objective source of information that provides an assessment of the effectiveness of advanced weapons and military equipment are full-scale tests. At the same time, the impossibility of implementing large volumes of full-scale tests makes it difficult to evaluate the effectiveness. This applies to the greatest extent to advanced weapons and military equipment, for which only prototypes have been produced. Consequently, there is an important task of developing approaches that provide an assessment of the effectiveness of promising systems of weapons and military equipment in the conditions of limited volumes of full-scale tests of their samples. The purpose of this article is to develop one of these approaches.

Keywords: promising systems of weapons and military equipment, efficiency, evaluation, full-scale tests, results evaluation model.

Введение

Характерной особенностью современного этапа развития вооружения и военной техники является рост сложности. Это, в первую очередь, проявляется при создании роботизированных систем вооружения и военной техники. Сложность и высокая стоимость разработки и производства этих систем обуславливают жесткие требования к обеспечению соответствия их качества установленным техническим заданием критериям [1–3]. На этапе разработки перспективного вооружения и военной техники проверка и подтверждение указанного соответствия осуществляется в ходе различного рода испытаний.

Среди показателей качества перспективных систем вооружения и военной техники ведущая роль принадлежит показателю эффективности, который комплексно характеризует процесс их боевого применения. Поэтому оценка соответствия его значения установленным требованиям составляет основную цель испытаний [4, 5].

Наиболее объективным источником информации, обеспечивающим оценку эффективности перспективного вооружения и военной техники, являются натурные испытания. Они обеспечивают определенную адекватность эксперимента реальной ситуации последующего применения создаваемых систем [6, 7]. Однако в ходе их проведения невозможно создать условия полностью адекватные всему многообразию условий применения испытываемых образцов перспективного вооружения и военной техники. Это приводит к недетерминированности показателя эффективности. Его недетерминированность обуславливает целесообразность применения в качестве модели оценки эффективности перспективного вооружения и военной техники, функции распределения случайной величины показателя эффективности [8, 9]. Основу для ее характеристики составляют значения рассматриваемого показателя, полученные в ходе проведения натурных испытаний.

Особенность натурных испытаний для большинства перспективных систем вооружения и военной техники состоит в невозможности привлечения к испытаниям большого количества их образцов, что приводит к ограниченности объема выборки случайной величины показателя эффективности. Поэтому возникает задача построения

функции его распределения по малой выборке. Формирование методического подхода к ее решению для перспективных систем вооружения и военной техники составляет цель настоящей статьи.

Формализованное представление подхода к оценке эффективности перспективных систем вооружения и военной техники

Эффективность перспективных систем вооружения и военной техники может оцениваться как степень реализации их потенциальных возможностей для достижения целей функционирования. При этом потенциальные возможности характеризуются тактико-техническими характеристиками систем вооружения и военной техники, а цели — максимальным объемом функциональных задач, которые способны выполнить рассматриваемые системы в сложившихся условиях обстановки. Например, для систем поражения потенциальные возможности могут характеризоваться количеством типовых объектов, которые они способны поразить выделенным количеством боеприпасов в конкретных условиях, а цель может быть сформулирована как требование поразить все это количество объектов [10].

При таком подходе количественно эффективность определяется соотношением

$$W = \frac{Q}{Q_{\max}}, \quad (1)$$

где Q — реально выполненный рассматриваемой системой объем функциональных задач;

Q_{\max} — максимальный объем функциональных задач, которые способна выполнить система в сложившихся условиях обстановки.

Величина W принимает значения из отрезка $(0, 1)$ и при реальном функционировании систем вооружения и военной техники является недетерминированной. Ее недетерминированность обусловлена неоднородностью условий функционирования рассматриваемых систем. Это переносится и на натурные испытания систем вооружения и военной техники, поскольку однородность условий их испытаний не может быть достигнута.

Недетерминированность приводит к целесообразности представления показателя (1) эффективности систем вооружения и военной техники в виде случайной величины. При таком представлении его значения, определяемые в ходе реального

функционирования системы или проведения натурных испытаний ее образцов, можно рассматривать как выборки из генеральной совокупности распределения случайной величины W .

Наиболее полной характеристикой случайной величины W является функция ее распределения $F(w)$. По определению, значение функции распределения $F(w)$ отражает вероятность события, состоящего в том, что величина W не превышает w , то есть

$$F(w) = P(W < w). \quad (2)$$

Если же для функции распределения $F(x)$ допустимо представление

$$F(w) = \int_{-\infty}^w f(w)dw, \quad (3)$$

то функция $f(w)$ называется функцией плотности распределения случайной величины W . Вследствие непрерывности (1) представление (3) допустимо и случайная величины W может характеризоваться как функцией распределения (2), так и функцией $f(w)$ плотности распределения. Следовательно, для всесторонней оценки эффективности систем вооружения и военной техники на основе показателя (1) необходимо построение функции $F(w)$ или функции $f(w)$. На этапе разработки систем вооружения и военной техники эмпирическую основу их построения составляют данные различных испытаний. При этом наиболее полно характеризуют эффективность разрабатываемых систем данные их натурных испытаний. Они могут быть представлены множеством

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_I\}, \quad (4)$$

где w_i ($i = 1, 2, \dots, I$) — результат оценки в ходе натурных испытаний эффективности i -го образца разрабатываемой системы.

Вследствие ограниченности объема этих данных, для характеристики на их основе функций $F(w)$ и $f(w)$ может быть положен принцип максимума неопределенности [11]. Его суть состоит в том, что из всех возможных вариантов представления указанных функций выбирается вариант, обладающий максимальной неопределенностью при учете всей имеющейся объективной информации о результатах натурных испытаний. Тем самым выбранный вариант миними-

зирует «домыслы» при оценке эффективности разрабатываемой системы вооружения и военной техники.

Вследствие непрерывности функции (1) в качестве меры неопределенности распределения вероятностей величины W целесообразно принять энтропию Шеннона. Если при этом имеющаяся объективная информация об эффективности функционирования системы исчерпывается знанием множества (4), то построение функции $f(w)$ плотности распределения обеспечивается решением следующей экстремальной задачи

$$\int_0^1 f(w) \ln f(w) dw \xrightarrow{f(w)} \max; \quad (5)$$

$$M_1 = \int_0^1 \ln w f(w) dw; \quad (6)$$

$$M_2 = \int_0^1 \ln(1-w) f(w) dw; \quad (7)$$

$$\int_0^1 f(w) dw = 1, \quad (8)$$

где M_1 — математическое ожидание случайной величины $\ln W$;

M_2 — математическое ожидание случайной величины $\ln(1-W)$.

Выборочные оценки величин M_1 и M_2 получаются на основе множества (4) по формулам:

$$M_1 = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \ln(w_i); \quad (9)$$

$$M_2 = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \ln(1-w_i). \quad (10)$$

Максимум (5) при условиях (6)–(8) совпадает с максимумом функционала

$$\int_0^1 \left[-f(w) \ln f(w) + \lambda_1 \ln w + \lambda_2 \ln(1-w) + \lambda_3 f(w) \right] dw. \quad (11)$$

Уравнение Эйлера для экстремали функционала (11) имеет вид

$$-\ln f(w) + \lambda_1 \ln w + \lambda_2 \ln(1-w) + \lambda_3 = 0. \quad (12)$$

Из (12) непосредственно следует, что функция плотности распределения случайной величины W эффективности системы имеет вид

$$f(w) = \exp[\lambda_1 \ln(w) + \lambda_2 \ln(1-w) + \lambda_3]. \quad (13)$$

Введением нормирующего множителя φ , соотношение (13) можно представить в виде

$$f(w) = \varphi w^{\lambda_1} (1-w)^{\lambda_2}. \quad (14)$$

Параметры φ , λ_1 и λ_2 в (14) определяются из условий

$$1 = \varphi \int_0^1 w^{\lambda_1} (1-w)^{\lambda_2} dw; \quad (15)$$

$$M_1 = \varphi \int_0^1 \ln w [w^{\lambda_1} (1-w)^{\lambda_2}] dw; \quad (16)$$

$$M_2 = \varphi \int_0^1 \ln(1-w) [w^{\lambda_1} (1-w)^{\lambda_2}] dw. \quad (17)$$

Из (15)–(17), воспользовавшись таблицами интегралов, получаем

$$1 = \varphi B(\lambda_1 + 1, \lambda_2 + 1); \quad (18)$$

$$M_1 = \varphi B(\lambda_1 + 1, \lambda_2 + 1) \times [\psi(\lambda_1 + 1) - \psi(\lambda_1 + \lambda_2 + 2)]; \quad (19)$$

$$M_2 = \varphi B(\lambda_2 + 1, \lambda_1 + 1) \times [\psi(\lambda_2 + 1) - \psi(\lambda_1 + \lambda_2 + 2)], \quad (20)$$

где $B(\cdot)$ — эйлеров интеграл первого рода (бэ́та-функция);

$\psi(\cdot)$ — пси-функция.

Используя свойства бэ́та-функции: $B(x, y) = B(y, x)$ и свойство пси-функции

$$\psi(x+n) = \psi(x) + \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{x+k},$$

из (18)–(20) получим

$$\varphi = \frac{1}{B(\lambda_1 + 1, \lambda_2 + 1)}; \quad (21)$$

$$M_1 = -\sum_{k=0}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda_1 + 1 + k}; \quad (22)$$

$$M_2 = -\sum_{k=0}^{\lambda_1} \frac{1}{\lambda_2 + 1 + k}. \quad (23)$$

Величины λ_1 и λ_2 определяются из (22), (23) методом перебора, а нормирующий множитель φ непосредственно определяется соотношением (21) по известным λ_1 и λ_2 .

Таким образом, получены все параметры, входящие в функцию (14) плотности распределения случайной величины W эффективности испытываемой системы.

Подставив (21) в (14), получим

$$f(w) = \frac{1}{B(\lambda_1 + 1, \lambda_2 + 1)} w^{\lambda_1} (1-w)^{\lambda_2}. \quad (24)$$

Следовательно, функция $f(w)$ плотности распределения случайной величины W эффективности функционирования системы при рассмотренных ограничениях представляет собой функцию плотности классического бэ́та-распределения

$$f(w) = \frac{1}{B(u, v)} w^{u-1} (1-w)^{v-1} = \frac{\Gamma(u+v)}{\Gamma(u)\Gamma(v)} w^{u-1} (1-w)^{v-1} \quad (25)$$

с параметрами $u = \lambda_1 + 1$, $v = \lambda_2 + 1$.

В (25) символ $\Gamma(\cdot)$ означает гамма-функцию.

Функция $F(w)$ распределения случайной величины W эффективности функционирования системы вооружения и военной техники при рассмотренных ограничениях имеет вид

$$F(w) = \frac{1}{B(u, v)} \int_0^w t^{u-1} (1-t)^{v-1} dt. \quad (26)$$

Если объем выборки (4) достаточен для получения наряду со средним значением

$$w^* = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I w_i \quad (27)$$

и выборочной дисперсии

$$S^2 = \frac{1}{I-1} \sum_{i=1}^I (w_i - w^*)^2 \quad (28)$$

случайной величины W эффективности функционирования системы вооружения и военной техники, то процедура определения параметров u и v в соотношениях (25), (26) упрощается. Их выборочные оценки в этой ситуации определяются соотношениями

$$u = w^* \left[\frac{w^*(1-w^*)}{S^2} - 1 \right]; \quad (29)$$

$$v = (1 - w^*) \left[\frac{w^*(1 - w^*)}{S^2} - 1 \right]. \quad (30)$$

В целом полученное соотношение (26) совместно с соотношениями (21)–(23) или (27)–(30), обеспечивающими определение на основе выборки (4) его параметров, представляет собой модель оценки эффективности перспективного вооружения и военной техники на основе натуральных испытаний.

Заключение

Реализация программ испытаний вооружения и военной техники требует существенных затрат материальных и временных ресурсов. В частности, по опыту разработки и эксплуатации систем военного назначения затраты только финансовых средств на проведение испытаний составляет свыше 50% затрат на обеспечение их жизненных циклов [13, 15]. Поэтому сокращение затрат на проведение испытаний при сохранении требуемой точности оценивания соответствующих характеристик является весьма важной проблемой. Рассмотренный в статье подход позволяет учесть особенности оценивания эффективности систем разрабатываемого вооружения и военной техники по результатам натуральных испытаний в условиях, когда объемы этих испытаний существенно ограничены. Предлагаемая модель в максимальной степени учитывает получаемую в результате испытаний объективную информацию. Практическое применение этой модели обеспечивает приемлемую точность оценки показателей эффективности перспективных систем вооружения и военной техники даже при небольших объемах натуральных испытаний их образцов. Это позволяет сократить расходы на проведение таких испытаний, а следовательно, и на разработку рассматриваемых систем в целом.

Литература

1. Чварков С.В. Модель планирования процессов производства ракетно-артиллерийского вооружения / С.В. Чварков [и др.] // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2018. № 3 (103). С. 141–147.
2. Анисимов В.Г. Методы и модели стандартизации и унификации в управлении развитием военно-технических систем / В.Г. Анисимов [и др.]. — Москва: Военная академия Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации. 2004. 279 с.
3. Anisimov E.G., Anisimov V.G., Saurenko T.N., Sonkin M.A. The model and the planning method of volume and variety assessment of innovative products in an industrial enterprise // Journal of Physics: Conference Series. 2017. 803 (1), 012006. DOI: 10.1088/1742-6596/803/1/012006.
4. 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.
5. Герцев В.Н. Оценивание эффективности системы ракетно-артиллерийского вооружения ракетных войск и артиллерии // Военная мысль. 2001. № 4. С. 39–46.
6. Гарькушев А.Ю., Гасюк Ю.Д. Моделирование приемо-сдаточных испытаний ракетно-артиллерийского вооружения // Известия РАН. 2015. № 2 (87). С. 95–100.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Воробьев А.С., Гасюк Д.П., Сосюра О.В. Основы теории эффективности боевых действий ракетных войск и артиллерии. — Москва: Министерство обороны РФ. 2003. 168 с.
11. 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.