

Всероссийский научно-исследовательский институт «Центр»
АО «НПО Спецматериалов»

ISSN 2306-1456

ВОПРОСЫ ОБОРОННОЙ ТЕХНИКИ

Серия 16

**Технические средства
противодействия терроризму**

Издается с 1937 г.

Выпуск 3–4 (201–202)



Москва • 2025

Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. — М.: ВНИИ «Центр». — СПб.: АО «НПО Спецматериалов». — СПб.: Любавич. 2025. Вып. 3–4 (201–202).

Представлен широкий круг вопросов, освещающих технические средства предотвращения и противодействия терроризму; их отработку и испытания; материалы и технологии.

Адрес редакции: 195277, Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 28А, литера Б.
Тел. (812) 542-98-50; факс: (812) 542-75-58, E-mail: vot@npo-sm.ru

В соответствии с Решением президиума ВАК Минобрнауки России научно-технический журнал «Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму» включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Сайт vak.ed.gov.ru раздел — «Нормативно-справочная информация»,
подраздел — «Перечень рецензируемых научных изданий»

Председатель редакционного совета С.И. Довгучиц
Chairman of editorial board S.I. Dovguchits

Главный редактор А.Г. Шалковский
Chief editor A.G. Shalkovsky

Редакционный совет:

*д.в.н., профессор В.И. Бабенков, д.т.н. А.В. Ноздрачев,
д.т.н., профессор В.А. Петров, д.т.н., профессор А.А. Рахманов,
д.т.н., профессор М.В. Сильников (зам. председателя редсовета), д.м.н., профессор В.Б. Симоненко,
д.т.н., профессор Е.Ф. Харченко*

Editorial board:

*D.Sc. V.I. Babenkov, D.Sc. A.V. Nozdrachev, D.Sc. V.A. Petrov,
Ph.D. A.A. Rakhmanov, D.Sc. M.V. Silnikov, D.Sc. V.B. Simonenko, D.Sc. E.F. Kharchenko*

Редакционная коллегия:

*к.т.н. А.С. Алешин, д.т.н., профессор В.Г. Анисимов, д.в.н., д.т.н., профессор В.С. Артамонов,
д.т.н. В.И. Бабичев, д.ю.н., профессор В.Ю. Владимиров, д.т.н., профессор Д.П. Гасюк,
д.ф.-м.н., профессор Н.А. Иванов, к.т.н., профессор А.А. Карачев, д.т.н., профессор В.А. Кежаев,
д.т.н., профессор О.Г. Лапука, д.т.н. А.И. Михайлин, к.т.н., доцент А.Н. Рогалев,
к.т.н., доцент А.М. Сазыкин (отв. секретарь), д.т.н., профессор О.А. Финько,
к.с.н. Е.Б. Харченко, д.т.н. М.В. Чернышов, д.в.н., к.т.н., профессор С.В. Чварков*

Editorial assembly:

*Ph.D. A.S. Aleshin, D.Sc. V.G. Anisimov, D.Sc. V.S. Artamonov, D.Sc. V.I. Babichev, D.Sc. B.Yu. Vladimirov,
D.Sc. D.P. Gasyuk, D.Sc. N.A. Ivanov, Ph.D. A.A. Karachev, D.Sc. V.A. Kezhaev, Ph.D. O.G. Lapuka,
D.Sc. A.I. Mikhaylin, Ph.D. A.N. Rogalev, Ph.D. A.M. Sazykin, D.Sc. O.A. Fin'ko, Ph.D. E.B. Kharchenko,
D.Sc. M.V. Chernyshov, Ph.D. S.V. Chvarkov*

**Подписной индекс 41271 в объединенном каталоге «Пресса России»
Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования
и размещен на сайте Научной Электронной Библиотеки**

Учредители и издатели: ФГУП «ВНИИ «Центр»
Адрес: 123242, г. Москва, ул. Садовая-Кудринская, дом 11, стр. 1
АО «НПО Спецматериалов»
Адрес: 195277, Санкт-Петербург, Большой Сампсониевский пр., 28А, литера Б

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 - 81076 от 02.06.2021,
Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

© ВНИИ «Центр», 2025
© АО «НПО Спецматериалов», 2025

УДК 334.021

doi: 10.53816/23061456_2025_3–4_3

**МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
В УСЛОВИЯХ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА**

**A MODEL FOR ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF INDUSTRIAL
ENTERPRISES OF THE MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX
IN THE CONDITIONS OF PRODUCTION DIVERSIFICATION**

Д-р техн. наук С.А. Багрецов, д-р экон. наук Д.М. Петров, Т.Г. Шалонова

D.Sc. S.A. Bagretsov, D.Sc. D.M. Petrov, T.G. Shalonova

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

Исследуются вопросы оценки устойчивости производственной системы промышленного предприятия оборонно-промышленного комплекса, выполняющего государственный оборонный заказ и реализующего на части основного производства задачи его диверсификации, ориентированные на выпуск продукции гражданского и двойного назначения. В основу определения характера взаимодействия основной и диверсифицируемой частей производства положены результаты исследования динамической модели многомерной диверсификации производства промышленного предприятия оборонно-промышленного комплекса. Исследование указанных свойств устойчивости базируется на методологии количественного определения устойчивости по Ляпунову и реализуется на основе применения топологических методов анализа систем и представлении об их фазовом портрете. Полученные результаты позволяют своевременно выявить критические области ресурсно-финансовых отношений между основной и диверсифицируемой частями производства, нарушающими условия выполнения государственного оборонного заказа.

Ключевые слова: диверсификация, государственный оборонный заказ, оборонно-промышленный комплекс, промышленное предприятие, производство.

The issues of assessing the stability of the production system of an industrial enterprise of the military-industrial complex that fulfills a state defense order and implements the tasks of its diversification focused on the production of civilian and dual-use products in part of the main production are investigated. The basis for determining the nature of the interaction of the main and diversified parts of production is based on the results of a study of a dynamic model of multidimensional diversification of production of an industrial enterprise of the military-industrial complex. The study of these stability properties is based on the methodology of quantitative determination of Lyapunov stability and is implemented on the basis of the application of topological methods of analysis of systems and the representation of their phase portrait. The results obtained make it possible to timely identify critical areas of resource-financial relations between the main and diversified parts of production that violate the conditions for fulfilling the state defense order.

Keywords: diversification, state defense order, military-industrial complex, industrial enterprise, production.

Вводная часть

Поставленная в настоящее время Президентом Российской Федерации задача частичной диверсификации производства предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) Российской Федерации [1], направленная на организацию и увеличение выпуска высокотехнологичной продукции гражданского и двойного назначения, требует, как правило, административных, организационных и финансово-хозяйственных изменений части его основного производства, занятого выполнением государственного оборонного заказа (ГОЗ).

Фактически, в рамках диверсификации производства, на предприятиях ОПК целесообразно сформировать две относительно самостоятельные хозяйственные единицы, одна из них ориентирована на рынок продукции оборонного назначения, а другая — на рынок гражданского и двойного назначения. При этом эти относительно автономно хозяйствующие структуры имеют жесткие административные, организационные и финансовые связи с основным производством, занятым выполнением ГОЗ. Указанные связи носят обоюдно заинтересованный характер между основным производством и его диверсифицируемой частью (ДЧП), прежде всего в финансовой и ресурсно-распределительной сферах производственной деятельности.

Появление в организационной структуре предприятия ОПК диверсифицированной части производства вызывает возмущение во всех структурах производственной системы основной части производства (ОЧП), начиная от административно-организационной и заканчивая финансовыми структурами, реализующими бизнес-процессы в сфере ДЧП. Учитывая тот факт, что выполнение ГОЗ в любом случае является приоритетным, возникает задача оценки устойчивости «тандема» ОЧП–ДЧП, представляющего различные, но тесно связанные хозяйствующие субъекты, функционирующие в рамках единой административной, организационной, ресурсной и финансовой систем ОЧП.

Практическая значимость исследования данного «тандема» состоит в возможности своевременного предвидения возникающего несоответствия в структурах рассматриваемых систем, их финансовых и ресурсных отношениях и

определения момента попадания этих отношений в критическую область, когда ОЧП не будет способна выполнить ГОЗ или эффективность его выполнения будет недопустимо снижена [2–4].

Полученная в результате исследования информация служит своего рода сигналом для разработки и внедрения мероприятий, позволяющих воздействовать как на основную, так и на диверсифицируемую части производства, не допуская падения темпа роста их эффективности.

Таким образом, результаты данного исследования позволят прогнозировать момент необходимого перехода системы ОЧП–ДЧП на новые технологии производства, а также осуществлять организационные или административные изменения в системе управления предприятием в целом. Также результаты данного исследования позволят управлять внедрением результатов научно-технического прогресса на предприятии, в рамках решения задач выполнения ГОЗ и выпуска продукции в рамках диверсификации производства ОПК.

Основная часть

С учетом выполненного анализа характера взаимодействия основной и диверсифицируемой частей производства, структура взаимодействия двух хозяйствующих субъектов (ОЧП–ДЧП) в общем виде может быть представлена системой дифференциальных уравнений вида [2, 3]:

$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dt} = f_1(Y_1, Y_2); \\ \frac{dY_2}{dt} = f_2(Y_1, Y_2), \end{cases} \quad (1)$$

где Y_1, Y_2 — соответственно выпуски (в объемном или денежном выражении) продукции основной и диверсифицируемой частей производства;

$f_1(Y_1, Y_2), f_2(Y_1, Y_2)$ — непрерывные функции, определенные в некоторой области G — евклидовой плоскости, и имеющие в этой области непрерывные производные не ниже первого порядка.

Переменные (Y_1, Y_2) , изменяясь во времени согласно системе уравнений (1), определяют состояние рассмотренной взаимосвязанной системы (ОЧП–ДЧП) так, что каждому состоянию системы соответствует определенная пара значений неизвестных (Y_1, Y_2) . Примем допущение, что воздействие ДЧП на макроэко-

номическую систему основного производства (ОЧП) осуществляется с помощью обобщенного технико-экономического показателя $\xi(t)$, связанного с относительными темпами роста традиционных макроэкономических показателей основной производственной деятельности предприятия, связанной с выполнением ГОЗ, а именно: производительность труда, фондоотдача, энергоемкость и т.д. [4, 5].

Чем выше скорость их роста, тем больше влияние обобщенного технико-экономического показателя ДЧП $\xi(t)$ на производственную деятельность основной части предприятия ОПК. Принимая такой подход за основу и опираясь на результаты исследования динамической модели многомерной диверсификации производства ОПК, представленные в работе [7, 8], относительные темпы роста выпуска (в объемном или финансовом эквиваленте) продукции ОЧП, выполняющего ГОЗ, и его диверсифицируемой части будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{y_1'}{y_1} + a_{12} \frac{y_2'}{y_2} &= \frac{y_1 - F_1}{C_{11}} + \eta_1; \\ a_{21} \frac{y_1'}{y_1} + \frac{y_2'}{y_2} &= \frac{y_2 - F_2}{C_{12}} + \eta_2, \end{aligned} \quad (2)$$

где «'» — символ производной по времени t ;

a_{12} , a_{21} — соответственно относительные доли выпуска основной части производства, занятой выполнением ГОЗ, переводимой в его диверсифицируемую часть производства и обратно (доля выпуска ДЧП, переводимая в ОЧП);

y_1 , y_2 — объемы выпуска продукции (активные продукты производства) в ОЧП и ДЧП соответственно;

F_1 , F_2 — производственные функции ОЧП и ДЧП;

C_{11} , C_{12} — соответственно коэффициенты при первом члене разложения в ряд Тейлора реализуемого объема продукции ОЧП и ДЧП в окрестности точки $\xi(t) = 0$, при этом:

$$\xi(t) = \sum_{i=1}^m b_i \frac{\mu_i^1(t)}{\mu_i^2(t)},$$

где b_i — весовые коэффициенты (задаются экспертным методом), определяющие значимость первичных макроэкономических показателей производственной деятельности ДЧП;

$$\sum_{i=1}^m b_i = 1; \quad b_i > 0;$$

$$\mu_i^1(t) = \frac{d\mu_i}{dt}; \quad \mu_i^2(t) = \frac{y(t)}{x_i(t)},$$

где $y(t)$, $x_i(t)$ — соответственно объемы выпуска и затрачиваемых ресурсов ДЧП;

$$C_{11} = \frac{\delta F_1(\bar{x}_1(t))}{\delta \xi(t)}, \quad C_{12} = \frac{\delta F_2(\bar{x}_2(t))}{\delta \xi(t)};$$

η_1 , η_2 — соответственно средневзвешенные темпы роста ресурсов на входе ОЧП и ДЧП предприятий:

$$\eta_1 = \sum_{i=1}^m b_i \frac{x'_{i1}(t)}{x_{i1}(t)}, \quad \eta_2 = \sum_{i=1}^m b_i \frac{x'_{i2}(t)}{x_{i2}(t)}.$$

Теперь перейдем от общих понятий к строгим количественным определениям устойчивости по Ляпунову. Применительно к системе двух уравнений (2) определение устойчивости выглядит следующим образом. Состояние равновесия устойчиво, если для любой заданной области допустимых отклонений от состояния равновесия (область ϵ) мы можем указать область $\delta(\epsilon)$, окружающую это состояние равновесия и обладающую тем свойством, что ни одна траектория изображающей точки, начинающейся внутри δ , никогда не достигнет границы области ϵ , и наоборот, состояние равновесия неустойчиво, если может быть указана такая область отклонений от состояний равновесия (область ϵ), для которой не существует области $\delta(\epsilon)$, окружающей состояние равновесия с тем свойством, что ни одна траектория, начинающаяся внутри δ , никогда не достигнет границы ϵ [5, 6]. Исследование указанных свойств устойчивости базируется на топологических методах анализа систем и представлении об их фазовом портрете [8–10].

Преобразуя систему уравнений (2), получим систему дифференциальных уравнений, описывающих макроэкономическую структуру взаимодействия ОЧП и ДЧП:

$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dt} = a_1 Y_1 + \gamma_{12} Y_1 Y_2 + \beta_1 Y_1^2; \\ \frac{dY_2}{dt} = a_2 Y_2 + \gamma_{21} Y_1 Y_2 + \beta_2 Y_2^2, \end{cases} \quad (3)$$

где $a_1 = \frac{1}{c_{11}(1-a_{12}a_{21})}$; $a_2 = \frac{1}{c_{12}(1-a_{12}a_{21})}$;

$$\beta_1 = \frac{c_{11}(\eta_1 - a_{21}\eta_2) + (F_1 - a_{21}F_2)}{c_{11}(1-a_{12}a_{21})};$$

$$\beta_2 = \frac{c_{12}(\eta_2 - a_{12}\eta_1) + (F_2 - a_{21}F_1)}{c_{12}(1-a_{12}a_{21})};$$

$$\gamma_{12} = -\frac{a_{21}}{c_{11}(1-a_{12}a_{21})}; \quad \gamma_{21} = -\frac{a_{12}}{c_{12}(1-a_{12}a_{21})};$$

$$\eta_1 = \sum_{i=1}^m b_{i1} \frac{x'_{j1}}{x_{i1}};$$

$$\eta_2 = \sum_{i=1}^m b_{i2} \frac{x'_{j2}}{x_{i2}} a_1 Y_1 + \gamma_{12} Y_1 Y_2 + \beta_1 Y_1^2.$$

Будем полагать, что коэффициенты $\gamma_{ij}, \beta_i a_i (i=1, 2)$ на интервале наблюдения изменяются незначительно, то есть являются постоянными. Тогда можно следующим образом определить правые части системы уравнений (3):

$$\begin{cases} f_1(Y_1, Y_2) = a_1 Y_1 + \beta_1 Y_1^2 + \gamma_{12} Y_1 Y_2 \\ f_2(Y_1, Y_2) = a_2 Y_2 + \beta_2 Y_2^2 + \gamma_{21} Y_1 Y_2 \end{cases}. \quad (4)$$

Найдем состояния равновесия [6, 8], приравняв левые части уравнений (4) к нулю ($Y'_1 = 0, Y'_2 = 0$), в результате получим:

$$\begin{cases} Y_{10} = 0 \\ Y_{20} = -\frac{a_1}{\gamma_{12}} \end{cases}; \quad \begin{cases} Y_{20} = 0 \\ Y_{10} = -\frac{a_2}{\gamma_{21}} \end{cases}.$$

Очевидно, общее число состояний равновесия производственной системы ОЧП–ДЧП будет равно комбинации полученных состояний. Их общее число будет равно 4 (четырем):

$$\begin{aligned} 1) & \begin{cases} Y_{10} = 0 \\ Y_{20} = 0 \end{cases}; \quad 2) & \begin{cases} Y_{10} = 0 \\ Y_{20} = -\frac{a_1}{\gamma_{12}} \end{cases}; \\ 3) & \begin{cases} Y_{10} = -\frac{a_2}{\gamma_{21}} \\ Y_{20} = 0 \end{cases}; \quad 4) & \begin{cases} Y_{10} = \frac{a_2 \gamma_{12} - a_1 \beta_2}{\beta_1 \beta_2 - \gamma_{12} \gamma_{21}} \\ Y_{20} = \frac{a_1 \gamma_{21} - a_2 \beta_1}{\beta_1 \beta_2 - \gamma_{12} \gamma_{21}} \end{cases}. \end{aligned}$$

Таким образом, получим матрицу линейного приближения [8] в точках равновесия, где

$$a = \left. \frac{\partial f_1}{\partial Y_1} \right|_{Y_1=Y_{10}, Y_2=Y_{20}} = \frac{\partial}{\partial Y_1} (a_1 Y_1 + \beta_1 Y_1^2 + \gamma_{12} Y_1 Y_2) \Big|_{Y_1=Y_{10}, Y_2=Y_{20}} =$$

$$= (a_1 + 2\beta_1 Y_1 + \gamma_{12} Y_2) \Big|_{Y_1=Y_{10}, Y_2=Y_{20}} = a_1 + 2\beta_1 Y_{10} + \gamma_{12} Y_{20};$$

$$b = \left. \frac{\partial f_1}{\partial Y_2} \right|_{Y_1=Y_{10}, Y_2=Y_{20}} = \frac{\partial}{\partial Y_2} (a_1 Y_1 + \beta_1 Y_1^2 + \gamma_{12} Y_1 Y_2) \Big|_{Y_1=Y_{10}, Y_2=Y_{20}} = \gamma_{12} Y_{10};$$

$$c = \left. \frac{\partial f_2}{\partial Y_1} \right|_{Y_1=Y_{10}, Y_2=Y_{20}} = \frac{\partial}{\partial Y_1} (a_1 Y_1 + \beta_2 Y_2^2 + \gamma_{21} Y_1 Y_2) \Big|_{Y_1=Y_{10}, Y_2=Y_{20}} = \gamma_{21} Y_{20};$$

$$d = \left. \frac{\partial f_2}{\partial Y_2} \right|_{Y_1=Y_{10}, Y_2=Y_{20}} = a_2 + 2\beta_2 Y_{20} + \gamma_{21} Y_{10}.$$

Тогда матрица дисперсионного уравнения [6, 8] будет иметь вид:

$$\begin{vmatrix} a_1 + 2\beta_1 Y_{10} + \gamma_{12} Y_{20} - \omega & \gamma_{12} Y_{10} \\ \gamma_{21} Y_{20} & a_2 + 2\beta_2 Y_{20} + \gamma_{21} Y_{10} - \omega \end{vmatrix} = 0.$$

Откуда дисперсионное уравнение будет равно:

$$\omega^2 - \mu\omega + \Delta = 0,$$

$$\text{где } \mu = a + d, \Delta = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}.$$

1. Рассмотрим первое из четырех состояний равновесия при $Y_{10} = 0, Y_{20} = 0$. В этом случае имеем:

$$\mu = a_1 + a_2; \quad \Delta = a_1 a_2;$$

$$\omega_{1,2} = \frac{(a_1 + a_2) \pm \sqrt{(a_1 + a_2)^2 - 4a_1 a_2}}{2}.$$

Поскольку $a_1 a_2 > 0$, $(a_1 + a_2)^2 - 4a_1 a_2 > 0$, то получим действительные корни одного знака и, следовательно, состояние ($Y_{10} = 0, Y_{20} = 0$) представляет собой неустойчивый узел [5, 6, 8, 9]. Фактически это означает, что система предприятий ОЧП и ДЧП не может находиться в состоянии нулевого выпуска (производства), и при ма-

лейших изменениях параметров (административных, организационных или финансовых) обязательно будет наблюдаться интенсивный рост выпуска как в первой, так и во второй макросистемах, как в подсистеме выполнения ГОЗ, так и в подсистеме выпуска диверсифицируемой продукции.

Фактически это состояние свидетельствует о готовности данного предприятия к форсированному решению задач диверсификации производства. Однако здесь есть опасность потери контроля ОЧП над ДЧП, когда их система взаимодействия теряет смысл. ДЧП становится независимым по отношению к основной части производства предприятием.

2. Рассмотрим второе состояние равновесия

$$Y_{10} = 0; \quad Y_{20} = -\frac{a_1}{\gamma_{12}}.$$

Такая модель характерна для случая, когда при эндогенном [3, 4] в целом характере развития ДЧП вырабатываемые ОЧП ресурсы, в силу проводимой финансово-экономической политики предприятия, оказываются не способными в полном объеме обеспечить развитие диверсифицируемой части производства. В некоторых случаях это может быть пассивная политика ожидания помощи извне. В отдельных случаях такая политика может быть оправдана в силу технологической сложности предполагаемых продуктов диверсификации, их транспортировки, реализации на рынке и т.п.

Для этого случая имеем $\mu = a_2 - 2\beta_2 \frac{a_1}{\gamma_{12}}$;

$\Delta = 0$, поэтому дисперсионное уравнение взаимодействия ОЧП и ДЧП принимает вид:

$$\omega^2 - (a_2 - 2\beta_2 \frac{a_1}{\gamma_{12}}) = 0; \quad \omega_1 = 0;$$

$$\omega_2 = a_2 - 2\beta_2 \frac{a_1}{\gamma_{12}}.$$

В этой ситуации мы имеем критическую точку $a_2 = 2\beta_2 \frac{a_1}{\gamma_{12}}$, в которой корни становятся нулевыми. При скорости деградации ДЧП $a_2 < 2\beta_2 \frac{a_1}{\gamma_{12}}$ система ОЧП в силу проводимой финансово-экономической политики предприятия теряет устойчивость.

При скорости деградации ДЧП $a_2 > 2\beta_2 \frac{a_1}{\gamma_{12}}$

состояние равновесия представляет собой неустойчивый узел. В этом случае начатая в таком виде диверсификация (то есть при структуре, объеме, технологической сложности и т.п. факторах) может приводить к деградации основной части производства, то есть к невыполнению ГОЗ.

Очевидно, критическая точка $a_2 = 2\beta_2 \frac{a_1}{\gamma_{12}}$

представляет собой состояние нейтральной устойчивости ОЧП и ДЧП, предприятия ОПК.

3. Теперь рассмотрим третье состояние равновесия. Этот случай характерен для систем, имеющих в некоторых случаях достаточно высокий научный уровень развития человеческого капитала и корпоративной культуры производства, однако отдача и инициатива от коллектива специалистов ОЧП минимальны ($Y_{20} = 0$). Очевидно, что, так же как и в предыдущем случае, в зависимости от скорости деградации, система будет либо устойчивой, либо нет.

В этом случае при $\mu = a_1 - 2\beta_1 \frac{a_2}{\gamma_{21}}$, $\Delta = 0$

дисперсионное уравнение принимает вид:

$$\omega^2 - (a_1 - 2\beta_1 \frac{a_2}{\gamma_{21}})\omega = 0,$$

$$\omega_1 = 0; \quad \omega_2 = a_1 - 2\beta_1 \frac{a_2}{\gamma_{21}}.$$

Здесь имеем критическую точку $a_1 = 2\beta_1 \frac{a_2}{\gamma_{21}}$,

в которой корни становятся нулевыми, а система в ней оказывается нейтрально устойчивой. При $a_1 < 2\beta_1 \frac{a_2}{\gamma_{21}}$ система будет устойчивой и состояние равновесия представляет собой устойчивый узел. Такая система может оказаться устойчивой в широком диапазоне изменяемых параметров, в том числе и административно-организационных.

При $a_1 > 2\beta_1 \frac{a_2}{\gamma_{21}}$ состояние равновесия ОЧП

и ДЧП будет представлять собой неустойчивый узел. Подобный превентивный анализ позволяет учесть в том числе и морально-психологический фактор развития процессов диверсификации основной части производства.

4. Рассмотрим четвертое состояние равновесия

$$Y_{10} = \frac{a_2\gamma_{12} - a_1\beta_2}{\beta_1\beta_2 - \gamma_{12}\gamma_{21}}; Y_{20} = \frac{a_1\gamma_{21} - a_2\beta_1}{\beta_1\beta_2 - \gamma_{12}\gamma_{21}}.$$

Этот случай наиболее типичен для конструктивного взаимодействия технической (производственной) части основного производства и её диверсификационной составляющей.

В этом случае имеем:

$$\mu = -\{a_1\beta_2(\beta_1 - \beta_2) + a_2\beta_1(\gamma_{12} + \beta_2)\};$$

$$\omega_{12} = -\frac{[a_1\beta_2(\beta_1 - \beta_2) + a_2\beta_1(\gamma_{12} + \beta_2)]}{2} \pm \frac{\sqrt{[a_1\beta_2(\beta_1 - \beta_2) + a_2\beta_1(\gamma_{12} + \beta_2)]^2 - 4\gamma_{12}\gamma_{21} \times (a_1\beta_2 + a_2\gamma_{12})(a_1\gamma_{21} - a_2\beta_1)}}{2}. \quad (5)$$

Если подкоренное выражение (5) положительно, то состояние равновесия ОЧП и ДЧП будет представлять собой устойчивый узел, при изменении знака подкоренного выражения состояние равновесия превращается в устойчивый фокус. В критической точке система

$$[a_1\beta_2(\beta_1 - \beta_2) + a_2\beta_1(\gamma_{12} + \beta_2)]^2 - 4\gamma_{12}\gamma_{21} \times (a_1\beta_2 + a_2\gamma_{12})(a_1\gamma_{21} - a_2\beta_1)$$

перескакивает из устойчивого фокуса в устойчивый узел, что в целом отражает стохастический характер процессов диверсификации в силу влияния на этот процесс многочисленных административных, организационных, финансовых и других факторов.

Выводы

Диверсификация производства является сложным процессом. С одной стороны, это вынужденный процесс, связанный с неизбежным сокращением оборонного бюджета в связи с выполнением планов поставки в Вооруженные Силы Российской Федерации новейших систем вооружения, а с другой — этот процесс связан с необходимостью выполнения текущих планов ГОЗ, связанных с необходимым проведением НИОКР по дальнейшему

$$\Delta = \gamma_{12}\gamma_{21}(a_1\beta_2 + a_2\gamma_{12})(a_1\gamma_{21} - a_2\beta_1).$$

Дисперсионное уравнение принимает следующий вид:

$$\omega^2 + [a_1\beta_2(\beta_1 - \beta_2) + a_2\beta_1(\gamma_{12} + \beta_2)]\omega + \gamma_{12}\gamma_{21}(a_1\beta_2 + a_2\gamma_{12})(a_1\gamma_{21} - a_2\beta_1) = 0.$$

Общее решение имеет вид:

$$\omega^2 + [a_1\beta_2(\beta_1 - \beta_2) + a_2\beta_1(\gamma_{12} + \beta_2)]\omega + \gamma_{12}\gamma_{21}(a_1\beta_2 + a_2\gamma_{12})(a_1\gamma_{21} - a_2\beta_1) = 0.$$

совершенствованию современных систем вооружения, а также с поддержанием их необходимого объема в войсках.

В таких условиях на предприятиях ОПК закономерно появление двух взаимосвязанных производств, а именно — основной части производства, занятой выполнением ГОЗ, и диверсифицируемой части производства, работающей на рынке продукции гражданского и двойного назначения, но организационно, административно, ресурсно и финансово связанных с основным предприятием. Такая связка взаимодействующих производств требует разработки и применения соответствующего научно-методического аппарата оценки характера их взаимовлияния с учетом безусловного сохранения приоритетности выполнения задач основной части производства, занятой выполнением ГОЗ [10].

Основой предложенной модели оценки является понятие устойчивости деятельности основной и диверсифицируемой частей производства и топологический метод, что позволяет, на основе первичных оценок показателей производственной деятельности ДЧП и ОЧП на ранних стадиях развития системы организационных и финансовых отношений основной и диверсифицируемой частей производства выявить их критические точки устойчивости и определить наиболее рациональные пути их дальнейшего развития.

Список источников

1. Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации от 01.12.2016. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41550> (дата обращения: 02.08.2022).

2. Багрецов С.А., Петров Д.М., Шалонова Т.Г. Информационный метод оценки процессов формирования научно-технического задела предприятий оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2023. № 3–4 (177–178). С. 3–8.

3. Багрецов С.А., Петров Д.М., Плотников В.А. Теоретико-методологические аспекты комплексной оценки эффективности экономической безопасности предприятий в современных условиях: монография. СПб.: Р-КОПИ, 2016. 449 с.

4. Багрецов С.А., Петров Д.М., Куличков В.К., Гаврилов А.В. Трансформация рисков при реализации программы диверсификации предприятий оборонно-промышленного комплекса // Стратегическая стабильность. 2019. № 1 (86). С. 32–35.

5. Колемаев В.А. Математическая экономика: учеб. для вузов. М.: ЮНИТИ, 1998. 240 с.

6. Шевцов Г.С. Линейная алгебра: теория и прикладные аспекты: учеб. пособие. 3-е изд., испр. и доп. М.: Магистр: ИНФРА–М, 2014. 544 с.

7. Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: монография. М.: РАН, 2018. 314 с.

8. Андреев А.Ф. Особые точки дифференциальных уравнений. Минск: Высшая школа, 1979. 136 с.

9. Матвеев Н.М. Дифференциальные уравнения. 3-е изд., доп. Минск: Высшая школа, 1968. 348 с.

10. Эддоус М., Стэнсфилд Р. Методы принятия решений; пер. с англ. И.И. Елисеевой. М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. 590 с.

References

1. The President's message to the Federal Assembly of the Russian Federation dated December 01, 2016. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41550> (date of reference: 08/02/2022).

2. Bagretsov S.A., Petrov D.M., Shalanova T.G. Information method for assessing the processes of formation of scientific and technical reserve of enterprises of the military-industrial complex of the Russian Federation // Issues of defense technology. Episode 16. Technical means of countering terrorism. 2023. No 177–178. Pp. 3–8.

3. Bagretsov S.A., Petrov D.M., Plotnikov V.A. Theoretical and methodological aspects of a comprehensive assessment of the effectiveness of economic security of enterprises in modern conditions: monograph. St. Petersburg: R-KOPI, 2016. 449 p.

4. Bagretsov S.A., Petrov D.M., Kulichkov V.K., Gavrilov A.V. Transformation of risks in the implementation of the program of diversification of enterprises of the military-industrial complex // Strategic stability. 2019. No 1 (86). Pp. 32–35.

5. Kolemaev V.A. Mathematical economics: textbook for universities. Moscow: UNITY, 1998. 240 p.

6. Shevtsov G.S. Linear algebra: theory and applied aspects: textbook. stipend. 3rd ed. ispr. and add. Moscow: Magistr: INFRA–M, 2014. 544 p.

7. Mikoni S.V., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Qualimetry of models and polymodel complexes: monograph. Moscow: RAS, 2018. 314 p.

8. Andreev A.F. Singular points of differential equations. Minsk: Higher School, 1979. 136 p.

9. Matveev N.M. Differential equations. 3rd ed., add. Minsk: Higher School, 1968. 348 p.

10. Eddous M., Stansfield R. Methods of decision-making; translated from English by I.I. Eliseeva. Moscow: Audit, UNITY, 1997. 590 p.

УДК 658.1

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_10

**МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ
ВЕРТИКАЛЬНО ИНТЕГРИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЙ
ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
ПО СОЗДАНИЮ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ОРУЖИЯ**

**MODEL OF FORMATION OF THE VERTICALLY INTEGRATED COOPERATION
OF THE ENTERPRISES OF DEFENSE INDUSTRY COMPLEX FOR CREATION
OF SAMPLES OF HIGH-SPEED WEAPONS**

Канд. экон. наук А.Н. Рыбаков¹, канд. техн. наук Р.В. Реулов², М.А. Семернин³, В.О. Нестеров³

Ph.D. A.N. Rybakov, Ph.D. R.V. Reulov, M.A. Semernin, V.O. Nesterov

¹ *Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»,*

² *Российская академия ракетных и артиллерийских наук,*

³ *46 ЦНИИ Минобороны России*

В статье предложена модель формирования вертикально интегрированной структуры предприятий оборонно-промышленного комплекса, позволяющая осуществлять отбор организаций, участвующих в выполнении государственного оборонного заказа, для охвата всех этапов технологического процесса от разработки и изготовления образцов высокоскоростного оружия до поставки серийных изделий, их обслуживания и ремонта в интересах повышения эффективности планирования и снижения производственных технологических рисков. Изложен поэтапный процесс интеграции предприятий оборонно-промышленного комплекса в вертикально интегрированную структуру. Рассмотрен алгоритм отбора предприятий-разработчиков (изготовителей) составных частей, узлов и элементов образцов высокоскоростного оружия. Предложен порядок расчета показателей финансово-экономических и производственно-технологических возможностей предприятий.

Ключевые слова: оборонно-промышленный комплекс, кооперация, вертикально интегрированная структура, промышленность, высокоскоростное оружие.

The article proposes a model for the formation of a vertically integrated structure of enterprises of the military-industrial complex, which allows the selection of organizations involved in the implementation of the state defense order to cover all stages of the technological process from the development and manufacture of high-speed weapons to the supply of serial products, their maintenance and repair in order to increase planning efficiency and reduce production technological risks. A step-by-step process of integrating enterprises of the military-industrial complex into a vertically integrated structure is outlined. The algorithm of selection of enterprises-developers (manufacturers) of components, assemblies and elements of samples of high-speed weapons is considered. The procedure for calculating the indicators of financial, economic, production and technological capabilities of enterprises is proposed.

Keywords: military-industrial complex, cooperation, vertically integrated structure, industry, high-speed weapons.

Современные экономические условия ведения хозяйственной деятельности организациями Российской Федерации (РФ) характеризуются повышенным уровнем конкуренции и необходимостью формирования соответствующих стратегий развития, способных отвечать на вызовы внешней среды и обеспечивать рост технологического потенциала. Одним из возможных путей достижения указанных целей, повышения эффективности реализации стратегий и планов развития, решения задач импортозамещения и полноты загрузки мощностей является формирование вертикально интегрированных структур (ВИС), органично сочетающих технологически независимые производственные, распределительные, сбытовые возможности и другие экономические процессы в рамках одного концерна (корпорации) [1–6, 8, 9, 13, 14].

Особую актуальность вертикальная интеграция предприятий приобретает в высокотехнологических областях, требующих взаимоувязки по целям, срокам и усилиям большого числа уникальных научных, технологических и производственных коллективов, концентрации ограниченных финансовых ресурсов [7, 10].

Одними из успешно применяющих практику использования вертикальной интеграции в Российской Федерации являются компании:

ОАО НК «Роснефть» — крупнейшая нефтегазовая компания, в которой более 40 дочерних добывающих, перерабатывающих, сервисных и сбытовых предприятий, расположенных практически во всех регионах страны;

ПАО «Северсталь» — горнодобывающая и металлургическая компания, контролирующая весь цикл производства — от добычи и переработки сырья до выпуска конечной продукции. В структуру компании входят как основные предприятия (горно-обогатительные комбинаты, доменное, сталеплавильное, трубное производство и пр.), так и вспомогательные организации, обеспечивающие производственные процессы сырьем, сбором и переработкой металлолома для вторичного использования, сервисным обслуживанием, разработкой и внедрением новых технологий; продажей продукции; транспортной логистикой, включая авиаперевозки, проектирование и строительство новых производственных цехов.

К числу указанных высокотехнологических областей относится разработка высокоско-

ростного оружия (ВО). Наличие на вооружении ВО и возможность его многовариантного применения позволяет оперативно воздействовать на критически важные объекты системы государственного и военного управления, военно-экономического и боевого потенциала, а также на инфраструктуру государства — эвентуального противника. ВО является не только элементом сдерживания противника от развязывания военной агрессии, но и средством, способным изменить ход военного конфликта. В настоящее время в ведущих в военном плане зарубежных странах мира активно ведутся научные и прикладные исследования по созданию высокоскоростных образцов вооружения и технологий, их экспериментальной отработки и испытаний. Российской Федерацией в рамках государственной программы вооружения (ГПВ) выполняются и запланированы к выполнению работы по созданию ВО различного назначения и базирования.

В настоящей статье авторами предложена формализованная модель формирования ВИС предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) по созданию образцов ВО (рис. 1).

Процесс интеграции предприятий ОПК необходимо осуществлять в несколько этапов.

Этап 1. Определение количества интегрированных структур и их типовой структурной схемы.

На данном этапе проводится анализ:

- угроз национальной безопасности Российской Федерации;
- концепций, программ и планов развития ВО на долгосрочные периоды;
- тактико-технических требований к перспективным образцам ВО.

Результатом анализа является типовая структурная схема (рис. 2), отображающая обобщенный состав предприятий ОПК в виде интегрированных структур и связей между ними, необходимых для создания всех типов и видов образцов ВО.

По результатам анализа концептуальных документов определяется рациональное количество интегрированных структур с точки зрения типов ВО и связей между ними:

$$I^{\text{ВО}} = (I_1^{\text{ВО}}, I_2^{\text{ВО}}, I_3^{\text{ВО}}, \dots, I_N^{\text{ВО}}),$$

где $I^{\text{ВО}}$ — набор вертикально интегрированных структур в области ВО;



Рис. 1. Модель формирования ВИС предприятий ОПК по созданию образцов ВО



Рис. 2. Типовая структурная схема вертикально-интегрированной кооперации предприятий ОПК по созданию ВО

I_j^{BO} — j -я вертикально-интегрированная структура в области ВО;

N — количество интегрированных структур в области ВО.

Этап 2. Выявление организаций, которые могут входить в ВИС в области ВО.

Для формирования состава ВИС выполняются следующие мероприятия:

- выделение однотипных по функционально-целевому признаку составных частей, узлов и элементов ВО, разрабатываемых (производимых) в рамках интегрированной структуры;

- выделение предприятий-разработчиков и производителей составных частей, узлов и элементов ВО, с последующим присвоением им информационных признаков принадлежности к интегрированной структуре и определения места данного предприятия в ней;

- привязка предприятий к соответствующему элементу типовой структурной схемы по принципу «один ко многим».

Перечень предприятий ОПК, которые рассматриваются на предмет возможного включения в состав интегрированных структур в области ВО, формируется по результатам анализа реестров предприятий ОПК и недобросовестных поставщиков, состава кооперации ранее выполненных (выполняемых в настоящее время)

мероприятий по созданию и производству образцов (составных частей, узлов, элементов) ВО.

В результате для каждой j -й вертикально интегрированной структуры в области ВО формируется перечень предприятий $\Pi_j^{исх}$, включающий предприятия, состоящие в реестре ОПК $\Pi_j^{ОПК}$, в кооперации мероприятий ГОЗ $\Pi_j^{коопер}$, поставщиков комплектующих изделий $\Pi_j^{компл}$ и не включающий организации, внесенные в реестр недобросовестных поставщиков $\Pi^{недобр}$:

$$\Pi_j^{исх} = \Pi_j^{ОПК} \cup \Pi_j^{коопер} \cup \Pi_j^{компл} \cap \Pi^{недобр}.$$

Этап 3. Оценка финансово-экономических и производственно-технологических возможностей предприятий.

Для каждого предприятия, включенного в перечень $\Pi_j^{исх}$, рассчитывается коэффициент $P_{фп}$, характеризующий его финансово-экономические и производственно-технологические возможности с учетом достаточности имеющихся мощностей и необходимых комплектующих, соответствия технологического уровня и квалификации персонала по формуле:

$$P_{фп} = P_m \cdot P_{тип} \cdot P_{ком} \cdot P_б \cdot P_{фy},$$

где P_m — показатель достаточности располагаемых мощностей предприятия и испытательной базы;

$P_{\text{тип}}$ — показатель соответствия технологического уровня и квалификации персонала предприятия требуемому уровню;

$P_{\text{ком}}$ — показатель обеспечения необходимыми комплектующими для производства продукции на предприятии;

P_6 — оценка вероятности банкротства предприятий в программный период;

$P_{\text{фу}}$ — уровень финансово-экономической устойчивости предприятия.

Для расчета указанных показателей используются вероятностная [11] и рейтинговые [12] оценки, а также данные из стандартных форм бухгалтерской отчетности и общедоступных статистических источников.

Этап 4. Формирование состава интегрированной структуры.

В начале этапа формируется структурная функциональная технологическая схема (СФТС) типового образца ВО, разработку (производство) которого осуществляет ВИС. За основу может быть принята СТФС высокоскоростной ракеты, приведенная в «Методике комплексной оценки готовности научно-технического задела для перспективного образца вооружения, военной и специальной техники», утвержденной начальником Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации — первым заместителем Министра обороны Российской Федерации 3 февраля 2021 года.

Далее каждое k -е предприятие Π_j^k , входящее в перечень $\Pi_j^{\text{исх}}$ ($\Pi_j^k \in \Pi_j^{\text{исх}}$), привязывается к одному или нескольким элементам СТФС по принципу «один ко многим».

В случае если после привязки остались составные части, узлы, или элементы образцов ВО, по которым отсутствует предприятие ОПК, осуществляется возврат на 2-й этап для более качественного формирования перечня предприятий $\Pi_j^{\text{исх}}$.

Далее определяется коэффициент важности каждой составной части, узла, элемента СФТС по формулам:

$$P_h^k = \frac{1}{H};$$

$$P_{lh}^k = \frac{P_h^k}{L};$$

$$P_{flh}^k = \frac{P_{lh}^k}{F},$$

где P_h^k — коэффициент важности h -й составной части;

P_{lh}^k — коэффициент важности l -го узла h -й составной части;

P_{flh}^k — коэффициент важности f -го элемента l -го узла h -й составной части;

H — количество составных частей;

L — количество узлов;

F — количество комплектующих элементов.

Коэффициент значимости предприятия для интегрированной структуры рассчитывается следующим образом:

$$P_{\text{зн}}^k = \sum_{h=1}^H P_h^k \cdot W_h^k + \sum_{h=1}^H \sum_{l=1}^L P_{lh}^k \cdot W_{lh}^k + \sum_{h=1}^H \sum_{l=1}^L \sum_{f=1}^F P_{flh}^k \cdot W_{flh}^k,$$

где $P_{\text{зн}}^k$ — коэффициент значимости k -го предприятия для интегрированной структуры;

$W_h^k, W_{lh}^k, W_{flh}^k$ — показатели включения предприятия в ВИС, определяемые как:

$$W_h^k = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-е предприятие разрабатывает} \\ & \text{(производит) } h\text{-ю составную часть ВО;} \\ 0 & \text{— в противном случае;} \end{cases}$$

$$W_{lh}^k = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-е предприятие разрабатывает} \\ & \text{(производит) } l\text{-й узел} \\ & h\text{-й составной части ВО;} \\ 0 & \text{— в противном случае;} \end{cases}$$

$$W_{flh}^k = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-е предприятие разрабатывает} \\ & \text{(производит) } f\text{-й элемент } l\text{-го узла} \\ & h\text{-й составной части ВО;} \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

Обобщенный коэффициент важности k -го предприятия для интегрированной структуры рассчитывается как:

$$P_{\text{важн}}^k = P_{\text{фп}}^k \cdot P_{\text{зн}}^k.$$

Для формирования состава предприятий ВИС используется следующий алгоритм.

Из всего перечня предприятий $\Pi_j^{\text{исх}}$, которые могут входить в j -ю вертикально интегрированную структуру, выбирается набор предприятий $\Pi_j^{\text{сч}}$, который перекрывает все H составных частей образца ВО, разрабатываемых (производимых) вертикально-интегрированной структурой. При этом приоритет имеют предприятия с наивысшим коэффициентом значимости $P_{\text{зн}}^k$. В случае наличия предприятий с равными коэффициентами значимости приоритет отдается предприятию с большим коэффициентом финансово-экономических и производственно-технических возможностей $P_{\text{фп}}^k$

$$\Pi_j^{\text{сч}} = \underset{\Pi_j^{\text{исх}} \in \Pi_j^{\text{сч}}}{\operatorname{arglexmax}} \{P_{\text{зн}}(\Pi_j^{\text{сч}}), P_{\text{фп}}(\Pi_j^{\text{сч}})\};$$

$$P_{\text{зн}}(\Pi_j^{\text{сч}}) = \sum_{y=1}^Y P_{\text{зн}}^y; P_{\text{фп}}(\Pi_j^{\text{сч}}) = \sum_{y=1}^Y P_{\text{фп}}^y,$$

где Y — количество предприятий во множестве $\Pi_j^{\text{сч}}$;

$P_{\text{зн}}^y$ — коэффициент значимости y -го предприятия-разработчика (изготовителя) составной части;
 $P_{\text{фп}}^y$ — коэффициент финансово-экономических и производственно-технических возможностей y -го предприятия-разработчика (изготовителя) составной части.

Далее аналогичным образом отбираются предприятия-разработчики (изготовители) узлов и элементов образцов ВО, создание (производство) которых осуществляется вертикально интегрированной структурой.

Таким образом, предложенная модель формирования вертикально интегрированной структуры позволяет формализовать процесс оценки и отбора предприятий ОПК по созданию образцов (составных частей, узлов, элементов) ВО с учетом степени их участия в разработке (производстве) продукции, финансово-экономических и производственно-технологических возможностей, что обеспечивает возможность снижения рисков невыполнения мероприятий ГПВ по созданию ВО и повышения экономической эффективности деятельности каждого предприятия, входящего в вертикально-интегрированную структуру.

Список источников

1. Оборонно-промышленный комплекс Российской Федерации: приоритетные направления,

организационно-экономические механизмы и методическое обеспечение инновационного развития: монография; под ред. Г.А. Лавринова. М.: Издательский дом «Граница», 2019. 376 с.

2. Инструментарий управления деятельностью инновационно активных предприятий в условиях диверсификации: монография; под ред. А.М. Батьковского, П.В. Кравчука. М.: ОнтоПринт, 2019. 268 с.

3. Саблина А.Л. Взаимодействие участников интегрированной структуры оборонно-промышленного комплекса на основе модели компенсационных отношений // Финансы и кредит. 2009. № 47 (383). С. 48–52.

4. Михин В.Ф., Чевгун С.С. Динамическая балансовая модель организационно-экономического механизма вертикально интегрированной структуры в ОПК // Экономика в промышленности. 2017. Т. 10. № 4. С. 322–326.

5. Серов Н.В. Методика экспертной оценки возможностей предприятий и интегрированных структур оборонно-промышленного комплекса по инновационной деятельности в создании новых видов продукции // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2019. № 2. С. 43–50.

6. Журенков Д.А. Модель корпоративной инновационно-промышленной платформы интегрированной структуры ОПК // Научный альманах. 2016. № 4–1 (18). С. 86–89.

7. Лобова С.В., Теплова И.Г. Особенности вертикальной и горизонтальной интеграции в оборонно-промышленном комплексе (на примере федерального научно-производственного центра «Алтай») // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 23 (212). С. 21–28.

8. Хачатурян А.А., Петров Д.М. Проблемы создания интегрированных структур кластерного типа в оборонно-промышленном комплексе // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 21 (210). С. 19–23.

9. Батьковский А.М., Батьковский М.А., Хрусталева Е.Ю. Оценка развития производственной мощности интегрированной структуры оборонно-промышленного комплекса в процессе диверсификации производства продукции // Международный журнал профессиональной науки. 2022. № 7. С. 41–50.

10. Закутнев С.Е., Кравчук И.А. Современные проблемы интеграционных процессов в

оборонно-промышленном комплексе // Транспортный бизнес в России. 2014. № 2. С. 80–83.

11. Хасанов Р.Х., Каштанов Н.Н., Маргарян Л.Г. Модель оценки вероятности банкротства Э. Альтмана: применимость в Российской Федерации и использование при рейтинговой оценке кредитоспособности // Вестник Финансового университета. 2013. № 5 (77). С. 44–53.

12. Савинская Н.А., Баглеева М.Н. Риски и устойчивость предприятия: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 1999. 99 с.

13. Пронин А.Ю., Афанасьев А.С. Организационно-экономический механизм управления развитием инновационных предприятий в современных условиях цифровизации // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т. 1. № 5 (146). С. 29–36.

14. Пронин А.Ю. Диверсификация оборонно-промышленного комплекса — инновационный путь развития экономики России // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. № 11–3 (69). С. 10–14.

Resources

1. The military-industrial complex of the Russian Federation: priority areas, organizational and economic mechanisms and methodological support for innovative development: edited by G.A. Lavrinov: monograph. Moscow: Publishing House «Frontier», 2019. 376 p.

2. Tools for managing the activities of innovatively active enterprises in the context of diversification: monograph; edited by A.M. Batkovsky, P.V. Kravchuk. Moscow: OntoPrint, 2019, 268 p.

3. Sablina A.L. Interaction of participants in the integrated structure of the military-industrial complex based on the model of compensation relations // Finance and credit. 2009. No 47 (383). Pp. 48–52.

4. Mikhin V.F., Chevgun S.S. Dynamic balance model of the organizational and economic mechanism of a vertically integrated structure in the defense industry // Economics in industry. 2017. No 4. Vol. 10. Pp. 322–326.

5. Serov N.V. Methodology of expert assessment of the capabilities of enterprises and integra-

ted structures of the military-industrial complex on innovation in the creation of new types of products // Scientific Bulletin of the Russian Military-industrial Complex. 2019. No 2. Pp. 43–50.

6. Zhurenkov D.A. Model of the corporate innovation and industrial platform of the integrated defense industry structure // Scientific Almanac. 2016. No 4–1 (18). Pp. 86–89.

7. Lobova S.V., Teplova I.G. Features of vertical and horizontal integration in the military-industrial complex (on the example of the Altai Federal Research and Production Center) // National interests: priorities and security. 2013. No 23 (212). Pp. 21–28.

8. Khachaturian A.A., Petrov D.M. Problems of creating integrated cluster-type structures in the military-industrial complex // National interests: priorities and security. 2013. No 21 (210). Pp. 19–23.

9. Batkovsky A.M., Batkovsky M.A., Khrustalev E.Yu. Assessment of the development of the production capacity of the integrated structure of the military-industrial complex in the process of product diversification // International journal of Professional Science. 2022. No 7. Pp. 41–50.

10. Zakutnev S.E., Kravchuk I.A. Modern processes of integration processes in the military-industrial complex // Transport business in Russia. 2014. No 2. Pp. 80–83.

11. Khasanov R.Kh., Kashtanov N.N., Margaryan L.G. E. Altman's bankruptcy probability assessment model: applicability in the Russian Federation and use in credit rating assessment // Bulletin of the Financial University. 2013. No 5 (77). Pp. 44–53.

12. Savinskaya N.A., Bagleeva M.N. Risks and sustainability of the enterprise. St. Petersburg: SPbGUEF Publishing House, 1999.

13. Pronin A.Yu., Afanasyev A.S. Organizational and economic mechanism for managing the development of innovative enterprises in modern conditions of digitalization // Economics and management: problems, solutions. 2024. Vol. 1. No 5 (146). Pp. 29–36.

14. Pronin A.Y. Diversification of the military-industrial complex — an innovative way of developing the Russian economy // Economics and Business: theory and practice. 2020. No 11–3 (69). Pp. 10–14.

УДК 519.711.3

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_17

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ
СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

**PROVIDING RESEARCH ON THE PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT
OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS IN A NETWORK-CENTRIC
MANAGEMENT PARADIGM**

Д-р техн. наук В.А. Кежаев¹, канд. техн. наук М.М. Макаров¹, канд. техн. наук А.М. Сазыкин²

D.Sc. V.A. Kezhaev, Ph.D. M.M. Makarov, Ph.D. A.M. Sazykin

¹Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, ²НПО Спецматериалов

В статье рассматриваются актуальные и проблемные вопросы обеспечения исследований, касающихся перспектив развития автоматизированных систем управления. Особое внимание уделяется современным системам управления войсками и оружием, особенно в условиях сетецентрической парадигмы управления и информационного противоборства. В тексте приводятся характерные особенности функционирования системы управления в условиях информационного противоборства, а также воздействие на нее случайных факторов, которые могут существенно влиять на эффективность работы этих систем. Кроме того, предлагается один из вариантов исследования особенностей функционирования подобных систем в условиях деструктивного воздействия со стороны противника, что является важным аспектом для повышения их устойчивости и надежности.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, сетецентрическая парадигма управления, информационное противоборство, факторы стохастической природы.

This article discusses current and problematic issues of research support related to the prospects for the development of automated control systems. Special attention is paid to modern systems of command and control of troops and weapons, especially in the context of a network-centric management paradigm and information warfare. The text presents the characteristic features of the functioning of the management system in the context of information warfare, as well as the impact of random factors on it, which can significantly affect the efficiency of these systems. In addition, one of the options for studying the features of the functioning of such systems in conditions of destructive influence from the enemy is proposed, which is an important aspect to increase their stability and reliability.

Keywords: automated control system, network-centric management paradigm, information warfare, stochastic factors.

Результаты анализа состояния вопросов обеспечения научных исследований перспектив развития автоматизированных систем управле-

ния (АСУ) в условиях сетецентрической парадигмы управления и информационного противоборства свидетельствуют о возникновении

проблемной ситуации в данной области [1–3]. Предпосылки её формирования связаны с качественными преобразованиями в военной сфере, которые происходили в последние десятилетия. В первую очередь они затронули системы управления войсками и оружием, как важнейший компонент АСУ специального назначения [4, 5]. Это обусловлено кардинальными изменениями в теории управления, вызванными бурным развитием информатизации всех областей военного дела [6].

В дальнейшем, для простоты изложения, под информационным противоборством будем понимать процесс согласованных по цели и месту организационно-технических мероприятий, которые проводятся сторонами вооруженного конфликта для взаимной дезорганизации информационного обеспечения АСУ с целью срыва выполнения боевых задач.

В частности, одной из сложных задач информационного противоборства является необходимость учета случайного характера длительности воздействия на систему управления внешних факторов, имеющих стохастическую природу [7, 8]. При этом следует учитывать, что основная трудность связана не только с определением вероятности своевременного обнаружения атаки на элементы системы управления. В первую очередь необходимо определить вероятность своевременной готовности средств её за-

щиты к отражению несанкционированного доступа к элементам системы управления. Для этого, естественно, важно знать вероятность того, что отрезок времени от момента обнаружения до момента блокировки деструктивных действий окажется больше времени, затрачиваемого на выработку соответствующего управляющего воздействия по парированию этих действий.

Эффективность функционирования системы управления в условиях информационного противоборства и воздействия на нее случайных факторов в значительной степени зависит от множества параметров, зависящих, как правило, от особенностей состава и структуры данной системы [3]. Поэтому в процессе определения целей и задач обеспечения научных исследований перспектив развития АСУ необходимо:

- во-первых, руководствоваться принципами системного подхода [9] на всех этапах исследования;
- во-вторых, учитывать характеристики систем и особенности их функционирования в условиях сетцентрической парадигмы управления и информационного противоборства.

Поэтому рассмотрим некоторые характерные признаки АСУ, которые, на наш взгляд, в значительной степени влияют на качество и полноту научных исследований, перспектив их развития в современных условиях (табл. 1).

Таблица 1

Характерные особенности АСУ (на примере систем управления)

№ п.п.	Характерные особенности, влияющие на идентификацию систем специального назначения	Звено управления
1	Степень защищенности системы управления в значительной степени определяется интенсивностью информационного противоборства и его количественно-качественными параметрами в ходе боевых действий	Оперативное, тактическое
2	Сведения, поступающие в систему, имеют, как правило, противоречивый характер, являются разнородными по своей природе и разновидными	Оперативное
3	Информация, подлежащая обработке, передаче и распределению носит закрытый характер, что требует дополнительных ресурсов (вычислительных, временных, материальных и т.д.) по поддержанию такого режима во всем спектре решаемых задач управления	Оперативное, тактическое
4	Для обработки входных данных, наряду с регулярными методами, необходимо дополнительно разрабатывать специальные модели, методы и методики, позволяющие в масштабе реального времени оперативно обеспечивать информационную поддержку деятельности должностных лиц органов управления всех звеньев	Оперативное

Таблица 1 (продолжение)

№ п.п.	Характерные особенности, влияющие на идентификацию систем специального назначения	Звено управления
5	Возможность оперативного получения информации из смежных предметных областей, сфер военных действий жестко регламентирована и крайне ограничена правилами разграничения доступа к соответствующим информационным массивам	Оперативное
6	Топология связей между источниками информации, пунктами управления формирований различных звеньев управления является динамичной, в значительной степени зависящей от интенсивности боевых действий, фортификационного оборудования местности, театра военных действий (операционного направления)	Оперативное, тактическое
7	Свойства системы обычно трудно идентифицировать с достаточной степенью точности. Возникает необходимость решения проблемы анализа динамики функционирования системы. Более того, если даже удастся выявить у нее свойство эргодичности, то и в этом случае такую систему оценивать с помощью классических статистических методов крайне сложно. Это вызвано тем, что статистическая выборка, как правило, оказывается очень малой	Оперативное
8	Потребность периодически выполнять мероприятия, связанные с: анализом задач комплексной обработки информации различных видов (текстовой, видовой, иконографической и др.); описанием моделей потоков информационных документов, а также основных элементов процесса комплексной обработки: селекции информационных (идентификационных) признаков, формирования совокупностей этих признаков и их дальнейшей интерпретации; модификацией методик построения информационных структур для комплексной обработки специальной информации в условиях дефицита времени	Оперативное, тактическое Оперативное Тактическое

В случае фиксированного значения длительности воздействия T (речь идет о внешних факторах стохастической природы) на систему управления, вероятность своевременного обнаружения $P_{\text{co}}(t)$ можно определить с помощью выражения

$$P_{\text{co}}(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\sum_{i=1}^k \lambda_i P_{\text{об}i}(T-t)}, & \text{если } T > t; \\ 0, & \text{если } T \leq t, \end{cases}$$

где t — время, прошедшее от момента обнаружения атаки до начала её блокировки;

T — продолжительность воздействия на систему управления;

λ_i — частота мониторинга атак на систему управления;

$P_{\text{об}i}$ — вероятность обнаружения атаки i -м средством защиты;

k — число средств, участвующих в мониторинге возможных атак на систему управления.

С учетом случайного характера длительности атаки на систему управления, вероятность

своевременного обнаружения является функцией времени, определяемой в соответствии с выражением

$$P_{\text{об}i}^*(t) = \int_t^{\infty} P_{\text{об}}(t) \tau(t) dt, \quad (1)$$

где $P_{\text{об}}(t)$ — вероятность обнаружения атаки в момент времени t ;

$\tau(t)$ — длительность атаки в момент времени t .

Опыт эксплуатации систем управления позволяет утверждать, что продолжительность атаки на систему управления определяется достаточно большим количеством случайных факторов, ни один из которых не имеет преобладающего значения [7, 8]. Поэтому можно принять допущение о нормальном законе распределения случайной величины T .

Подставив в выражение (1) функцию плотности нормального закона распределения случайной величины, после преобразований получим выражение для определения вероятности

своевременного обнаружения атаки на систему управления

$$P_{\text{co}}^*(t) = 1 - F\left(\frac{t - m_T}{\sigma_T}\right) - \exp\left[\Lambda\left(t + \frac{\sigma_T^2 \Lambda}{2} - m_T\right)\right] \times \left[1 - F\left(\frac{t + \sigma_T^2 \Lambda - m_T}{\sigma_T}\right)\right], \quad (2)$$

где m_T — математическое ожидание продолжительности атаки на систему управления;

σ_T — среднее квадратическое отклонение продолжительности атаки на систему управления;

$F(\cdot) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ — табулированная функция.

Выражение (2) позволяет определять значение показателя своевременности обнаружения атаки на систему управления в любой момент времени. Важно отметить, что благодаря предложенному варианту расчета данного показателя удастся сохранить связь между системой обнаружения атаки и системой блокирования (отражения) атаки.

Предлагая варианты обеспечения научных исследований перспектив развития АСУ, безусловно необходимо принимать во внимание достижения армий высокоразвитых стран в данной области. Результаты изучения и анализа доктринальных и уставных документов армий ведущих зарубежных стран позволяют сделать вывод о том, что:

– во-первых, базой для реализации современных концепций управления является сетевая информационная разведывательно-управляющая структура;

– во-вторых, все сетевые концепции армий ведущих зарубежных стран реализуются путем организации взаимодействия и объединения разрозненных подсистем в единую структуру через развертывание «системы сетей». Такая организация взаимодействия подразумевает не только объединение в техническом смысле, но и организацию когнитивного взаимодействия между системами и органами управления;

– в-третьих, все существующие и перспективные разработки в этой области направлены на достижение доминирования в информацион-

ном противоборстве с любым противником, обладающим высокотехнологичными системами управления.

Сравнительная оценка тенденций развития поисковых и исследовательских работ различного характера показывает, что стремление разработать научно-методические положения совместного моделирования функционирования систем управления в инфокоммуникационном пространстве и их защиты в условиях информационного противоборства становится все более очевидным [3]. Поэтому в ближайшем будущем следует ожидать появления новых проблем в области управления, связанных, в первую очередь, с необходимостью решения задач обеспечения защиты подобных систем, с учетом интенсивного информационного противоборства в режиме реального времени.

Поэтому не случайно в Военной доктрине РФ [10] ставится конкретная задача «...создание базовых информационно-управляющих систем и их интеграция с системами управления оружием и комплексами средств автоматизации органов управления стратегического, оперативно-стратегического, оперативного, оперативно-тактического и тактического уровней». Благодаря такой интеграции результаты противоборства могут быть сравнимы с результатами применения группировок Сухопутных войск.

Учитывая тенденции развития информационного противоборства, а также направления совершенствования научно-методических положений в области управления, следует ожидать кардинальных изменений в данной области. При этом достаточно сильное влияние на развитие взглядов и концепций противоборства в современную эпоху будет оказывать глубокая интеграция задач информационного противоборства и технологии моделирования процессов, реализующих сетевую парадигму управления [2]. Большинство армий зарубежных государств целенаправленно делают ставку на развитие информационной составляющей в действиях конфликтующих сторон. Согласно этой концепции, основные ресурсы сосредотачиваются на разработке самых передовых, высокоэффективных технологий, способствующих созданию качественно нового потенциала у участников конфликта.

Как показывает анализ публикаций в зарубежных источниках, разрешением данных

проблем глубоко и целенаправленно занимаются военные специалисты многих стран. Об этом свидетельствует, в частности, характер и интенсивность работ, проводимых в этой области специалистами передовых в экономическом отношении стран. Так, руководство США в процессе «революционной военной трансформации» активно внедряет в практику управления перспективные информационные технологии и моделирование. Некоторые из таких примеров описаны в источниках, список которых приведен в статье [11]. Обобщая и систематизируя эти сведения, можно констатировать, что основные усилия военных специалистов сводятся к разработке:

- перспективных информационных технологий управления в прогнозируемых столкновениях конфликтующих сторон;
- высокотехнологичных комплексов, ориентированных на применение в условиях сетецентрических действий;
- инновационных принципов применения различных средств физического воздействия непосредственно на системы управления в сочетании с активизацией работ по информационному противоборству.

Учитывая степень концентрации усилий на разработке перечисленных научных направле-

ний, необходимо в первую очередь обратить внимание на некоторые характерные аспекты технологий исследования систем управления, основные из которых представлены в табл. 2.

Перечисленные задачи активно реализуются, трансформируясь в приоритетные направления реформирования различных структур стран-участников потенциальных конфликтов. В процессе данных изменений непрерывно совершенствуются формы и способы информационного противоборства. При этом удалось обнаружить и новые тенденции, присущие сетецентрическому управлению и его влиянию на эффективность ведения информационного противоборства. Об этом свидетельствует, в частности, то, что:

- реализуется принцип поражения систем управления путем бесконтактного воздействия на её подсистемы. Вместо физического уничтожения систем управления осуществляется переход к активному информационному противоборству, в ходе которого дезорганизуется процесс управления уже на дальних подступах к боевым порядкам войсковых формирований;
- информационные атаки на системы управления осуществляются в случайные моменты времени во всем диапазоне их функционирования и из разных сред (суша, воздух, вода, космос).

Таблица 2

Основные тенденции внедрения информационных технологий в разработку систем управления

№ п.п.	Современные тенденции внедрения информационных технологий в разработку систем управления специального назначения
1	Декларация операции «революционной военной трансформации» в соответствии с новыми принципами: – обеспечение реальной интеграции действий разнородных группировок, использующих сетецентрическую систему управления; – использование открытой архитектуры и модульности построения систем и комплексов реализации всех задач противоборства, позволяющих им оперативно адаптироваться к любым условиям действий; – реализация идеи вертикальной и горизонтальной взаимосвязи и взаимодействия участников конфликта во всем спектре выполняемых задач и во времени, близком к реальному
2	Безусловное достижение главных целей, имеющих принципиальное значение для развития перспективных исследований: – повышение уровня взаимодействия между отдельными подсистемами каждой из сторон, применяющих различные способы защиты систем управления, в условиях единого информационного пространства; – достижение качественно нового эффекта за счет реализации принципов сетецентрических концепций и интеграции отдельных подсистем управления со средствами и методами защиты информации в единую систему; – обеспечение системной интеграции усилий всех проектировщиков, разработчиков и специалистов в области защиты систем управления в условиях информационного противоборства

Заключение

Таким образом, в современных условиях в армиях экономически развитых стран активно реализуется сетцентрическая парадигма управления. Благодаря этому актуальным становится поиск новых методов решения проблем обеспечения исследований перспектив развития АСУ в условиях сетцентрической парадигмы управления и информационного противоборства. Особое внимание необходимо уделять развитию систем управления, которые реализуют сложнейшую функцию интеграции систем поражения, разведки и боевого обеспечения в ходе военных действий во всех средах. Поэтому в эпоху информационного противоборства конфликтующих сторон вопросы защиты систем управления специального назначения требуют пристального внимания.

Интеграция задач информационного противоборства в технологию защиты процессов, реализующих сетцентрическую парадигму управления, будет способствовать:

- достижению устойчивого информационно-управленческого превосходства над противником в течение времени, необходимого для победы;
- удержанию инициативы в ходе всего цикла управления, реализуемого соответствующей системой;
- сохранению информационного потенциала, информационных ресурсов для достижения поставленных целей;
- реализации фактора внезапности в ходе решения задач управления с минимальными потерями ресурсов.

Список источников

1. Герасимов В.В. Организация обороны Российской Федерации в условиях применения противником «традиционных» и «гибридных» методов ведения войны // Вестник Академии военных наук. 2016. № 2. С. 19–24.
2. Воронцова Л.В., Фролов Д.Б. История и современность информационного противоборства. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 192 с.
3. Буренок В.М., Мельников И.Д. Информационное обеспечение автоматизированных систем обоснования перспектив развития вооружения и военной техники // Военная мысль. 2002. № 5 (9–10). С. 42–46.
4. Кузнецов Н., Расчислов А. Некоторые аспекты совершенствования системы управления общевойсковым формированием нового облика // Военная мысль. 2010. № 6. С. 11–15.
5. Выпасняк В.И. О реализации сетцентрических принципов управления силами и средствами вооруженной борьбы в операциях (боевых действиях) // Военная мысль. 2009. № 12. С. 23–30.
6. Кежаев В.А., Кулешов Ю.В., Суровикин С.В. Актуальные проблемы развития теории управления группировками войск (сил) в интересах повышения эффективности огневого поражения противника с целью локализации международного вооруженного конфликта // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2018. № 1 (100). С. 24–32.
7. Левкин И.М. Комплексная обработка информации: монография. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. 271 с.
8. Мануйлов Ю.С., Новиков Е.А. Концептуальные основы управления в условиях неопределенности. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008. 121 с.
9. Калинин В.Н. Теоретические основы системных исследований: учебник. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. 293 с.
10. Военная доктрина Российской Федерации // Российская газета — Федеральный выпуск № 6570 (298). 30.12.2014.
11. Brown G.G., Washburn A.R. The Fast Theater Model (FATHM) // Military Operations Research. 2007. V. 12. № 4. Pp. 33–45.
12. Сурма И.В., Анненков В.И., Карпов В.В., Моисеев А.В. «Сетцентрическое управление»: современная парадигма развития системы управления в вооруженных силах ведущих держав мира // Национальная безопасность. 2014. № 2 (31). С. 317–327.
13. Синявский В.К. Парадигма сетцентрического управления и её влияние на процессы управления войсками (силами) // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2021. Т. 19. № 6. С. 37–44.
14. Соколов А.В. От «Ясеня» до «Акации» и «Созвездия». Создание и совершенствование отечественных автоматизированных систем управления войсками и оружием // Военно-исторический журнал. 2021. № 2. С. 4–9.

References

1. Gerasimov V.V. The organization of defense of the Russian Federation in the conditions of the enemy's use of «traditional» and «hybrid» methods of warfare // Bulletin of the Academy of Military Sciences. 2016. No 2. Pp. 19–24.
2. Vorontsova L.V., Frolov D.B. History and modernity information warfare. M.: Hotline-Telecom, 2006. 192 p.
3. Burenok V.M., Melnikov I.D. Information support of automated systems for substantiating the prospects for the development of weapons and military equipment // Military Thought. 2002. No 5 (9–10). Pp. 42–46.
4. Kuznetsov N., Raschislov A. Some aspects of improving the management system of the combined arms formation of a new look // Military thought. 2010. No 6. Pp. 11–15.
5. Vypasnyak V.I. On the implementation of network-centric principles of control of forces and means of armed struggle in operations (combat operations) // Military Thought. 2009. No 12. Pp. 23–30.
6. Kezhaev V.A., Kuleshov Yu.V., Surovkin S.V. Actual problems of the development of the theory of control of groups of troops (forces) in the interests of increasing the effectiveness of enemy fire damage in order to localize an international armed conflict // Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2018. No 1 (100). Pp. 24–32.
7. Levkin I.M. Complex information processing: monograph. St. Petersburg: A.F. Mozhaisky VKA, 2011. 271 p.
8. Manuilov Yu.S., Novikov E.A. Conceptual foundations of management in conditions of uncertainty. St. Petersburg: A.F. Mozhaisky VKA, 2008. 121 p.
9. Kalinin V.N. Theoretical foundations of system research: textbook. St.Petersburg: A.F. Mozhaisky VKA, 2016. 293 p.
10. Military doctrine of the Russian Federation // Rossiyskaya gazeta — Federal issue № 6570 (298), 30.12.2014.
11. Brown G.G., Washburn A.R. The model of a rapid theater of military operations (FATHM) // Military Operations Research. 2007. Vol. 12. No 4. Pp. 33–45.
12. Surma I.V., Annenkov V.I., Karpov V.V., Moiseev A.V. «Network-centric management»: a modern paradigm for the development of the management system in the armed forces of the world's leading powers // National Security. 2014. № 2 (31). Pp. 317–327.
13. Sinyavskiy V.K. Paradigm of network-centric management and its impact on the processes of troop (force) management // Information-measuring and control systems. 2021. T. 19. № 6. Pp. 37–44.
14. Sokolov A.V. From «Yasen» to «Acacia» and «Constellation». Creation and Improvement of Domestic Automated Systems of Troops and Weapons Control // Military History Journal. 2021. № 2. Pp. 4–9.

УДК 623.618

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_24

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К РАЗМЕЩЕНИЮ И
РЕЗЕРВИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПО КОМПОНЕНТАМ
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ**

**METHODOLOGY FOR DETERMINING PLACEMENT REQUIREMENTS AND
INFORMATION RESOURCES RESERVATION BY DISTRIBUTED DATABASE
COMPONENTS**

Канд. техн. наук Р.В. Куклин

Ph.D. R.V. Kuklin

Михайловская военная артиллерийская академия

В статье предложен подход к определению требований к размещению данных в распределенной базе данных, который предусматривает возможность эшелонирования и резервирования данных. Применение разработанной методики позволит выработать оптимальный план распределения данных по элементам распределенной базы данных в зависимости от частоты использования конкретных данных конкретным пользователем (программным обеспечением). Причем частота использования динамически изменяется в зависимости от текущих задач и условий обстановки.

Особенностью предложенного подхода является учет обеспечения требуемой устойчивости функционирования автоматизированной системы управления путем эшелонирования и резервирования данных по элементам распределенной базы данных. При этом для непосредственной оценки вариантов размещения информационных ресурсов предлагается применение метода ветвей и границ по критерию минимума суммарного времени обращений к информационным ресурсам.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, распределенная база данных, резервирование данных.

The paper provides an approach to defining data placement requirements in a distributed database, which provides the ability to separate and back up data. The use of the developed methodology will make it possible to develop an optimal plan for distributing data to elements of a distributed database depending on the frequency of use of specific data by a specific user (software). Moreover, the frequency of use dynamically changes depending on the current tasks and conditions of the situation.

The peculiarity of the proposed approach is taking into account ensuring the required stability of the automated control system by separating and backing up data on elements of the distributed database. At the same time, for direct assessment of options for the placement of information resources, the author proposes the use of the method of branches and boundaries according to the criterion of the minimum total time for accessing information resources.

Keywords: automated command and control system, distributed database, data reservation.

Сложность информационно-логической интеграции задач управления в распределенной системе обработки данных обусловлена большим количеством источников и потребителей информации [1, 2], средств обработки и передачи данных, перечнем задач управления [1, 3].

Анализ информационного обеспечения задач управления [1, 4, 5] показал, что большой перечень информационных ресурсов (ИР) одновременно хранится в различных массивах базы данных (БД). Оптимизация области пересечения информационных массивов позволит рационально организовать хранение данных, соответственно уменьшить объемы хранимой в базе информации и времени на её обновление. Данная задача особенно актуальна при построении единой распределенной базы данных (РБД), которой, по сути, и являются БД территориально разнесенных пунктов управления (ПУ) войсками.

Пусть $S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n$ — совокупности информационных массивов на уровнях управления войсками. Очевидно, что между данными уровнями существуют информационные взаимосвязи $Y_{12}, Y_{23}, Y_{34}, Y_{45}, \dots, Y_{n-1,n}$, так как при решении задач управления на одном из уровней управления необходимы данные, поступающие с других уровней.

Сложность определения $Y_{12}, Y_{23}, Y_{34}, Y_{45}, \dots, Y_{n-1,n}$, а также стремление минимизации количества информационных связей указывает на необходимость определения:

- информационных взаимосвязей Y_i на каждом из уровней управления;
- информационных взаимосвязей Y_{ij} между объектами различных уровней управления.

Для создания БД в автоматизированных системах управления войсками (АСУВ) применяется два основных подхода [6, 7]:

- хранение ИР в хранилищах данных (на серверах) РБД на уровнях сетей звеньев управления;
- хранение ИР на автоматизированных рабочих местах (АРМ) должностных лиц (ДЛ), которые являются «источником» или «потребителем» именно этих данных.

Для первого подхода (перспективное направление) математическая модель формулируется следующим образом.

Рассмотрим сеть, состоящую из I узлов АСУВ с РБД, состоящей из L компонентов, раз-

мещенных по узлам сети, а для решения задач в ней используется R программ. Причем копии компонентов РБД l_i и программ r_i могут находиться в нескольких узлах АСУВ. При этом обращения (заявки) к массивам информации генерируются программами. Так, выполнение некоторой информационно-расчетной задачи (ИРЗ), которая реализуется в узле i , может потребовать обращения к информационному массиву l_k , хранящемуся в узле k .

Таким образом, математическая формулировка задачи выглядит следующим образом:

$$F = \min_X \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij} \lambda_{ij} \beta_{ij}$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} \geq 1, i = \overline{1, M}; \quad \sum_{j=1}^N v_{ij} x_{ij} \leq v_i, i = \overline{1, M};$$

$$\sum_{j=1}^N p_{ij} x_{ij} \leq p_{\text{доп}}, i = \overline{1, M};$$

$$x_{ij} = \{0; 1\}, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N},$$

где $x_{ij} = 1$, если j -го компонента РБД хранится в i -ом узле сети, $x_{ij} = 0$ — в противном случае;

$\lambda = \lambda_{ij}$ — матрица интенсивностей информационного обмена между узлами системы в процессе функционирования системы;

$\mathbf{V} = \{v_i\}$ — вектор объемов запоминающих устройств в узлах сети для размещения информационных массивов;

$\mathbf{P} = \{p_i\}$ — вектор загрузки каналов передачи данных;

$p_{\text{доп}}$ — обобщенная пропускная способность каналов передачи данных на i -м узле сети;

$\beta = \beta_{ij}$ — матрица коэффициентов, учитывающих предпочтительность хранения компонентов РБД и программ j -го узла сети в i -м узле. Таким образом, математическая модель первого уровня информационно-логической интеграции задач управления представляет собой задачу целочисленного линейного программирования с булевыми переменными. Для решения задач такого рода существует достаточно обширный арсенал методов [5, 8].

При втором подходе (применяемом в настоящее время) к построению РБД каждый АРМ ДЛ хранит на своем жестком диске всю необходимую информацию для ИРЗ. В таком случае ПУ можно представить в виде распределенной

системы обработки данных. Тогда возникает задача определения потребностей и распределения ИР в данной системе.

Пусть в локальной сети решается x_i^* , $i = 1, 2, \dots, m$ задач, которые используют данные из M информационных массивов, расположенных на различных АРМ. Каждая задача x_i^* требует для своего решения набор исходных данных I , который в результате решения преобразуется в выходные данные F . Таким образом:

$$\left[\left\{ I(x_1^*) \rightarrow F(x_1^*) \right\} \right], \left[\left\{ I(x_2^*) \rightarrow F(x_2^*) \right\} \right], \dots, \\ \dots, \left[\left\{ I(x_m^*) \rightarrow F(x_m^*) \right\} \right].$$

Отсюда можно записать два набора данных для комплекса задач:

$$\left\{ I(x_1^*), I(x_2^*), I(x_m^*) \right\} = I; \\ \left\{ F(x_1^*), F(x_2^*), \dots, F(x_m^*) \right\} = F.$$

Однако полученные наборы данных будут дублировать друг друга; так, возможна такая ситуация, что $I(x_n^*) = I(x_{n-k}^*) \cup F(x_k^*)$.

Необходимо получение безызбыточных наборов входных и выходных данных $I_0 = I / F$ и $F_0 = F / I_0$.

Таким образом, возможны несколько вариантов решения задач управления:

– задача x_i^* может быть решена непосредственно на основе I_0 ;

– для решения задачи x_i^* требуется $I_0 \cup F_0$.

Для реализации выражения $I_0 \cup F_0$ необходимо определить F_0 при решении задач x_{n-k}^* , x_k^* , затем, используя необходимые данные из I_0 и F_0 , перейти к решению задачи x_n^* .

Таким образом, время решения комплекса задач в любом из узлов АСУВ зависит от количества информационных связей между ними.

С целью исключения избыточности ИР в компонентах РБД предлагается подход, включающий определение состава наиболее «представительных» задач управления, информационное обеспечение которых обеспечит решение всего комплекса задач [9].

Математическую формулировку задачи выбора наиболее «представительных» задач можно записать в следующем виде: требуется определить минимальное количество задач управления с

учетом того, что их информационные поля перекрывают базу данных для всего комплекса задач.

$$L = \min_{X^*} \sum_{i=1}^m x_i(y_{ij})$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^m y_{ij} = 1, j = \overline{1, N};$$

$$y_{ij} = \{0; 1\}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, N},$$

где y_{ij} — информационный элемент j -го типа, использующийся (не использующийся) при решении задачи i -го вида.

После определения и оптимизации информационных связей между АРМ ДЛ при выполнении задач управления моделью, соответствующей избранному подходу к построению РБД, переходят к определению рационального варианта размещения необходимых для решения задач управления ИР по компонентам РБД в проектируемой АСУВ.

Для этого должны учитываться входные, промежуточные и выходные данные, процедуры обработки информации и последовательность их реализации.

В основу предполагаемой математической модели рационального размещения информационных элементов целесообразно положить принцип преобразования матричнографовых моделей [9].

Требуемой информацией на этапе технического проектирования АСУВ является информация:

– о взаимосвязях между информационными элементами;

– о задачах управления, решаемых на каждом АРМ;

– об информационных потребностях каждой задачи.

Пусть $X_i^* = \{x_f^{i*}\}, i = \overline{1, M}, f = \overline{1, F}$ — множество решаемых на i -м ПУ задач.

Для каждой задачи x_f^{i*} заданы множество ИР — $Y^f = \{y_l^f\}, l = \overline{1, N^f}$.

При этом ИР могут представлять собой информационные массивы, наборы данных, блоки записей, записи и данные в зависимости от их детализации. Один и тот же ИР y_l^f может использоваться должностными лицами с различной периодичностью.

Для построения оптимальной структуры РБД АСУВ необходимо объединить в единый

интегрированный информационный граф все информационные графы задач, построенные на заданных множествах $Y^f = \{y_i^f\}, i = 1, N^f$.

Исходными данными для построения интегрированного информационного графа являются матрицы:

- распределения задач управления по АРМ на ПУ;
- информационных элементов для решения задач;
- связности информационных элементов.

Под матрицей связности информационных элементов M_c понимается квадратная бинарная матрица, проиндексированная по обеим осям множеством информационных элементов и содержащая запись «1» в позиции (i, j) , если между информационными элементами y_i и y_j существует отношение Q такое, что для получения информационного элемента y_j непосредственно необходимо обращение к информационному элементу y_i . Наличие такого отношения обозначается в виде $y_i Q y_j$, а отсутствие — $y_i \bar{Q} y_j$, чему соответствует запись «0» в позиции (i, j) матрицы M_c .

С учетом преобразования указанных матриц отношения между задачами управления можно представить матрицей стоимости использования информационных элементов в конкретной сети (таблица).

Элементом данной матрицы является комплексный коэффициент важности (ККВ) c_{ij} ИР при использовании его тем или иным ДЛ на одном из рабочих мест. Данный коэффициент можно представить зависимостью:

$$c_{ij} = f(\lambda_{ij}, v_j, w_{ij}),$$

λ_{ij} — частота использования информационного элемента j -го типа при решении комплекса задач в i -м узле сети;

v_j — объем занимаемой памяти информационным элементом j -го типа в мегабайтах;

w_{ij} — важность использования информационного элемента j -го типа при решении задач в i -м узле.

Соответственно, если значение ККВ некоторого ИР на конкретном АРМ мало, то хранение его в БД данного АРМ не целесообразно. При необходимости использования этого элемента, с целью реализации определенной ИРЗ, данный ИР автоматически будет запрошен из той БД, где частота его использования велика. Этот подход к организации хранения ИР предполагает значительное уменьшение информационных потоков, обеспечение целостности информационных элементов в РБД.

Достоинством такого подхода является и то, что при его реализации появляется возможность избежать противоречивости в данных. Так, при существующей технологии организации хранения данных, при изменении качественных характеристик ИР, обновление его в других компонентах РБД проводится с участием человека, хотя новые информационные технологии позволяют автоматизировать этот процесс. Так как АРМ ДЛ в АСУВ объединены в сеть, целесообразно организовать хранение ИР по компонентам РБД, а актуализацию данных проводить автоматически. При этом ИР в компонентах РБД целесообразно хранить по критерию важности их использования при решении задач в каждом из узлов сети.

Таким образом, задача формулируется следующим образом: требуется разместить ИР по

Таблица

Вариант матрицы стоимости использования информационных элементов в конкретной сети

Узлы сети	Состав информационных элементов выбранной совокупности наиболее «предпочтительных» задач										
	x_j				x_{j+k}				x_{j+l}		
	1	2	...	g	$g+1$	$g+2$	...	d	$d+1$	...	$d+s$
1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1g}	$c_{1(g+1)}$	$c_{1(g+2)}$	...	c_{1d}	$c_{1(d+1)}$	...	$c_{1(d+s)}$
2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2g}	$c_{2(g+1)}$	$c_{2(g+2)}$	...	c_{2d}	$c_{2(d+1)}$	...	$c_{2(d+s)}$
3	c_{31}	c_{32}	...	c_{3g}	$c_{3(g+1)}$	$c_{3(g+2)}$	...	c_{3d}	$c_{3(d+1)}$	...	$c_{3(d+s)}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
i	c_{i1}	c_{i2}	...	c_{ig}	$c_{i(g+1)}$	$c_{i(g+2)}$	...	c_{id}	$c_{i(d+1)}$	...	$c_{i(d+s)}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
M	c_{M1}	c_{M2}	...	c_{Mg}	$c_{M(g+1)}$	$c_{M(g+2)}$	...	c_{Md}	$c_{M(d+1)}$	...	$c_{M(d+s)}$

компонентам РБД АСУВ таким образом, чтобы уменьшить информационные потоки, избежать затрат времени на обновление, ввод информации.

$$L(Y) = \max_Y \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij} y_{ij}$$

при ограничениях

$$\sum_{j \in I} y_{ij} d_{ij} \leq r_i, i = \overline{1, M}; \quad \sum_{i \in I} y_{ij} = 1, j = \overline{1, N};$$

$$y_{ij} = \{0, 1\}, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N},$$

где r_i — величина ресурса i -го АРМ (ПУ).

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если ИР } j\text{-го типа хранится на } i\text{-м АРМ;} \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

В результате решения данной задачи будет получена совокупность ИР, размещение которых по компонентам РБД приводит целевую функцию L к максимуму.

Задача при заданных ограничениях является оптимизационной и решается методами целочисленного программирования [5, 8].

Однако при таком подходе к организации безызыточного хранения информационных элементов появляется необходимость сохранения устойчивости управления. Выход из строя АРМ (ПУ) означает потерю определенной компоненты РБД. С учетом того, что компоненты РБД занимают определенное физическое пространство на носителях информации, а пропускная способность каналов передачи данных ограничена характеристиками сети связи, возникает задача оптимального резервирования ИР в РБД АСУВ. Соответственно, в зависимости от уровня внешних воздействий на ПУ, хранение ИР в компонентах РБД целесообразно проводить по критериям:

– минимума вероятности потери информации в АСУВ;

– максимума эффективности работы ДЛ.

Математическую формулировку данной задачи можно представить в следующем виде.

Пусть в состав АСУВ входит определенное количество ПУ, на каждом из которых размещается одна или несколько БД с соответствующими ИР. С учетом того, что территориально на одном ПУ БД находятся на небольшом расстоянии, а огневое воздействие противника ведется по ПУ

в целом, то принято допущение, что выход из строя ПУ подразумевает потерю всей БД.

Исходными данными для решения данной задачи являются матрицы целесообразности хранения резервных копий ИР в других элементах РБД АСУВ $R = \{r_{ij}\}$ и достижимости $D = \{d_{i-j}\}$, где

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если база } i\text{-го узла сети} \\ & \text{резервируется в } j\text{-м узле;} \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

Элементы массива D позволяют учесть наличие и количество маршрутов между узлами сети.

Элементы r_{ij} массива R определяются исходя из структуры построения РБД АСУВ. Элементы d_{ij} массива D являются производными анализа схемы связи и маршрутноадресной документации.

С учетом ведения показателя вероятности выхода из строя i -го ПУ P_i задача оптимального резервирования компонентов РБД по критерию максимума вероятности сохранения ИР, хранящихся в i -й компоненте РБД, может быть записана в следующем виде: требуется определить оптимальный план резервирования компонентов РБД АСУВ при допустимом увеличении интенсивности информационного обмена в сети, при котором вероятность потери ИР в компонентах РБД будет минимальна.

Математическая формулировка задачи выглядит следующим образом [10]:

$$P(z_i^*) = \min_{z_i} \{P_{ij} z_i\}$$

при ограничениях

$$\lambda_j + \sum_{i=1}^{L_j} \lambda_{ij} z_i \leq \lambda_j^{(\text{доп})}, j = \overline{1, M}; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{L_j} z_i = 1, j = \overline{1, M}; \quad (2)$$

$$z_i = \{0, 1\}, i = \overline{1, L_j}, j = \overline{1, M}, \quad (3)$$

где z_i — вариант резервирования компоненты РБД j -го ПУ;

$P(z_j^*)$ — вероятность потери j -й компоненты РБД при i -м варианте резервирования.

Интенсивность информационного обмена без учета резервирования для каждого из ПУ определяется по формуле [9]:

$$\lambda_j = \sum_{f=1}^{f_j} v_f^j l_f.$$

При условии резервирования λ_j увеличивается и, соответственно, будет определяться по формуле:

$$\lambda_j = \sum_{f=1}^{f_j} v_f^j l_f + n \sum_{f=1}^g v_f^i l_f,$$

где n — показатель, определяющий количество элементов РБД, в которых проводится резервирование;

v_f^j — объем информационного сообщения f -го вида, поступающего в j -й ПУ;

l_f — частота циркуляции в сети информационного сообщения f -го вида;

v_f^i — объем информационного сообщения f -го вида при передаче его в i -й узел.

Ограничения (1)–(3) позволяют определить вероятность потери j -й компоненты РБД в зависимости от различных вариантов организации резервирования информации в РБД АСУВ [10]. Интенсивность информационного обмена в сети оптимизируется за счет реализации моделей «верхних» уровней, так как они позволят уменьшить объем и интенсивность циркулирующих информационных сообщений в АСУВ. Данные факторы значительно влияют на уровень резервирования компонентов РБД на ПУ при жестких ограничениях на интенсивность информационного обмена.

Определение $P(z_i^*)$ зависит от степени резервирования информации в узлах сети. Следует отметить, что степень резервирования непосредственно связана с интенсивностью информационного обмена. Таким образом, возникает задача определения живучести информации в системе в зависимости от степени резервирования и возможностей сети связи по приему, хранению ИР с учетом целесообразности хранения её в элементах РБД.

Очевидно, что в АСУВ каждый j -й ПУ функционально связан с подмножеством M_j пунктов управления. Только на M^* ПУ целесообразно дублирование компоненты РБД j -го пункта управления. Тогда с учетом, что резервирование осуществляется только на одном из $m_k \in M_j$ ПУ подмножества M_j , ($k \neq j$),

$$P(z_j^*) = 1 - (1 - P_k) + P_k (1 - P_j) r_{kj}.$$

С учетом преобразований данную формулу можно представить будет в следующем виде:

$$P(z_j^*) = P_k (1 - (1 - P_j) r_{kj}).$$

При $r_{kj} = 1$ вероятность сохранения информационной базы j -го узла в системе будет равна $P(z_j^*) = P_k P_j$.

В результате решения задачи для каждого из ПУ получим множество вариантов соотношения резервирования их ИР в других элементах РБД в зависимости от интенсивности информационного обмена в данном контуре управления.

Интенсивность информационного обмена можно оценить временными параметрами T_m , $t_{св}$, t_n , t_p и количеством циклов функционирования n , которое соответствует глубине задачи (задачи дня, ближайшей задачи) L .

Тогда, вероятность нарушения функционирования пункта управления за n циклов с учетом перемещений, развертывания и стационарного функционирования P_i будет определяться по формуле [9]:

$$P_i = \left\{ 1 - e^{-\left[\lambda_1 \frac{1}{v(n+1)} \right]} \times e^{-\lambda_2 \left[\frac{T_m}{n} \frac{1}{(n+1)} (t_{св} + t_p) \right]} \right\}^n.$$

После преобразований вероятность выхода из строя i -го пункта управления за несколько циклов функционирования будет определяться следующим образом.

$$P_i = \left\{ 1 - e^{-\left[\frac{1}{4} \frac{\lambda_1 L (\lambda_1 - \lambda_2)}{v(n+1)} + \lambda_2 \left(\frac{T_m}{n} - t_{св} - t_p \right) \right]} \right\}^n,$$

где n — количество перемещений пункта управления за определенное время функционирования;

λ_1 , λ_2 — средняя частота обнаружения, определения координат, подготовку и нанесение удара при перемещении и функционировании ПУ на месте (параметр зависит от среднего времени, необходимого на обнаружение, подготовку и нанесение огневого воздействия противником на ПУ при перемещении и функционировании на месте);

T_m — продолжительность операции (боя);

v — средняя скорость перемещения колонны ПУ на марше. Таким образом, применение

математической модели рационального размещения информационных элементов по компонентам РБД позволит рационально организовать хранение информационного обеспечения задач управления в АСУВ за счет исключения избыточности. Такая организация хранения информационного обеспечения задач управления существенно влияет на интенсивность информационного обмена в сети за счет уменьшения объемов и интенсивности циркуляции сообщений, циркулирующих в АСУВ.

Список источников

1. Воробьев И.Н., Киселев В.А. От современной тактики к тактике сетецентрических действий // Военная мысль. 2020. № 13. С. 365–399.
2. ГОСТ Р 55345–2012/ISO/TS 18876-2:2003. Интеграция промышленных данных для их обмена, обеспечения доступа и коллективного использования. Интеграция и методология отображения. М.: Стандартинформ, 2014. 44 с.
3. ГОСТ РВ 1210–002–2007. Автоматизированные системы управления войсками. Требования к информационному и лингвистическому обеспечению. М.: Стандартинформ, 2007. 35 с.
4. Козичев В.Н., Сухорутченко В.В., Каргин В.Н. Единое информационное пространство Вооруженных Сил Российской Федерации: определение, принципы и аспекты формирования // Военная мысль. 2022. № 5. С. 145–156.
5. Романов П.С. Обоснование путей построения автоматизированных систем управления артиллерийскими формированиями на основе новых информационных технологий: монография. Коломна: КГПИ, 2005. 398 с.
6. Копытко В.К., Шептура В.Н. Проблемы построения единого информационного пространства Вооруженных Сил Российской Федерации и возможные пути их решения // Военная мысль. 2011. № 10. С. 16–26.
7. Месарович М.Д., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
8. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Наука, 1967. 608 с.
9. Баранов Р.П. Оптимизация размещения информационных элементов по компонентам

распределенной базы данных в узлах сети. М.: ЦВНИ МО РФ, 2000. № 57, серия Б. С. 18–24.

10. Бальбердин В.А., Васина О.И., Костогрозов А.И., Яковлев В.И. Военно-технические вопросы создания автоматизированных систем управления Сухопутных войск. М.: Воениздат, 1993. 153 с.

References

1. Vorobyev I.N., Kiselev V.A. From modern tactics to tactics of network-centric actions // Voennaya mysl. 2020. No 13. Pp. 365–399.
2. GOST R 55345–2012/ISO/TS 18876–2:2003. Integrate industrial data for sharing, access, and sharing. Integration and display methodology. M.: Standartinform, 2014. 44 p.
3. GOST RV 1210–002–2007. Automated command and control systems. Requirements for information and linguistic support. M.: Standartinform, 2007. 35 p.
4. Kozichev V.N., Suhorutchenko V.V., Kargin V.N. Unified information space of the Armed Forces of the Russian Federation: definition, principles and aspects of formation // Voennaya mysl. 2022. No 5. Pp. 145–156.
5. Romanov P.S. Justification of ways to build automated control systems for artillery formations based on new information technologies: monograph. Kolomna: KGPI, 2005. 398 p.
6. Kopytko V.K., Sheptura V.N. Problems of building a single information space of the Armed Forces of the Russian Federation and possible ways to solve them // Voennaya mysl. 2011. No 10. Pp. 16–26.
7. Mesarovich M.D., Mako D., Takahara I. Theory of hierarchical multilevel systems. M.: Mir, 1973. 344 p.
8. Bronshtein I.N., Semendyaev K.A. Mathematics Handbook. M.: Nayka, 1967. 608 p.
9. Baranov R.P. Optimization of information elements arrangement by distributed database components in network nodes. M.: CVNI MO RF, 2000. No 57, series B. Pp. 18–24.
10. Balybrdin V.A., Vasina O.I., Kostogryzov A.I., Yakovlev V.I. Military-technical issues of creating automated control systems of the Ground Forces. M.: Voenizdat, 1993. 153 p.

УДК 330.46

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_31

**МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНФОРМАЦИОННО-
АНАЛИТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНОВ ВОЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**METHODOLOGY FOR ASSESSING RISKS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
TECHNOLOGIES APPLICATION IN THE INFORMATION AND ANALYTICAL
ACTIVITIES OF MILITARY AUTHORITIES**

Д-р экон. наук А.Е. Николаев, И.А. Абрамов

D.Sc. A.E. Nikolaev, I.A. Abramov

Военный университет радиоэлектроники

Статья посвящена вопросу оценивания рисков применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления. Дано теоретическое описание категории «риск» и уточнено её значение для среды применения технологии. Определены системность риска и его зависимость от подсистем системы искусственного интеллекта, необходимость его исследования посредством учета созависимого риска. Дана классификация вероятных рисков, частных факторов и описывающих их угроз. Разработана система показателей оценивания рисков применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления, предложен порядок их расчета.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта, информационно-аналитическая деятельность, органы военного управления, риск применения, фактор риска.

The article is devoted to the issue of assessing risks of using artificial intelligence technologies in the information and analytical activities of military authorities. It provides a theoretical description of the «risk» category and clarifies its significance for the technology application environment. The systemic nature of the risk and its dependence on the subsystems of the artificial intelligence system are determined, the need for its research is determined by considering the codependent risk. The classification of probable risks, particular factors and threats describing them is given. A system of indicators for assessing risks of using artificial intelligence technologies in the information and analytical activities of military authorities has been developed, and the procedure for calculating them has been proposed.

Keywords: artificial intelligence technologies, information and analytical activities, military authorities, application risk, risk factor.

В настоящее время искусственный интеллект (ИИ) является одной из передовых технологий, применение которой предоставляет пользователям высокие функциональные возможности и обеспечивает конкурентные преимущества

в любой прикладной среде. При этом вопрос использования данных технологий в деятельности вооруженных сил (ВС) в современных условиях военно-политической обстановки приобретает все большую актуальность. Их внедрение и приме-

нение в интересах ВС рассматривается и реализуется практически повсеместно. Представляя собой частный способ обработки информации, ИИ может выступать важным инструментом обеспечения информационно-аналитической деятельности (ИАД) органов военного управления (ОВУ).

Следует отметить, что наряду с высокими возможностями по обработке и анализу информации, применение данной, еще относительно «молодой» технологии может сопровождаться проявлением непредвиденных событий, возникновение которых приводит к невозможности достижения задач ИАД ОВУ. Их можно описать как риски использования ИИ.

Под термином «риск» в широком смысле рассматривается возможность возникновения каких-либо неблагоприятных событий, которые препятствуют достижению запланированной цели операции, обуславливают неуспех планируемых действий, опасность негативного исхода. Применительно к предметной области использования технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления под риском подразумевается возможность наступления такого события, когда по причине одного или совокупности факторов становится невозможным выполнение информационных задач. При этом под фактором риска рассматриваются условия, которые могут вызвать или способствовать проявлению подобного события.

Следует отметить, что в целом риск представляет собой исключительно системный показатель. Его системность состоит в том, что для сложного изделия (организационно-технической системы) он определяется не только безотказностью отдельных компонентов и подсистем, но и их взаимным влиянием. Поэтому риски технологии необходимо рассматривать исходя из того, что она является одной из обеспечивающих подсистем системы ИИ, наряду с другими её подсистемами, к которым можно отнести саму технологию, техническое обеспечение (аппаратный комплекс), а также информационное обеспечение и персонал [1, 2]. Порядок организации взаимодействия указанных элементов обуславливает наличие между ними вероятности созависимого риска. Это когда отказ одного из элементов системы приводит к отказу всех её элементов

и системы в целом. Следовательно, оценивание рисков технологии ИИ в ИАД ОВУ не может реализовываться обособленно. Следует рассматривать вероятность проявления всех факторов созависимого риска, приводящих к отказу технологии ИИ, то есть вероятность проявления рисков самой системы ИИ. Непосредственно отказ представляет собой переход системы из рабочего состояния в нерабочее, характеризующееся невозможностью достижения информационных задач в соответствии с установленными требованиями и в имеющихся условиях.

Активное внедрение технологий ИИ в ИАД ОВУ в рамках процесса цифровизации деятельности вооруженных сил вызывает необходимость расширения границ военно-экономического анализа в части, касающейся оценивания вероятности рисков их применения в прикладной среде. Объективные сложности в решении данной научной задачи возникают ввиду отсутствия на сегодняшний день глубоких исследований, посвященных рассмотрению данного вопроса. В работе предлагается методика, которая предполагает оценивание показателя риска применения технологий ИИ в ИАД ОВУ в пять основных этапов (рис. 1).

На первом этапе методики изучается структура системы ИИ. В рамках этого устанавливаются основные элементы системы искусственного интеллекта, как организационно-технической системы, а также определяются порядок и направления их взаимодействия в контексте вероятности проявления факторов созависимого риска. На основе анализа литературы предлагается следующая эталонная структура организации системы ИИ (рис. 2) [2, 3].

В состав системы входят четыре основные подсистемы: программный компонент, аппаратный компонент, информационное обеспечение (ИО) и персонал. Каждая из этих подсистем включает в себя совокупность функциональных элементов. Все четыре подсистемы взаимодействуют между собой для обеспечения выполнения целей и задач системы. Порядок их организации (соединения) обуславливает различные подходы к определению вероятности проявления риска и обеспечения безотказной работы. Рассмотрим два основных подхода к соединению элементов системы ИИ: последовательное и параллельное.

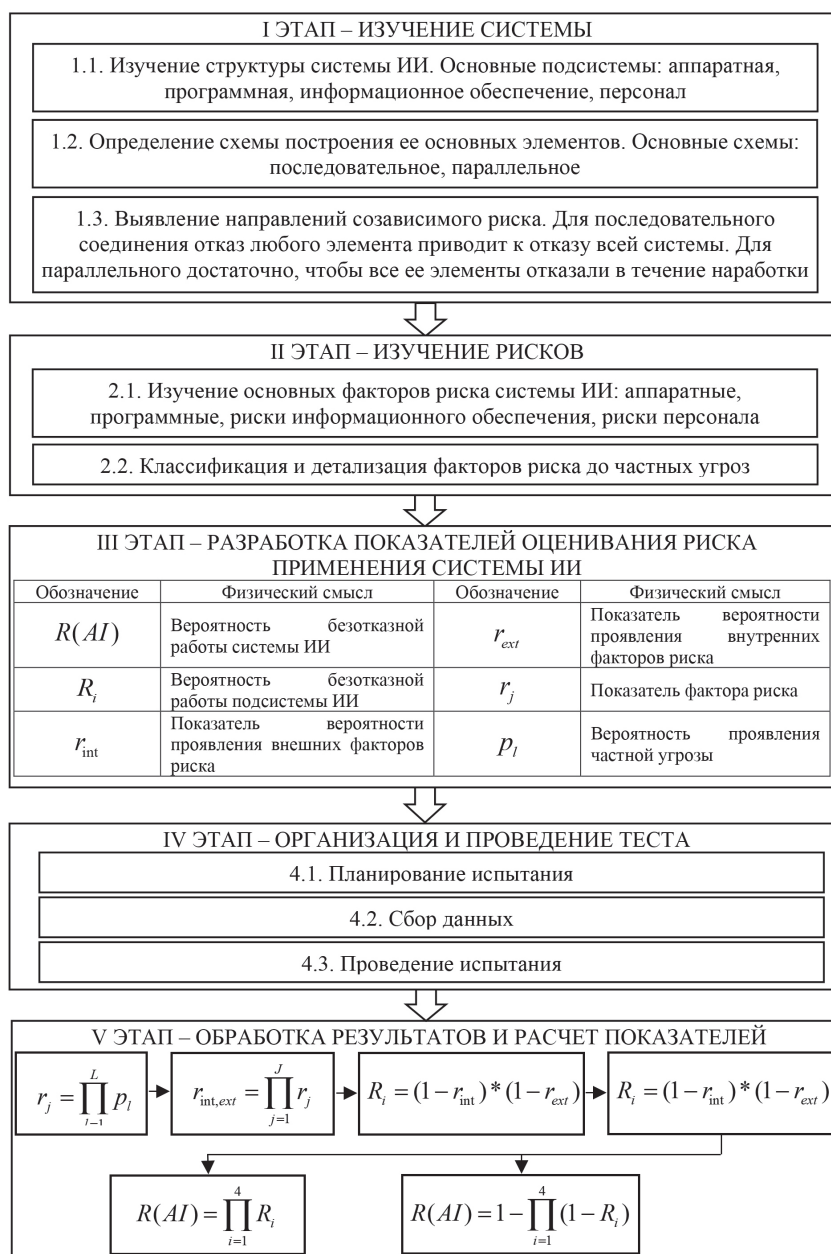


Рис. 1. Структура методики оценивания рисков применения технологий ИИ в ИАД ОВУ

Системой с последовательным соединением элементов называется система, в которой отказ любого элемента приводит к отказу всей системы (рис. 3) [3].

В системе ИИ с параллельным соединением элементов отказ происходит только в случае отказа всех её элементов (рис. 4). Для отказа системы с параллельным соединением элементов в течение наработки необходимо и достаточно, чтобы все её элементы отказали в течение этой наработки. Такие структуры характерны для устройств, в кото-

рых элементы дублируются или резервируются, потому что параллельное соединение применяется как основной метод повышения надежности [1].

На втором этапе методики определяется набор вероятных факторов риска системы. Исходя из её ранее обозначенной структуры риски могут быть аппаратными, программными, риски информационного обеспечения и риски, касающиеся деятельности персонала. Каждый из них может проявляться как от внутренних, так и от внешних факторов. Внутренние факторы каса-



Рис. 2. Эталонная структура организации системы ИИ



Рис. 3. Система ИИ с последовательным соединением элементов

ются в большей степени внутренней организации элементов системы, а внешние вызваны как условиями применения самих элементов системы, так и условиями проведения целевой операции. Основные факторы, определяющие риски для систем искусственного интеллекта представлены в таблице [4–10].

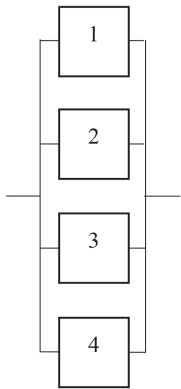


Рис. 4. Система ИИ с параллельным соединением элементов

Таблица

Факторы риска применения систем ИИ

Наименование подсистемы	Факторы риска	
	внешние	внутренние
Аппаратные	1. Условия окружающей среды. 2. Физическое воздействие противника	1. Конструкторско-технологические отказы
Программные	1. Воздействие противника. 2. Условия информационной среды	1. Программные ошибки
Риски ИО	1. Воздействие противника. 2. Низкая интенсивность и информативность информационного потока	1. Ошибки в подборе обучающих данных
Риски персонала	1. Воздействие противника. 2. Чрезвычайные ситуации	1. Ошибки личного состава. 2. Отсутствие эффективных кадров

Каждый из факторов можно описать совокупностью угроз, определяющих вероятность их проявления. Они в большинстве своем соответствуют информационно-аналитическим системам с традиционными способами обработки и анализа данных. Существенным отличием являются именно угрозы программного компонента и информационного обеспечения, что обусловлено особенностью построения и организации функционирования системы ИИ. В частности, если для традиционных систем основными источниками рисков выступают ошибки в алгоритмах и воздействие на них противника, то для систем ИИ к ним относятся ошибки в модели обучения, а также ошибки, искажения и возмущения во входном потоке данных и обучающей информации, и воздействие на них противника.

На третьем этапе разрабатываются основные показатели оценивания риска системы ИИ в ИАД ОВУ. В предлагаемом подходе показатель риска характеризуется вероятностью безотказного функционирования искусственного интеллекта. Он описывается совокупной вероятностью отказов входящих в него основных элементов, которая, в свою очередь, может быть определена вероятностью реализации основных факторов риска, вызванных всем спектром возможных угроз. На основе этого было составлено дерево показателей оценивания рисков систем ИИ в ИАД ОВУ (рис. 5).

На четвертом этапе методики осуществляется тестирование системы ИИ на вероятность проявления каждого из факторов риска. Оно реализуется по следующему алгоритму:

1. Подготовка плана тестирования;
2. Сбор данных;
3. Проведение испытания в реальных условиях эксплуатации.

Тест может быть реализован на стендовом испытательном полигоне или на реальных объектах с использованием различных средств и подходов имитации функционирования системы, а также условий применения её элементов и проведения целевой операции. В рамках испытания искусственный интеллект интегрируется в операционную систему, которая работает в реалистичной среде для соответствующего приложения. Степень детализации имитационных моделей тестирования должна обеспечивать возможность воспроизведения основных функций реальных объектов риска, проведения необходимого количества испытаний и получения статистических данных для оценки риска [11]. В рамках теста оценивается частота проявления угроз, описывающих каждый из возможных частных факторов риска.

На пятом этапе осуществляется обработка результатов тестирования и расчет показателей риска системы ИИ. Вероятность проявления частной угрозы фактора риска оценивается по

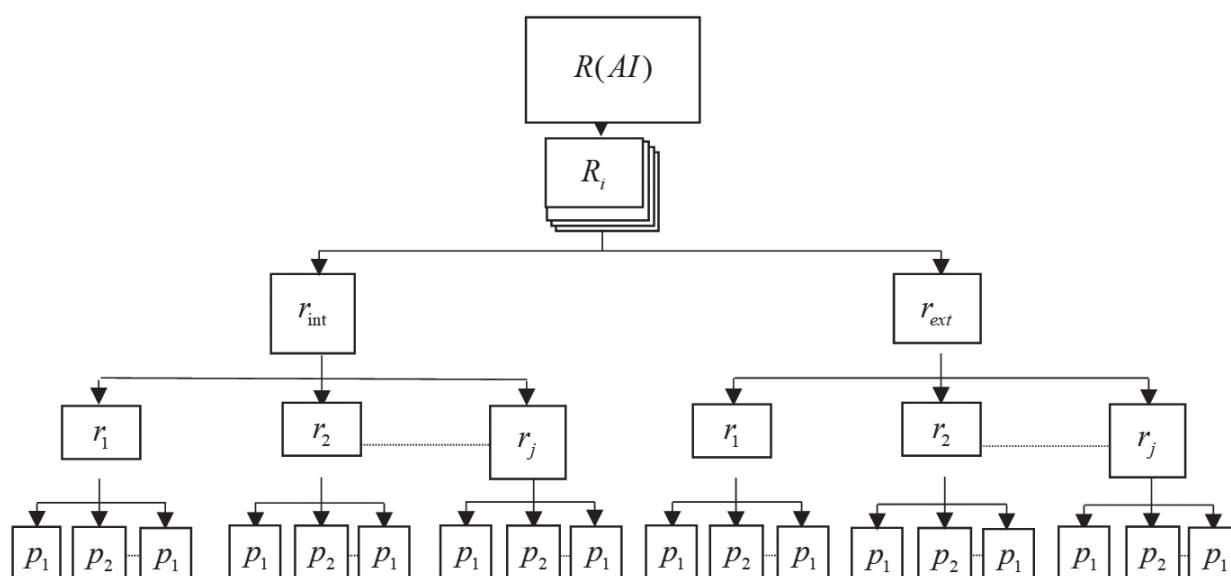


Рис. 5. Дерево показателей оценивания риска системы ИИ в ИАД ОВУ

средством определения частоты её возникновения в ходе проведения испытания и рассчитывается выражением

$$p_i = \frac{U}{N},$$

где U — частота проявления угрозы, приведшей к отказу функционирования системы;

N — число проведенных испытаний.

Принимая предположение, что любая из возникших угроз приводит к сбою работы системы, показатель фактора риска оценивается посредством произведения вероятностей проявления характерных ему угроз:

$$r_j = \prod_{l=1}^L p_l,$$

где L — количество возникших угроз при проведении тестирования.

Аналогично производится расчет показателя вероятности проявления внешних/внутренних факторов риска:

$$r_{\text{int,ext}} = \prod_{j=1}^J r_j,$$

где J — количество проявившихся внешних/внутренних факторов риска при проведении тестирования.

Для эффективного решения информационно-аналитических задач ОВУ необходимо создать такую ситуацию, когда ни один из рисков не будет реализован. В этом случае можно рассчитать вероятность безотказного функционирования каждого из элементов системы ИИ в ИАД ОВУ в условиях реализации всего комплекса рисков:

$$R_i = (1 - r_{\text{int}}) \cdot (1 - r_{\text{ext}}).$$

Расчет безотказного функционирования системы ИИ осуществляется с учетом порядка (схемы) соединения её основных элементов.

В системе с последовательным соединением для безотказной работы в течение некоторого времени необходимо и достаточно, чтобы каждая из её подсистем работала безотказно в течение этого периода времени. Считая отказы элемен-

тов независимыми, вероятность одновременной безотказной работы элементов определяется по теореме умножения вероятностей:

$$R(AI) = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 = \prod_{i=1}^4 R_i = \prod_{i=1}^I (1 - Q_i),$$

где Q_i — вероятность отказа работы подсистемы ИИ;

I — количество подсистем, в которых были отмечены отказы в рамках тестирования.

Для отказа системы с параллельным соединением элементов в течение наработки необходимо и достаточно, чтобы все её элементы отказали в течение этой наработки. Следовательно, вероятность отказа системы (при допущении независимости отказов) может быть найдена по теореме умножения вероятностей как произведение вероятностей отказов элементов:

$$Q_i = \prod_{i=1}^I Q_i = \prod_{i=1}^4 (1 - R_i).$$

Соответственно, вероятность безотказной работы, описывающая интегральный риск системы ИИ, рассчитывается выражением

$$R(AI) = 1 - \prod_{i=1}^I Q_i = 1 - \prod_{i=1}^4 (1 - R_i).$$

Значения данного показателя будут находиться в промежутке от нуля до единицы. При этом чем его значение ближе к единице, тем меньше для системы ИИ рисков её применения.

Таким образом, предлагаемый методический подход позволяет решить задачу военно-экономического анализа, состоящую в необходимости оценивания рисков применения технологий ИИ в ИАД ОВУ, что несомненно способно повысить степень объективности дальнейшего обоснования рациональности их использования в рассматриваемой прикладной среде. Одной из ключевых особенностей подхода выступает утверждение необходимости исследования риска как не частного, а системного показателя, зависящего от всех подсистем системы ИИ, которые также могут создавать условия, приводящие к невозможности решения информационных задач технологией. Основу предложенного подхода составляет определение показателя риска как вероятности безотказной работы, описываемой совокупностью вероятностей проявления факторов риска и характеризующих их частных угроз.

Важным шагом на пути реализации методики должна стать разработка единого перечня типовых угроз применения систем ИИ в ИАД ОВУ.

Список источников

1. Белик А.Г. Качество и надежность программных систем: учеб. пособие. Омск: ОмГТУ, 2018. 80 с.
2. Hong Y., Lian J., Xu L., Min J. et al. Statistical Perspectives on Reliability of Artificial Intelligence Systems, Department of Statistics, Virginia Tech, Blacksburg, 2021. 40 p.
3. Чекал Е.Г. Надежность информационных систем: учеб. пособие. Ч. 1. Ульяновск: УлГУ, 2012. 118 с.
4. Угрозы информационной безопасности. URL: <https://searchinform.ru/informatsionnaya-bezopasnost/osnovy-ib/ugrozy-informatsionnoj-bezopasnosti/> (дата обращения: 17.09.2024).
5. Konstantopoulos S. On the Reliability of Artificial Intelligence Systems: 13th EETN Conference on Artificial Intelligence (SETN). Piraeus, Greece, 2024. 5 p.
6. Намиот Д.Е., Ильюшин Е.А., Чижов И.В. Основания для работ по устойчивому машинному обучению // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Вып. 9. № 11. С. 68–73.
7. Намиот Д.Е., Ильюшин Е.А. Об устойчивости и безопасности систем искусственного интеллекта // Международный журнал открытых информационных технологий. 2022. Вып. 10. № 9. С. 126–132.
8. Лаврищева Е.М., Зеленов С.В., Пакулин Н.В. Методы оценки надежности программных и технических систем // Труды ИСП РАН. 2019. Т. 31. № 5. С. 95–108.
9. Mortajia S.T.Y., Sadeghi M.E. Assessing the Reliability of Artificial Intelligence Systems: Challenges, Metrics, and Future Directions // International Journal of Innovation in Management Economics and Social Sciences. 2024. Vol. 4. No 2. Pp. 1–13.
10. Hamon R., Junklewitz H., Sanchez I. Robustness and Explainability of Artificial Intelligence — From technical to policy solutions, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Luxembourg, 2020. 36 p.
11. Антонов С.Г., Климов С.М. Методика оценки рисков нарушения устойчивости функционирования

программно-аппаратных комплексов в условиях информационно-технических воздействий // Надежность. 2017. Т. 17. № 1. С. 32–39.

References

1. Belik A.G. Kachestvo i nadezhnost' programnyh system: textbook. Omsk: OmSTU, 2018. 80 p.
2. Hong Y., Lian J., Xu L., Min J. et al. Statistical Perspectives on Reliability of Artificial Intelligence Systems, Department of Statistics, Virginia Tech, Blacksburg, 2021. 40 p.
3. Chekal E.G. Nadezhnost' informacionnyh sistem: textbook. Ulyanovsk: UISU, 2012. Vol. 1. 118 p.
4. Information security threats. URL: <https://searchinform.ru/informatsionnaya-bezopasnost/osnovy-ib/ugrozy-informatsionnoj-bezopasnosti/>. (date of reference: 17.09.2024).
5. Konstantopoulos S. On the Reliability of Artificial Intelligence Systems: 13th EETN Conference on Artificial Intelligence (SETN). Piraeus, Greece, 2024. 5 p.
6. Namiot D.E., Ilyushin E.A., Chizhov I.V. Basis for sustainable machine learning searches // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Vol. 9. No 11. Pp. 68–73.
7. Namiot D.E., Ilyushin E.A. On the stability and security of artificial intelligence systems // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Vol. 10. No 9. Pp. 126–132.
8. Lavrishcheva E.M., Zelenov S.V., Pakulin N.V. Methods for assessing the reliability of software and technical systems // Proceedings of ISP RAS. 2019. Vol. 31. No 5. Pp. 95–108.
9. Mortajia S.T.Y., Sadeghi M.E. Assessing the Reliability of Artificial Intelligence Systems: Challenges, Metrics, and Future Directions // International Journal of Innovation in Management Economics and Social Sciences. 2024. Vol. 4. No 2. Pp. 1–13.
10. Hamon R., Junklewitz H., Sanchez I. Robustness and Explainability of Artificial Intelligence — From technical to policy solutions, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Luxembourg, 2020. 36 p.
11. Antonov S.G., Klimov S.M. Methodology for assessing risks of stability violation of the functioning of software and hardware systems in the conditions of information and technical influences // Reliability. 2017. Vol. 17. No 1. Pp. 32–39.

УДК 519.21; 623.77

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_38

**МОДЕЛИ, ПОВЫШАЮЩИЕ ДОСТОВЕРНОСТЬ ОЦЕНКИ
РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ
ОБЪЕКТОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**MODELS THAT INCREASE THE RELIABILITY OF THE ASSESSMENT OF
INTELLIGENCE SECURITY OF SPECIAL-PURPOSE FACILITIES**

Канд. техн. наук В.А. Парфиров

Ph.D. V.A. Parfirov

Военная академия связи им. С.М. Буденного

Современный уровень развития техники и систем разведки делает практически невозможной задачу скрытия объектов специального назначения от них на длительный срок. Определить вероятностно-временные зависимости показателей защищенности объектов от разведки для современных систем технической разведки является сложной задачей, что обуславливает актуальность данной работы. Цель работы заключается в повышении точности оценки значений вероятностно-временных показателей защищенности объектов от технических разведок с учетом процессов функционирования средств и систем разведки. Разработаны модели оценки разведывательной защищенности с учетом многократного обследования объекта разведки средствами разведки и комплексного характера ведения разведки. Разработанные модели могут быть использованы при создании научно-методического аппарата, предназначенного для обоснования методов защиты объектов специального назначения от технических разведок.

Ключевые слова: вскрытие, обнаружение, объект разведки, разведывательная защищенность, система разведки, комплексная разведка, многократное обследование.

The modern level of development of technology and intelligence systems makes it almost impossible to hide special-purpose objects from them for a long time. It is a difficult task to determine the probabilistic-temporal dependences of the indicators of protection of objects from exploration for modern technical intelligence systems, which determines the relevance of this work. The purpose of the work is to increase the accuracy of estimating the values of probabilistic and temporal indicators of the protection of objects from technical intelligence, taking into account the processes of functioning of intelligence facilities and systems. Models for assessing intelligence security have been developed, taking into account the repeated inspection of the intelligence facility by means of intelligence and the complex nature of intelligence. The developed models can be used to create a scientific and methodological apparatus designed to substantiate methods of protecting special-purpose facilities from technical intelligence.

Keywords: autopsy, detection, intelligence facility, intelligence security, intelligence system, complex intelligence, multiple examination.

Введение

Военные конфликты последних десятилетий свидетельствуют о том, что превосходство над противником во многом достигается повышением степени осведомленности о состоянии его специальных объектов. В данных условиях, с одной стороны, успех исхода специальных действий достигается повышением эффективности работы системы разведки, с другой стороны, повышением эффективности выполнения мероприятий противодействия ей [1–3].

Постоянное повышение характеристик средств разведки, телекоммуникационных технологий и вычислительной техники существенно повысило возможности разведывательно-ударных и разведывательно-огневых комплексов. Кроме этого, развитие и широкое распространение относительно недорогих, но при этом эффективных робототехнических комплексов привело к изменению интенсивности ведения технической разведки и повлекло изменение форм и способов ведения специальных действий. При этом вынужденные изменения основаны на практическом опыте и зачастую не имеют теоретического обоснования.

Таким образом, существует проблема теоретического обоснования применяемых и вновь разрабатываемых способов ведения специальных действий.

Постановка задачи

Известно [4, 5], что одной из ключевых характеристик объектов при ведении специальных действий является разведывательная защищенность, поэтому организацию применения данных объектов требуется осуществлять, исходя из возможностей разведки оппонента по их вскрытию и поражению.

В настоящее время теоретически оценку эффективности мероприятий маскировки и возможностей технической разведки противника принято определять на основе оценки показателей разведывательной защищенности объектов для каждого отдельного вида технической разведки [6–8]. При этом объект считается защищенным от определенного вида разведки в случае выполнения условий:

$$P_{\text{обн.в.}} \leq P_{\text{обн.треб.в.}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{обн.в.}}$ — вероятность обнаружения объекта отдельным видом разведки;

$P_{\text{обн.треб.в.}}$ — требуемое значение максимально допустимой вероятности обнаружения объекта отдельным видом разведки;

$$\begin{cases} P_{\text{обн.в.}} \geq P_{\text{обн.треб.в.}}; \\ P_{\text{вскр.в.}} \leq P_{\text{вскр.треб.в.}}, \end{cases} \quad (2)$$

где $P_{\text{вскр.в.}}$ — вероятность вскрытия объекта отдельным видом разведки;

$P_{\text{вскр.треб.в.}}$ — требуемое значение максимально допустимой вероятности вскрытия объекта отдельным видом разведки. Однако данная оценка осуществляется при существенных ограничениях на условия ведения разведки в части динамики функционирования средств и объектов разведки, что не позволяет в полной мере оценить временные затраты системы разведки на обнаружение и вскрытие объектов, в том числе и с учетом возможной комплексной обработки разведывательной информации, поступающей от различных видов технической разведки в центр обработки разведывательных данных.

Таким образом, требуется разработать математический аппарат, направленный на повышение точности оценки и прогноза изменения показателей разведывательной защищенности во времени, в том числе и с учетом комплексной обработки информации системой разведки.

Целью статьи является повышение точности оценки значений вероятностно-временных показателей разведывательной защищенности объектов разведки путем учета режимов функционирования системы разведки.

Задачей статьи является установление зависимостей вероятностей обнаружения и вскрытия объектов разведки от интенсивности ведения разведки и комплексной обработки разведывательной информации системой разведки.

Решение

Допустим, имеется следующая оперативно-тактическая ситуация. Разведка заданного района ведется несколькими средствами технической разведки различных видов, работающими неза-

висимо друг от друга. Каждое средство разведки ведет обследование данного района с определенной интенсивностью. В данном районе расположен объект разведки, который находится в квазистационарном состоянии в течение определенного промежутка времени (рис. 1). Предварительно обработанные результаты разведки, полученные от каждого средства разведки, передаются в общий центр обработки разведывательной информации, где осуществляется их совместная обработка. По результатам обработки принимается решение о наличии и классификации обнаруженного объекта.

В данных условиях возможны три варианта, при которых выполнение условий (1) и (2) не гарантирует обеспечения требуемой защищенности объекта разведки:

1) ввиду вероятностного характера разведывательной защищенности объекта разведки, он обнаруживается средством разведки в соответствии с «законом подлости»;

2) при обследовании местности за определенный промежуток времени возможна неоднократная работа одного и того же средства разведки по ней;

3) при обобщении разведывательной информации (снимков местности в различных диапазонах (оптическом, инфракрасном, радиолокационном), электромагнитная, звуковая обстановка и т.д.), поступающей от различных средств разведки, появляется возможность обнаружить (вскрыть) объект разведки за счет синергетического эффекта совместной обработки разведывательной информации [9].

Показать выполнение данных условий можно на примере приведенных теоретических рассуждений, проведенных на основе положений теории вероятностей.

Для решения задачи статьи рассмотрим смысл вероятности появления какого-либо события на основе непосредственного подсчета вероятности события или статистической вероятности события [10]. Допустим, при проведении эксперимента возможны два варианта несовместных исходов: первый — событие A и второй — событие B . Тогда вероятность появления событий A (P_A) или B (P_B) в результате одного эксперимента в группе однотипных экспериментов, состоящей из N экспериментов, можно определить выражениями [10]:

$$P_A = n_A / N, \quad (3)$$

где n_A — количество исходов, в которых произошло событие A ;

$$P_B = n_B / N, \quad (4)$$

где n_B — количество исходов, в которых произошло событие B , $n_A + n_B = N$.

В приведенном примере, несмотря на наличие статистических оценок вероятности событий A и B выражений (3) и (4), предсказать точно момент появления того или иного события на практике невозможно. Отсюда и возникает возможность появления каждого из событий в соответствии с «законом подлости». В данном случае, при выполнении «закона подлости»,

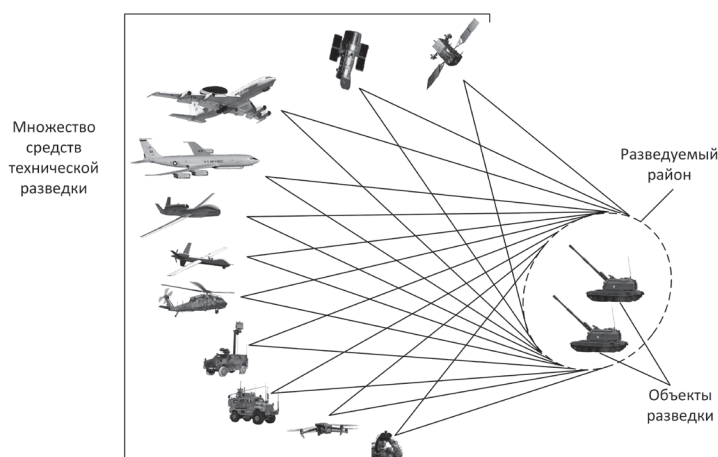


Рис. 1. Обследование района с находящимся на нем объектом средствами технической разведки различных видов

предсказать время обнаружения или вскрытия объекта с заданной вероятностью не представляется возможным. Предельным случаем является обнаружение объекта при первом обследовании района с расположенным на нем объектом.

В отличие от первого случая в двух других предсказать вероятное время обнаружения (вскрытия) объекта возможно. Показать это можно, продолжив предыдущий пример с событиями A и B .

Определим вероятность появления n раз одинакового события A (P_{An}), в группе однотипных экспериментов, состоящей из N экспериментов. Данную вероятность можно определить, как сумму вероятностей совместных независимых событий [10]:

$$P_{An} = \sum_{i=1}^n P_A - \sum_{i_1=1}^{n-1} \sum_{i=i_1+1}^n P_A P_A + \sum_{i_2=1}^{n-2} \sum_{i_1=i_2+1}^{n-1} \sum_{i=i_1+1}^n P_A P_A P_A + \dots + (-1)^{n-1} \sum_{i_{n-1}=1}^1 \sum_{i_{n-2}=i_{n-1}+1}^2 \dots \sum_{i_2=i_{n-2}+1}^{n-1} \sum_{i=i_2+1}^n \underbrace{P_A P_A \dots P_A}_n. \quad (5)$$

Тогда, приняв за событие A обнаружение объекта разведки, можно получить выражение для вычисления вероятности обнаружения объекта разведки при многократном обследовании местности одним средством разведки.

Ввиду того, что вероятность обнаружения объекта разведки определить статистическими методами путем непосредственного подсчета, используя выражения (1) и (2), во время ведения специальных действий не представляется возможным, из-за изменчивости условий проведения измерений, вероятности обнаружения объектов определяют теоретическими методами для заданных условий обстановки. Причем, известно [3], что результат оценки зависит от различных составляющих, которые могут изменяться в течение интервала времени нахождения объекта разведки в квазистационарном состоянии. Отсюда следует, что при неоднократном обследовании местности в общем случае возможен вариант, при котором значения вероятности обнаружения одного и того же объекта для различных моментов времени будут отличаться, то есть

$$P(t_i) \neq P(t_j), \text{ при } t_i \neq t_j, \quad i \neq j, \quad (6)$$

где i и j — номера обследований местности средством разведки, $i \leq N$ и $j \leq N$.

Тогда выражение (5) с учетом выражения (6) преобразуется к виду, в котором каждая вероятность P_A будет иметь зависимость от соответствующего номера обследования местности [11], то есть $P_A(t_i) = P_{Ai}(t)$. В данном случае вероятность обнаружения объекта при i -м обследовании местности можно представить, как произведение вероятностей двух независимых событий — обследование местности и обнаружение объекта при данном обследовании:

$$P_{\text{обн./обсл.}i}(t) = P_{\text{обсл.}i}(t) P_{\text{обн.}i}, \quad (7)$$

где $P_{\text{обсл.}i}(t)$ — зависимость вероятности выполнения i -го обследования местности с объектом разведки средством разведки;

$P_{\text{обн.}i}$ — значение вероятности обнаружения объекта разведки при i -м обследовании местности.

Зависимость вероятности выполнения i -го обследования местности с объектом разведки средством разведки от интенсивности ведения разведки λ можно представить выражением, полученным на основе закона Пуассона [10]:

$$P_{\text{обсл.}i}(t) = 1 - \sum_{r=0}^i \frac{(\lambda \cdot t)^r}{r!} e^{-\lambda \cdot t}. \quad (8)$$

Подставив выражение (8) в выражение (7), а затем полученное выражение в (5), получим выражение для определения вероятности обнаружения объекта средством разведки за i обследований местности.

Аналогично, приняв за событие A обнаружение или вскрытие объекта разведки j -м средством разведки определенного вида технической разведки, можно получить выражение для вычисления вероятности обнаружения объекта разведки комплексной технической разведкой. В данном случае в качестве вероятности P_A в выражении (5) будет вероятность обнаружения (или вскрытия) объекта j -м видом технической разведки P_j .

Результат применения, полученных математических моделей по уточнению показателей разведывательной защищенности при многократной обработке местности и при комплексировании результатов разведки, поступающих от

средств разведки различных видов, можно показать на примере, приведенном в начале статьи, дополнив тактическую обстановку дополнительными исходными данными.

Контрольное решение

Исходные данные:

- количество средств разведки различных видов $R = 5$;
- интенсивности ведения разведки каждым средством разведки (табл. 1);
- вероятность обнаружения объекта при n -м обследовании местности (табл. 2).

Полученные зависимости вероятностей обнаружения от времени представлены на рис. 2.

Анализируя полученные зависимости вероятностей обнаружения (вскрытия) от времени, можно сделать следующие выводы:

1) при многократном обследовании района с объектом средствами разведки одного вида:

– вероятность обнаружения объекта данным видом разведки возрастает с увеличением количества обследований (зависимости №№ 2–5, рис. 2);

– абсолютное скрытие объекта не возможно даже при выполнении мероприятий маскировки, обеспечивающих слабую доступность объекта средствам разведки (зависимость № 5, рис. 2);

2) при ведении разведки в районе средствами разведки различных видов при совместной комплексной обработке информации, полученной ими, вероятность обнаружения (вскрытия) объекта возрастает, чем обеспечивается обнаружение (вскрытие) объекта разведки в более короткие сроки, относительно обнаружения (вскрытия) объекта отдельным видом разведки (зависимость № 6, рис. 2). Для вышеприведенных исходных данных благодаря учету комплексной обработки информации время обнаружения объекта сократилось: в 3,17 раза относительно времени вскрытия вторым и четвертым видами разведки (зависимости № 2 и № 4, рис. 2); в 5,15 раза относительно первого вида разведки (зависимость № 1, рис. 2); в 5,63 раза относи-

Таблица 1

Интенсивности работы средств разведки различных видов

№ вида разведки	1	2	3	4	5
λ , час ⁻¹	1	2	0,5	1,5	0,3

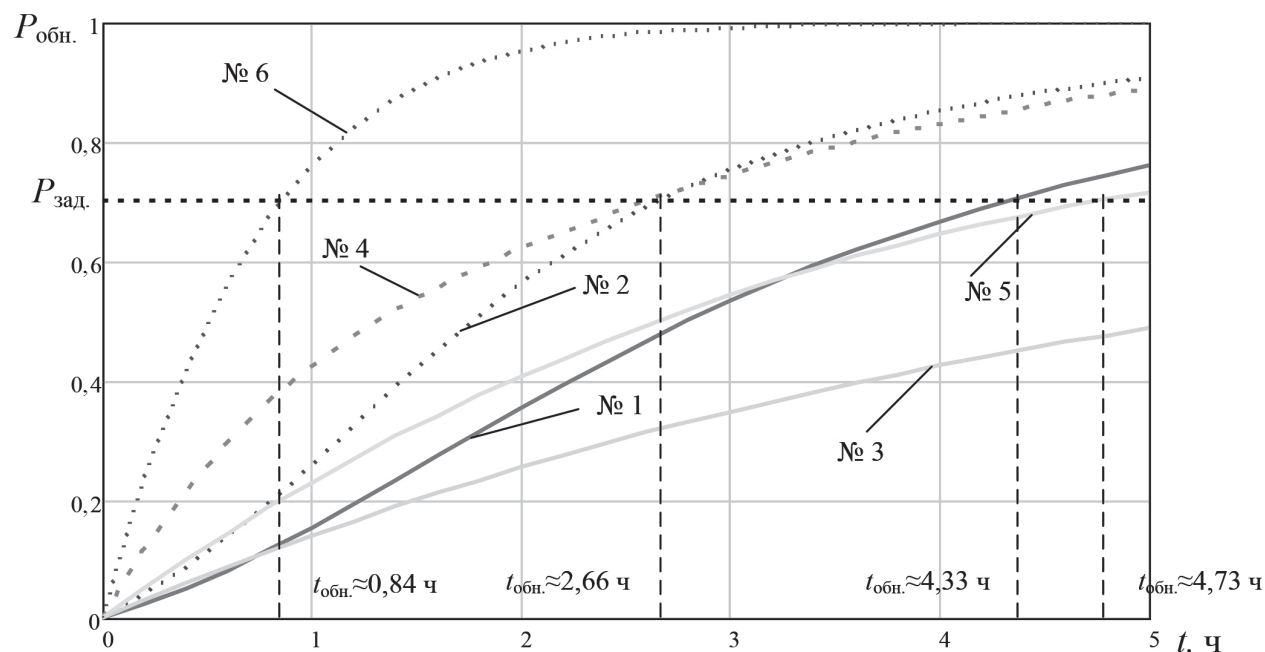


Рис. 2. Зависимости вероятности обнаружения объекта разведкой от времени (зависимости № 1 – № 5 соответствуют номерам видов разведки, представленным в табл. 1; зависимость № 6 соответствует комплексной обработке информации)

Таблица 2

Вероятность обнаружения объекта при n-м обследовании местности

№ ср. \ № обл.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,1	0,2	0,5	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	0,3	0,4	0,2	0,5	0,1	0,3	0,2
2	0,1	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4
3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	0	0,4	0,6	0,5	0,2	0,3	0,1	0,4	0,1	0,3
4	0,4	0,3	0,1	0,2	0,2	0,4	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	0,5
5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

тельно пятого вида разведки (зависимость № 5, рис. 2).

Заключение

В данной статье разработан математический аппарат, позволяющий повысить точность оценки и прогноза изменения показателей разведывательной защищенности объектов специального назначения во времени. Основой создания представленного математического аппарата послужили физические процессы функционирования современных систем разведки, состав которых позволяет обеспечивать непрерывный периодический контроль заданных районов средствами разведки, функционирующими в различных физических полях.

Представленные модели устанавливают зависимости вероятностей обнаружения и вскрытия объектов разведки от интенсивности обследования объекта средствами разведки, а также определяют синергетический эффект комплексной обработки разведывательных сведений, поступающих от различных видов разведки. Достоверность представленных моделей обоснована применением известных методов теории вероятностей при их создании и подтверждается результатами контрольного решения.

С помощью применения разработанного математического аппарата продемонстрирована возможность обнаружения (вскрытия) разведкой противника объектов, обладающих слабой доступностью средствам разведки ($P_{обн.i} = 0,1$), даже одним видом технической разведки (зависимость № 5, рис. 2). Данная зависимость показывает, что абсолютной защиты от технической разведки даже для объекта, обладающего мини-

мальной доступностью средству разведки, практически не существует.

Разработанные математические модели целесообразно использовать при разработке методов и методик оценки разведывательной защищенности объектов специального назначения, а также в системах поддержки принятия решений при обосновании действий по управлению объектами на этапах планирования и выполнения специальных действий в условиях интенсивной разведки противостоящей стороны.

Список источников

1. Лобов В.Н. Военная хитрость в истории войн. М.: Воениздат, 1988. 192 с.
2. Корепанов В.О., Шумов В.В. Моделирование военных, боевых и специальных действий // Военная мысль. 2023. № 1. С. 28–40.
3. Стародубцев Ю.И., Липатников В.А., Парфиров В.А. Проблема повышения разведывательной защищенности элементов военной системы связи // Военная мысль. 2023. № 7. С. 88–99.
4. Алешин О.В., Сызранцев А.Г., Федурлов А.В. Технологические основы построения автоматических систем управления связью высокودинамичных систем управления специального назначения // I-methods. 2019. Т. 11. № 1. С. 52–65.
5. Липатников В.А., Парфиров В.А. Структурно-параметрический метод защиты информационно-телекоммуникационной сети специального назначения в условиях информационного конфликта // Системы управления, связи и безопасности. 2023. № 4. С. 105–156.
6. Боговик А.В., Игнатов В.В. Эффективность систем военной связи и методы её оценки. СПб.: ВАС, 2006. 183 с.

7. Сызранцев Г.В. Теоретические и научно-методические основы обеспечения построения сложных организационно-технических систем военной связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах: монография; под ред. доктора воен. наук А.Г. Ермишяна. СПб.: ВАС, 2007. 180 с.

8. Меньшаков Ю.К. Основы защиты от технических разведок: учеб. пособие; под общ. ред. М.П. Сычева. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2011. 478 с.

9. Программа расчета вероятности обнаружения (вскрытия) объекта комплексной разведкой: свид. о гос. рег. программы для ЭВМ Рос. Федерация. № 2023689784: заявл. 22.11.23: опубл. 17.01.2024.

10. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и её инженерные приложения: учеб. пособие для студ. вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 464 с.

11. Липатников В.А., Парфиров В.А., Мелехов К.В. Модель определения вероятностно-временных характеристик обнаружения объектов при неоднократном обследовании местности // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции. СПб.: Типография Любавич, 2023. С. 563–568.

References

1. Lobov V.N. Military cunning in the history of wars. Moscow: Voenizdat, 1988. 192 p.

2. Korepanov V.O., Shumov V.V. Modeling of military, combat and special operations // Military thought. 2023. No 1. Pp. 28–40.

3. Starodubtsev Yu.I., Lipatnikov V.A., Parfirov V.A. The problem of increasing the intelligence security of elements of the military communications system // Military Thought, 2023. No 7. Pp. 88–99.

4. Aleshin O.V., Syzrantsev A.G., Fedulov A.V. Technological foundations for building automatic

communication control systems of highly dynamic special purpose control systems // I-methods, 2019. Vol. 11. No 1. Pp. 52–65.

5. Lipatnikov V.A., Parfirov V.A. Structural-parametric method of protection of information and telecommunication network of special purpose in the conditions of information conflict // Management, communication and security systems. 2023. No 4. Pp. 105–156.

6. Bogovik A.V., Ignatov V.V. Effectiveness of military communications systems and methods of its assessment. St. Petersburg: VAS, 2006. 183 p.

7. Syzrantsev G.V. Theoretical and scientific and methodological foundations for ensuring the construction of complex organizational and technical systems of military communications in local wars and armed conflicts: Monograph / Ed. Doctors of Military Sciences A.G. Ermishyan. St. Petersburg: VAS, 2007. 180 p.

8. Menshakov Yu.K. Fundamentals of protection from technical intelligence: textbook. stipend / Under the general editorship of M.P. Sychev. M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2011. 478 p.

9. Program for calculating the probability of detection (opening) of an object by complex intelligence: свид. about the state reg. of the computer program. Rus. Federation. No. 2023689784: application 22.11.23: published 17.01.2024.

10. Wentzel E.S., Ovcharov L.A. Probability theory and its engineering applications: Textbook for students. vtuzov. 3rd ed., reprint. and additional M.: Publishing center «Academy», 2003. 464 p.

11. Lipatnikov V.A., Parfirov V.A., Melekhov K.V. A model for determining the probabilistic and temporal characteristics of object detection during repeated site surveys // Actual problems of protection and safety: Proceedings of the XXVI All-Russian Scientific and Practical Conference. St. Petersburg: Lyubavich, 2023. Pp. 563–568.

УДК 623.455.2; 001.891.573

doi: 10.53816/23061456_2025_3–4_45

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНОЙ
ГИЛЬЗЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗРЫВНОГО МЕТОДА БУБНОВА-ГАЛЕРКИНА
И МОМЕНТНОЙ ТЕОРИИ ПРОЧНОСТИ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК**

**A MATHEMATICAL MODEL OF THE FUNCTIONING OF A COMPOSITE
SLEEVE USING THE BUBNOV-GALERKIN BURSTING METHOD AND THE
MOMENT THEORY OF STRENGTH OF THIN SHELLS**

Д.В. Бакланов, канд. техн. наук С.А. Куканов

D.V. Baklanov, Ph.D. S.A. Kukanov

Филиал Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева (г. Пенза)

Статья посвящена разработке математической модели функционирования композитной гильзы в цикле автоматики с применением механики сплошных сред и моментной теории прочности тонких оболочек, отличающейся от известных возможностью оценки прочности по всей её длине и на стыке различных материалов за счет введения коэффициента отношения длины торца к длине плоскости касания стыка в расчетную формулу приведенной жесткости контакта. При стрельбе патрон подвергается деформации под действием давления в патроннике за предельно короткий промежуток времени, необходимо учитывать изменения конститутивной модели материала при его ударе. Разработанные на сегодняшний день научно-методические аппараты не позволяют в полной мере описывать динамические нагрузки на композитную гильзу во время выстрела и экстракции. Разработанная в статье модель позволила определить свойства материала для тела композитной гильзы с учетом обеспечения его прочности и необходимой упругой пластичности.

Ключевые слова: метод Бубнова — Галеркина, моментная теория прочности, приведенная жесткость, метод конечных элементов, изгибающий момент, модель Джонсона — Кука.

The article is devoted to the development of a mathematical model of the functioning of a composite sleeve in the automation cycle using continuum mechanics and the moment theory of strength of thin shells, which differs from the known ones in the ability to estimate strength along its entire length and at the junction of various materials by introducing the ratio of the end length to the length of the plane of contact of the joint into the calculation formula of the reduced contact stiffness. When firing, the cartridge undergoes deformation under the influence of pressure in the chamber in an extremely short period of time, it is necessary to take into account changes in the constitutive model of the material upon impact. The scientific and methodological devices developed to date do not allow us to fully describe the dynamic loads on the composite sleeve during firing and extraction. The model developed in the article made it possible to determine the properties of the material for the body of the composite sleeve, taking into account its strength and the necessary elastic plasticity.

Keywords: Bubnov — Galerkin method, moment theory of strength, reduced rigidity, finite element method, bending moment, Johnson — Cook model.

Одна из основных задач расчета на прочность композитной гильзы заключается в выборе геометрии соединения двух материалов с разными коэффициентами теплопередачи и температурными напряжениями.

Зона контакта тела гильзы и донной части является одной из наиболее нагруженных областей в гильзе при наличии высокой концентрации напряжений на срез [1].

Расчет проводился в квазистатическом приближении для момента времени, при котором реализуется максимальное давление пороховых газов. Допустимость квазистатического расчета обосновывалась достаточно большими временами протекающих процессов (максимальные деформации развиваются в изделии за время $(\sim 74 \cdot 10^{-5} \text{ с})$ по сравнению со временем распространения возмущений в материале изделия (прохождение упругих волн по длине стандартной конструкции занимает время порядка единиц микросекунд) [2].

Деформация поверхностного слоя на контакте донной части и тела гильзы непрерывно связана с жесткостью стыка. Под этой жесткостью понималось отношение усилия, вызываемого давлением пороховых газов в гильзе при выстреле, к перемещению поверхности в том же направлении. Величина жесткости представлялась как

$$j = \frac{P}{y}, \quad (1) \quad \text{и}$$

где j — жесткость стыковых поверхностей;

P — удельное давление пороховых газов;

y — перемещение стыковых поверхностей, вызванное сжатием поверхностных слоев.

Таким образом, для определения жесткости устанавливалась связь между перемещениями стыкуемых оболочек донной части из стали и телом гильзы из полиамида.

Предполагалось, что возникновение малых нелинейных деформаций должно обеспечивать дополнительный запас прочности. Смоделировано изделие по габаритам гильзы. Для построения решения разработана отсеченная часть фрагмента гильзы, представленная на рис. 1. На этом рисунке показаны внутренние нагрузки и внутренние напряжения, действующие на вырезанный фрагмент донной части и тела гильзы (показаны штриховкой).

Допускалось, что сжимаются две поверхности, одна из которых имеет в точке контакта материалов наибольший радиус кривизны R_1 и наименьший R'_1 , другая соответственно радиус кривизны R_2 и R'_2 . Тогда величина сближения по линии давления точек обеих частей гильзы, удаленных от зоны контакта, из-за деформации в этой зоне задавалась как [3]

$$y = \lambda \sqrt[3]{\frac{P^2}{k_1^2 \delta}}, \quad (2)$$

где

$$\delta = \frac{4}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_2}}, \quad (3)$$

$$k_1 = \frac{8E_1E_2}{3E_2(1-\mu_1^2) + E_1(1-\mu_2^2)}, \quad (4)$$

где λ — коэффициент, зависящий от углов, которые составляют касательные с поверхностями в точке контакта.

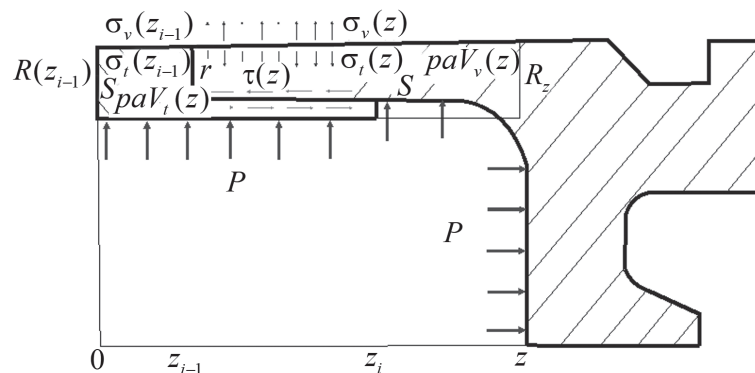


Рис. 1. Фрагмент донной части гильзы и тела гильзы, и действующие на них нагрузки

Учитывалось, что деформация стыка подчиняется условию

$$y = \frac{y_1}{2} + \frac{y_2}{2}, \quad (5)$$

где y_1 и y_2 — деформация стыка из только одного или только другого из двух указанных материалов.

Пользуясь выражениями (1) и (5), получено

$$\frac{1}{j^*} = \frac{1}{2j_1} + \frac{1}{2j_2},$$

или

$$j^* = 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{j_1 j_2}{j_1 + j_2}, \quad (6)$$

где j^* — приведенный коэффициент жесткости, коэффициент жесткости смешанного стыка.

Пользуясь выражениями (5) и (7), получено

$$E^* = 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}. \quad (7)$$

Имея выражения (7) и (8), находились ориентировочные значения жесткости для смешанных стыков, когда известны материалы и их параметры.

На рис. 2 приведены геометрические варианты соотношения длины торца стыка к длине плоскости касания при различных соединениях донной части и тела композитной гильзы (кг).

Давление соприкосновения стенки гильзы с патронником зависит от относительной толщи-

ны стенки в исследуемом сечении, механических характеристик материала и относительного радиального зазора

$$P_c = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot M \sigma_e \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{2}{3} \cdot \frac{D \cdot \bar{r} \cdot \Delta r}{r_2},$$

где r_1 и r_2 — наружный и внутренний радиус КГ;

$M = \frac{E - D}{E}$ — параметр упрочнения;

$\bar{r} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$ — безразмерный коэффициент;

Δr — радиальный зазор.

Выбор радиального зазора зависит от относительной толщины стенки в данном сечении. Посчитав приведенный коэффициент жесткости и деформации численным и аналитическим методами, получены результаты, представленные на рис. 3.

Таким образом, при аналитическом расчете приведенной жесткости соединение, представленное на рис. 2, в, показало результаты с погрешностью не более 5 % с расчетами численного метода. Введен дополнительный коэффициент учета конструкции стыка донной части и тела гильзы β . С учетом коэффициента β достигается обеспечение жесткости и прочности соединения частей гильзы, расчеты показывают удовлетворительные результаты. Механические свойства среднеуглеродистой низколегированной стали и полиамида РА612 описывались с помощью конститутивной модели Джонсона — Кука [4].

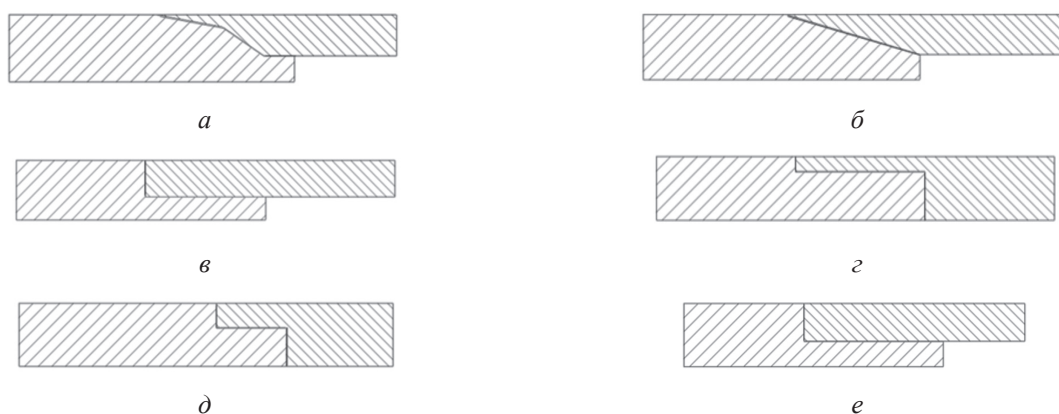


Рис. 2. Соотношение длины торца стыка r к длине плоскости касания стыка L при соединении донной части и тела композитной гильзы: а, б, в — геометрические сочетания соединения группы 1; г, д, е — геометрические сочетания соединения группы 2

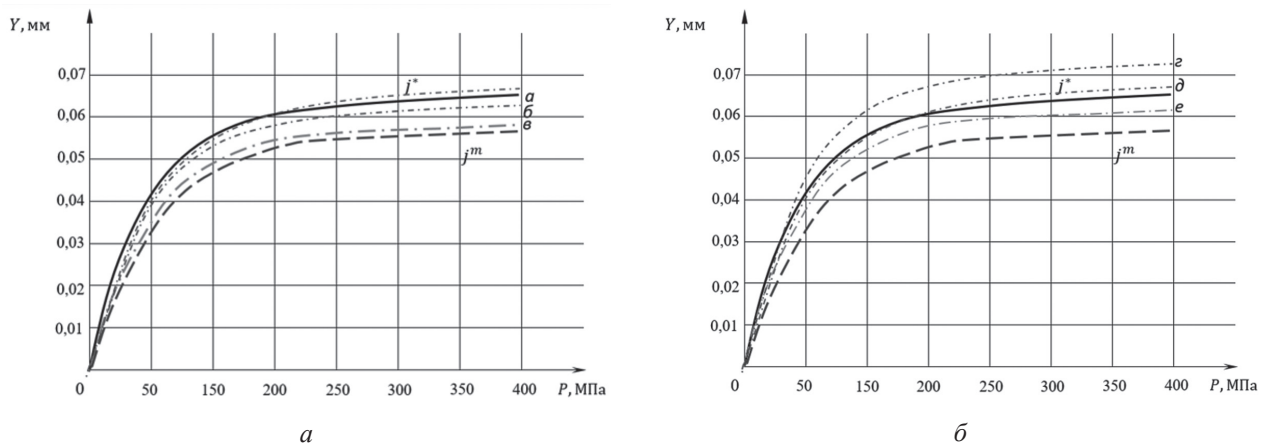


Рис. 3. Изменение деформации от приложенного давления на стыке двух материалов композитной гильзы: а — при геометрических сочетаниях соединения группы 1; б — при геометрических сочетаниях соединения группы 2; j^* — приведенный коэффициент жесткости стыка материалов по аналитической модели Рыжова; j^m — приведенный коэффициент жесткости стыка материалов, посчитанный численным методом SPG

Общая форма

$$\sigma = \left(A + B \varepsilon^n \right) \cdot \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{ref}} \right) \right] \cdot (1 - T^{*m}),$$

где σ , ε , $\dot{\varepsilon}_{ref}$ представляют собой напряжения, пластическую деформацию и эталонную скорость деформации соответственно; A , B , C , n и m — константы материалов; T^* — температурный показатель.

Для проверки независимости сетки сравнивалась модель конечных элементов с общим количеством узлов 1,134 миллиона, при этом ошибки напряжений в соответствующих поло-

жениях патронника находились в пределах 2 %, что указывало на то, что сетка может обеспечить надежные результаты расчета (рис. 4).

Для адекватного раскрытия сил, действующих на тело композитной гильзы, применялась моментная теория прочности тонких оболочек [5], для чего рассматривалась отсеченная часть тела гильзы из композитного материала, нагруженная внутренним давлением пороховых газов P (рис. 5).

Толщина гильзы обозначалась h , радиус кривизны срединной поверхности в окружном направлении R . На расстоянии x выделялся двумя продольными и двумя поперечными сечениями (под углом $d\varphi$) элемент с размера-

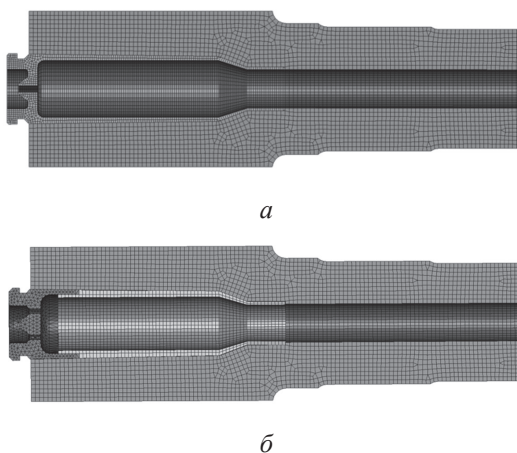


Рис. 4. Модель конечных элементов после создания сетки: а — штатная гильза 5,45-мм в патроннике; б — композитная гильза 5,45-мм в патроннике

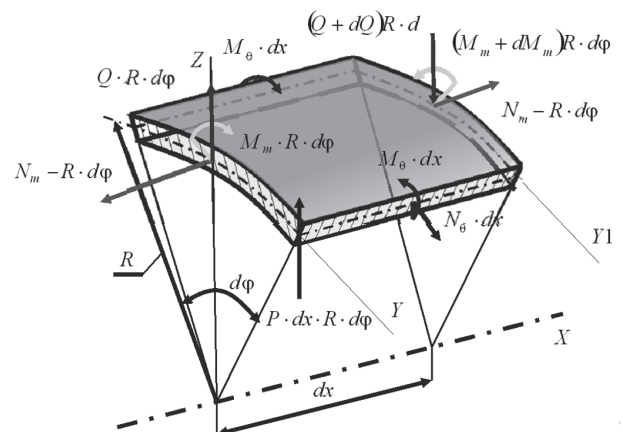


Рис. 5. Элемент оболочки тела гильзы и действующие на него силы

ми dx и $R \cdot d\varphi$ и рассматривался под действием всех сил в равновесии.

Моментная теория расчета фрагмента композитной гильзы основана на допущениях, используемых в теории изгиба пластин [6]. К боковым площадкам элемента прикладывались внутренние силы и моменты, а с внутренней стороны действовало давление пороховых газов P . На рис. 5 смоделированы:

Q — поперечная сила, приходящаяся на единицу длины;

$$W(x) = \frac{PR^2}{E \cdot h} \left(1 - \mu \frac{N_m}{PR} \right) \left[e^{-kx} \cdot (\sin kx + \cos kx) \right] - \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot h}{12 - (1 - \mu)},$$

где P — давление пороховых газов;

R — радиус кривизны срединной поверхности в окружном направлении;

E — модуль Юнга;

μ — коэффициент Пуассона;

h — толщина стенки гильзы;

α — коэффициент линейного расширения материала;

ΔT — разность температур внутренней и наружной поверхностей стенки гильзы.

Механические свойства композитных материалов, армированных стекловолокном, более существенно зависят от скорости деформации в направлении укладки волокон, в то время как углеродные волокна демонстрируют поведение, не зависящее от скорости деформации. Поэтому для композитного тела гильзы из стекловолокна проводилась коррекция свойств материала в радиальном направлении [7, 8]

$$\lambda_{E_0}(\dot{\varepsilon}) = \lambda_{E_z}(\dot{\varepsilon}) = 1 + \lambda \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right),$$

где λ_{E_0} — жесткость материала в радиальном направлении в цилиндрических координатах;

λ_{E_z} — жесткость материала в осевом направлении в цилиндрических координатах;

$\dot{\varepsilon}$ — скорость деформации;

$\dot{\varepsilon}_0$ — предельная скорость деформации, которая служит эталоном для сравнения с текущей скоростью деформации [5].

Результаты показали, что при начальных зазорах 0,04 мм и 0,06 мм гильза войдет в тесный контакт с патронником при давлении в патроннике 154 МПа и 230 МПа соответственно.

N_θ , N_m — нормальные силы, приходящиеся на единицу длины в окружном и меридиональном направлениях;

M_θ , M_m — изгибающие моменты (приходящиеся на единицу длины) в окружном и меридиональном направлениях.

Определение внутренних силовых факторов: прогиба гильзы, изгибающего момента, перерезывающей силы, окружной нормальной силы проводилось путем нахождения 1, 2 и 3-х производных функции

При максимальном давлении в патроннике максимальная деформация внешней стенки патрона составляла 0,063 мм и 0,046 мм соответственно. Это представляет собой уменьшение на 39,4 % и 17,1 % по сравнению с деформацией 0,076 мм при отсутствии контакта патрона с патронником ($\delta = 0,08$ мм). Для внутренней стенки патрона максимальные деформации составляли 0,063 мм и 0,074 мм соответственно, что представляет собой уменьшение на 25,5 % и 11,7 % по сравнению с деформациями без контакта с патронником.

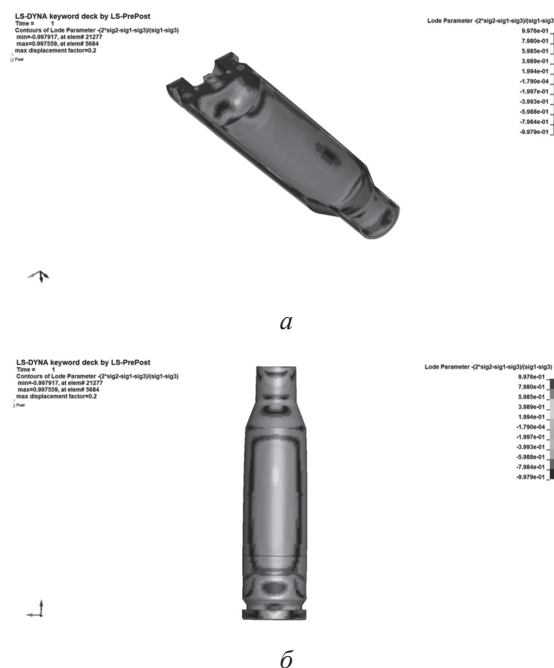


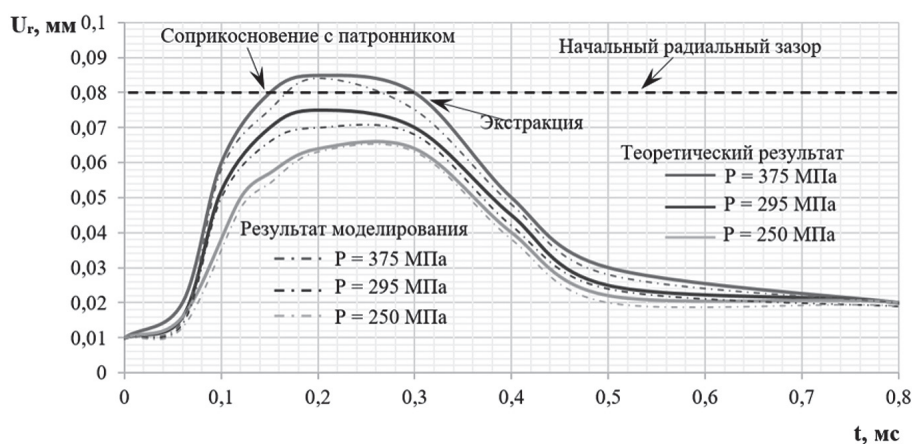
Рис. 6. Результаты деформации композитной 5,45-мм гильзы: а — суммарная силовая нагрузка в изометрии; б — суммарная силовая нагрузка внешней стенки

Для проверки независимости сетки сравнивалась модель конечных элементов с общим количеством узлов, при этом ошибки напряжений в соответствующих положениях патронника находились в пределах 2 %. В целях экономии вычислительных ресурсов и повышения эффективности расчета была выбрана конечно-элементная модель с минимальным количеством узлов. Расчет деформации стенки композитной гильзы проводился моделированием внутреннего давления пороховых газов, возникающего при выстреле и определяемого по классической теории внутренней баллистики (рис. 6) [9].

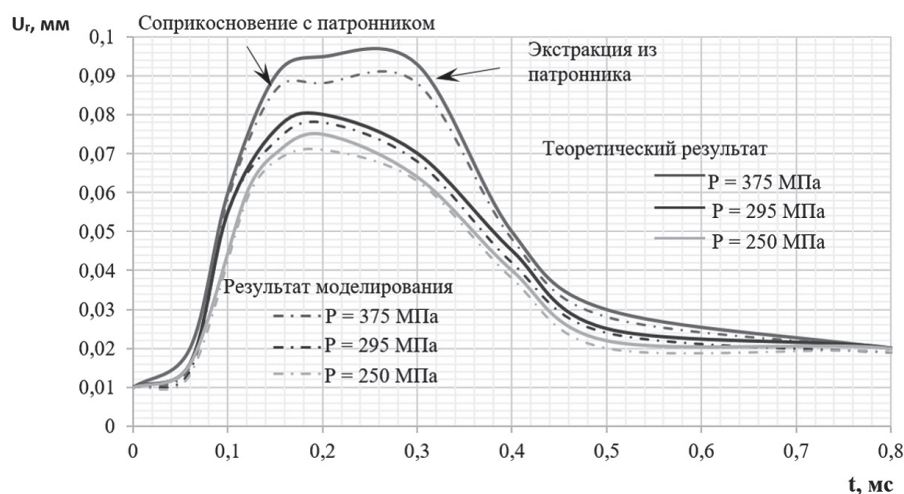
Деформации внешней и внутренней стенки композитной гильзы при различных давлениях представлены на рис. 7.

Выводы

Результаты моделирования деформации композитной гильзы и оценки прочности по её длине показали, что при давлении в патроннике ниже 295 МПа гильза не контактирует с патронником в течение всего процесса деформации, а при приложении максимального давления в патроннике 375 МПа наружная стенка гильзы может касаться патронника. После касания патронника происходит наклон кривых смещения внутренней и внешней стенок гильзы, скорость деформации существенно уменьшается. Это объясняется значительными ограничениями и поддержкой патрона, которые обеспечивает патронник.



а



б

Рис. 7. Радиальная деформация при разном давлении в патроннике:
а — внешней стенки 5,45-мм композитной гильзы; б — внутренней стенки 5,45-мм композитной гильзы

В целом разработанная модель позволила сделать выбор оптимального материала с заданными физическими свойствами для тела композитной гильзы с учетом обеспечения его прочности и необходимой упругой пластичности. При аналитическом расчете приведенной жесткости соединение, представленное на рис. 2, в, показало результаты с погрешностью не более 5 % с расчетами численного метода.

Список источников

1. Пагано Н. Роль эффективных модулей в исследовании упругих свойств слоистых композитов / Композиционные материалы: В 8 т. Т. 2. Механика композиционных материалов; под ред. Дж. Сен-деки. М.: Мир, 1978. С. 13–37.
2. Победря Б.Е. О точности эффективных характеристик в механике композитов // Механика композитных материалов. 1990. № 3. С. 408–413.
3. Подружин Е.Г. Приложение метода сингулярных интегральных уравнений к задачам изгиба анизотропных пластин с многосвязным контуром: автореф. дисс. докт. техн. наук. Новосибирский гос. техн. ун-т. Новосибирск, 2007. 34 с.
4. LS-DYNA Theory Mnual. Livermore: LSTC, 2019. 686 p.
5. Никифоровский В.С., Шемякин Е.И. Динамическое разрушение твердых тел. Новосибирск: Наука, Сибирское отд., 1979. 272 с.
6. Рыжов Э.В. Основы расчета стыковых поверхностей деталей машин на контактную жесткость. М.: Машгиз, 1962. 143 с.
7. Протасов В.Д., Филипенко А.А. Безмоментные цилиндрические оболочки с переменными параметрами упругости // Механика композитных материалов. 1984. № 3. С. 493–502.
8. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. М.: Наука, 1974. 448 с.

9. Ванин Г.А. и др. Современные методы испытаний композиционных материалов // Научно-методический сборник. НТП-4-92, под ред. А.П. Гусенкова. М.: МНТК «Надежность машин», 1992. 247 с.

References

1. Pagano N. The role of effective modules in the study of elastic properties of layered composites / Composite materials: In 8 volumes. Vol. 2. Mechanics of composite materials [edited by J. Sen-decki]. Moscow: Mir, 1978. Pp. 13–37.
2. Pobedrya B.E. On the accuracy of effective characteristics in the mechanics of composites // Mechanics of composite materials. 1990. No 3. Pp. 408–413.
3. Druzhin E.G. Application of the method of singular integral equations to bending problems of anisotropic plates with a multiconnected contour: Abstract. diss. doct. Technical sciences. Novosibirsk State Technical University. Novosibirsk, 2007. 34 p.
4. LS-DYNA Theory Mnual. Livermore: LSTC, 2019. 686 p.
5. Nikiforovsky V.S., Shemyakin E.I. Dynamic destruction of solids. Novosibirsk: Nauka, Siberian Publishing House, 1979. 272 p.
6. Ryzhov E.V. Fundamentals of calculating the butt surfaces of machine parts for contact stiffness. Moscow: State Scientific and Technical Publishing House of Engineering Literature. 1962. 143 p.
7. Protasov V.D., Filipenko A.A. Momentless cylindrical shells with variable elasticity parameters // Mechanics of composite materials. 1984. No. 3. Pp. 493–502.
8. Ambartsumyan S.A. General theory of anisotropic shells. Moscow: Nauka, 1974. 448 p.
9. Vanin G.A. et al. Modern methods of testing composite materials // Scientific and methodological collection. NTP-4-92. Edited by A.P. Gusenkov. M.: ISTK «Reliability of machines», 1992. 247 p.

УДК 519.8

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_52

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИИ
АППАРАТОМ ЦЕПИ МАРКОВА**

**PRESENTATION OF A MODEL OF OPERATION CONDUCTING
USING A MARKOV CHAIN APPARATUS**

*Канд. пед. наук М.И. Калинина, Ю.В. Соловьев,
канд. техн. наук В.В. Оркин*

Ph.D. M.I. Kalinina, Yu.V. Soloviev, Ph.D. V.V. Orkin

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

При моделировании систем на практике часто возникают случаи, которые требуют учета последовательного ряда негативных воздействий на рассматриваемую систему. Для проведения операций требуется создавать системы. Но для того чтобы совершенствовать системы, нужно исследовать операции. Наблюдается взаимообусловленность проблематики как при разработке систем для проведения операций, так и при проведении исследования операций в целях улучшения систем. Единство возможностей систем и способов их поведения в интересах поставленных разработчиками целей обуславливают наличие этой связи. В работе предложен подход для оценивания влияния на разрабатываемую систему негативных воздействий. Предлагается рассмотрение применения этого подхода для моделирования системы (операции) путем представления её однородной цепью Маркова.

Ключевые слова: система, операция, марковская цепь, вероятность, внутреннее состояние, структурное построение, управляющее воздействие.

When modeling systems in practice, cases often arise that require taking into account a consistent series of negative impacts on the system in question. To carry out operations, it is necessary to create systems. But in order to improve the systems, you need to investigate the operations. There is an interdependence of issues both in the development of systems for conducting operations and in conducting operations research in order to improve systems. The unity of the capabilities of the systems and the ways they behave in the interests of the goals set by the developers determine the existence of this connection. The paper proposes an approach for assessing the impact of negative impacts on the system being developed. In this article, we propose to consider the application of this approach to modeling a system (operation) by representing it as a homogeneous Markov chain.

Keywords: system, operation, Markov chain, probability, internal state, structural construction, control action.

Введение

В настоящее время при изучении дисциплины «Моделирование и проектирование систем» практически не уделяется внимание такому важному объекту изучения как «операция», значимость освоения которого день ото дня возрастает. Под операцией следует понимать совокупность взаимосогласованных действий, направленных на достижение системой вполне определенной цели [1]. Термины «система» и «операция» неразрывно связаны. Без постановки вполне определенной цели говорить об операции бессмысленно. Когда цель поставлена и возможны альтернативные варианты движения к ней, то в заданных условиях решающее значение приобретает отыскание лучшего из возможных рассматриваемых альтернативных вариантов [2].

В современных реалиях все большую актуальность приобретает создание моделей систем, направленных на оценивание последствий воздействий на них вполне определенных негативных факторов. Это повышает роль создания соответствующих моделей операций для исследования поведения разрабатываемых систем. Выбор наиболее адекватного математического аппарата из возможных для создания модели как системы, так и операции как процесса её функционирования играет ключевую роль при достижении разработчиком намеченной цели [3].

Представление модели проведения операции аппаратом цепи Маркова

Для формирования модели операции требуется сформулировать основные понятия, которые будут основой движения в этом направлении [1].

Оперирующая сторона представляет совокупность субъектов, объединенных единым руководством и целенаправленно стремящихся (в рамках данной операции) к достижению намеченной цели [4]. Как масштаб операции, так и характер участия в ней субъектов определяют возможность для них либо самостоятельно формулировать себе цель, либо получать директивы извне. Поэтому для построения модели вопрос о составе и структуре оперирующей стороны должен обсуждаться всякий раз специально. Это обстоятельство позволяет рассматривать ход той или иной операции с разных точек зрения.

Активные средства проведения операции диктуются как наличием разнородных ресурсов, так и организационными возможностями, которые может использовать оперирующая сторона для организации успешного хода операции и достижения её цели. При этом оперирующая сторона должна обладать возможностью выбирать такие средства и способностью специфическим образом влиять на развитие событий. Иначе операция станет неуправляемой, а оперирующая сторона будет пассивным наблюдателем.

Стратегии оперирующей стороны в данной операции обуславливаются возможными вариантами расхода ею собственных активных средств. Понятие «возможные» следует понимать, как «не выходящие за пределы технических, организационных, физических возможностей (ограничений)». Среди возможных находятся и оптимальные стратегии, которые являются предпочтительнее остальных по каким-либо признакам.

Действующие факторы операции — условия и обстоятельства объективного характера, которые обуславливают её особенности и оказывают непосредственное влияние на её исход. Они могут быть как определенными (точно известными) так и неопределенными (имеющими вероятностную природу) [5]. В то же время их можно разделить на имеющие контролируемый и неконтролируемый характер в отношении оперирующей стороны. Неопределенные факторы являются неконтролируемыми. Наличие контролируемых факторов позволяет иметь возможность управления ходом операции. Обстановка, в которой проводится та или иная операция, определяется составом и структурой действующих факторов.

Показатель эффективного проведения операции (критерий) — это мера требуемого (ожидаемого, достигнутого) соответствия между результатом предпринимаемых действий и целью операции. Критерий, во-первых, позволяет сравнить оценку различных стратегий операции до начала их осуществления. Во-вторых, используется на завершающем этапе операции для характеристики полученных (достигнутых) результатов. И, в-третьих, интерес представляют стратегии, позволяющие достичь максимальных (минимальных) значений критерия.

Состояние операции по отношению к рассматриваемому моменту времени t — это набор её характеристик, которые определяются в этот

момент их измеренными значениями и отражают объективно сложившуюся картину. Операция представима процессом, который существует во времени и проходит соответствующие фазы (этапы) развития. Этот процесс оканчивается получением результата, который сопоставляется с изначально заданной целью. Кроме того, проявляя себя, он обнаруживает определенные свойства и, соответственно, может подвергнуться воздействиям оперирующей стороны. Если эти проявления процесса возможно измерить и допускают по отношению к себе количественную оценку, то о них можно говорить как о варьируемых параметрах. Они формально отражают ход операции и называются фазовыми переменными. Набор фазовых переменных представляет собой фазовое пространство состояний рассматриваемой операции.

Математическая модель операции описывается формальными соотношениями, которые связывают заданный критерий эффективности с действующими факторами операции. Реализация математической модели начинается оцениванием количественного проявления рассматриваемых факторов с дальнейшим указанием групп варьируемых параметров, формально представляющих эти факторы.

Решение, которое связывается с выбранной математической моделью, представляет собой конкретную совокупность значений управляемых (контролируемых) параметров (фазовых переменных). Получение решения как такового возможно:

- различным путем;
- с различной степенью точности;
- в различных предположениях свойств неуправляемых (неконтролируемых) параметров.

Но независимо от указанных направлений оно должно рассматриваться лишь как подспорье, нуждающееся в осмыслении и сопоставлениях. Не существует ни одной формальной модели, способной дать исчерпывающие сведения о развитии реальных событий (практически всегда присутствуют неконтролируемые факторы). Но реализуемые на её основе решения позволяют оперирующей стороне:

- ориентироваться в окружающей обстановке;
- вносить полезные уточнения в модель;
- анализировать различные стратегии;

– выявлять второстепенные факторы планируемой операции.

Специалистами, исследующими операции могут быть как отдельные личности, так и коллективы научных работников, которые призваны осуществлять разработку стратегий, возможных в соответствующих операциях, математических моделей, на основе различных критериев и понятиях оптимального выбора, методах исследования моделей для сравнения конкурирующих стратегий и отыскания среди них приближенно оптимальных. Исследователь является составной частью оперирующей стороны. Его роль ограничивается подготовкой рекомендаций, следующих из исследуемой модели (или их совокупности). Окончательный выбор ему не принадлежит, но предоставляется руководящему органу, который отвечает за проведение операции и имеет дополнительное понимание относительно предполагаемых стратегий. Необходимо различать формальные решения, выработанные исследователем операций, и принципиальные (ответственные) решения, которые должны приниматься руководящими органами. Предпочтительнее, чтобы формальные решения как можно более полно были бы отражены в принципиальных решениях, поскольку важнейшим условием успеха является достаточно хорошая информированность исследователя о предстоящей операции.

Приступим к рассмотрению предлагаемого математического аппарата. Согласно [6] представим систему (операцию) последовательностью состояний. Каждое состояние рассматриваемой операции соотнесем с рядом параметров, а именно:

- $P_{(n)}$ — внутреннее состояние объектов противоборствующих сторон;
- $S_{(n)}$ — структурное построение объектов противоборствующих сторон;
- $Q_{(n)}$ — пространственное расположение объектов противоборствующих сторон;
- $W_{(n)}$ — особенности условий внешней среды, влияющие на объекты противоборствующих сторон, где n — номер этапа (шага) рассмотрения модели.

Модель, основанная на учете анализа влияния факторов внешней среды и (или) результатов проведения предыдущих этапов операции для моделирования проведения очередного этапа, формирует управляющие воздействия $U_{(n)}$, оказываю-

щие влияние на объекты противоборствующих сторон и приводящие к возможному изменению состояния системы. Указанные параметры обобщенно представим в виде соответствующих матриц. Совокупность значений матриц $\{P, S, Q, W\}$ образуют фазовое пространство состояний рассматриваемой системы (операции). От этапа к этапу фазовое пространство состояний будет динамически изменяться.

Изменение состояния системы после проведения очередного этапа операции целесообразно описать движением точки T в этом фазовом пространстве $T = U(P, S, Q, W)$ набором измеренных текущих значений, указанных матриц в рассматриваемый момент времени в зависимости от влияния:

- соответствующих управляющих воздействий U ;
- величин ранее рассмотренных параметров матриц, рассчитанных на предыдущем этапе моделирования.

Процесс изменения состояния системы на $(n + 1)$ -очередном шаге представим рядом последовательных отображений [1]:

$$\Delta P: [P_{(n)}, S_{(n)}, Q_{(n)}, W_{(n)}, U_{(n)}] \rightarrow P_{(n+1)}; \quad (1)$$

$$\Delta Q: [P_{(n+1)}, S_{(n)}, Q_{(n)}, W_{(n)}] \rightarrow Q_{(n+1)}; \quad (2)$$

$$\Delta W: [Q_{(n+1)}, W_{(n)}] \rightarrow W_{(n+1)}; \quad (3)$$

$$\Delta S: [P_{(n+1)}, S_{(n)}, Q_{(n+1)}, W_{(n+1)}, U_{(n)}] \rightarrow S_{(n+1)}; \quad (4)$$

$$\Delta U: [P_{(n+1)}, S_{(n+1)}, Q_{(n+1)}, W_{(n+1)}, U_{(n)}] \rightarrow U_{(n+1)}. \quad (5)$$

Раскроем смысл приведенных выражений (1)–(5).

Изменение внутреннего состояния системы ΔP зависит от совокупности значений матриц $\{P, S, Q, W\}$ и от управляющего воздействия $U_{(n)}$; результатом их влияния станет новое значение $P_{(n+1)}$ внутреннего состояния системы.

Изменение топологии системы ΔQ зависит от совокупности значений матриц $\{S, Q, W\}$ и от нового значения внутреннего состояния системы $P_{(n+1)}$; в итоге их влияние приводит к новому значению топологии системы $Q_{(n+1)}$.

Изменение состояния среды системы ΔW зависит от значения W и от нового значения

топологии системы $Q_{(n+1)}$, а их влияние ведет к новому значению состояния среды системы $W_{(n+1)}$.

Изменение структуры системы ΔS зависит от значений $P_{(n+1)}$, $S_{(n)}$, $Q_{(n+1)}$, $W_{(n+1)}$ и от значения управляющего воздействия $U_{(n)}$, а их влияние приводит к новому значению структуры системы $S_{(n+1)}$.

Изменение управляющего воздействия $\Delta U_{(n)}$ на систему зависит от $P_{(n+1)}$, $S_{(n+1)}$, $Q_{(n+1)}$, $W_{(n+1)}$ и от значения управляющего воздействия $U_{(n)}$, а их влияние приводит к новому значению управляющего воздействия $U_{(n+1)}$ на систему.

Таким образом, под описанием состояния системы (операции) будем понимать описание обстановки на каждом шаге процесса моделирования противоборства в операции, выраженное в конкретных значениях параметров матриц моделируемого процесса.

Для количественного оценивания нахождения моделируемой системы (операции) после соответствующего шага (воздействия) в соответствующем состоянии применим к рассмотренным положениям аппарат марковского процесса. Используем однородную марковскую цепь, то есть применим допущение, что вероятности перехода системы от состояния к состоянию от шага к шагу (от воздействия к воздействию) меняться не будут [7].

То есть, под очередным шагом будем понимать очередное сформированное воздействие на систему соответствующих управляющих воздействий U с учетом их изменений ΔU и значений указанных параметров (P, S, Q, W) с учетом их изменений $(\Delta P, \Delta S, \Delta Q, \Delta W)$.

Описанное влияние и будет приводить к изменению состояния системы (как уже было показано).

Для системы S , имеющей n состояний, основным инструментом, описывающим переходы из состояния i состояния j за один шаг, является вероятность перехода P_{ij} [7]. Исходя из этих соображений, модель в общем виде может быть представлена либо матрицей переходных вероятностей, либо размеченным графом состояний. В работе для рассматриваемой модели используем размеченный граф состояний (РГС).

На РГС укажем только те переходные вероятности, которые не равны нулю и изменяют состояние системы, то есть P_{ij} при $i \neq j$.

Вероятности $P_{11}, P_{22}, \dots, P_{nn}$ на графе не указываются, так как каждая из них дополняет до «1» сумму переходных вероятностей, которые соответствуют всем стрелкам, исходящим из данного состояния.

Для задания РГС системы кратко приведем описания её состояний ($S_0 - S_8$) [6]. Здесь рассматривается пример противодействия двух систем (противоборствующих сторон) с применением воздушных воздействий (ударов).

S_0 — реализация всех видов обеспечения.

S_1 — получение разведывательной информации. В зависимости от возможности, полноты и достоверности полученных данных этапа разведки система перейдет в состояние формирования управляющих воздействий с рассчитываемой (заданной) вероятностью.

S_2 — формирование управляющих воздействий. В соответствии с планами сторон распределяются средства оказания воздействия каждого уровня подчинения исходя из оперативного построения противоборствующей стороны (каждая из сторон начинает формировать управляющие воздействия).

S_3 — реализация осуществления воздействий всеми учитываемыми уровнями подчинения:

- по результатам работы блоков 1, 2;
- целераспределение выделенных средств оказания воздействия каждого уровня по обнаруженным разведкой объектам противника;
- формирование управляющих воздействий;
- моделируются воздействия и затем рассчитывается ущерб, нанесенный конфликтующим сторонам после моделирования воздействий;
- определяются потери средств каждой из конфликтующих сторон.

S_4 — реализация работы средств уровня воздушного воздействия и противодействия воздушному воздействию:

- по результатам работы блоков 1, 2, 3;
- моделируется работа средств воздушного воздействия:

а) целераспределение средств по выделенным объектам;

б) удар средствами воздушного воздействия по назначенным объектам противника;

– моделируется работа средств противодействия воздушному воздействию:

а) целераспределение средств по выделенным объектам;

б) отражение средствами противодействия воздушному воздействию результатов воздействия средствами воздушного воздействия по назначенным объектам противника;

– рассчитывается ущерб, нанесенный конфликтующим сторонам;

– определяются потери средств противодействия воздушному воздействию каждой из конфликтующих сторон.

S_5 — реализация работы уровня средств дальнего воздействия:

– по результатам работы блока 1, 2, 3, 4 моделирование взаимных воздействий;

– расчет ущерба, нанесенного конфликтующим сторонам и определение потерь конфликтующих сторон.

S_6 — реализация работы сил и средств в зоне непосредственного соприкосновения (ЗНС):

– по результатам работы блока 1, 2, 3, 4, 5 моделируются воздействия в ЗНС.

S_7 — определение перемещения линии фронта:

– по результатам работы блока 1, 2, 3, 4, 5, 6 моделируется динамика изменения линии фронта.

S_8 — перегруппировка сил и средств конфликтующих сторон на основе анализа моделирования воздействий:

– по результатам работы блока 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 моделируется:

а) перегруппировка сил и средств конфликтующих сторон;

б) по необходимости использование резервов и вторых эшелонов;

– переход к блоку 1 по необходимости.

Раскроем смысл принципов, заложенных в построении модели.

На каждом этапе работы модели используются ресурсы, сформированные по результатам работы 0-го этапа модели. На состояние каждого этапа работы модели оказывают влияние сформированные на предыдущих этапах работы модели:

а) соответствующие управляющие воздействия U ;

б) значения указанных выше параметров.

Переход к блоку 1 производится по необходимости.

На основе вышеприведенного краткого описания состояний системы $S_0 - S_8$ разработан размеченный граф состояний модели проведения операции (рисунок) [8].

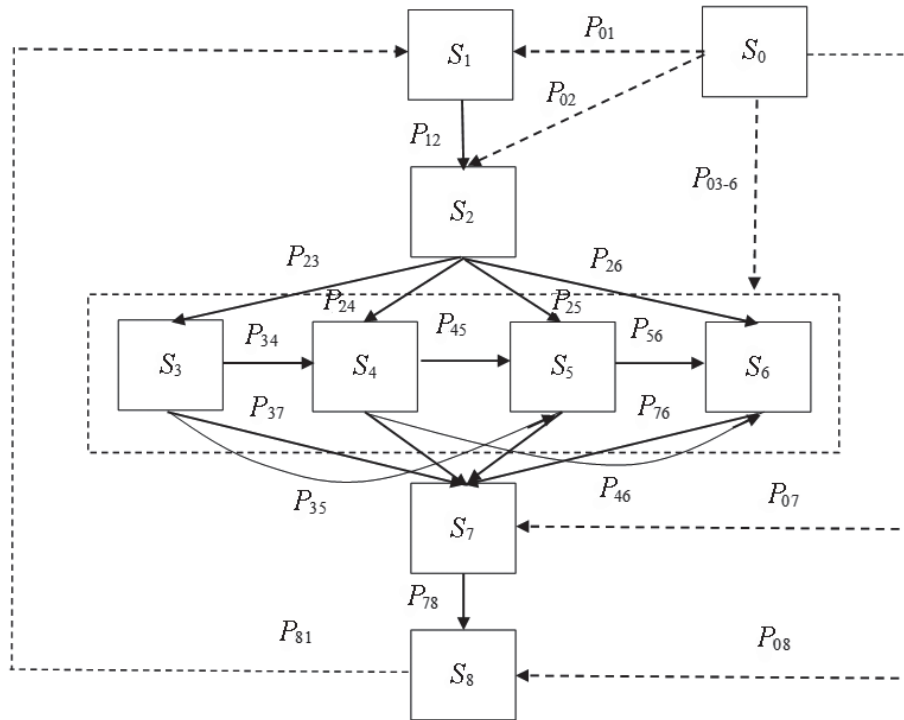


Рис. Размеченный граф состояний модели проведения операции

Алгоритм изменения состояний системы представим в виде последовательности этапов.

$S_0 [P_{7(n+1)} S_{5(n+1)} U_{4(n+1)} Q_{2(n+1)} U_{(n)}] \rightarrow [P_{(n)} S_{(n)} Q_{(n)} W_{(n)} U_{(n)}]$ — этап моделирования всех видов обеспечения.

$S_1 [P_{(n)} S_{(n)} Q_{(n)} W_{(n)} U_{(n)}] \rightarrow P_{1(n+1)}$ — этап формирования гипотезы о состоянии противоборствующей стороны.

$S_2 [P_{(n)} P_{(n+1)} S_{(n)} Q_{(n)} W_{(n)} U_{(n)}] \rightarrow U_{1(n+1)}$ — этап распределения средств воздействия.

$S_3 [P_{1(n+1)} U_{1(n+1)} S_{(n)} Q_{(n)} W_{(n)}] \rightarrow [P_{2(n+1)} U_{2(n+1)} S_{1(n+1)} W_{1(n+1)}]$ — этап моделирования воздействия и проведения расчета ущерба.

$S_4 [P_{1(n+1)} P_{2(n+1)} U_{2(n+1)} S_{1(n+1)} Q_{(n)} W_{1(n+1)}] \rightarrow P_{3(n+1)}$ — этап моделирования действий воздушного воздействия и противодействия воздушному воздействию.

$S_5 [P_{3(n+1)} U_{2(n+1)} S_{1(n+1)} Q_{(n)} W_{1(n+1)}] \rightarrow [P_{4(n+1)} U_{3(n+1)} S_{2(n+1)} W_{2(n+1)}]$ — этап моделирования работы средств дальнего воздействия.

$S_6 [P_{1(n+1)} P_{4(n+1)} U_{3(n+1)} S_{2(n+1)} Q_{(n)} W_{2(n+1)}] \rightarrow [P_{5(n+1)} S_{3(n+1)}]$ — этап моделирования воздействия в зоне непосредственного соприкосновения, расчет ущерба.

$S_7 [P_{1(n+1)} P_{5(n+1)} S_{3(n+1)} Q_{(n)} W_{2(n+1)}] \rightarrow [P_{6(n+1)} S_{4(n+1)} Q_{1(n+1)}]$ — этап моделирования перемещения линии фронта.

$S_8 [P_{1(n+1)} P_{6(n+1)} S_{4(n+1)} Q_{1(n+1)} W_{2(n+1)}] \rightarrow [P_{7(n+1)} S_{5(n+1)} U_{4(n+1)} Q_{2(n+1)}]$ — этап моделирования перегруппировки сил и средств противоборствующих сторон и ввода резервов.

Прокомментируем динамику функционирования системы (проведения операции) [6].

Оператор S_0 моделирует все виды обеспечения противоборствующих сторон, либо первоначально определяя внутреннее состояние сторон противоборства $P_{(n)}$, состояние структуры (связей) $S_{(n)}$, топологию противоборствующих сторон $Q_{(n)}$, состояние среды противоборства сторон $W_{(n)}$ и управляющие воздействия сторон $U_{(n)}$, либо на основе результата работы оператора S_8 при повторном (при необходимости) прохождении модели; на основе прохождения одной из указанных альтернатив формируется (уточняется) гипотеза о состоянии противоборствующих сторон.

Оператор S_1 моделирует действия разведки сторон, формируя гипотезу $P_{1(n+1)}$ о состоянии противоборствующих сторон.

Оператор S_2 моделирует управляющие воздействия сторон $U_{1(n+1)}$ для распределения средств поражения по соответствующим объектам противника.

Оператор S_3 моделирует процесс целераспределения и обмен воздействиями всеми средствами учитываемых уровней подчинения, формируя управляющие воздействия сторон $U_{2(n+1)}$, изменяя внутреннее состояние сторон на $P_{2(n+1)}$, состояние структур (связей) сторон на $S_{1(n+1)}$, состояние среды противоборства сторон на $W_{1(n+1)}$ и проводя расчет ущерба сторон.

Оператор S_4 моделирует действия средств воздушного воздействия и противодействия воздушному воздействию, формируя новое внутреннее состояние противоборствующих сторон $P_{3(n+1)}$.

Оператор S_5 моделирует работу средств дальнего воздействия, формируя управляющие воздействия на противоборствующие стороны $U_{3(n+1)}$, переводя противоборствующие стороны в новое внутреннее состояние $P_{4(n+1)}$, состояние связей $S_{2(n+1)}$, состояние среды противоборства сторон на $W_{2(n+1)}$.

Оператор S_6 моделирует воздействие в зоне непосредственного соприкосновения, формируя новое внутреннее состояние сторон противоборства $P_{5(n+1)}$, изменяя состояние связей на $S_{3(n+1)}$ и проводя расчет ущерба сторон.

Оператор S_7 моделирует перемещение линии фронта, формируя новое внутреннее состояние сторон противоборства $P_{6(n+1)}$, изменяя сос-

тояние связей на $S_{4(n+1)}$ и топологию противоборствующих сторон на $Q_{1(n+1)}$.

Оператор S_8 моделирует перегруппировку сил и средств противоборствующих сторон, ввод резервов, формируя новое внутреннее состояние сторон противоборства $P_{7(n+1)}$, изменяя состояние связей на $S_{4(n+1)}$ и топологию противоборствующих сторон на $Q_{2(n+1)}$.

Необходимо подчеркнуть, что в модели будут участвовать вероятности двух типов [8]:

– вероятности перехода от текущего состояния к последующему состоянию P_{ij} ;

– вероятности состояний $p_{i(k)}$, в которых окажется система после k -го шага воздействия.

Таким образом, значения вероятности 1-го типа — вероятности перехода от состояния к состоянию P_{ij} соответственно будут определяться (соотноситься с) движением точки $T = U(P, S, Q, W)$ в фазовом пространстве, представляющем собой совокупность рассчитанных текущих значений этих матриц в рассматриваемый момент времени.

Вероятности 2-го типа — вероятности состояний $p_{i(k)}$, в которых окажется система после k -го шага воздействия — будут определяться рекуррентной формулой:

$$p_{i(k)} = \sum_{j=1}^n p_{j(k-1)} P_{ij}, \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

где $p_{j(k-1)}$ — вероятность состояния системы после $(k-1)$ -го шага.

Таким образом, на основе предложенного математического аппарата, соответствующий коллектив исследователей операций принимает решения на использование той или иной стратегии её применения по результатам проведенного ими моделирования [9].

Выводы

В статье рассмотрен один из подходов к представлению модели проведения операции на основе использования математического аппарата марковской цепи. При этом:

1. Проведен анализ операции как последовательности состояний. При этом каждому состоянию рассматриваемой операции поставлен в соответствие ряд параметров;

2. Показана целесообразность представления системы этих параметров в виде совокуп-

ности значений соответствующих матриц этих параметров (P, S, Q, W), образующих в итоге фазовое пространство состояний рассматриваемой системы (операции);

3. Показано, что изменение состояния системы после проведения очередного этапа операции целесообразно описывать движением точки в этом фазовом пространстве $T = U(P, S, Q, W)$ — совокупностью рассчитанных текущих значений указанных матриц в рассматриваемый момент времени;

4. Детально рассмотрен процесс изменения состояния системы на очередном шаге моделирования в виде ряда последовательных отображений;

5. Показана целесообразность использования для рассматриваемой модели аппарата Марковских цепей и, в качестве первоначального инструмента анализа исходных данных для их построения, размеченного графа состояний рассматриваемой системы (операции);

6. Детально представлен алгоритм изменения состояний системы в виде рассмотренной в статье последовательности этапов;

7. Показана целесообразность использования в модели вероятностей двух типов:

– вероятности перехода текущего состояния к последующему состоянию P_{ij} ;

– вероятности состояний $p_{i(k)}$, в которых окажется система после k -го шага воздействия;

8. Приведены подходы и математический аппарат для проведения расчетов вероятностей этих типов;

9. Указано, что на основе предложенного математического аппарата соответствующий коллектив исследователей операций принимает решения на использование той или иной стратегии её применения по результатам проведенного ими моделирования.

Список источников

1. Чуев Ю.В., Мельников П.М., Петухов С.И. и др. Основы исследования операций в военной технике. М.: Советское радио, 1965. 395 с.
2. Кофман А., Крюон Р. Массовое обслуживание. Теория и приложение. М.: Мир, 1965. 303 с.
3. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. / Пер. И.И. Глушко; ред. В.Н. Нейман. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.

4. Дегтярев И.Ю. Исследование операций: учеб. для вузов по спец. АСУ. М.: Высш. шк., 1986. 320 с.

5. Хэдми А. Таха. Исследование операций, 10-е изд. Пер. с англ. СПб.: Диалектика, 2019. 1056 с.

6. Федулов А.А., Федулов Ю.Г., Цыгичко В.Н. Введение в теорию статистически ненадежных решений. М.: ЛИБРОКОМ, 2017. 280 с.

7. Цыгичко В.Н. Модели в системе принятия военно-стратегических решений в СССР. М.: Империиум Пресс, 2005. 96 с.

8. Абчук В.А. Справочник по исследованию операций; под общ. ред. Ф.А. Матвейчука. М.: Воениздат, 1979. 368 с.

9. Лепешкин С.А., Гончаренко В.А., Шульгин А.А., Шарабаева Л.Ю. Моделирование и проектирование систем. Ч. 2. Проектирование систем: учеб. пособие. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. 126 с.

References

1. Chuev Yu.V., Melnikov P.M., Petukhov S.I. et al. Fundamentals of operations research in military equipment. Moscow: Soviet Radio, 1965. 395 p.
2. Kofman A., Kruon R. Mass service. Theory and application. Moscow: Mir Publishing House, 1965. 303 p.
3. Kleinrock L. Theory of queuing. Transl. from English. M.: Mashinostroenie, 1979. 432 p.
4. Degtyarev I.Yu. Operations research.: Studies for universities on special automated control systems. M.: Higher School, 1986. 320 p.
5. Hadmi A. Taha. Operations Research, 10th ed.: Translated from English. St. Petersburg: Diagnostics LLC, 2019. 1056 p.
6. Fedulov A.A., Fedulov Yu.G., Tsygichko V.N. Introduction to the theory of statistically unreliable solutions. M.: LIBROCOM, 2017. 280 p.
7. Tsygichko V.N. Models in the system of military strategic decision-making in the USSR. M.: Imperium Press, 2005. 96 p.
8. Abchuk V.A. Handbook of operations research; Under the general editorship of F.A. Matveychuk. M.: Voenizdat, 1979. 368 p.
9. Lepeshkin S.A., Goncharenko V.A., Shulgin A.A., Sharabaeva L.Y. Modeling and design of systems. Part 2. Designing systems: a textbook. St. Petersburg: Mozhaisky VKA, 2017. 126 p.

УДК 623.45

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_60

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ ПРОЕКЦИИ ОСКОЛКА НЕОРГАНИЗОВАННОГО ДРОБЛЕНИЯ

ESTIMATION OF THE DISTRIBUTION OF THE PROJECTION AREA OF A FRAGMENT OF DISORGANIZED CRUSHING

Л.А. Маслова¹, д-р техн. наук С.М. Мужичек¹, канд. техн. наук А.А. Скрынников^{1,2}, С.В. Хрулин¹

L.A. Maslova, D.Sc. S.M. Muzhichok, Ph.D. A.A. Skrynnikov, S.V. Khrulin

¹ФАУ «ГосНИИАС», ²Московский авиационный институт

Предложен подход для построения закона распределения площади проекции осколков неорганизованного дробления на плоскость, перпендикулярную скорости осколка. В качестве модели осколка неорганизованного дробления выбран параллелепипед, параметры которого определяются из условия эквивалентности коэффициента формы. Для модельного осколка определяется диапазон возможных значений площади проекции, её числовые характеристики и закон распределения. Плотность вероятности и функция распределения площади проекции определяются путем статистического моделирования. Приведены примеры для осколков с различным значением коэффициента формы. Полученный закон распределения используется при проведении моделирования процесса истечения топлива из топливного бака летательного аппарата при пробитии стенки бака осколками.

Ключевые слова: осколки неорганизованного дробления, площадь проекции, закон распределения.

An approach is proposed for constructing the distribution law of the projection area of fragments of disorganized crushing on a plane perpendicular to the velocity of the fragment. A parallelepiped was chosen as a model of a fragment of disorganized crushing, the parameters of which are determined from the condition of equivalence of the shape coefficient. The range of possible values of the projection area, its numerical characteristics and the distribution law are determined for the model fragment. The probability density and the projection area distribution function are determined by statistical modeling. Examples are given for fragments with different values of the shape coefficient. The obtained distribution law is used in modeling the process of fuel outflow from the fuel tank of an aircraft when the tank wall is penetrated by fragments.

Keywords: fragments of disorganized crushing, projection area, distribution law.

Введение

Топливная система пилотируемых и тяжелых беспилотных летательных аппаратов (ЛА) является наиболее уязвимой компонентой к действию поражающих факторов боевых частей авиационных и зенитных управляемых ракет [1].

Большая уязвимая площадь элементов топливной системы обусловлена большим объемом топлива, размещаемого в крыльевых и фюзеляжных топливных баках [2].

В зависимости от характеристик накрывающего топливный бак (ТБ) осколочного поля могут быть реализованы различные механизмы

поражения топливного отсека: гидроудар при накрытии плотным высокоскоростным полем поражения отсека с топливом, аэроудар — при накрытии газонаполненного отсека, воспламенение топлива и развитие пожара, взрыв паровоздушной смеси, а также механическое действие — пробитие стенки топливного бака [3, 4]. Следствием этого может быть разрушение силовой конструкции отсека ЛА или масштабные пробоины в стенке ТБ, приводящие к быстрой потере топлива и к невозможности продолжения полета.

В случае попадания в топливный отсек отдельных осколков со сравнительно малой скоростью обширных разрушений стенки ТБ не будет; возможно образование в стенке ТБ одной или нескольких отдельных пробоин. В этом случае ЛА может быть поражен из-за критической потери топлива, при которой ЛА не сможет вернуться на аэродром посадки. Это обуславливает необходимость разработки методики оценки вероятности поражения ЛА за счет потери топлива. Задача оценки вероятности поражения ЛА за счет потери топлива решается и при обосновании минимально безопасных условий бомбометания с ударного беспилотного ЛА [5]. В этом случае попадание отдельных фрагментов (осколков) собственной бомбы в ТБ при бомбометании с малой высоты может привести к поражению беспилотного ЛА по механизму потери топлива.

ЛА будет поражен, если в результате истечения топлива из пробоин его будет недостаточно для возвращения ЛА на аэродром посадки.

Объем потерянного из ТБ топлива определяется конфигурацией ТБ, уровнем топлива в момент попадания в бак осколков, количеством попавших осколков, площадью пробоин и их расположением.

Площадь пробоины в стенке ТБ зависит от скорости осколка, его массы, угла подхода, от коэффициента формы и ориентации осколка в момент соударения [6, 7]. Осколок при движении хаотически вращается вокруг своего центра масс, поэтому все его ориентации в пространстве одинаково вероятны [8, 9]. Ввиду случайной ориентации осколка в момент подхода к поверхности ТБ площадь проекции осколка на плоскость, перпендикулярную вектору скорости осколка, а также площадь пробоины будут величинами случайными. Как следствие, зависимость объема потерянного топлива от времени будет случайным

процессом, а вероятность поражения ЛА по механизму потери топлива будет определяться как вероятность того, что траектория этого случайного процесса сможет достигнуть некоторого предельного значения в течение заданного времени.

В этой связи самостоятельной является задача определения закона распределения площади проекции осколка на плоскость, перпендикулярную вектору его скорости.

Определение закона распределения площади проекции осколка

Рассмотрим осколок в форме параллелепипеда со сторонами a , b , c , вектор скорости которого задается углами φ и θ (рис. 1).

Площадь проекции $S_{пр}$ параллелепипеда на плоскость, перпендикулярную вектору скорости осколка, определяется выражением [10]

$$S_{пр} = ab \cos \varphi \cos \theta + bc \sin \varphi + ac \cos \varphi \sin \theta. \quad (1)$$

Углы φ и θ — величины случайные. Для того чтобы все направления вектора скорости осколка были равновероятны, плотность распределения углов φ и θ (рис. 2) должна иметь вид [9]:

$$f(\theta, \varphi) = \frac{1}{4\pi} \cos \varphi \quad \text{при } 0 < \theta < 2\pi, \\ -\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$$

или

$$f(\theta, \varphi) = \frac{2}{\pi} \cos \varphi \quad \text{при } 0 < \theta < \frac{\pi}{2}, \quad 0 < \varphi < \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

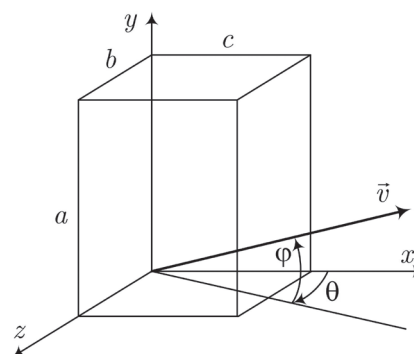


Рис. 1. Пространственное положение вектора скорости осколка

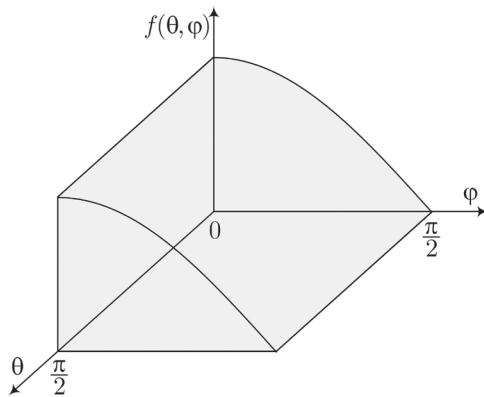


Рис. 2. Двумерная плотность распределения случайных величин — углов φ и θ

Так как

$$f(\theta, \varphi) = f(\theta)f(\varphi|\theta),$$

а

$$f(\theta) = \frac{2}{\pi} \text{ при } 0 < \theta < \frac{\pi}{2},$$

то

$$\frac{2}{\pi} \cos \varphi = \frac{1}{\pi/2} f(\varphi|\theta);$$

тогда условная плотность распределения $f(\varphi|\theta)$ будет иметь вид:

$$f(\varphi|\theta) = \frac{2}{\pi} \cos \varphi = \cos \varphi,$$

а условная функция распределения $F(\varphi|\theta)$ —

$$F(\varphi|\theta) = \sin \varphi \text{ при } 0 < \theta < \frac{\pi}{2}, 0 < \varphi < \frac{\pi}{2}.$$

Функция распределения угла θ —

$$F(\theta) = \frac{2\theta}{\pi} \text{ при } 0 < \theta < \frac{\pi}{2}.$$

Осколки естественного дробления имеют коэффициент формы 1,8...2,2. Приближенной моделью осколков неорганизованного дробления может служить прямая призма с основанием в виде выпуклого многоугольника [11]. Так, например, параллелепипед с соотношением длин сторон $1 \times 4 \times 4$ имеет коэффициент формы $\Phi = 1,89$; с соотношением $1 \times 6 \times 6$ — $\Phi = 2,2$.

Параллелепипед с квадратным основанием, то есть при $\alpha = \beta$,

где $\alpha = \frac{b}{a}$, $\beta = \frac{c}{a}$, описывает осколок неорганизованного дробления; при этом, варьируя значением α , можно получить требуемый при моделировании коэффициент формы Φ . Из выражения [8]

$$\Phi = \frac{ab + bc + ca}{2(abc)^{2/3}} = \frac{\alpha + \beta + \alpha\beta}{2(\alpha\beta)^{2/3}}$$

следует, что

$$\Phi(\alpha) = \frac{\alpha + 2}{2\alpha^{1/3}}. \quad (3)$$

Зависимость $\Phi(\alpha)$ при $\Phi = 1,88...2,2$ практически прямолинейная; на этом участке с использованием из соотношения (3) требуемые значения α могут быть получены по формуле

$$\alpha = 6,4096\Phi - 8,1093. \quad (4)$$

Тогда, так как объем осколка равен

$$V = abc = a \cdot \alpha a \cdot a\beta = a^3 \alpha^2,$$

то геометрические размеры осколка—параллелепипеда, имитирующего осколок неорганизованного дробления заданной массой q с коэффициентом формы Φ , могут быть получены из соотношения

$$a = \sqrt[3]{\frac{q}{\alpha^2 \rho}}; b = \alpha a; c = \alpha a. \quad (5)$$

Минимальная площадь проекции s_{np} осколка со сторонами a, b, c определяется минимальной площадью грани: $\min\{ab, bc, ac\}$. Максимальная площадь проекции может быть определена из условия

$$\begin{cases} \frac{\partial s_{np}(\theta, \varphi)}{\partial \varphi} = 0; \\ \frac{\partial s_{np}(\theta, \varphi)}{\partial \theta} = 0, \end{cases}$$

то есть

$$\begin{cases} -ab \sin \varphi \cos \theta + bc \cos \varphi - ac \sin \varphi \sin \theta = 0; \\ -ab \cos \varphi \sin \theta + ac \cos \varphi \cos \theta = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Выразим из первого уравнения системы (6) угол φ :

$$\varphi = \arctg\left(\frac{bc}{a(b\cos\theta + c\sin\theta)}\right);$$

подставив полученное выражение во второе уравнение системы (6), получим

$$\theta = \arctg\left(\frac{c}{b}\right),$$

откуда

$$\varphi = \arctg\left(\frac{bc}{a\sqrt{b^2 + c^2}}\right).$$

$$M[s_{\text{пр}}] = \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} (ab\cos\varphi\cos\theta + bc\sin\varphi + ac\cos\varphi\sin\theta) \frac{2}{\pi} \cos\varphi d\varphi d\theta = \frac{ab + bc + ac}{2};$$

$$D[s_{\text{пр}}] = M[s_{\text{пр}}^2] - (M[s_{\text{пр}}])^2 = \frac{1}{3}(a^2b^2 + a^2c^2 + b^2c^2) - \frac{1}{4}(ab + ac + bc)^2 + \frac{4}{3\pi}(a^2bc + ab^2c + abc^2),$$

где $M[s_{\text{пр}}^2]$ — второй начальный момент:

$$M[s_{\text{пр}}^2] = \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} (ab\cos\varphi\cos\theta + bc\sin\varphi + ac\cos\varphi\sin\theta)^2 \frac{2}{\pi} \cos\varphi d\varphi d\theta.$$

Рассмотрим в качестве примера осколок неорганизованного дробления массой 50 г с коэффициентом формы $\Phi = 1,8$. Он может быть смоделирован параллелепипедом со сторонами $a = 0,817$ см, $b = c = 2,801$ см.

Зависимость $s_{\text{пр}}(\theta, \varphi)$ для такого осколка приведена на рис. 3; значение $s_{\text{пр}}$ для него изменяется в достаточно широком диапазоне — от 2,2737 до 8,5831 см². Максимальное значение площадь проекции $s_{\text{пр}}$ принимает при $\theta = 45,0^\circ$, $\varphi = 67,58^\circ$.

На рис. 4 приведены линии равного уровня поверхности $s_{\text{пр}}(\theta, \varphi)$.

Особенность поведения зависимости (наличие замкнутых областей) затрудняет аналитическое интегрирование при нахождении закона распределения площади $s_{\text{пр}}$ как функции случайных аргументов φ и θ .

В этом случае закон распределения площади $s_{\text{пр}}$ осколка–параллелепипеда, имитирующего осколок неорганизованного дробления заданной

Таким образом, максимальная площадь проекции $s_{\text{пр}}$ осколка со сторонами a, b, c реализуется при углах

$$\theta = \arctg\left(\frac{c}{b}\right), \quad \varphi = \arctg\left(\frac{bc}{a\sqrt{b^2 + c^2}}\right). \quad (7)$$

Подставив выражения (7) в формулу (1), получаем, что максимальное значение $s_{\text{пр}}$ может быть рассчитано по формуле

$$s_{\text{прmax}} = \sqrt{a^2b^2 + a^2c^2 + b^2c^2}.$$

Так как углы φ и θ — случайные величины, совместная плотность которых задается формулой (2), то площадь проекции $s_{\text{пр}}$ также будет величиной случайной, числовые характеристики которой определяются выражениями:

массой q с коэффициентом формы Φ , может быть получен путем статистического моделирования [12]. Для этого по формуле (4) определяется значение α , по формуле (5) рассчитываются длины сторон осколка–параллелепипеда. При статистическом моделировании разыгрывается угол θ (по закону равной вероятности в диапазоне от 0 до $\pi/2$) и угол φ , как $\varphi = \arcsin(R)$, где

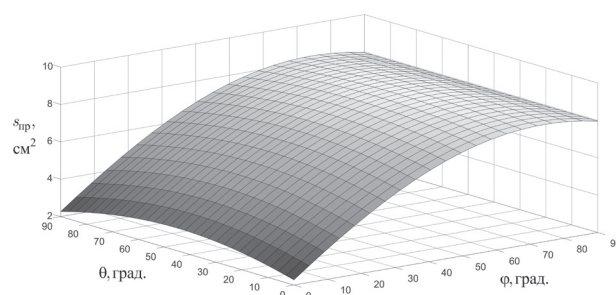


Рис. 3. Зависимость площади проекции $s_{\text{пр}}$ осколка неорганизованного дробления массой 50 г с коэффициентом формы $\Phi = 1,8$

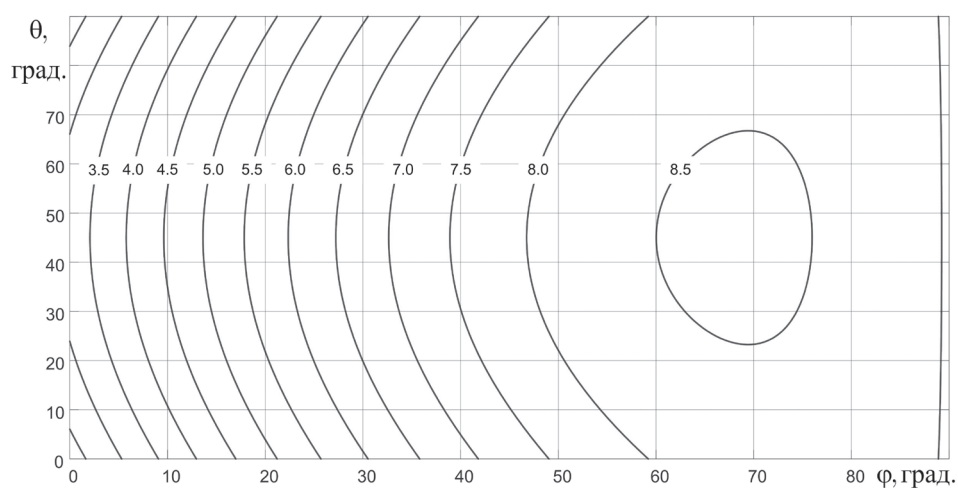


Рис. 4. Линии равного уровня площади проекции $s_{пр}$ осколка неорганизованного дробления массой 50 г с коэффициентом формы $\Phi = 1,8$

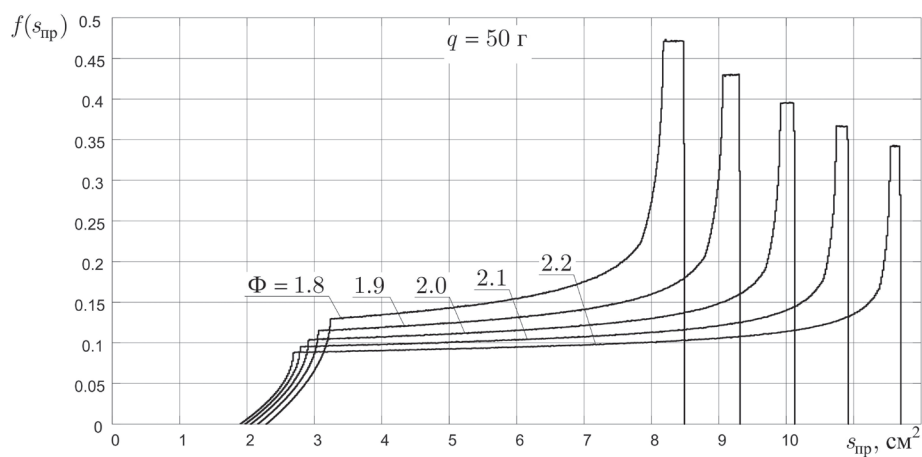


Рис. 5. Плотность распределения $f(s_{пр})$ площади проекции осколка массой 50 г при различных значениях коэффициента формы Φ

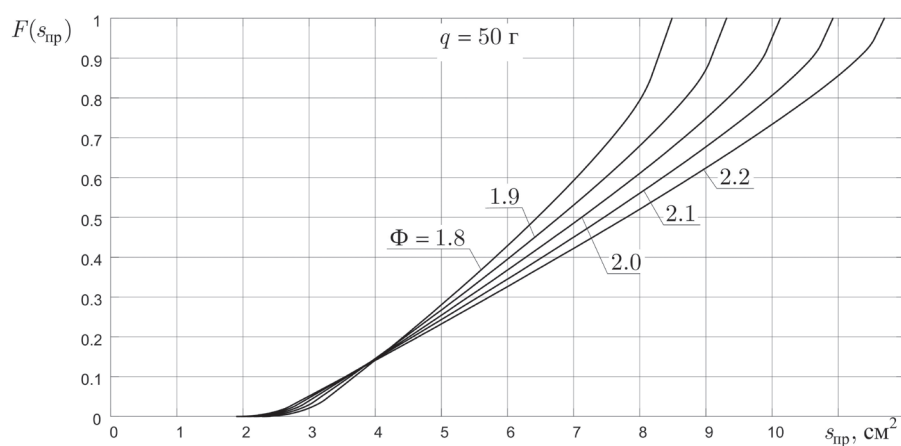


Рис. 6. Функция распределения $F(s_{пр})$ площади проекции осколка массой 50 г при различных значениях коэффициента формы Φ

R — стандартная равномерно распределенная случайная величина.

На рис. 5, 6 приведены графики плотности распределения $f(s_{\text{пр}})$ и функции распределения $F(s_{\text{пр}})$ для осколка–параллелепипеда массой 50 г с различными значениями коэффициента формы Φ во всем диапазоне его возможных значений для осколков неорганизованного дробления.

Заключение

Исходными данными при проведении статистического моделирования процесса потери топлива в случае пробития ТБ осколками являются закон распределения числа осколков, накрывающих ТБ, закон распределения координат точек попадания осколков, а также получаемые с использованием предложенного подхода закона распределения площади проекции осколка на плоскость, перпендикулярную вектору скорости. Площадь проекции при известных условиях подхода осколка к стенке ТБ, толщине стенки ТБ определяет площадь пробоины.

Объем истекающего через пробоины топлива рассчитывается путем численного решения последовательности нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, определяющих текущий уровень топлива в ТБ и построенных с учетом координат точек попадания осколков, площади пробоин и формы топливного бака [13, 14].

Дальнейшее решение задачи в интересах оценки вероятности поражения ЛА по механизму потери топлива связано с обоснованием типовых оперативно-тактических ситуаций, формированием перечня типовых полетных заданий, вариантов заправки топлива и расхода топлива в ходе полета. Моделирование выработки топлива в соответствии с заданным порядком позволит определить уровень топлива в каждом из топливных баков в момент попадания осколков, а также рассчитать зависимость текущего уровня топлива в поврежденном баке с учетом перекачки топлива из бака и в бак, характеристик пробоин, а также с учетом избыточного давления в баке. Все это позволяет рассчитать текущий остаток топлива. Возможность возвращения ЛА на аэродром посадки определяется соотношением объема

оставшегося топлива с минимально необходимым объемом.

Список источников

1. Базазянц С.И., Меднов А.Н., Букшин А.Ф. и др. Боевая живучесть летательных аппаратов (по материалам зарубежной печати). М.: Воениздат, 1983. 248 с.
2. Болховитинов О.В., Вольнов И.И., Захарченко В.С. и др. Конструкция и прочность летательных аппаратов. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2004. 678 с.
3. Характеристики уязвимости воздушных целей при действии осколочно-фугасных боеприпасов. Методы исследования; под ред. Г.А. Лопина. Тверь: Полипресс, 2021. 499 с.
4. Ельцин С.Н., Жуков А.П., Кашин В.М., Рютин В.Б. Оценка эффективности переносных зенитных ракетных комплексов. СПб.: Балт. Гос. Техн. ун-т, 2007. 236 с.
5. Мужичек С.М., Скрынников А.А., Маслова Л.А. Концепция приемлемого риска потери ударного беспилотного летательного аппарата за счет поражения его осколками собственных бомб // Вооружение и экономика. 2024. № 1 (67). С. 9–17.
6. Балаганский И.А., Мержиевский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. 408 с.
7. Средства поражения и боеприпасы; под ред. Селиванова В.В. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 984 с.
8. Дорофеев А.Н., Морозов А.П., Саркисян Р.С. Авиационные боеприпасы. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1978. 445 с.
9. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Высшая школа, 2006. 575 с.
10. Рассоха С.С., Селиванов В.В. Осколочное действие боеприпасов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 209 с.
11. Одинцов В.А., Рассоха С.С. Исследование процесса разрушения осколочной оболочки и действие образующегося спектра осколков. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 23 с.
12. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло в вычислительной математике. СПб.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. 192 с.
13. Расчет величины потери топлива при пробитии осколками топливного бака с по-

стоянным сечением: свид. о гос. регистр. программы для ЭВМ 2025613574 Рос. Федерация. № 2025610872; заявл. 29.01.2025; опубл. 12.02.2025, Бюл. № 2.

14. Расчет величины потери топлива при пробитии осколками топливного бака сложной конфигурации: свид. о гос. регистр. программы для ЭВМ 2025613539 Рос. Федерация. № 2025610873; заявл. 29.01.2025; опубл. 12.02.2025, Бюл. № 2.

References

1. Bazazyants S.I., Mednov A.N., Bukshin A.F. et al. Combat survivability of aircraft (based on foreign press materials). Moscow: Voenizdat Publ. 1983. 248 p.

2. Bolkhovitinov O.V., Volnov I.I., Zakharchenko V.S. et al. The design and strength of aircraft. Moscow: Air Force Engineering Academy named after N.E. Zhukovsky, 2004. 678 p.

3. Characteristics of vulnerability of aerial targets under the action of high-explosive fragmentation munitions. Research methods; edited by G.A. Lopin. Tver: Polipress Publ, 2021. 499 p.

4. Yeltsin S.N., Zhukov A.P., Kashin V.M., Ryutin V.B. Evaluation of the effectiveness of portable anti-aircraft missile systems. Saint-Petersburg: Baltic State Technical University Publ, 2007. 236 p.

5. Muzhichek S.M., Skrynnikov A.A., Maslova L.A. The concept of an acceptable risk of loss of an unmanned aerial vehicle due to its destruction by fragments of its own bombs // Armament and Economics. 2024. No 1(67). Pp. 9–17.

6. Balagansky I.A., Merzhievsky L.A. The effect of weapons and ammunition. Novosibirsk:

Publishing House of Novosibirsk State Technical University, 2017. 408 p.

7. Weapons of destruction and ammunition; ed. by Selivanova V.V. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2008, 984 p.

8. Dorofeev A.N., Morozov A.P., Sargisyan R.S. Aviation ammunition. Moscow: Air Force Engineering Academy named after N.E. Zhukovsky, 1978. 445 p.

9. Wentzel E.S. Theory of Probability. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 2006. 575 p.

10. Rassokha S.S., Selivanov V.V. Fragmentation effect of ammunition. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2018. 209 p.

11. Odintsovo V.A., Rassokha S.S. Investigation of the fragmentation shell destruction process and the effect of the resulting spectrum of fragments. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2016. 23 p.

12. Ermakov S.M. Monte Carlo method in computational mathematics. St. Petersburg: Binom. Laboratory of Knowledge, 2009. 192 p.

13. Calculation of the value of fuel loss at penetration by fragments of a fuel tank with a constant cross-section: certificate of state registration of the program for computer 2025613574 Ros. Federation. No. 2025610872; application. 29.01.2025; published 12.02.2025, Bulletin No. 2.

14. Calculation of the value of fuel loss at penetration by fragments of a fuel tank of complex configuration: certificate of state registration of the program for computer 2025613539 Ros. Federation. No. 2025610873; application. 29.01.2025; published 12.02.2025, Bulletin No. 2.

УДК 528.83

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_67

**СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕШНЕГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ
АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ УЧАСТКОВ МЕСТНОСТИ,
НЕ ОБЕСПЕЧЕННОЙ ДАННЫМИ ТОПОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

**METHODS FOR DETERMINING THE ELEMENTS OF EXTERNAL
ORIENTATION OF AEROSPACE IMAGES OF AREAS UNSECURED BY
TOPOGEODETTIC OBSERVATIONS**

*Канд. техн. наук И.В. Чернов, канд. воен. наук С.С. Петлик,
канд. техн. наук А.В. Соловьев, Б.Н. Корнеев*

Ph.D. I.V. Chernov, Ph.D. S.S. Petlik, Ph.D. A.V. Solovyov, B.N. Korneev

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

Материалы аэрокосмической съемки являются одним из основных источников информации о местности при решении задач создания и обновления топографических карт и планов, создания фотодокументов местности и получения иной геоспациальной информации. Для эффективной обработки данных аэрокосмической съемки необходимо выполнять их геопривязку (геокодирование) с соответствующей точностью, для чего требуется определять элементы внешнего ориентирования снимков или целевой аппаратуры. Рассматриваются используемые способы определения элементов внешнего ориентирования применительно к местности, не обеспеченной данными топогеодезических наблюдений. Приводится обзор способов определения элементов внешнего ориентирования при аэрокосмической съемке участков местности, не обеспеченной данными топогеодезических наблюдений, разработанных на кафедре картографии Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, кадровые снимки, элементы внешнего ориентирования, летательные аппараты-марки, радионавигация, комплексирование.

Aerospace survey materials are one of the main sources of information about the area when solving the tasks of creating and updating topographic maps and plans, creating photographic documents of the area and obtaining other geospatial information. For effective processing of aerospace survey data, it is necessary to perform their geolocation (geocoding) with appropriate accuracy, which requires determining the elements of external orientation of images or target equipment. The methods used to determine the elements of external orientation in relation to an area unsecured by topogeodetic observations are considered. An overview is given of the methods for determining the elements of external orientation during aerospace surveying of terrain areas unsecured by topogeodetic observations developed at the Department of Cartography of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky.

Keywords: remote sensing, frame images, elements of external orientation, aircraft brands, radio navigation, integration.

Введение

Развитие науки и техники привело к широкому внедрению в деятельность сложных автоматизированных технических систем и комплексов, которые позволяют получить превосходство (техническое) над конкурирующей стороной [4]. Максимальная реализация потенциала сложных автоматизированных технических систем и комплексов, а следовательно, и эффективность их применения зависит от своевременного и полного обеспечения геопространственной информацией (ГПИ) [2], особенно в современных условиях: сокращения времени, отводимого на принятие управленческих решений, и повышения требований к детальности потребной ГПИ.

ГПИ — информация о географическом пространстве. То есть ГПИ характеризует протяженность, структурность геопространства, сосуществование и взаимодействие его элементов и является результатом преобразования геопространственных данных (ГПД) при решении конкретных задач. ГПИ, зафиксированная на определенном носителе в форме, пригодной для постоянного хранения, передачи и обработки, может использоваться в качестве исходных данных для дальнейшего преобразования [7].

Согласно Толковому словарю С.И. Ожегова и Большому толковому словарю С.А. Кузнецова, условия — это обстановка, в которой происходит, протекает что-либо. Так как человеческая деятельность пока неразрывно связана с географическим пространством, именно оно (геопространство) и определяет условия функционирования систем (УФС) в том числе сложных технических систем и комплексов. В монографии [8] УФС — определены как совокупность факторов (как правило, природного происхождения), оказывающих влияние на параметры и эксплуатационно-технические характеристики сложных технических систем и комплексов, а также на характеристики процессов, организуемых с их применением, и через них обуславливающие виртуальные результаты операции.

Описано множество фактов (примеров) недооценивания влияния окружающей среды (УФС) при планировании и ведении деятельности, следствием которого стали бесполезность имеющихся возможностей (в том числе технического превосходства) и понесенные убытки [1].

Оперативное получение детальной ГПИ и в частности информации о местности путем непосредственного обследования объектов местности и наземных измерений не всегда возможно. В таких случаях наиболее эффективным способом оперативного получения детальной ГПИ является выполнение аэро- или космической съемки (дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с применением целевой аппаратуры, установленной на летательных или космических аппаратах).

Элементы внешнего ориентирования съемочной камеры (аэрокосмических снимков) и связь системы координат снимков и объектов местности

Для получения стандартных продуктов ДЗЗ и продуктов ДЗЗ более высоких уровней обработки необходимо выполнять геопривязку (геокодирование) первичных данных (первичных аэро- или космических снимков), получаемых непосредственно с помощью аппаратуры ДЗЗ, а именно устанавливать связи пиксельных координат данных ДЗЗ с соответствующими им координатами на поверхности Земли.

Параметрами связи пиксельных координат данных ДЗЗ (системы координат (СК) снимка или камеры целевой аппаратуры) с соответствующими им координатами на поверхности Земли являются элементы внешнего ориентирования (ЭВО) снимка или камеры [14]:

- линейные ЭВО (координаты центра проекции S (точки съемки) в геодезической СК);
- угловые ЭВО (ω — поперечный угол наклона, α — продольный угол наклона; κ — угол разворота) (рисунок).

ЭВО определяют положение и ориентацию СК съемочной камеры в СК объекта (далее речь будет идти о геоцентрической СК).

В [14] отмечено, что в фотограмметрической литературе наряду с терминами — элементы внутреннего ориентирования и ЭВО съемочной камеры широко используются термины — элементы внутреннего ориентирования и ЭВО снимка. Использование этих терминов сложилось исторически, хотя с точки зрения строгой теории целесообразно пользоваться терминами — элементы внутреннего ориентирования и ЭВО съемочной камеры [14].

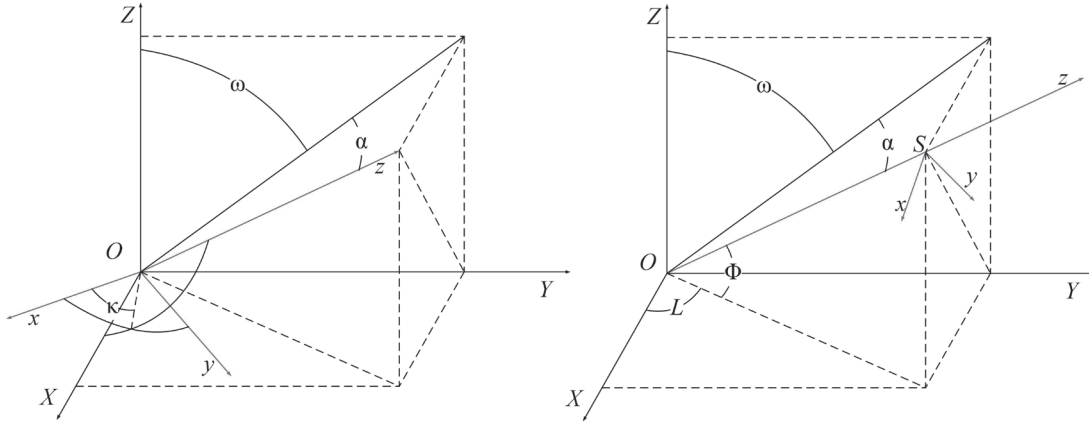


Рис. Связь геодезической прямоугольной СК с СК съёмочной камеры целевой аппаратуры (слева); связь геодезической прямоугольной и геоцентрической сферической СК с СК съёмочной камеры целевой аппаратуры при угле наклона снимка $\alpha_0 = 0^\circ$ (справа); O_{XYZ} — геодезическая СК;

Φ — сферическая широта; L — долгота; S — центр проекции; S_{xyz} — СК съёмочной камеры; ω — поперечный угол наклона (угол в координатной плоскости YZ между осью Z и проекцией оси z на плоскость YZ); α — продольный угол наклона (угол между проекцией оси z на плоскость YZ и осью z); κ — угол разворота снимка (угол в плоскости снимка между следом сечения этой плоскости (xy) плоскостью Xz и осью x снимка)

Для дальнейших рассуждений используется связь СК объекта местности с СК съёмочной камеры [14] (предполагаются последовательные повороты СК камеры на углы ω , α и κ):

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{S_k} \\ Y_{S_k} \\ Z_{S_k} \end{pmatrix} + N \begin{pmatrix} X'_k \\ Y'_k \\ Z'_k \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} X'_k \\ Y'_k \\ Z'_k \end{pmatrix} = A_k \begin{pmatrix} x_k - x_{ok} \\ y_k - y_{ok} \\ -f_k \end{pmatrix},$$

$$A_k = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos Xx & \cos Xy & \cos Xz \\ \cos Yx & \cos Yy & \cos Yz \\ \cos Zx & \cos Zy & \cos Zz \end{pmatrix},$$

$$A_k = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \kappa & -\cos \alpha \sin \kappa & \sin \alpha \\ \sin \omega \sin \alpha \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa & -\sin \omega \sin \alpha \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa & -\sin \omega \cos \alpha \\ -\cos \omega \sin \alpha \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa & \cos \omega \sin \alpha \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa & \cos \omega \cos \alpha \end{bmatrix},$$

$$N = \frac{\sqrt{(B_Y Z'_{k+1} - B_Z Y'_{k+1})^2 + (B_X Z'_{k+1} - B_Z X'_{k+1})^2 + (B_X Y'_{k+1} - B_Y X'_{k+1})^2}}{\sqrt{(Y'_k Z'_{k+1} - Y_{k+1} Z'_k)^2 + (X'_k Z'_{k+1} - X'_{k+1} Z'_k)^2 + (X'_k Y'_{k+1} - X'_{k+1} Y'_k)^2}},$$

$$N = \frac{B_Y Z'_{k+1} - B_Z Y'_{k+1}}{Y'_k Z'_{k+1} - Y_{k+1} Z'_k} = \frac{B_X Z'_{k+1} - B_Z X'_{k+1}}{X'_k Z'_{k+1} - X'_{k+1} Z'_k} = \frac{B_X Y'_{k+1} - B_Y X'_{k+1}}{X'_k Y'_{k+1} - X'_{k+1} Y'_k}, \quad \left. \begin{matrix} B_X = X_{S_{k+1}} - X_{S_k}; \\ B_Y = Y_{S_{k+1}} - Y_{S_k}; \\ B_Z = Z_{S_{k+1}} - Z_{S_k}; \end{matrix} \right\}$$

где k и $k+1$ — стереопара снимков местности (объекта M);

S — центр проекции (точка фотографирования);

x_{ok}, y_{ok} — координаты главной точки снимка k ;

x_k, y_k — координаты точки m изображения на снимке k объекта M местности;

f_k — фокусное расстояние съёмочной камеры;

N — скаляр;

X'_k, Y'_k, Z'_k — координаты вектора, соединяющего центр S проекции (точка фотографирования) с точкой m изображения на снимке объекта M местности, в СК O_{XYZ} объекта M ;

B_x, B_y, B_z — координаты вектора, соединяющего точку фотографирования S_k с точкой фотографирования S_{k+1} ;

o — главная точка снимка (точка пересечения главного луча с точкой фотоснимка);

O_{XYZ} — СК снимка;

S_{XYZ} — СК съемочной камеры;

a_{ij} — направляющие косинусы пространственных углов в момент фотографирования между осями СК O_{XYZ} и СК камеры.

Способы определения элементов внешнего ориентирования, применяемые при аэрокосмической съемке

Для определения ЭВО применяются две группы способов. Первая группа — это вычисление ЭВО с использованием обратной фотограмметрической засечки (определение ЭВО по опорным точкам). Вторую группу способов можно охарактеризовать [3, 9] комплексным использованием для измерения ЭВО приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) (обеспечивающей синхронизацию времени и высокоточное измерение линейных элементов ЭВО); высокоточных звездных датчиков (ЗД), обеспечивающих высокочастотное измерение угловых ЭВО (для космических систем ДЗЗ); высокочастотных прецизионных датчиков угловой скорости (ДУС) и акселерометров.

Использование бортовых систем навигации на основе спутниковой аппаратуры

Бортовые системы навигации на основе приемников сигналов ГНСС используются для определения ЭВО как при космической, так и аэросъемке. Аппаратура приема сигналов ГНСС используется не только для синхронизации измерений и съемок и последующего определения линейных ЭВО в момент съемки, но и [3] для вычисления параметров программного наведения, автономного планирования сеансов съемки. В [3] приведены основные технические характеристики навигационного датчика БПСН-2-01 раз-

работки КБ «Навис»: общее число каналов приема — 24; погрешность определения координат (высоты) в автономном режиме — 10...15 м, в дифференциальном режиме — 1,5...2 м; погрешность определения скорости — 0,3 м/с; темп обновления навигационной информации — 10 Гц.

Орбитальную скорость $V_{КА}$ космического аппарата (КА) и скорость подспутниковой точки V_3 на поверхности Земли можно определить по формулам [6]

$$V_{КА} = V_1 \sqrt{\frac{R_3}{R_3 + H}}; \quad V_3 = V_{КА} \frac{R_3}{R_3 + H},$$

где V_1 — первая космическая скорость (7910 м/с);

R_3 — радиус Земли;

H — высота орбиты КА.

При высоте орбиты КА 500 км, за время обновления навигационной информации 0,1 с КА ДЗЗ преодолеет путь около 761,8 м, а скорость подспутниковой точки V_3 на поверхности Земли будет ниже орбитальной скорости КА $V_{КА}$ в $R_3 / (R_3 + H)$ раз [6], то есть за время обновления навигационной информации 0,1 с подспутниковая точка на поверхности Земли преодолеет путь около 706,6 м. Для аэросъемки при скоростях до 400 км/ч (около 111 м/с) за время обновления навигационной информации 0,1 с летательный аппарат комплекса ДЗЗ преодолеет путь до 11,1 м. Описанные факты требуют высокоточной синхронизации моментов съемки и получения навигационных решений и/или возможность регистрации меток времени для моментов экспонирования (середины отрезка времени срабатывания затвора для кадровой съемки) с аппроксимацией/интерполяцией функции геопривязки с соответствующей точностью. Например, с использованием акселерометров диапазон измеряемых частот которых сейчас составляет от нескольких Гц до 30 кГц [15, 16].

Использование бортовых систем навигации на основе ЗД и ДУС. Для определения угловых ЭВО съемочных камер КА используются современные звездные приборы, которые определяют углы трехосной ориентации приборной системы координат относительно инерциальной системы координат в виде кватерниона ориентации со среднеквадратической погрешностью не более 1–2" поперек оси визирования [5, 6]. Погрешность определения ориентации вокруг оси визи-

рования 3Д в 4–10 раз больше, чем поперек оси [6], поэтому необходимо использовать два 3Д, установленных под углом 90° относительно друг друга, при таком взаимном расположении приборов возможно вычисление равноточной трехосной ориентации [6].

Также важно учитывать, что в условиях космического полета при измерениях угловых координат большое значение имеет сохранность углового взаимного положения оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) и 3Д. Нестабильность углового положения будет проявляться в основном вследствие температурных деформаций [6]. При использовании новых композитных материалов и систем термостатирования можно достичь стабильности конструкции на уровне не более $0,3\text{--}5''$ [5, 6].

При способности определять параметры ориентации с высокой точностью, недостатками 3Д является их работа в ограниченном диапазоне (угловых) скоростей [6] до $8^\circ/\text{с}$ рассмотрены в [5]. Неработоспособности звездных приборов в случаях засветки звездных приборов Солнцем и Землей [5]. 3Д применимы начиная с высот от 80 км [5]. Также существенным ограничением 3Д является частота обновления выходной информации (примерно $2\text{--}20$ Гц) [5, 6]. То есть с использованием только 3Д можно измерить лишь относительно низкочастотную составляющую изменений угловой ориентации съемочной аппаратуры.

Неучет наличия весьма вероятной высокочастотной составляющей изменений угловой ориентации съемочной аппаратуры может существенно ухудшить качество данных ДЗЗ и точность их геопривязки.

Так как угловое положение осей съемочной аппаратуры можно измерить практически в любой момент съемки, используя данные измерений с высокочастотного трехосного ДУСа, либо трех ортогонально установленных одноосных ДУС, с калибровкой по измерениям 3Д [6].

Требования к бортовым средствам определения ЭВО аэрофотоснимков

Аэрофотосъемочные системы (АС), используемые для создания и обновления топографических карт и планов, получения других пространственных данных, являются комплексом интегрированных технических и программных

средств, используемые на борту воздушного судна для выполнения топографической аэрофотосъемки (ГОСТ Р 59328–2021. Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования).

В соответствии с ГОСТ Р 59328–2021 в АС должны входить следующие компоненты: цифровая аэрофотокамера, в том числе со средствами управления ей; гиropлатформа или аэрофотоустановка; аппаратно-программные средства навигации, обеспечивающие ведение воздушного судна по запроектированным аэрофотосъемочным маршрутам; бортовой приемник сигналов ГНСС. Также в состав топографической АС или комплекса бортового оборудования аэросъемки могут входить дополнительные (необязательные) компоненты, в частности инерциальное измерительное устройство (ИИУ); если в комплексе программно-аппаратных средств используется топографическая аэрофотокамера, ИИУ может входить в состав блока определения положения и ориентации, включающего в себя ИИУ и приемник сигналов ГНСС.

Если технические возможности воздушного судна позволяют, то при необходимости одновременно с указанным оборудованием на борту могут также эксплуатироваться другие средства дистанционного зондирования (например, лидар).

В исключительных случаях при съемке среднеформатной топографической аэрофотокамерой, а также когда аэрофотосъемочная система используется на борту беспилотного летательного аппарата, гиropлатформа или иная стабилизирующая платформа могут отсутствовать [9].

Цифровая аэрофотосъемочная камера сканерного типа должна иметь в своем составе блок определения положения и ориентации, основанный на использовании приемника сигналов ГНСС и ИИУ, удовлетворяющий следующим требованиям.

В качестве бортового приемника сигналов ГНСС, используемого для определения координат центров проекции S снимков, должен использоваться многочастотный, многосистемный приемник, удовлетворяющий следующим требованиям: частота измерений для пилотируемых воздушных судов (ВС) до 5 Гц, для беспилотных воздушных судов до 10 Гц; при наличии ИИУ допускается использовать приемник сигналов ГНСС с частотой 2 Гц с возможностью проводить кодовые и фазовые измерения псевдодальностей; обладать возможностью представления сырых данных спут-

никовых наблюдений, а также преобразования исходных данных спутниковых наблюдений из формата производителя приемника в обменный формат RINEX.

В случае использования метода РТК (кинematика реальноо времени) для бортовых спутниковых определений координат центров фотографирования должна обеспечиваться бесперебойная связь от корректирующей станции с латентностью не более 5 с (ГОСТ Р 59328–2021).

Также должна быть обеспечена возможность регистрации меток времени для моментов экспонирования (середины отрезка времени срабатывания затвора). Например, для беспилотных летательных средств, имеющих на борту помимо геодезического приемника и навигационный приемник, допускается регистрация меток времени навигационным приемником.

Инерциальное измерительное устройство, используемое на борту пилотируемого воздушного судна в комплексе с топографической аэрофотокамерой в составе блока определения положения и ориентации или отдельно для определения координат центров проекции снимков, должно удовлетворять следующим требованиям (ГОСТ Р 59328–2021): среднеквадратические погрешности по крену и тангажу — не должны превышать 0,005° (18"), по курсу — не более 0,01° (36"); частота измерений — не менее 100 Гц;

Важным требованием к АС является возможность получения оценки точности линейных и угловых параметров ЭВО каждого снимка при постобработке данных бортовых наблюдений, а также наличие возможности предоставления данных наблюдений ИИУ для постобработки в составе сырых данных бортового комплекса определения положения и ориентации или в виде отдельного файла (ГОСТ Р 59328–2021).

Обзор предлагаемых способов определения элементов внешнего ориентирования камеры при аэрокосмической съемке участков местности необеспеченной данными топогеодезических наблюдений

Для создания ортофотопланов, топографических планов и топографических карт крупных масштабов, а также иных пространственных данных с применением аэрофототопографической съемки установлены требования (ГОСТ

Р 59562–2021, приказ Росреестра от 23 октября 2020 года № П/0393) по геодезическому обеспечению. В соответствии с которыми для геодезического обеспечения аэрофототопографической съемки выполняются полевые геодезические работы: обследование пунктов, проверка сохранности пунктов и условий выполнения спутниковых измерений; спутниковые измерения на точках съемочной геодезической сети, на пунктах ГГС; планово-высотная геодезическая привязка опознаков (опорных и контрольных точек); спутниковые измерения на базовых станциях во время выполнения аэросъемки с целью относительного определения координат центров проекции аэрофотоснимков и/или начала системы координат лида в системе координат объекта съемки или ITRF, если используется метод PPP — позиционирование высокой точности (ГОСТ Р 59562–2021).

Описанный комплекс геодезических полевых работ является обязательным, даже при наличии на борту летательного аппарата, с которого производится съемка, систем навигации, определяющих ЭВО во время съемки (ГОСТ Р 59562–2021).

Однако на местности, не обеспеченной данными топогеодезических наблюдений и недоступной для непосредственного обследования и наземных измерений, невозможно выполнить требуемый для геодезического обеспечения аэрофототопографической съемки комплекс геодезических полевых работ. Для определения ЭВО съемочных камер (снимков) предлагаются следующие способы.

Подход определения ЭВО с применением навигационных датчиков ГНСС, минимум два из которых расположены на линии визирования съемочной камеры, или известны элементы приведения их к линии визирования съемочной камеры [12].

Вычисление линейных ЭВО выполняется по навигационным решениям датчиков ГНСС, приведенных к точке фотографирования S . При условии размещения фазовых центров антенн соосно с линией направления съемки поперечный угол наклона ω и продольный угол наклона α рассчитываются по формулам [10]

$$\sin \omega = \frac{Y}{\sqrt{Z^2 + Y^2}}, \quad \cos \alpha = \frac{X}{|S|}.$$

Угол поворота снимка можно рассчитать, используя навигационные решения с третьего датчика ГНСС [13].

Способ определения ЭВО камеры с применением летательных аппаратов-марок

Для уточнения геопривязки и контроля качества, в частности оценивания точности базовых продуктов ДЗЗ и продуктов ДЗЗ более высоких уровней обработки, как было отмечено выше, необходимо выполнять мероприятия по геодезическому обеспечению съемки, связанные с полевым обследованием зондируемой местности и наземным измерением на ней.

Если зондируемая местность недоступна для непосредственного полевого обследования и наземных измерений, то местность следует считать необеспеченной данными геодезических наблюдений.

Для создания с применением ДЗЗ ортофотопланов, топографических планов и топографических карт крупных масштабов, а также иных пространственных данных о местности, необеспеченной данными геодезических наблюдений, разработан и запатентован способ определения элементов внешнего ориентирования снимка по изображениям летательных аппаратов [11].

Определение (контроль, уточнение) ЭВО с применением разработанного способа достигается тем, что во время фотографирования между фотографируемой местностью (объектом) и летательным аппаратом ДЗЗ (ЛАДЗЗ) помещаются летательные аппараты-марки (ЛАМ) и, используя сигналы радионавигационных систем (РНС), определяют координаты местоположения ЛАМ и ЛАДЗЗ в момент фотографирования, а также данные о моменте времени фотографирования. Изображения ЛАМ на снимке используются как опознаки, а данные положения ЛАМ в момент фотографирования используются как планово-высотная геодезическая привязка опознаков, далее по которым используя метод обратной фотограмметрической засечки определяются ЭВО снимка.

В итоге способ позволяет определять координаты точек местности, создавать планы и карты без использования полевых геодезических работ в районе, на который создаются продукты ДЗЗ.

Численный эксперимент на макетных снимках доказал работоспособность способа и пока-

зал точность определения координат по макетным снимкам на уровне точности определения координат ЛАМ (при точности определения координат ЛАМ 2–7 м и 0,5–1,5 м, точность определения координат объектов местности по макетным снимкам составила около 2–7 м и 2–4 м соответственно).

Способ априорного оценивания углов наклона камеры при аэрокосмической съемке

При априорном оценивании точности аэрокосмической съемки, для исключения грубых ошибок определения ЭВО, исследования влияния положения точки съемки на погрешность определения координат по материалам ДЗЗ был разработан способ априорного оценивания углов наклона камеры при аэрокосмической съемке по координатам положения точки съемки.

При выполнении аэрокосмической съемки для картографирования местности угол наклона снимка α_0 не должен превышать 3° [14]. Приняв значение угла наклона снимка α_0 достаточно близким к нулю (рис.), можно получить зависимости между геоцентрическими сферическими координатами (сферическая широта Φ , долгота L) и углами наклона ω , α СК S_{xyz} камеры в момент фотографирования

$$\begin{cases} \sin \alpha = \cos L \cos \Phi; \\ \cos \omega = \frac{\sin \Phi}{\cos \alpha}. \end{cases} \quad (1)$$

Можно заметить, что при α , близком к $(\pi/2 + \pi)$, система уравнений (1) может не дать решений информации.

Заключение

Разработанные способы определения элементов внешнего ориентирования целевой аппаратуры летательных аппаратов дистанционного зондирования Земли при аэрокосмической съемке позволяют определять координаты объектов местности, не доступной для непосредственного полевого обследования и наземных измерений.

Такой подход позволит повысить качество ортофотопланов, топографических планов и топографических карт крупных масштабов, а так-

же иных пространственных данных с применением аэрокосмической съемки местности, не обеспеченной данными геодезических наблюдений.

Список источников

1. Елюшкин В.Г. Владеть боевым пространством и временем // Армейский сборник. 2020. URL: <https://army.ric.mil.ru/Stati/item/280650/> (дата обращения: 31.03.2023).

2. Елюшкин В.Г. Геоинформационное обеспечение военных действий. От достаточности к превосходству. 2-е изд. дополн. и исправл. М. Самиздат, 2019. 166 с.

3. Заварзин В.И., Ли А.В. Методика определения элементов внешнего ориентирования для оперативной координатной привязки снимков оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. Вып. 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/optica/908.html>.

4. Зарудницкий В.Б. Факторы достижения победы в военных конфликтах будущего // Военная мысль. 2021. № 8. С. 34–47.

5. Бессонов Р.В., Белинская Е.В., Брысин Н.Н. и др. Звездные датчики ориентации в астроинерциальных системах летательных аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 6. С. 9–20.

6. Куренков В.И. Модели для приближенной оценки характеристик точности системы управления движением космических аппаратов при оптико-электронной съемке земной поверхности // Управление движением и навигация летательных аппаратов: сб. тр. XXIV Всерос. семинара по упр. движением и навигации летат. аппаратов, Самара, 17–18 июня 2021 г. Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2022. С. 77–84.

7. Чернов И.В., Осипов Г.К. Обобщенная функциональная модель систем геоинформационного обеспечения // Информация и космос. 2023. № 2. С. 78–83.

8. Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. 504 с.

9. Распопов В.Я., Матвеев В.В. Основы построения бесплатформенных инерциальных

навигационных систем. СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. 280 с.

10. Способ определения угловых элементов внешнего ориентирования снимка: пат. 2704540 Рос. Федерация № 2019102111; заявл. 25.01.19; опубл. 29.10.19, Бюл. № 31. 7 с.

11. Способ определения элементов внешнего ориентирования снимка по изображениям летательных аппаратов: пат. 2789986 Рос. Федерация. № 2022106972; заявл. 16.03.2022; опубл. 14.02.2023, Бюл. № 5. 7 с.

12. Устройство для совместного определения линейных и угловых элементов внешнего ориентирования съемочной аппаратуры: п. м. 186359 Рос. Федерация. № 2018134990; заявл. 03.10.18; опубл. 16.01.19, Бюл. № 2. 6 с.

13. Устройство для совместного определения линейных и угловых элементов внешнего ориентирования съемочной аппаратуры : п. м. 188175 Рос. Федерация. № 2019104015; заявл. 13.02.19; опубл. 02.04.19, Бюл. № 10. 6 с.

14. Чибуничев А.Г. Фотограмметрия: учеб. для вузов. М.: Изд-во МИИГАиК, 2022. 328 с.

15. Пономарев Ю. Электроника НТБ. Выбор виброакселерометров: простое решение сложной задачи. 2015. № 2 (142). С. 116–121.

16. Чернов И.В., Осипов Г.К., Соловьев А.В., Титов К.И. Подход к определению элементов внешнего ориентирования кадровых снимков без использования планово-высотной основы на основе данных глобальных спутниковых радионавигационных систем // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 9–10. С. 47–51.

References

1. Yelyushkin V.G. To own combat space and time // Army collection. 2020. URL: <https://army.ric.mil.ru/Stati/item/280650/> (date of access: 31.03.2023).

2. Yelyushkin V.G. Geoinformation support of military operations. From sufficiency to excellence. M.: Samizdat, 2nd edition, expanded and corrected. 2019. 166 p.

3. Zavarzin V.I., Li A.V. Methodology for determining the elements of external orientation for the operational coordinate reference of images of optoelectronic equipment for remote sensing of the Earth // Engineering Journal: Science and

Innovation, 2013. Issue 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/optica/908.html> (date of access: 31.03.2023).

4. Zarudnitskiy V.B. Factors of achieving victory in military conflicts of the future // *Military thought*. 2021. No 8. Pp. 34–47.

5. Bessonov R.V., Belinskaya E.V., Brysin N.N. et al. Star orientation sensors in astroinertial systems of aircraft // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2018. Vol. 15. No 6. Pp. 9–20.

6. Kurenkov V.I. Models for approximate estimation of the accuracy characteristics of the spacecraft motion control system for optoelectronic imaging of the Earth's surface // *Motion control and navigation of aircraft: proceedings of the XXIV All-Russian Seminar on Motion Control and Navigation of Aircraft*, Samara, June 17–18, 2021. Samara: Publishing House of Samara University, 2022. Pp. 77–84.

7. Chernov I.V., Osipov G.K. Generalized functional model of geoinformation support systems // *Information and space*. 2023. No 2. Pp. 78–83.

8. Petukhov G.B., Yakunin V.I. Methodological foundations of external design of purposeful processes and purposeful systems. Moscow: AST, 2006. 504 p.

9. Raspopov V.Ya., Matveev V.V. Fundamentals of building free-form inertial navigation systems. Saint Petersburg: Concern Central Research Institute Electropribor, 2009. 280 p.

10. Method for determining the angular elements of the external orientation of an image: patent 2704540 Russian Federation. № 2019102111; appli-

cation 25.01.19; published 29.10.19, Bulletin № 31. 7 p.

11. A method for determining the elements of external orientation of an image from images of aircraft: patent 2 789 986 Russian Federation. № 2022106972; application 03.16.2022; published 02.14.2023, Bulletin № 5. 7 p.

12. Device for the joint determination of linear and angular elements of the external orientation of filming equipment: P. M. 186359 Russian Federation: IPC G01C 11/10; G01S 19/13 / Chernov I.V.; applicant and patent holder Chernov I.V. – № 2018134990; filed on 03.10.18; published on 16.01.19, Bulletin № 2.

13. A device for the joint determination of linear and angular elements of the external orientation of filming equipment: P. M. 188175 Russian Federation № 2019104015; filed on 02.02.19; published on 02.04.19, Bulletin № 10. 6 p.

14. Chibunichev A.G. Photogrammetry: textbook for universities. Moscow: MIIGAiK Publishing House. 2022. 328 p.

15. Ponomarev Yu. NTB electronics. Choosing vibration accelerometers: a simple solution to a complex problem. 2015. No 2 (142). Pp. 116–121.

16. Chernov I.V., Osipov G.K., Solov'ev A.V., Titov K.I. Approach to the determination of external orientation elements of cadre images without using plan-altitude basis on the basis of global satellite radio-navigation systems data // *Defense Engineering Issues. Series 16. Technical means of counteraction to terrorism*. 2021. № 9–10. Pp. 47–51.

УДК 623.09

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_76

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ
ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СИСТЕМ
ВОДООТВЕДЕНИЯ**

**THE RESULTS OF RESEARCH ON THE PATTERNS OF CHANGES IN THE
COSTS OF CONSTRUCTION OF TRANSPORT FACILITIES OF WASTEWATER
DISPOSAL SYSTEMS**

Д-р экон. наук В.Б. Коновалов¹,

д-р техн. наук В.С. Игнатчик², канд. техн. наук М.А. Сеньюкович², А.Н. Ещенко²

D.Sc. V.B. Konovalov, D.Sc. V.S. Ignatchik, Ph.D. M.A. Senyukovich, A.N. Eshchenko

¹Штаб материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации,

²Военный институт (инженерно-технический)

Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева

Для обоснования оптимальных решений при проектировании систем водоотведения объектов военной инфраструктуры необходимо проводить укрупненную оценку стоимостей различных вариантов схемных решений. Поэтому в статье рассмотрены и проанализированы инвестиционные затраты на строительство транспортных сооружений систем отведения (сетей, канализационных насосных станций (КНС) и регулирующих резервуаров) и их зависимость от физических показателей (диаметров труб и их глубины заложения, мощности КНС, объемов регулирующих резервуаров). Установлено, что стоимость строительства сетей водоотведения может быть оценена функцией двух аргументов: диаметра трубы и её глубины заложения. При этом стоимости строительства канализационных насосных станций и резервуаров зависят соответственно только от гидравлической мощности и объема.

Ключевые слова: система водоотведения, система поверхностного стока, ливневая канализация, инвестиционные затраты на строительство систем водоотведения.

To substantiate optimal solutions in the design of wastewater disposal systems for military infrastructure facilities, it is necessary to conduct an integrated assessment of the costs of various circuit solutions. Therefore, the article considers and analyzes the investment costs for the construction of transport facilities for drainage systems (networks, sewage pumping stations (CPS) and regulating reservoirs) and their dependence on physical parameters (pipe diameters and their depth of laying, capacity of the CPS, volume of regulating reservoirs). It is established that the cost of building drainage networks can be estimated as a function of two arguments: the diameter of the pipe and its depth of laying. At the same time, the cost of building sewage pumping stations and reservoirs depends, respectively, only on hydraulic capacity and volume.

Keywords: drainage system, surface runoff system, storm sewer, investment costs for the construction of drainage systems.

Финансирование работы

Работа выполнена при поддержке Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева.

Введение

Системы водоотведения объектов военной инфраструктуры и урбанизированных территорий играют определяющую роль в обеспечении санитарного состояния мест пребывания людей и защиты водоемов от загрязнения сточными водами. Они включают в себя транспортные и очистные сооружения. Первые предназначены для сбора и транспортировки сточных вод на очистку. Вторые — для их очистки перед сбросом в водоемы. В соответствии с Водным кодексом¹ Российской Федерации все сточные воды, включая хозяйственно-бытовые, производственные и поверхностные, должны очищаться до нормативных требований. Для решения этой задачи в соответствии с СП 32.13330.2018² создаются следующие варианты систем водоотведения:

— общесплавные, когда все сточные воды — бытовые, производственные и дождевые — сплавляются по одной общей сети труб и каналов на очистные сооружения;

— раздельные, когда дождевые и условно чистые производственные воды отводят по одной сети труб и каналов, а бытовые и загрязненные производственные сточные воды — по другой, одной или несколькими сетями.

Результаты исследований предметной области [1–8] показывают, что в нашей стране исследования по оценке экономической эффективности различных вариантов схем систем водоотведения не проводилось. Исключение составляют исследования, выполненные в Ленинграде в 70-х годах прошлого столетия. Они были ограничены сравнительными показателями только по сетям полной раздельной и общесплавной систем канализации [9]. Эти результаты потеряли актуальность, так как:

— изменилось соотношение между стоимостями материалов, оборудования, электроэнергии и т.п.;

— изменились требования к степени очистки сточных вод.

Кроме того, актуальность данного вопроса повысилась в связи с:

— необходимостью проведения восстановительных работ на новых территориях Российской Федерации. Ввиду значительных объемов работ вопросы оптимизации систем водоотведения приобрели особую актуальность;

— изменением климата, сопровождающимся увеличением интенсивностей и частоты ливневых дождей [10–12]. В результате эксплуатируемые системы водоотведения работают в режимах, когда расходы отводимых сточных вод превышают расчетные.

В зарубежной практике работы по оценке экономической эффективности проводятся несколько десятилетий. Результаты свидетельствуют о необходимости исследовать целесообразность применения дополнительных вариантов систем водоотведения с использованием элементов так называемой «зеленой инфраструктуры», которые стали узнаваемым брендом [13–15].

В целом очевидно, что в Российской Федерации вопросы экономической эффективности применения различных вариантов систем водоотведения не исследованы, поэтому являются актуальными. Для решения данной проблемы в качестве первоочередных задач необходимо получить зависимости затрат на строительство транспортных и очистных сооружений систем водоотведения от их физических показателей. Настоящая статья посвящена решению задач для транспортных сооружений.

Программой методики исследований предусматривалось:

— оценка стоимостных показателей сметной стоимости строительства транспортных сооружений (сетей, канализационных насосных станций (КНС) и регулирующих резервуаров) от физических показателей (диаметров труб и

¹ «Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024).

² СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения (с Изменениями № 1, 2). М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2018. 84 с.

их глубины заложения, мощности КНС, объемов регулирующих резервуаров). В качестве исходных данных применялась информация, содержащаяся в укрупненных нормативах цены строительства (НЦС 81-02-14-2024) [16, 17] и фактические значения стоимостных показателей по реальным объектам, определяемым по состоявшимся закупкам на официальном сайте единой информационной системы в сфере закупок в информационно-телекоммуникационной сети Интернет в соответствии с Федеральными законами от 05.04.2013 № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд», от 18.07.2011 № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц», а также, данными Департамента строительства Министерства обороны Российской Федерации, федерального казенного предприятия «Управление заказчика капитального строительства Министерства обороны Российской Федерации» и публично-правовой компании «Военно-строительная компания»;

– нормализация стоимостных показателей сметной стоимости строительства, поскольку почти все собранные данные о затратах оказались не сопоставимы по времени. Она предусматривала корректировку затрат для того, чтобы отфильтровать колебания стоимости на протяжении многих лет, обусловленные ростом цен на

материалы, оборудование и заработную плату. В результате все стоимостные показатели приведены к ценам на 4-й квартал 2024 года.

Исследование зависимости затрат на строительство сетей водоотведения от их физических показателей

С применением полученных таким образом данных (см. табл.) определена зависимость вида $C_{\text{сети}} = f_1(H, D)$, описывающая величину сметной стоимости прокладки участка сетей водоотведения $C_{\text{сети}}$ от двух аргументов: диаметра трубы D (мм) и глубины заложения H (м).

В процессе математической обработки результатов исследования была выдвинута гипотеза о том, что зависимость изменения сметной стоимости прокладки участка сетей водоотведения $C_{\text{сети}}$ от диаметра трубы D и глубины заложения H может быть представлена в виде полинома второго порядка

$$C_{\text{сети}} = A_0 + A_1D + A_2H + A_3DH + A_4D^2 + A_5H^2,$$

где A_0 — свободный член, равный отклику системы на начальной стадии эксперимента $D = H = 0$;

A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 — коэффициенты регрессии, показывающие степень влияния соответствующих факторов и их совместное взаимодействие на выход процесса.

Таблица

Исходные данные для оценки сметной стоимости прокладки участков сетей водоотведения $C_{\text{сети}}$ в зависимости от диаметра трубы D и глубины заложения H

Номер эксперимента	Глубина заложения, *	Глубина заложения, м	Диаметр трубы, *	Диаметр трубы, мм	Сметная стоимость, тыс. руб.
1	+	6	—	200	188049,29
2	+	6	+	1000	219567,83
3	—	2	+	1000	52274,18
4	—	2	—	200	9795,53
5	0	4	—	200	113814,48
6	+	6	0	630	209992,05
7	0	4	+	1000	133671,52
8	—	2	0	630	42087,59
9	0	4	0	630	118507,62

* + — максимальное значение фактора;
— — минимальное значение фактора;
0 — среднее значение фактора.

Для нахождения $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ решалась система линейных уравнений

$$\begin{cases} C_{\text{сети}} = A_0 + A_1 D + A_2 H + A_3 DH + A_4 D^2 + A_5 H^2; \\ HC_{\text{сети}} = A_0 H + A_1 DH + A_2 H^2 + A_3 DH^2 + A_4 HD^2 + A_5 H^3; \\ DC_{\text{сети}} = A_0 D + A_1 D^2 + A_2 HD + A_3 D^2 H + A_4 D^3 + A_5 DH^2; \\ HDC_{\text{сети}} = A_0 HD + A_1 HD^2 + A_2 H^2 D + A_3 D^2 H^2 + A_4 HD^3 + A_5 H^3 D; \\ H^2 C_{\text{сети}} = A_0 H^2 + A_1 DH^2 + A_2 H^3 + A_3 DH^3 + A_4 D^2 H^2 + A_5 H^4; \\ D^2 C_{\text{сети}} = A_0 D^2 + A_1 D^3 + A_2 H^2 D + A_3 D^3 H + A_4 D^3 + A_5 H^2 D^2. \end{cases} \quad (1)$$

Данная система уравнений представлялась в матричной форме $\mathbf{A} \cdot \mathbf{X} = \mathbf{B}$. Основная матрица $\mathbf{A}$ такой системы квадратная. Определитель этой матрицы

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & D & H & DH & D^2 & H^2 \\ H & HD & H^2 & DH^2 & HD^2 & H^3 \\ D & D^2 & HD & D^2 H & D^3 & DH^2 \\ HD & HD^2 & H^2 D & D^2 H^2 & HD^3 & H^3 D \\ H^2 & DH^2 & H^3 & DH^3 & D^2 H^2 & H^4 \\ D^2 & D^3 & HD^2 & D^3 H & D^4 & H^2 D^2 \end{vmatrix}.$$

Так как определитель системы отличен от 0, система является невырожденной. Для решения системы (1) применена формула Крамера.

$$A_0 = \frac{\Delta_1}{\Delta}; A_1 = \frac{\Delta_2}{\Delta}; A_2 = \frac{\Delta_3}{\Delta}; A_3 = \frac{\Delta_4}{\Delta}; A_4 = \frac{\Delta_5}{\Delta}; A_5 = \frac{\Delta_6}{\Delta}.$$

Определитель Δ_1 получается из определителя Δ путем замены первого столбца коэффициентов столбцом из свободных членов.

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} C_{\text{сети}} & D & H & DH & D^2 & H^2 \\ HC_{\text{сети}} & HD & H^2 & DH^2 & HD^2 & H^3 \\ DC_{\text{сети}} & D^2 & HD & D^2 H & D^3 & DH^2 \\ HDC_{\text{сети}} & HD^2 & H^2 D & D^2 H^2 & HD^3 & H^3 D \\ H^2 C_{\text{сети}} & DH^2 & H^3 & DH^3 & D^2 H^2 & H^4 \\ D^2 C_{\text{сети}} & D^3 & HD^2 & D^3 H & D^4 & H^2 D^2 \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Аналогично, найдены $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4, \Delta_5, \Delta_6$.

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & C_{\text{сети}} & H & DH & D^2 & H^2 \\ H & HC_{\text{сети}} & H^2 & DH^2 & HD^2 & H^3 \\ D & DC_{\text{сети}} & HD & D^2 H & D^3 & DH^2 \\ HD & HDC_{\text{сети}} & H^2 D & D^2 H^2 & HD^3 & H^3 D \\ H^2 & H^2 C_{\text{сети}} & H^3 & DH^3 & D^2 H^2 & H^4 \\ D^2 & D^2 C_{\text{сети}} & HD^2 & D^3 H & D^4 & H^2 D^2 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & D & C_{\text{сети}} & DH & D^2 & H^2 \\ H & HD & HC_{\text{сети}} & DH^2 & HD^2 & H^3 \\ D & D^2 & DC_{\text{сети}} & D^2H & D^3 & DH^2 \\ HD & HD^2 & HDC_{\text{сети}} & D^2H^2 & HD^3 & H^3D \\ H^2 & DH^2 & H^2C_{\text{сети}} & DH^3 & D^2H^2 & H^4 \\ D^2 & D^3 & D^2C_{\text{сети}} & D^3H & D^4 & H^2D^2 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 1 & D & H & C_{\text{сети}} & D^2 & H^2 \\ H & HD & H^2 & HC_{\text{сети}} & HD^2 & H^3 \\ D & D^2 & HD & DC_{\text{сети}} & D^3 & DH^2 \\ HD & HD^2 & H^2D & HDC_{\text{сети}} & HD^3 & H^3D \\ H^2 & DH^2 & H^3 & H^2C_{\text{сети}} & D^2H^2 & H^4 \\ D^2 & D^3 & HD^2 & D^2C_{\text{сети}} & D^4 & H^2D^2 \end{vmatrix}. \quad (5)$$

$$\Delta_5 = \begin{vmatrix} 1 & D & H & DH & C_{\text{сети}} & H^2 \\ H & HD & H^2 & DH^2 & HC_{\text{сети}} & H^3 \\ D & D^2 & HD & D^2H & DC_{\text{сети}} & DH^2 \\ HD & HD^2 & H^2D & D^2H^2 & HDC_{\text{сети}} & H^3D \\ H^2 & DH^2 & H^3 & DH^3 & H^2C_{\text{сети}} & H^4 \\ D^2 & D^3 & HD^2 & D^3H & D^2C_{\text{сети}} & H^2D^2 \end{vmatrix}. \quad (6)$$

$$\Delta_6 = \begin{vmatrix} 1 & D & H & DH & D^2 & C_{\text{сети}} \\ H & HD & H^2 & DH^2 & HD^2 & HC_{\text{сети}} \\ D & D^2 & HD & D^2H & D^3 & DC_{\text{сети}} \\ HD & HD^2 & H^2D & D^2H^2 & HD^3 & HDC_{\text{сети}} \\ H^2 & DH^2 & H^3 & DH^3 & D^2H^2 & H^2C_{\text{сети}} \\ D^2 & D^3 & HD^2 & D^3H & D^4 & D^2C_{\text{сети}} \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Подставляя экспериментальные данные из табл. в матрицы (2)–(7), находим значения коэффициентов регрессии:

$$\begin{aligned} A_0 &= 15882,49929; \\ A_1 &= 19240,92867; \\ A_2 &= 1,298397563; \\ A_3 &= 3,286789064; \\ A_4 &= 2544,219008; \\ A_5 &= 0,017071058. \end{aligned}$$

В общем виде зависимость $C_{\text{сети}}$ от D и H может быть представлена:

$$C_{\text{сети}} = -19789,80353 + 19240,92867D + 1,298397563H + 3,286789064DH + 2544,219008D^2 + 0,017071058H^2.$$

Закономерности изменения функции

$$C_{\text{сети}} = f_1(H, D)$$

в графическом виде приведены на рис. 1. Результаты сопоставления экспериментальных значений, приведенных в таблице, и расчетных показывают, что среднеквадратическое отклонение между ними составляет 7,3 %.

Исследование зависимости затрат на строительство канализационных насосных станций от их физических показателей

С применением полученных данных определена зависимость вида $C_{\text{кнс}} = f_2(P)$, описываю-

щая величину сметной стоимости строительства канализационных насосных станций $C_{\text{кнс}}$ от одного аргумента — гидравлической мощности (кВт) P . Она имеет следующий вид (рис. 2, 3):

$$C_{\text{кнс}} = \begin{cases} 0,1589 \cdot P^{0,1889} & \text{при } P \leq 101 \\ 0,0008 \cdot P + 0,3 & \text{при } P > 101 \end{cases}$$

Здесь гидравлическая мощность P определялась по формуле

$$P = Q \cdot H \cdot 0,0027,$$

где Q — расчетная подача КНС, м³/ч;
 H — развиваемый напор, м.в.с.

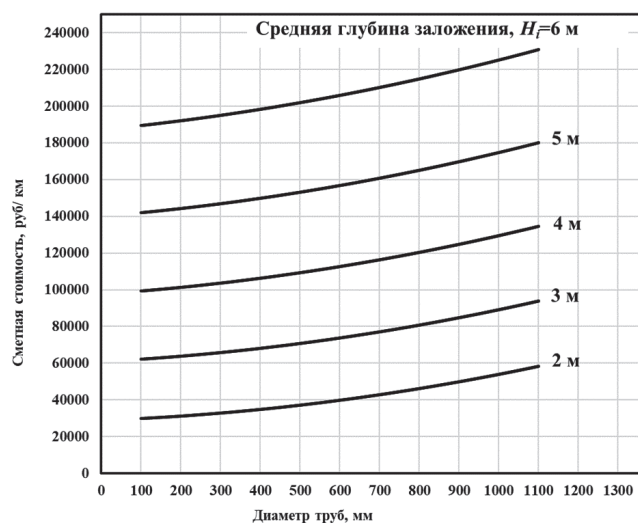


Рис. 1. Значение сметной стоимости прокладки участка сетей водоотведения при различных значениях диаметра трубы в зависимости от глубины заложения

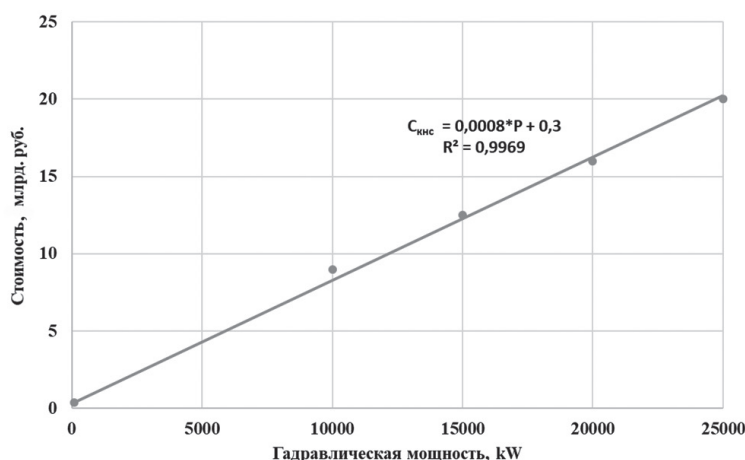


Рис. 2. Значение сметной стоимости строительства канализационных насосных станций в зависимости от гидравлической мощности

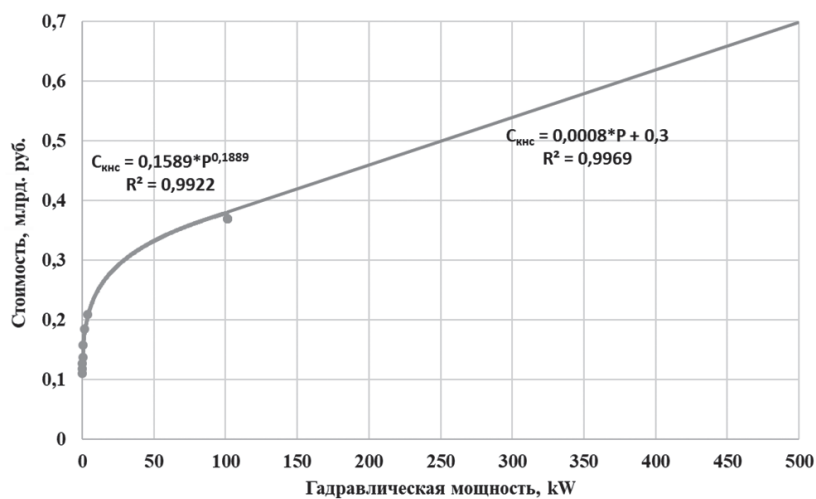


Рис. 3. Значение сметной стоимости строительства канализационных насосных станций в зависимости от гидравлической мощности

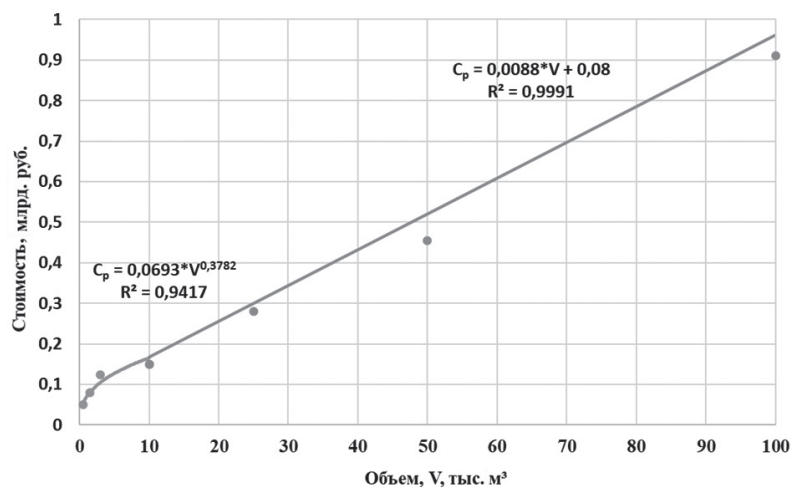


Рис. 4. Значение сметной стоимости строительства регулирующих резервуаров в зависимости от объема

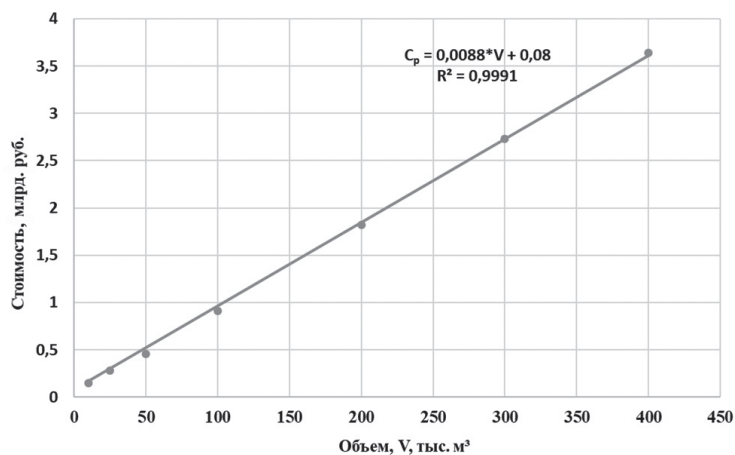


Рис. 5. Значение сметной стоимости строительства регулирующих резервуаров в зависимости от объема

Исследование зависимости затрат на строительство регулирующих резервуаров от их физических показателей

С применением полученных данных определена зависимость вида $C_p = f_3(V)$, описывающая величину сметной стоимости строительства регулирующих резервуаров C_p от одного аргумента — объема (m^3) V . Она имеет следующий вид (рис. 4, 5):

$$C_p = \begin{cases} 0,0693 \cdot V^{0,3782} & \text{при } V \leq 10001 \\ 0,0088 \cdot V + 0,08 & \text{при } V > 10001 \end{cases}.$$

Выводы

1. Получены зависимости затрат на строительство транспортных сооружений систем водоотведения от их физических показателей:

- сетей водоотведения от двух аргументов: диаметра трубы и глубины заложения;
- канализационных насосных станций от одного аргумента — гидравлической мощности;
- регулирующих резервуаров от одного аргумента — объема.

2. Полученные зависимости затрат на строительство транспортных сооружений систем водоотведения от их физических показателей позволяют обосновывать экономически эффективные решения по применению различных вариантов схем систем водоотведения.

Список источников

1. Горбачев П.Ф. Методы расчета ливневого стока. М.: Изд-во «Власть Советов» при Президиуме ВЦИК, 1937. 167 с.
2. Зак Г.Л. Гидравлические основы расчета канализационных сетей. М.–Л.: Главная редакция строительной литературы, 1935. 173 с.
3. Белов Н.Н. Расчет дождевой канализационной сети. М.: Изд-во НКВД, 1931. 64 с.
4. Надысев В.С. Расчет дождевой и общесплавной канализации по методу «критических приливных площадей». Л.: Госводоканалпроект, 1949. 95 с.
5. Молоков М.В., Шигорин Г.Г. Дождевая и общесплавная канализация. М.: Изд-во Минва коммунального хозяйства РСФСР, 1954. 241 с.

6. Швецов Е.Д. Наружные водостоки. М.–Л.: Госстройиздат, 1934. 130 с.

7. Курганов А.М. Таблицы параметров предельной интенсивности дождя для определения расходов в системах водоотведения: справочное пособие. М.: Стройиздат, 1984. 111 с.

8. Алексеев М.И., Курганов А.М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: учеб. пособие. М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2000. 352 с.

9. Шигорин Г.Г., Ясман Л.М., Лысс М.Ш., Знаменский В.А. Проектирование и строительство канализации (опыт Ленинграда). Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1970. 120 с.

10. Игнатчик В.С., Игнатчик С.Ю., Кузнецова Н.В., Феськова А.Я. Влияние изменений климата на гидравлические режимы систем отведения поверхностного стока // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. № 4 (84). С. 50–57.

11. Волков С.Н., Житенев А.И., Рублевская О.Н. и др. Особенности оценки расчетных интенсивностей дождей с учетом экстремальных ливней // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 7. С. 50–55.

12. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. 124 с.

13. Grand-Clement M. Challenges in Planning for Sustainable Stormwater Management in French Cities — A Case Study of the Grand Lyon: Master's Thesis / M. Grand-Clement. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology, 2016. 114 p.

14. Bennion H., Battarbee R. The European Union water framework directive: Opportunities for palaeolimnology // J. Paleolimnol. 2007. Vol. 38. Pp. 285–295.

15. Stahre P. Sustainability in Urban Storm Drainage: Planning and Examples. Stockholm, Sweden: Svenskt Vatten, 2006. 64 p.

16. Укрупненные нормативы цены строительства (НЦС 81-02-14-2024): утв. приказом Минстроя России от 16 февраля 2024 года № 113/пр «Об утверждении укрупненных нормативов цены строительства». Сб. № 14. Наружные сети водоснабжения и канализации. 96 с.

17. Укрупненные нормативы цены строительства (НЦС 81-02-14-2024): утв. приказом Минстроя России от 16 февраля 2024 года

№ 113/пр «Об утверждении укрупненных нормативов цены строительства». Сб. № 19. Здания и сооружения городской инфраструктуры.

References

1. Gorbachev P.F. Methods for Calculating Stormwater Runoff. Moscow: Publishing House «Vlast Sovetov» at the Presidium of the All-Russian Central Executive Committee, 1937. 167 p.
2. Zak G.L. Hydraulic Fundamentals of Sewer Network Design. Moscow-Leningrad: Main Editorial Office of Construction Literature, 1935. 173 p.
3. Belov N.N. Calculation of Storm Sewer Networks. Moscow: NKVD Publishing, 1931. 64 p.
4. Nadyshchev V.S. Calculation of Storm and Combined Sewer Systems Using the «Critical Tidal Areas» Method. Leningrad: Gosvodokanalproekt, 1949. 95 p.
5. Molokov M.V., Shigorin G.G. Storm and Combined Sewer Systems. Moscow: Publishing House of the Ministry of Communal Services of the RSFSR, 1954. 241 p.
6. Shvetsov E.D. External Drainage Systems. Moscow-Leningrad: Gosstroyizdat, 1934. 130 p.
7. Kurganov A.M. Tables of Parameters for Maximum Rainfall Intensity for Determining Discharges in Drainage Systems: Reference Guide. Moscow: Stroyizdat, 1984. 111 p.
8. Alekseev M.I., Kurganov A.M. Organization of Surface (Rain and Meltwater) Runoff from Urbanized Areas: Textbook. Moscow: ASV Publishing House; St. Petersburg: SPbGASU, 2000. 352 p.
9. Shigorin G.G., Yasman L.M., Lys M.Sh., Znamensky V.A. Design and Construction of Sewer Systems (Experience of Leningrad). Leningrad: Stroyizdat, Leningrad Branch, 1970. 120 p.
10. Ignatchik V.S., Ignatchik S.Yu., Kuznetsova N.V., Feskova A.Ya. The Impact of Climate Change on Hydraulic Regimes of Surface Runoff Drainage Systems // Water and Ecology: Problems and Solutions. 2020. No 4 (84). Pp. 50–57.
11. Volkov S.N., Zhitenyov A.I., Rublevskaya O.N. et al. Features of Estimating Design Rainfall Intensities Taking into Account Extreme Rainfall Events // Water Supply and Sanitary Engineering. 2021. No 7. Pp. 50–55.
12. Third Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in the Russian Federation. General Summary. St. Petersburg: Naukoemkie Tekhnologii, 2022. 124 p.
13. Grand-Clement M. Challenges in Planning for Sustainable Stormwater Management in French Cities — A Case Study of the Grand Lyon: Master's Thesis. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology, 2016.
14. Bennion H., Battarbee R. The European Union Water Framework Directive: Opportunities for Palaeolimnology // J. Paleolimnol. 2007. Vol 38. Pp. 285–295.
15. Stahre P. Sustainability in Urban Storm Drainage: Planning and Examples. Stockholm, Sweden: Svenskt Vatten, 2006.
16. Aggregated Construction Cost Standards (NCS 81–02–14–2024): Approved by Order of the Ministry of Construction of Russia No. 113/пр dated February 16, 2024 «On Approval of Aggregated Construction Cost Standards». Collection No 14. External Water Supply and Sewer Networks.
17. Aggregated Construction Cost Standards (NCS 81–02–14–2024): Approved by Order of the Ministry of Construction of Russia No. 113/пр dated February 16, 2024 «On Approval of Aggregated Construction Cost Standards». Collection No 19. Buildings and Structures of Urban Infrastructure.

УДК 621.395.74

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_85

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ
ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
ЗА СЧЕТ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АРЕНДУЕМЫХ
СПЕКТРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

**INCREASING THE CAPACITY OF SPECIAL-PURPOSE OPTICAL TRANSPORT
NETWORKS THROUGH EFFICIENT USE OF LEASED SPECTRAL RESOURCES**

*Канд. техн. наук А.П. Бойко¹, д-р техн. наук С.М. Одоевский²,
д-р техн. наук Ю.И. Стародубцев¹*

Ph.D. A.P. Boyko, D.Sc. S.M. Odoevsky, D.Sc. Yu.I. Starodubtsev

¹Военная академия связи им. С.М. Буденного,

²Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Современные оптические транспортные сети специального назначения формируются на основе арендуемых телекоммуникационных ресурсов, виды которых постоянно совершенствуются, порождая при этом как дополнительные возможности, так и новые виды угроз. Одним из наиболее ожидаемых сценариев развития оптической связи является переход к аренде спектра в волоконно-оптической инфраструктуре операторов связи. Это позволит увеличить пропускную способность оптических транспортных сетей специального назначения за счет оптимизации распределения спектральных каналов. В статье приводятся направления развития телекоммуникационных услуг, аренда которых позволит повысить эффективность оптических транспортных сетей специального назначения. Поднят вопрос появления системы дополнительных угроз, обусловленных множественным доступом к элементам физической инфраструктуры операторов сетей связи общего пользования.

Ключевые слова: оптические транспортные сети, аренда спектра, пропускная способность.

Modern special-purpose optical transport networks are formed on the basis of leased telecommunication resources, the types of which are constantly being improved, giving rise to both additional opportunities and new types of threats. One of the most anticipated scenarios for the development of optical communications is the transition to spectrum leasing in the fiber-optic infrastructure of telecom operators. This will increase the capacity of special-purpose optical transport networks by optimizing the distribution of spectral channels. The article presents the directions for the development of telecommunication services, the leasing of which will increase the efficiency of special-purpose optical transport networks. The issue of the emergence of a system of additional threats caused by multiple access to elements of the physical infrastructure of public communication network operators is raised.

Keywords: optical transport networks, spectrum leasing, network bandwidth.

Введение

В соответствии с законодательством Российской Федерации (РФ) сети связи Единой сети электросвязи РФ (ЕСЭ РФ) разделяются по функциональному признаку на транспортные сети и сети доступа [1]. Транспортная сеть представляет собой совокупность ресурсов систем передачи (каналов, трактов, секций или участков передачи), относящихся к ним средств контроля, оперативного переключения, резервирования и управления, предназначенных для переноса и распределения разнородного трафика между сетями доступа. Транспортные сети на основе телекоммуникационных технологий, использующих в качестве среды распространения сигналов оптическое волокно, принято называть оптическими транспортными сетями (ОТС). ОТС, на основе которых организуются службы и услуги связи для нужд органов государственной власти (МО РФ, ФСБ РФ, ФСО РФ и др.) относятся к категории сетей связи специального назначения (СС СН) и формируются с использованием телекоммуникационных ресурсов операторов связи ЕСЭ РФ.

Главной причиной использования арендуемых телекоммуникационных ресурсов является недостаточная развитость инфраструктур СС СН. Учитывая возможности по обеспечению пропускной способности, а также вклад проводной связи в объемы передаваемой информации на СС СН, основная часть арендуемых телекоммуникационных ресурсов приходится на проводную часть ЕСЭ РФ. Несмотря на экономическую выгоду: аренда телекоммуникационных ресурсов обходится значительно дешевле, чем строительство собственной инфраструктуры (включая прокладку кабелей и установку оборудования), данный подход обладает множеством недостатков и рисков, которые необходимо учитывать.

В разные периоды развития СС СН технические принципы задействования ресурсов операторов связи ЕСЭ РФ принимали различную форму, в зависимости от уровня развития протоколов и технологий, применяемых в гражданской сфере связи и телекоммуникаций. Так, в течение длительного времени арендуемыми телекоммуникационными ресурсами являлись каналы, образованные аналоговыми многоканальными системами передачи: каналы тональной частоты и

телеграфные каналы. Однако опережающее развитие сетей связи общего пользования (СС ОП) затруднило процедуры сопряжения и интеграции с СС СН на основе устаревшей аналоговой аппаратуры, а отказ от морально устаревшей аналоговой техники стал одной из причин перехода на аренду цифровых каналов и групповых трактов.

С началом перехода систем связи СН на цифровую связь в начале нулевых, основным арендуемым телекоммуникационным ресурсом стали первичные цифровые групповые тракты Е1 плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ), которые и в настоящее время используются в качестве основы подсистем переноса при построении транспортных сетей СН [2]. При этом необходимо заметить, что сама технология ПЦИ не относится к технологиям транспортных сетей, в основном из-за ограниченных возможностей по управлению и мониторингу сети.

Рост популярности технологий коммутации пакетов в гражданской связи [3], в том числе и для построения транспортных сетей, а также отсутствие возможности прямого сопряжения плезиохронной и оптической транспортной иерархий, широко применяемых на СС ОП, способствовали тому, что арендуемым телекоммуникационным ресурсом стали сетевые соединения на основе виртуальных частных сетей VPN (virtual private network). При этом возникла реальная угроза маршрутизации внутреннего трафика СС СН через зарубежные сети, в том числе и страны НАТО, имеющие подключения к сетям операторов связи ЕСЭ РФ.

Таким образом, описанный подход к формированию транспортных сетей СН на основе арендуемых телекоммуникационных ресурсов канального и сетевого уровней обладает рядом недостатков, связанных с угрозами безопасности связи, а также невозможностью обеспечения требуемой устойчивости, доступности и пропускной способности. В работах [4–6] подробно изложены проблемные вопросы, обусловленные использованием в системах связи СН канальных и сетевых ресурсов, арендуемых у коммерческих операторов связи.

Для разрешения указанных проблем в 2018 году было принято решение о создании Интегрированной сети связи (ИСС) для нужд обороны страны, безопасности государства и поддержания правопорядка, представляющей собой

единую телекоммуникационную транспортную основу для взаимодействия и функционирования ОТС СН. В частности, в интересах передачи разнородного информационного трафика между объектами МО РФ в настоящее время на завершающей стадии, находится создание Мультисервисной транспортной сети связи МО РФ (МТСС МО РФ). Основное препятствие созданию разветвленных и протяженных ОТС СН заключается, прежде всего, в отсутствии достаточного количества собственных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Данная проблема, как и прежде, решается путем аренды телекоммуникационных ресурсов.

Принципиально новое отличие концепции построения современных ОТС СН заключается в формировании каналов и трактов на основе доверенной активной телекоммуникационной инфраструктуры, являющей собой выделенные физические линейные ресурсы: оптические кабели, отдельные пары оптических волокон, длины волн, в том числе и арендуемые у операторов ЕСЭ РФ. Построение транспортных сетей СН на основе отечественного сертифицированного оборудования, с использованием арендуемых пассивных телекоммуникационных ресурсов физического уровня, существенно снижает риски внешних деструктивных воздействий, однако не исключает их полностью. Кроме того, появляются новые виды угроз на физическом уровне, требующие проведения дополнительных исследований.

Резюмируя изложенное, можно сделать следующие выводы:

- при построении СС СН активно сохраняется тенденция использования телекоммуникационных ресурсов СС ОП;
- СС СН продолжают критически зависеть от состояния инфраструктуры и технологических возможностей СС ОП;
- технические принципы использования телекоммуникационных ресурсов операторов связи ЕСЭ РФ постоянно совершенствуются, в соответствии с направлениями развития протоколов и технологий, применяемых на СС ОП.

Таким образом, СС ОП будут и впредь играть роль вспомогательного компонента при построении СС СН, а их телекоммуникационные ресурсы будут восполнять недостаток собственных ресурсов, необходимых для построения

транспортных сетей СН. При этом существенное отставание развития СС СН от СС ОП будет способствовать тому, что наиболее ожидаемым сценарием развития СС СН будет являться переход на технологии, применяемые в гражданской сфере связи и телекоммуникаций. Многолетний опыт взаимодействия СС СН с СС ОП показывает, что технологическое превосходство последних будет способствовать тому, что при построении СС СН будут применяться готовые технологии гражданской связи, адаптированные к возможным деструктивным воздействиям, в особенности преднамеренного характера.

Коммерческие операторы связи по всему миру непрерывно совершенствуют свои транспортные услуги, предоставляя в аренду телекоммуникационные ресурсы на разных уровнях: физическом, канальном и сетевом. При формировании СС СН выбор конкретного вида услуг должен осуществляться на основе исследований их достоинств и недостатков, а также возможных рисков. Учитывая возможности оптической связи и её вклад в объем передаваемой информации, не вызывает сомнения тот факт, что основную роль при передаче и распределении трафика в системах связи СН будут играть ОТС СН, построенные с использованием арендованных телекоммуникационных ресурсов на новых физических принципах.

В настоящее время ОТС составляют ядро практически любой телекоммуникационной инфраструктуры, на которое приходится перенос (транспортировка) и распределение основных объемов трафика. При этом тенденции развития ОТС коммерческих операторов связи направлены на удовлетворение растущих потребностей в объемах передаваемой информации. Одним из направлений увеличения пропускной способности современных оптических сетей является переход на гибкую сетку частот [7, 8], что обеспечивает более эффективное и гибкое использование спектра оптических волокон. В отличие от традиционных сетей с фиксированной сеткой частот (50 ГГц или 100 ГГц), гибкая сетка частот позволяет изменять ширину канала в зависимости от потребностей трафика и характеристик сигнала. Например, если для передачи данных требуется канал шириной 37,5 ГГц вместо стандартных 50 ГГц, то гибкая сетка может обеспечить именно такую ширину, что освобождает спектральное

пространство для других каналов. Это приводит к увеличению общего количества спектральных каналов, которые могут быть переданы по одному и тому же волокну, повышая тем самым спектральную эффективность.

В совокупности с реконфигурируемыми оптическими мультиплексорами ввода/вывода (РОМВВ), широко внедряемыми в современные оптические сети, в том числе и в России, в ОТС с гибкой сеткой частот также имеется возможность динамически изменять параметры сети, адаптируясь к изменениям трафика и требуемой пропускной способности. Функции программной коммутации и маршрутизации спектра в современных РОМВВ позволяют распределять его между корреспондирующими узлами в зависимости от текущей необходимости к количеству и качеству спектральных каналов между ними. За счет этого достигается оптимизация использования спектра в оптической сети, который представляет собой новый телекоммуникационный ресурс в гражданской связи [9–12]. Аренда спектра в оптических сетях — это новая услуга, предоставляемая операторами и провайдерами связи, которая позволяет арендаторам использо-

вать определенные частотные диапазоны в ВОЛС для формирования спектральных каналов на основе собственного, доверенного оборудования. При этом пользователи данной услуги способны варьировать характеристиками и показателями образуемых спектральных каналов: пропускной способностью, качеством передачи, шириной спектра, а также показателями устойчивости и безопасности, в условиях возможных деструктивных воздействий на физическом уровне.

Совместное использование спектра в ВОЛС, известное в иностранной литературе как Spectrum Sharing, позволяет представить пару оптических волокон в виде множества виртуальных оптических волокон, а их совокупность в виде виртуальной оптической сети. На основе физической инфраструктуры операторов связи формируется множество изолированных ОТС, в том числе и СН. Оптическая инфраструктура при этом условно разделяется на физическом уровне, а её пользователи имеют возможность осуществлять контроль над маршрутизацией спектральных каналов и управлением своей частью виртуальной оптической сети [13]. На рис. 1 представлена топология виртуальной ОТС СН,

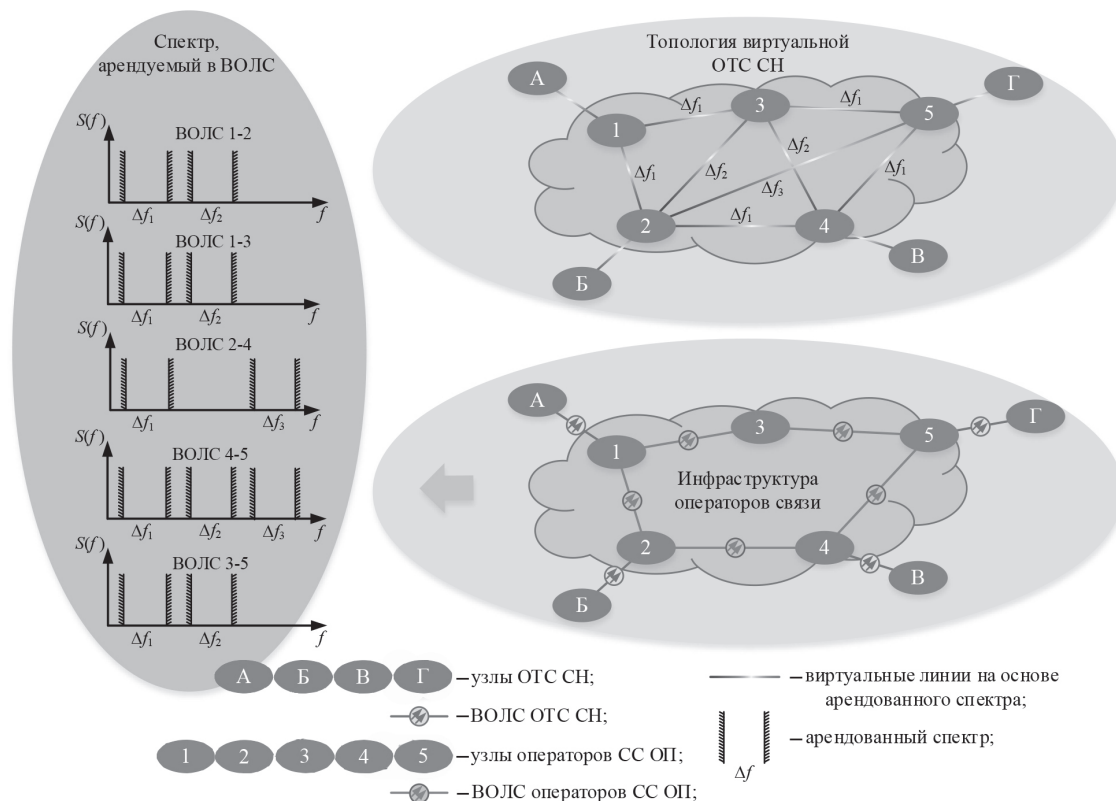


Рис. 1. ОТС СН на основе инфраструктуры операторов связи

сформированной с использованием инфраструктуры операторов связи на основе арендуемых спектральных ресурсов.

Узлы ОТС СН с помощью собственных ВОЛС, как правило незначительной протяженности, присоединяются к узлам операторов СС ОП, в которых предоставляется телекоммуникационная услуга — арендованный спектр. На рис. 1 представлен спектр, арендуемый в ВОЛС, принадлежащих инфраструктуре операторов связи. Поддиапазоны Δf_2 и Δf_3 в ВОЛС операторов связи СС ОП используются для формирования дополнительных линий: 2–3, 3–4, 2–5 в топологии виртуальной ОТС СН, которые отсутствовали в исходной топологии сети операторов связи. Таким образом формируется топология с более высокими показателями связности, увеличивая тем самым мощность множества возможных для реализации канальных структур.

Гибкость в управлении канальной структурой ОТС СН — главное достоинство данного подхода, позволяющее более эффективно использовать арендуемые спектральные ресурсы. Возможность динамического перераспределения спектральных каналов в условиях изменения требований к скорости передачи между корреспондирующими узлами ОТС СН позволяет оптимизировать использование спектра ВОЛС. В пределах одной и той же топологии виртуальной оптической сети возможна реализация множества канальных структур, отличающихся маршрутами спектральных каналов, скоростью передачи и видами модуляции (типами кодирования) оптических сигналов. Выбор варианта канальной структуры осуществляется исходя из текущих потребностей в информационном обмене между узлами ОТС СН.

На рис. 2 представлена иллюстрация, поясняющая принцип управления канальной структурой в условиях изменяющихся потребностей в передаче трафика между корреспондирующими узлами ОТС СН. На рис. 2, а спектральные каналы между корреспондирующими узлами ОТС СН распределены так, что представленные в таблице скорости передачи одинаковые. На рис. 2, б продемонстрировано, как часть спектрального ресурса в линии 1–2 и 2–3 используется для увеличения скорости передачи между корреспондирующими узлами А–В. При этом скорости передачи между узлами А–Б и Б–В

уменьшаются. В таблице к рис. 2, б представлены значения скоростей передачи.

Оба варианта канальной структуры реализованы на одной и той же виртуальной оптической сети. При этом маршруты каналов сформированы по принципу кратчайшего пути. Исключение составляет спектральный канал между узлами А–В на рис. 2, б со спектро и оптического сигнала 40 Гбит/с. Его маршрут состоит из двух линий 1–2 и 2–3, так как весь спектральный ресурс в линии 1–3 занят. На рис. 2 представлены два варианта из множества канальных структур, реализуемых на одной и той же топологии виртуальной ОТС СН.

При распределении трафика по спектральным каналам с независимыми маршрутами, образующими направление связи и определяющими его суммарную пропускную способность, повышаются показатели надежности и живучести. При этом снижается суммарная пропускная способность всех направлений связи в сети если не выделяются дополнительные спектральные ресурсы в ВОЛС.

Несмотря на то, что аренда спектра в ВОЛС операторов связи ЕСЭ РФ и формирование на его основе виртуальной оптической сети, при построении ОТС СН, является многообещающим решением завтрашнего дня, в данном подходе появляются дополнительные угрозы физического уровня. При реализации множественного доступа к спектральному ресурсу ВОЛС, одним из пользователей, может стать потенциальный противник, целью которого является деструктивное воздействие на ОТС СН. При этом спектральный ресурс ВОЛС представляет собой в определенном смысле эфир, и является конфликтной средой с различными вариантами возможных угроз.

Оба варианта канальной структуры реализованы на одной и той же виртуальной оптической сети. При этом маршруты каналов сформированы по принципу кратчайшего пути. Исключение составляет спектральный канал между узлами А–В на рис. 2, б подкрашенный зеленым цветом. Его маршрут состоит из двух линий 1–2 и 2–3, так как весь спектральный ресурс в линии 1–3 занят. На рис. 2 представлены два варианта из множества канальных структур, реализуемых на одной и той же топологии виртуальной ОТС СН.

При распределении трафика по спектральным каналам с независимыми маршрутами, об-

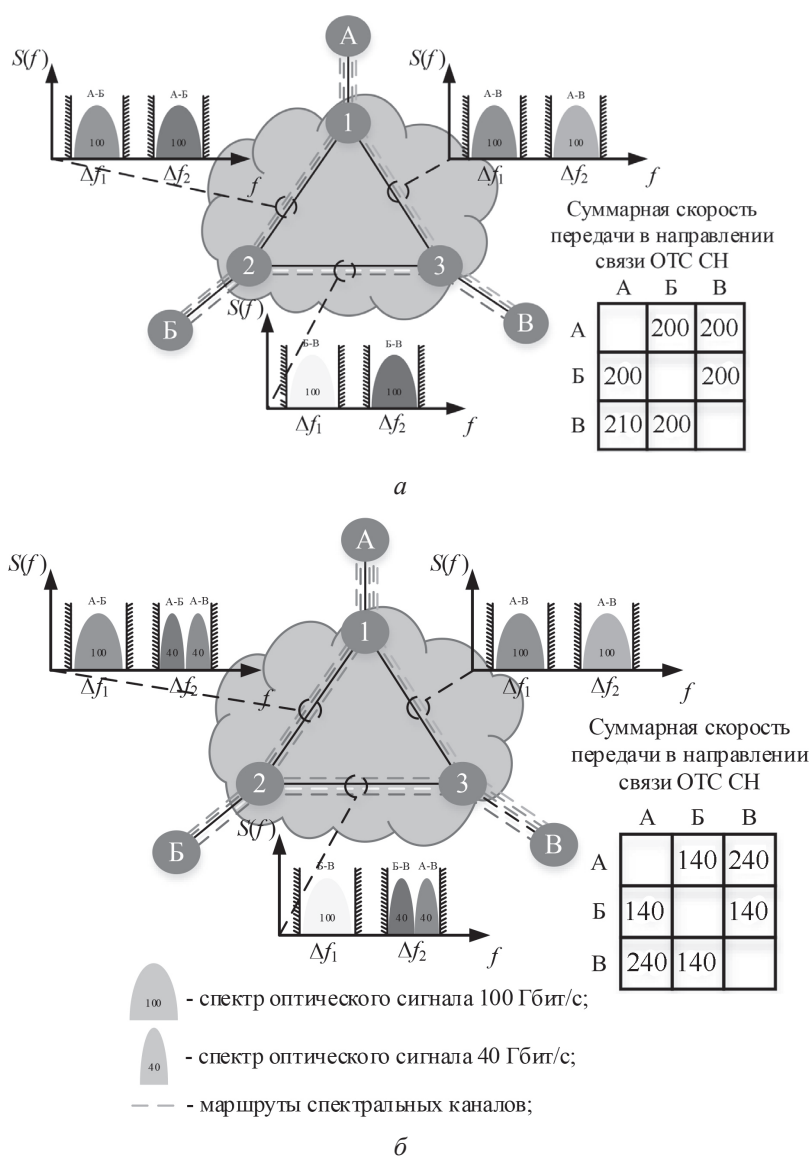


Рис. 2. Распределение оптических каналов в пределах арендованного спектрального ресурса

разующими направление связи и определяющими его суммарную пропускную способность, повышаются показатели надежности и живучести. При этом снижается суммарная пропускная способность всех направлений связи в сети если не выделяются дополнительные спектральные ресурсы в ВОЛС.

Несмотря на то что аренда спектра в ВОЛС операторов связи ЕСЭ РФ и формирование на его основе виртуальной оптической сети, при построении ОТС СН, является многообещающим решением завтрашнего дня, в данном подходе появляются дополнительные угрозы физического уровня. При реализации множественного дос-

тупа к спектральному ресурсу ВОЛС, одним из пользователей может стать потенциальный противник, целью которого является деструктивное воздействие на ОТС СН. При этом спектральный ресурс ВОЛС представляет собой в определенном смысле эфир, и является конфликтной средой с различными вариантами возможных угроз.

Особый интерес представляют атаки, реализуемые за счет межканальных перекрестных помех. Возникающие в результате нелинейных эффектов в оптическом волокне, они могут носить как преднамеренный, так и не преднамеренный характер. Пассивные атаки предполагают несанкционированный доступ к спектральным ка-

налам ОТС СН с целью перехвата передаваемой информации. Активные атаки заключаются во внедрении в сеть вредоносных сигналов, вызывающих ухудшение качества передачи в спектральных каналах ОТС СН.

На этапе проектирования, а также в процессе эксплуатации для получения информации о важнейших свойствах ОТС СН, сформированных на основе арендованных спектральных ресурсов, необходимы полные, адекватные, непротиворечивые модели, учитывающие риски возможных деструктивных воздействий.

Заключение

ОТС СН представляют собой ядро системы связи СН, реализующее функцию переноса основных объемов трафика как в мирное, так и в военное время. При построении ОТС СН нехватка собственных телекоммуникационных ресурсов восполняется за счет аренды у операторов связи ЕСЭ РФ. Необходимость сопряжения СС СН и СС ОП вследствие опережающего развития последних способствует тому, что на СС СН активно применяются технологии и протоколы гражданской связи. Коммерческие операторы связи по всему миру постоянно работают над улучшением и расширением множества телекоммуникационных ресурсов, предоставляемых в аренду. При построении СС СН аренда телекоммуникационных ресурсов физического уровня представляет особую ценность, так как позволяет устранить множество потенциальных угроз на канальном и сетевом уровнях. В современных коммерческих сетях набирает популярность новый вид телекоммуникационных услуг: аренда спектра в ВОЛС операторов связи. Представляющий собой диапазоны частот в ВОЛС для формирования спектральных каналов ОТС СН, данный телекоммуникационный ресурс является развитием и обобщением используемого ранее телекоммуникационного ресурса: длин волн. Его главное достоинство заключается в возможности управления спектральными каналами в пределах выделенного спектрального ресурса и изменении скорости передачи в них, в зависимости от изменений требований к передаче в направлениях связи. Описанный в данной статье подход позволит увеличить пропускную способность ОТС СН, за счет повышения эффективности исполь-

зования арендуемых телекоммуникационных ресурсов физического уровня. При этом возникают дополнительные риски, связанные с появлением новых возможных угроз при совместном использовании инфраструктуры операторов связи, которые необходимо учитывать и объективно оценивать.

Список источников

1. О связи: федер. закон Рос. Федерации от 07 июля 2003 № 126-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 18 июня 2003 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 25 июня 2003 г. // Рос. Газ. — 2003. — 20 июня.
2. Акулинчев А.Б. Проблемы цифровизации военных сетей связи и пути их решения // Военная мысль. 2006. № 9. С. 76–80.
3. О переводе системы связи ВС РФ на цифровые способы передачи информации [Электронный ресурс] // Новости компании. 2024. 7 мая. URL: <https://www.infinera.com/blog/truly-open-subsea-cables-with-spectrum-sharing-in-the-asia-pacific-region/tag/submarine> (дата обращения: 09.07.2024).
4. Стародубцев Ю.И., Иванов С.А., Закалкин П.В. Концептуальные направления решения проблемы обеспечения устойчивости Единой сети электросвязи Российской Федерации // Военная мысль. 2021. № 4. С. 39–49.
5. Макаренко С.И. Описательная модель сети связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 113–164.
6. Иванов В.Г. Модель технической основы системы управления специального назначения в едином информационном пространстве на основе конвергентной инфраструктуры системы связи: монография. СПб.: Политех-пресс, 2018. 214 с.
7. Люпес В., Веласко Л. Архитектура, технологии и управление эластичных оптических сетей: Редактор серии «Оптические сети»: Бисванат Мукерджи. Спрингер, 2016. 299 с.
8. Биджой Ч.Ч., Эйдж О. Эластичные оптические сети: основы, проектирование, контроль и управление. Нью-Дели: Южно-Азиатский университет, 2020. 232 с.
9. Куан Д. По-настоящему открытые подводные кабели с совместным использовани-

ем спектра в Азиатско-Тихоокеанском регионе [Электронный ресурс] // Новости и идеи Infinera. 2024. 7 мая. URL: <https://www.infinera.com/blog/truly-open-subsea-cables-with-spectrum-sharing-in-the-asia-pacific-region/tag/submarine> (дата обращения: 09.07.2024).

10. Что такое совместное использование спектра? [Электронный ресурс] // Новости компании Ciena Company. 2020. URL: <https://www.ciena.com/insights/what-is/What-Is-Spectrum-Sharing.html> (дата обращения: 09.07.2024).

11. Хома Дж. От аренды длин волн к общему спектру [Электронный ресурс] // Новости компании Ribbon Communications Inc. 2020. 26 июня. URL: <https://ribboncommunications.com/company/media-center/blog/alien-wavelengths-shared-spectrum> (дата обращения: 09.07.2024).

12. Одоевский С.М., Бойко А.П., Кузин П.И. Формирование оптической транспортной сети специального назначения на основе выделенного спектрального ресурса // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2024. № 5–6 (191–192). С. 58–64.

13. Ван Ю., Нгуен Л. и Ху К. Виртуализация сетевых функций в эластичных оптических сетях // Журнал световых технологий. 2023. Т. 41. № 16. С. 5183–5192.

References

1. On Communications: Feder. Law No. 126-FZ of July 07, 2003: adoption by the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. The collection grew. Of the Russian Federation on June 18, 2003; approval by the Federation Council on June 25, 2003 // Russ. Newsp. — 2003— 20.0.

2. Akulinchev A.B. Problems of digitalization of military communication networks and ways to solve them // Military thought. 2006. No 9. Pp. 76–80.

3. On the transfer of the communication system of the Armed Forces of the Rus. Federation to digital methods of information transmission [Electronic resource] // Company News. 2024. May 7. URL: <https://www.infinera.com/blog/truly-open-subsea-cables-with-spectrum-sharing-in-the-asia-pacific-region/tag/submarine> (date of access: 07/09/2024).

4. Starodubtsev Yu.I., Ivanov S.A., Zakalkin P.V. Conceptual directions for solving the problem of ensuring the stability of the Unified telecommunication network of the Russian Federation // Military thought. 2021. No 4. Pp. 39–49.

5. Makarenko S.I. Descriptive model of a special-purpose communication network // Management, communication and security systems. 2017. No 2. Pp. 113–164.

6. Ivanov V.G. A model of the technical basis of a special-purpose management system in a single information space based on a converged communications system infrastructure. Monograph. St. Petersburg: Polytech Press, 2018. 214 p.

7. Lupes V., Velasco L. Architecture, technologies and management of elastic optical networks: Editor of the Optical Networks series: Biswanath Mukherjee. Springer, 2016. 299 p.

8. Bijoy Ch.Ch., Agee O. Elastic optical networks: fundamentals, design, control and management. New Delhi: South Asian University, 2020. 232 p.

9. Kuan D. Truly open underwater cables with spectrum sharing in the Asia-Pacific region [Electronic resource] // Infinera news and Ideas. 2024. May 7. URL: <https://www.infinera.com/blog/truly-open-subsea-cables-with-spectrum-sharing-in-the-asia-pacific-region/tag/submarine> (date of access: 07/09/2024).

10. What is spectrum sharing? [Electronic resource] // Ciena Company News. 2020. URL: <https://www.ciena.com/insights/what-is/What-Is-Spectrum-Sharing.html> (date of access: 07/09/2024).

11. Homa J. From the rental of wavelengths to the general spectrum [Electronic resource] // News from Ribbon Communications Inc. 2020. June 26. URL: <https://ribboncommunications.com/company/media-center/blog/alien-wavelengths-shared-spectrum> (date of access: 07/09/2024).

12. Odoevsky S.M., Boyko A.P., Kuzin P.I. Formation of a special-purpose optical transport network based on a dedicated spectral resource // Issues of defense technology. Episode 16. Technical means of countering terrorism. 2024. No 5–6 (191–192). Pp. 58–64.

13. Wang Yu., Nguyen L. and Hu K. Virtualization of network functions in elastic optical networks // Journal of Lighting Technologies. 2023. Vol. 41. No 16. Pp. 5183–5192.

УДК 654.01

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_93

**ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ВОИНСКИХ ФОРМИРОВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ
БЛОКЧЕЙН И QR-КОДОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ**

**WAYS TO IMPROVE THE SYSTEM OF TECHNICAL SUPPORT
OF COMMUNICATION AND AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF MILITARY
FORMATIONS USING BLOCKCHAIN AND QR-CODE TECHNOLOGIES
IN THE CONDITIONS OF MODERN OPERATIONS**

*Канд. воен. наук В.С. Курочка, канд. воен. наук А.А. Бурлаков,
канд. техн. наук В.В. Ковалев, В.Б. Николаев*

Ph.D. V.S. Kurochka, Ph.D. A.A. Burlakov, Ph.D. V.V. Kovalev, V.B. Nikolaev

Военная академия связи им. С.М. Буденного

В статье рассмотрены пути повышения эффективности обеспечения воинских формирований техникой связи и автоматизированными системами управления (ТС и АСУ) за счет создания системы электронного учета материальных средств, с применением технологий блокчейн и QR-кодов. Предложения сформированы на основе анализа издержек логистических процессов крупнейших компаний и опыта снабжения воинских формирований в ходе специальной военной операции (СВО). Этот вопрос приобретает все большую актуальность ввиду доступности современных технологий и возрастающих требований к системе технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления (ТОС и АСУ) ВС РФ. Блокчейн и QR-коды могут стать важными инструментами в организации учета и снабжения, предлагая новые подходы к обработке информации и снижению рисков, связанных с ошибками личного состава. Рассмотрены возможности, преимущества и недостатки этих технологий в военной сфере.

Ключевые слова: система снабжения войск, учет, технологии блокчейн, QR-код, военная логистика, модернизация склада, роботизация.

The article considers ways to improve the efficiency of supplying military formations with communication equipment and automated control systems by creating a system of electronic accounting of materiel, with the use of blockchain and QR code technologies. The proposals were formed on the basis of cost analysis of logistics processes of the largest companies and the experience of supplying military formations during a special military operation. This issue is becoming more and more relevant due to the availability of modern technologies and the increasing requirements to the system of technical support of communications and automated control systems of the RF Armed Forces. Blockchain and QR codes can become important tools in the organisation of accounting and supply, offering new approaches to information processing and reducing risks associated with personnel errors. Considering the possibilities, advantages and disadvantages of these technologies in the military sphere.

Keywords: troop supply chain, blockchain technologies, QR-code, military logistics, warehouse modernisation, robotisation.

Изменение способов ведения вооруженной борьбы влечет за собой повышение требований к обеспеченности вооружением, военной и специальной техникой, её постоянной готовности и высокой боеспособности, и, как следствие, поиску новых эффективных механизмов распределения материальных ресурсов. Сокращение сроков обеспечения материальными средствами является одной из приоритетных задач как в мирное время, так и в ходе проведения современных операций. В свою очередь, решению этих задач способствует ускорение научно-технического прогресса путем внедрения новых технических решений в практику планирования и процессов всестороннего обеспечения войск. Для решения вопросов обеспечения ВС РФ ТС и АСУ и поддержания её в работоспособном состоянии функционирует система ТОС и АСУ. Элементами системы ТОС и АСУ являются подсистема управления, подсистема снабжения и подсистема восстановления. Последние две из них являются исполнительными. Вместе с тем, качественное выполнение мероприятий эксплуатации и восполнения потерь напрямую зависит от своевременности и полноты поставок ТС и АСУ, необходимых ремонтных комплектов, военно-технического имущества, комплектов запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП), что в свою очередь, невозможно без грамотного планирования [1].

Рассматриваемые подсистемы представляют собой сложные, иерархические, многофункциональные, многономенклатурные механизмы, характеризующиеся комплексным взаимодействием элементов, рассредоточенных на значительной территории, и требуют для своего создания и развития существенных затрат ресурсов и времени [2].

Опыт СВО показывает, что перечень ТС и АСУ, применяемых воинскими формированиями, существенно расширился, в него вошло не только оборудование, предусматриваемое штатно-табельной потребностью, но и средства связи двойного назначения. В совокупности с возрастающей динамикой информационного обмена в системах управления номенклатура средств связи продолжает расти.

В настоящее время выдача ТС и АСУ потребителям в подразделения с момента её изготовления предприятиями промышленности, а также

со складов или перегрузочных пунктов — это задача, требующая значительных человеческих, материальных и, самое главное, временных ресурсов. Достаточно сложным является процесс объективного непрерывного учета наличия и состояния ТС и АСУ, находящейся в войсках и на складах всех уровней в режиме реального времени. В процессе организации обеспечения войск ТС и АСУ возможно большое количество ошибок в связи с человеческим фактором. Опыт проведения современных операций показывает, что роль оперативности и обоснованности принимаемых решений должностными лицами по ТОС и АСУ, и эффективное функционирование системы учета имеет огромное значение для снабжения войск ТС и АСУ, и, в свою очередь, устойчивого функционирования системы связи воинских формирований. Это позволяет сделать вывод о необходимости разработки предложений по совершенствованию работы систем снабжения воинских формирований.

По мнению авторов, использование технологий блокчейн и QR-кодов для создания системы электронного учета в системе снабжения ТС и АСУ при проведении военных действий представляет собой актуальное направление исследований.

Блокчейн — это распределенная база данных, которая обеспечивает безопасность и прозрачность данных путем использования криптографических методов. Данные доступны всем участникам в любое время, и, если кто-то из них хочет изменить данные, все должны согласиться. Его гораздо сложнее взломать, чем централизованную бухгалтерскую книгу, где одна точка доступа позволяет пользователю изменить всю систему. Самое популярное приложение блокчейна — биткойн — никогда не было взломано, несмотря на его известность и ценность. Применение блокчейна в бизнес-процессах простирается от цифровой валюты до финансовых операций, цепочек поставок и даже здравоохранения и страхования [3].

В военной логистике блокчейн может обеспечить:

– прозрачность и прослеживаемость цепочек поставок: все транзакции фиксируются в блокчейне, что позволяет отслеживать перемещение техники и имущества связи в режиме реального времени;

– безопасность данных: криптографическая защита данных значительно снижает риск их модификации, что особенно важно в условиях военных действий.

Использование блокчейн-технологий в учете и снабжении ТС и АСУ поспособствует:

– автоматизации процессов: умные контракты могут автоматически исполнять предписания после выполнения условий, тем самым снижая время на выполнение операций, значительно уменьшая вероятность ошибки должностными лицами и исключая нецелевое использование материальных средств;

– доступу к информации: вся информация о состоянии запасов и отправлениях остается доступной для уполномоченных лиц, что повышает скорость принятия решений;

– уменьшению административных затрат: автоматизация процессов учета и контроля сократит время на обработку данных.

Многие члены НАТО уже инвестировали в изучение блокчейна. В 2017 году Военно-воздушные силы Соединенных Штатов Америки выделили блокчейн-стартапу SIMBA Chain 30 миллионов долларов на работу по внедрению блокчейна в военные цепочки поставок для сквозной проверки военных деталей [4].

Европейский союз запустил в 2021 году проект по разработке прозрачного способа отслеживания устойчивости цепочек поставок важнейших минералов.

Китай также демонстрирует интерес к данной технологии, он впервые упоминается в проекте пятилетнего национального плана Китая, последняя версия которого была одобрена высшим законодательным органом по итогам его ежегодного заседания. 14-й пятилетний план излагает общие цели, к достижению которых страна намерена стремиться в течение следую-

щих пяти лет и далее. Согласно этому плану и стратегии развития Vision 2035, также представленной в ходе «двух сессий» этого года, технологии будут играть важнейшую роль. Ожидается, что цифровая экономика будет вносить большую долю в ВВП страны. Возросшая интеграция технологий во все сферы превратит Китай в мирового лидера в области передового производства, а передовые технологии, включая искусственный интеллект, большие данные, облачные вычисления и блокчейн, станут частью повседневной жизни в Китае.

Блокчейн получил широкую известность благодаря использованию в криптовалютах, но на самом деле эта технология находит практическое применение в самых разных областях. Denso Corporation — крупная японская машиностроительная корпорация, специализирующаяся на производстве автомобильных комплектующих, входит в список Forbes Global 2000. Данная корпорация использует блокчейн вместе с QR-кодами и другими технологиями в логистике для создания системы отслеживания [5].

Очевидно, что в будущем эта технология найдет множество применений в различных сферах деятельности, в том числе при ведении военных действий [6].

Как же физически существующие в реальной жизни объекты могут быть привязаны к данным блокчейна? Что может гарантировать соответствие реального объекта той информации, которая хранится в блокчейне?

Совместное использование графических кодов (рис. 1) и блокчейна видится надежным способом решения данной проблемы.

QR-код (англ. Quick Response code — «код быстрого отклика»; сокр. QR-code) представляет собой набор черных квадратов, упорядоченных на квадратной сетке на белом фоне, и приспособлен



Рис. 1. Образцы кодов: а — QR-код; б — штрих-код

для быстрого считывания и распознавания с помощью фотокамер. Им можно зашифровывать в удобном для чтения машиной формате различную информацию.

QR-коды появились в 1990-х годах, в вышеупомянутой японской компании Denso. Компании нужно было множество кодов с тем, чтобы маркировать запчасти для автомобилей. Обычных кодов решительно не хватало, в связи с чем был разработан трехмерный код, способный хранить любую информацию. Широкое распространение QR-код получил 2000-х годах благодаря появлению смартфонов, которые могут считывать QR-коды при простом наведении камеры. Этими кодами можно шифровать характеристики материальных средств, адреса в интернете, географические координаты, визитные карточки и многое другое. В отличие от обычного одномерного штрих-кода, QR-код может вмещать достаточно большой объем данных (до 7 089 цифр или 4 296 букв, цифр и специальных символов). В систему двухмерных кодов заложен специальный алгоритм исправления ошибок: даже если 30 % изображения будет повреждено или камера «смажет» его при сканировании, оно все равно будет считываться корректно. Также QR-код читается, даже если камера его «видит» под наклоном [7].

В военной сфере они могут быть использованы для:

1. Идентификации ТС и АСУ: каждая единица может быть промаркирована уникальным QR-кодом, который содержит информацию о её характеристиках, дату выпуска, комплект поставки, описание, историю эксплуатации, ссылку на сайт или на внутренний документ системы учета и пр.;

2. Удобства учета: считывание QR-кода с помощью мобильного устройства позволяет быстро получить доступ к информации о принадлежности к воинской части и материально ответственному лицу, количестве экземпляров данного типа ТС и АСУ на складе; упростить процесс инвентаризации и т.д.;

3. Мониторинга технического состояния ТС и АСУ.

Участник цепочки поставок — скажем, склад довольствующего органа — может хранить в системе блокчейн данные о материалах, истории производства и т.д. с временной меткой, а затем распечатать соответствующий QR-код,

который будет использоваться в качестве хэша. В соединении (воинской части), которая получает материальные средства, может быть отсканирован QR-код с помощью считывающего устройства, а после обработки материалов аналогичным образом сохранить данные о них в блокчейне и снова распечатать свой собственный QR-код для использования в качестве хэша, или же оставить прежний. Таким образом создается прослеживаемость цепочки поставок и жизненного цикла на основе блокчейна. Очевидно, что первичные QR-коды должны генерироваться и учитываться в едином реестре графических кодов страны. Так любое материальное средство, выпущенное или приобретенное в интересах обороны страны, будет иметь свой индивидуальный код в единой системе учета [9].

С целью предотвращения копирования QR-кодов существует ряд технологий. Одной из таких является специальный тип QR-кода со встроенной защитой от подделки (запатентованная технология DENSO WAVE), которая уже используется компанией Yui Rail (Okinawa Urban Monorail) префектуры Окинава и другими компаниями. Для этого типа QR-кода специальный вид чернил добавляется поверх напечатанного QR-кода, чтобы он выглядел сплошным черным при ксерокопировании [5].

В основе автоматизации лежит принцип организации базы данных в системе учета с подробной информацией о продукции. А с помощью QR-кода можно получить доступ к этой базе данных, а также управлять ею и упрощать процессы обеспечения войск ТС и АСУ. В этой схеме также участвует терминал сбора данных, который объединяет QR-коды и систему учета в единое целое.

Автоматизация складских процессов

На основе QR-кода можно реализовать адресное хранение сырья и комплектующих — промаркировать кодами зоны хранения, а также сами изделия [10].

Как только потребуется напечатать нужную этикетку, должностное лицо склада может сканировать QR-код из системы или со старой оснастки, чтобы увидеть, где хранятся новые аналогичные детали. Одновременно можно выбрать деталь с определенным износом, ведь QR-код предоставит доступ и к этим данным [10].

Можно использовать QR-код не только для поиска, но и для размещения. В этот момент должностное лицо склада сканирует QR-код стеллажа и место нахождения фиксируется в системе учета.

В целом кодирование позволит минимизировать время на поиск и размещение нужной продукции на складе. Этот принцип можно использовать для любого вида материальных средств.

С помощью маркировки также можно получить контроль над управлением складом: оптимизировать сроки хранения, площади, понимать, какой номенклатуры не хватает, а какой слишком много.

Оптимизация инвентаризации

В системе учета могут содержаться различные данные об основных материальных средствах, например:

- название и вид ТС и АСУ;
- фотография;
- точное местонахождение;
- ФИО материально ответственного лица;
- инвентаризационный номер;
- код основного фонда;
- наименование изготовителя;
- номер формуляра (паспорта);
- дата ввода объекта в эксплуатацию;
- стоимость;
- дата последней инвентаризации;
- сроки планового технического обслуживания и ремонта и пр.

Эту информацию можно заложить в QR-код, который можно вывести на печать и наклеить на упаковку или объект. Это позволит в дальнейшем быстро производить проверки по нужным параметрам, например:

- по типам ТС и АСУ;
- по срокам эксплуатации;
- по месту нахождения;
- по ответственному лицу;
- по структурным подразделениям.

Чтобы сделать проверку, в системе учета формируется задание на инвентаризацию, которое поступает на мобильное устройство или терминал сбора данных (ТСД). Должностное лицо считывает терминалом QR-коды. Информация со сканера поступает обратно в учетную систему и обновляет данные.

Внедрение маркировки позволит в несколько раз сократить количество личного состава или время на проведение инвентаризаций, а также позволит накапливать и автоматически обновлять необходимую информацию о материальных ценностях.

Учет ТС и АСУ, ее состояния и проведения ремонтов

В системе учета можно хранить точную информацию о том, где хранится или эксплуатируется ТС и АСУ, вести учет реальных сроков эксплуатации, собирать информацию о проведенных ремонтах и других операциях.

Аналитика в системе учета поможет быстро найти нужную единицу имущества, сформировать данные об обеспеченности, техническом обслуживании, ремонте, подготовить заявки, наряды (накладные) на выдачу (получение) техники и имущества связи [12].

В дальнейшем, при перемещении ТС и АСУ, инвентаризации или ремонте актуальные данные в системе обновляются в режиме реального времени.

Например, при необходимости отправить технику связи в плановый ремонт должностное лицо сканирует терминалом наклеенный на нем QR-код, на своем автоматизированном рабочем месте формирует соответствующую заявку. В учетной системе при этом создается документ на передачу ТС и АСУ в ремонтный орган. В дальнейшем будет учтен сам факт ремонта. После ремонта должностное лицо ремонтного органа вновь сканирует QR-код отремонтированной техники связи — система оповестит уполномоченных должностных лиц о готовности ТС и АСУ к возвращению в строй. Кроме того, такая система позволит считать и фиксировать время, затраченное на ремонт, а при необходимости сформировать статистику выхода из строя определенных блоков (узлов, агрегатов), причин отказов и пр.

В случае боевых повреждений, когда проведение ремонта ТС и АСУ невозможно или нецелесообразно, выбирается нужная номенклатура из общей базы данных и формируется автоматическая заявка на восполнение потерь. При этом на складе и в довольствующих органах появляется соответствующая информация, осуществляется предбронирование данного материального средства на конкретном скла-

де средств связи. В случае принятия положительного решения по выдаче материального средства со склада автоматически формируется электронный план-задание сотрудникам склада на его отгрузку, а в войска — наряд на получение.

Внедрение идентификации и системы прослеживаемости

В основе лежит оцифровка и учет всех необходимых процессов и этапов, которыми сопровождается жизненный цикл ТС и АСУ.

Основа организации системы прослеживаемости — в формировании цифрового паспорта изделия в учетной системе. В нем находят отражение проведенные операции, данные о комплектности, наработке (пробеге), составе и использовании ЗИП и пр [8].

Основной вопрос при организации такой системы — какая цель преследуется и какие данные должны прослеживаться. Далее нужно определить контрольные точки, в которых будут совершаться определенные действия с ТС и АСУ. В этих точках сотрудники должны иметь терминалы сбора данных или мобильные принтеры, чтобы обеспечить присвоение или сканирование QR-кодов. Так информация будет попадать в учетную систему.

Терминалы сбора данных

В отличие от обычного телефона, который просто считывает информацию, ТСД делает дополнительную работу — обрабатывает данные и обменивается ими с учетной системой. Например, при проведении инвентаризации на терминал приходит задание, какие именно позиции нужно сканировать и проверить. А после сканирования терминал отправляет в учетную систему информацию о результатах [13].

ТСД — это мобильный мини-компьютер (рис. 2). Он гораздо удобнее, чем проводной сканер, который привязан к конкретному ПК или ноутбуку. Чтобы обеспечить обмен данными с базой данных, на ТСД можно настроить работу через Wi-Fi или через кабель, подключаясь к ПК перед выполнением задания или после него.

Программное обеспечение для ТСД. Без программного обеспечения (ПО) ТСД бесполе-



Рис. 2. Сканирование QR-кода терминалом сбора данных

зен. ПО необходимо для управления терминалом и обработки данных, заложенных в QR-код. Оно интегрирует терминал с базой данных, чтобы они работали в связке. Тогда ТСД является продолжением информационной системы и выполняет свою задачу: помогает быстро найти технику (имущество) связи, автоматизировать операции по учету, перемещению, приемке, отгрузке и любые другие.

Аналогом такого ПО может служить Mobile SMARTS от российского вендора Клеверенс. Mobile SMARTS — это платформа, на её основе созданы такие популярные продукты как «Склад 15» и «Магазин 15». Их можно доработать под нужды Минобороны России и использовать для автоматизации процессов обеспечения войск.

Заключение

В современном мире технологии блокчейн и QR-кодов активно внедряются в различные сферы деятельности, в том числе и в оборонную промышленность. Они позволят оптимизировать процессы снабжения войск ТС и АСУ, делая их более прозрачными, эффективными и безопасными.

Внедрение данных технологических решений в систему ТОС и АСУ ВС РФ позволит более рационально организовать процесс обеспечения войск, что позволит сократить время выполнения технологических операций. Данные усовершенствования приведут к количественному сокращению необходимого личного состава, привлекаемого на выполнение задач ТОС и АСУ, уменьшат количество совершаемых ошибок в ходе их вы-

полнения, а также позволят должностным лицам, отвечающим за учет и принимающим решение на обеспечение (дообеспечение) ТС и АСУ в режиме реального времени, достоверно знать фактическое наличие материальных средств на всех складах и в войсках. Кроме того, реализация предлагаемых решений значительно уменьшит бюрократическую нагрузку и снизит документооборот.

Недостатки и риски

Несмотря на очевидные преимущества, необходимо учитывать и недостатки внедрения этих технологий.

1. Затраты на внедрение: первоначальные инвестиции в блокчейн-инфраструктуру совместно с применением QR-кодов будут значительными, особенно для военных ресурсов с ограниченными бюджетами.

2. Сложность интеграции: внедрение новых технологий может потребовать изменения существующих процессов, что потенциально приведет к временным сбоям в работе.

3. Обеспечение кибербезопасности: хотя блокчейн и QR-коды сами по себе безопасны, они все равно подвержены кибератакам. Необходимо обеспечить защиту всей инфраструктуры от возможных уязвимостей, что также влечет за собой привлечение дополнительных ресурсов.

В целом использование технологий блокчейн и QR-кодов в системе снабжения войск ТС и АСУ является перспективным направлением развития оборонной промышленности. В мире растущей конкуренции великих держав и потенциала квантовых компьютеров для расшифровки традиционных мер безопасности блокчейн будет вполне оправданной инвестицией.

Этот обзор подчеркивает необходимость дальнейших исследований и практической апробации блокчейн и QR-технологий в военной сфере, что позволит выявить их потенциал в условиях современных конфликтов и сформировать на этой основе новые подходы к логистике и управлению системой ТОС и АСУ ВС РФ.

Список источников

1. Крачков А.А., Семенов С.С. Обобщенная модель системы снабжения воинских формирований техникой специального назначения //

Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 3–4 (153–154). С. 9–14.

2. Крачков А.А., Семенов С.С. Методика синтеза структуры системы снабжения техникой связи и автоматизированных систем управления // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 1–2 (163–164). С. 50–57.

3. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 2009. Available. URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (дата обращения: 23.04.2024).

4. Поставщик блокчейна SIMBA Chain получил 30 миллионов долларов от программы STRATFI BBC США. URL: <https://www.binance.com/ru/square/post/190489> (дата обращения: 23.04.2024).

5. Использование QR-кодов для привязки блокчейна к физическим вещам. URL: https://www.denso.com/global/en/driven-base/tech-design/blockchain_2/ (дата обращения: 23.04.2024).

6. ICBCT 2023 — 2023 5th International Conference on Blockchain Technology (2023) ACM International Conference Proceeding Series. 69 p.

7. Цыбко Ю.В. Что такое QR-код // Рабочая тетрадь № 3. «Активные ресурсы на пути самообучения»: УМК элективного курса для старшеклассников «Познание через самообучение». СПб.: Академия востоковедения, 2024. С. 45–46.

8. ГОСТ 27.507–2015. Надежность в технике. Запасные части, инструменты и принадлежности. Оценка и расчет запасов. М.: Стандартинформ, 2017. 95 с.

9. Дедюрин А.Б., Алексеева Г.А. Разработка ИС ведения учета материального, программного и технического оборудования на предприятии с использованием QR-кодов // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции: в 2-х томах, Кемерово, 08 апреля 2016 года. Том II. Кемерово: ООО «Западно-Сибирский научный центр», 2016. С. 39–40.

10. Косырев А.В., Крачков А.А. Принципы построения крупных логистических организаций и возможность их применения в интересах обеспечения войск техникой связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 10. С. 64–68.

11. Терешкина Т.Р., Назарова А.Н. Логистика складирования: учеб. пособие / ВШТЭ СПб-ГУПТД, СПб., 2017. 50 с.

12. Крачков А.А., Семенов С.С. Методика синтеза структуры системы снабжения техникой связи и автоматизированных систем управления // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 1–2 (163–164). С. 50–57.

13. Крачков А.А., Семенов С.С., Педан А.В., Федорова С.В. Модель снабжения воинских формирований техникой связи и автоматизированных систем управления // Сборник статей III Всероссийской научно-технической конференции, Анапа, 22–23 апреля 2021 года. Том 3. Анапа: Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис «ЭРА», 2021. С. 33–39.

Reference

1. Krachkov A.A., Semenov S.S. Generalized model of the supply system for military formations with special-purpose equipment // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2021. № 3–4 (153–154). Pp. 9–14.

2. Krachkov A.A., Semenov S.S. Methodology for synthesizing the structure of the communication equipment supply system and automated control systems // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2022. No 1–2 (163–164). Pp. 50–57.

3. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 2009. [Online]. Available. [Electronic resource] URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (date of access: 23.04.2024).

4. Blockchain vendor SIMBA Chain received \$30 million from the BBC STRATFI program in the USA. URL: <https://www.binance.com/ru/square/post/190489> (date of access: 23.04.2024).

5. The use of QR codes to link the blockchain to physical things. URL: https://www.denso.com/global/en/driven-base/tech-design/blockchain_2/ (date of access: 23.04.2024).

6. ICBCT 2023 — 2023 5th International Conference on Blockchain Technology (2023)

ACM International Conference Proceeding Series. 69 p.

7. Tsybko Yu.V. What is a QR code // Workbook No. 3. «Active resources on the path of self-learning»: the curriculum of the elective course for high school students «Cognition through self-study». St. Petersburg: Academy of Oriental Studies, 2024. Pp. 45–46.

8. GOST 27.507–2015. Reliability in engineering. Spare parts, tools, and accessories. Estimation and calculation of reserves. Moscow: Standartinform. 2017. 95 p.

9. Dedyurin A.B., Alekseeva G.A. Development of accounting systems for material, software and technical equipment at an enterprise using QR codes // Collection of materials of the II International Scientific and Practical Conference: in 2 vol., Kemerovo, April 08, 2016. Vol. II. Kemerovo: Limited Liability Company «West Siberian Scientific Center», 2016, Pp. 39–40.

10. Kosyrev A.V., Krachkov A.A. Principles of building large logistics organizations and the possibility of their use in the interests of providing troops with communications equipment // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2022. No 10. Pp. 64–68.

11. Tereshkina T.R., Nazarova A.N. Warehousing logistics: a textbook / HSE SPbGUPTD, St. Petersburg, 2017. 50 p.

12. Krachkov A.A., Semenov S.S. Methodology for synthesizing the structure of the communication technology supply system and automated control systems // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2022. No 1–2 (163–164). Pp. 50–57.

13. Krachkov A.A., Semenov S.S., Pedan A.V., Fedorova S.V. The model of supplying military formations with communication equipment and automated control systems // Collection of articles of III All-Russian scientific and technical conference, Anapa, April 22–23, 2021. Vol. 3. Anapa: Federal State Autonomous Institution «Military Innovation Technopolis «ЭРА», 2021. Pp. 33–39.

УДК 623.437.093

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_101

**ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИТЫ СПЕЦИАЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ
РАЦИОНАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ЗАЩИТОЙ УЯЗВИМЫХ ЗОН
С СОХРАНЕНИЕМ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ПОДВИЖНОСТИ**

**INCREASING THE PROTECTION OF A SPECIAL VEHICLE BY RATIONAL
DIFFERENTIATED PROTECTION OF VULNERABLE ZONES WHILE
MAINTAINING A HIGH LEVEL OF MOBILITY**

Канд. техн. наук В.Р. Эдигаров, В.С. Конев

Ph.D. V.R. Edigarov, V.S. Konev

Омский автобронетанковый инженерный институт

В статье представлены результаты исследования возможности повышения уровня защищенности специального автомобиля (СА). Разработан методический подход позволяющий обосновать увеличение живучести СА за счет рациональной дифференцированной защиты зон уязвимости и обеспечения высокого уровня подвижности. Представлено: порядок построения методики оценки живучести, включающий построение регрессионных зависимостей вероятности поражения СА от конструктивных свойств элементов защиты и факторов поражения по результатам повреждений, полученных в ходе предыдущих этапов использования СА; построение регрессионных зависимостей показателей подвижности СА от массогабаритных показателей элементов защиты; объединение полученных регрессионных зависимостей в модель живучести СА; синтез технических решений по разработке средств защиты с установленными характеристиками.

Ключевые слова: защищенность, специальный автомобиль, подвижность, элемент защиты зоны уязвимости, методика оценки живучести.

The article presents the results of a study of the possibility of increasing the level of protection of a special vehicle (SA). A methodological approach has been developed that allows justifying an increase in the survivability of a SA due to rational differentiated protection of vulnerable zones and ensuring a high level of mobility. The procedure for constructing a survivability assessment technique is presented, including constructing regression dependencies of the probability of SA damage from the design properties of protection elements and damage factors based on the results of damage received during previous stages of SA use, constructing regression dependencies of SA mobility indicators from the weight and size indicators of protection elements, combining the obtained regression dependencies into a SA survivability model, and synthesizing technical solutions for developing protection equipment with established characteristics.

Keywords: protection, special vehicle, mobility, element of protection of the vulnerable zone, survivability assessment method.

Специальный автомобиль (СА), в том числе с дополнительными средствами защиты, например бронированием отдельных зон, должен отвечать

определенным требованиям [1–7]. Нормативным документом, регламентирующим общие технические требования к броневаой защите, например

отдельных категорий специальных автомобилей, является ГОСТ 34282–2017. В нем четко зафиксированы характеристики броневой защиты, требования к материалам, конструктивные требования и маркировка. Приведена в этом документе и классификация применяемых в России классов (уровней) защиты. Российская классификация не идентична европейской, так как в основе такой классификации лежит стойкость к воздействию средств поражения, а наиболее распространенные в России типы стрелкового оружия существенно отличаются от европейских. Соответственно, будут различаться и классы защиты.

Как известно из многолетнего опыта создания защищенных транспортных средств специального назначения (ТССН), в том числе СА, с увеличением уровня защищенности неизменно растет масса СА, что отрицательно сказывается на его подвижности, а вместе с тем может снизить и общую эффективность [3, 5, 8–10]. Кроме того, для СА вопрос массы ограничивается грузоподъемностью, например шин, а также требованиями к опорной проходимости, к среднему удельному давлению на грунт.

Таким образом, уровень развития науки и техники не позволяет увеличивать защищенность СА в соответствии с существующими постоянно возрастающими требованиями без значительной потери подвижности, что ставит под сомнение эффективность СА, поэтому увеличение защищенности с учетом свойств подвижности становится важной научно-технической задачей, а её решение должно сопровождаться, прежде всего, оценкой подвижности СА.

Для оценки живучести СА наиболее рациональным критерием эффективности является вероятность непоражения (то есть обратная величина вероятности потери подвижности) в течение совершения передвижения между пунктами:

$$P = 1 - (1 - P_0)^{\lambda \cdot t},$$

где P_0 — вероятность поражения СА от единичного попадания боеприпаса;

λ — поток повреждений, выстр/час;

$t = 100 / V_{\text{ср}}$ — время нахождения СА на 100 км участке между пунктами, определяемое его подвижностью, ч;

$V_{\text{ср}}$ — подвижность, то есть средняя скорость СА по маршруту передвижения.

Поток повреждений зависит от интенсивности потока ведения огня (приведенной плотности огня), вероятности попадания и может быть записан как:

$$\lambda = P_{\Pi} \cdot \lambda_{\Sigma},$$

где P_{Π} — вероятность попадания (примем $P_{\Pi} = 0,7$);

λ_{Σ} — приведенная плотность ведения огня.

В связи с тем, что огонь по СА может вестись сверху, спереди, сбоку и сзади с различной интенсивностью, причем наименьшая интенсивность будет наблюдаться сзади, а слева и справа приблизительно одинаковой, необходимо условно разделить 3D-модель СА на проекции: фронтальную, боковую, заднюю и верхнюю.

Вероятность попадания в i -ю проекцию СА, при условии попадания, определится как матожидание попадания в проекцию:

$$\mu_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i},$$

где n_i — количество попаданий в i -ю проекцию; $\sum_{i=1}^k n_i$ — общее количество попаданий в СА;

k — количество проекций.

Каждая из перечисленных проекций имеет свой набор уязвимых зон. СА можно декомпозировать на совокупность основных уязвимых зон поражения, приводящих к потере подвижности:

- кабина (салон) экипажа;
- силовая установка (моторно-трансмиссионное отделение);
- колесный движитель;
- агрегаты трансмиссии;
- топливные баки и аккумуляторные батареи;
- перевозимый груз или смонтированное технологическое оборудование.

Аналогично определится условная вероятность попадания в j -ю зону поражения при условии попадания в i -ю проекцию СА, как матожидание попадания в зону поражения проекции:

$$v_j = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^l n_{ij}},$$

где n_{ij} — количество попаданий в j -ю зону i -й проекции СА;

$\sum_{j=1}^l n_{ij}$ — общее количество попаданий в i -ю проекцию СА;

l — количество зон поражения СА.

Вероятность поражения от единичного попадания боеприпаса в j -ю зону i -й проекции СА P_{pij} можно определить с помощью модели логистической регрессии, построенной по результатам анализа повреждений, полученных в ходе предыдущих воздействий на СА средств поражения:

$$P_{pij}(\mathbf{X}) = \frac{e^{\langle \mathbf{W}, \mathbf{X} \rangle}}{1 + e^{\langle \mathbf{W}, \mathbf{X} \rangle}},$$

где $\mathbf{W} = \{w_0, w_1, w_2, \dots, w_n\}$ — вектор весовых коэффициентов модели;

$\mathbf{X} = \{1, x_1, x_2, \dots, x_n\}$ — вектор факторов (предикторов) модели;

$\langle \mathbf{W}, \mathbf{X} \rangle = w_0 + w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n$ — скалярное произведение векторов;

n — число факторов (предикторов) модели.

В качестве факторов модели $\mathbf{X} = \{1, x_1, x_2, \dots, x_n\}$ выступают:

– условный калибр поразившего боеприпаса (например по ГОСТ 34282–2017);

– толщина определенного элемента защиты зоны уязвимости автомобиля;

– материал определенного элемента защиты зоны уязвимости автомобиля;

– расстояние от пробойны до центра элемента защиты зоны уязвимости СА;

– наличие противогранатных средств защиты (например, решетки);

– тип компоновки СА (капотная или бескапотная).

При этом целевой переменной регрессионного анализа выступит «событие обездвиживания СА вследствие попадания единичного боеприпаса», где 1 — повреждение от попадания, привело к полной потере подвижности; 0 — повреждение не привело к потере подвижности.

Таким образом, вероятность поражения СА от единичного попадания боеприпаса P_0 определится как сумма средневзвешенных значений вероятностей потери подвижности в результате нахождения СА в зоне поражения, где весами выступают соответствующие условные вероятности (матожидания) попадания в зону поражения и проекцию СА:

$$P_0 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^5 P_{pij} \cdot \mu_i \cdot \nu_j.$$

Очевидно, что увеличение толщины отдельных элементов защиты зон уязвимости существенно снижает подвижность СА (увеличивает время передвижения между пунктами маршрута передвижения, время преодоления маршрута), что увеличит количество попаданий в СА и с течением времени марша может привести к обратному результату — к снижению живучести.

Подвижность как среднюю скорость по представительному маршруту, в части увеличения массы отдельными элементами защиты уязвимых зон и изменения координат центра масс СА можно рассматривать как функцию от удельной мощности двигателя, угла поперечной статической устойчивости и распределения нагрузки на оси:

$$V_{cp} = F(N, \Theta, \{K_1, K_2, \dots, K_n\}) + V_0, \quad (1)$$

где V_0 — средняя скорость СА без дополнительной защиты;

$F(N, \Theta, \{K_1, K_2, \dots, K_n\}) + V_0$ — функция изменения средней скорости СА из-за изменения его массы и центра масс дополнительным бронированием;

$N = N_{уд0} \frac{m_0}{m_3}$ — относительное изменение

удельной мощности двигателя;

m_0, m_3 — масса СА без дополнительных элементов защиты и с дополнительными элементами защиты, соответственно;

$N_{уд0}$ — удельная мощность СА без дополнительных элементов защиты;

$$\Theta^0 = \frac{\text{tg } \Theta_0}{\text{tg } \Theta_3} = \frac{\frac{B}{2z_0}}{\frac{B}{2z_3}} = \frac{z_3}{z_0} \text{ — относительное изме-}$$

нение угла поперечной статической устойчивости;

z_0, z_3 — вертикальные координаты центра масс СА без дополнительных элементов защиты и с дополнительными элементами защиты, соответственно;

$\mathbf{K} = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ — вектор относительных изменений нагрузки на колеса i -й оси:

$$K_i = \frac{R_{i0}}{R_{i3}}, \quad (2)$$

где R_{i0}, R_{i3} — нагрузка на i -ю ось СА без дополнительных элементов защиты и с дополнительными элементами защиты, соответственно.

Таким образом, все перечисленные в формуле (1) показатели имеют зависимость от массы и координат элементов защиты уязвимых зон, что в общем виде можно записать как:

$$V_{cp} = F(N(N_{уд0}, \mathbf{M}), \Theta(\mathbf{M}, \mathbf{Z}), K(\mathbf{M}, \mathbf{L})) + V_0, \quad (3)$$

где $\mathbf{M} = \{m_0, m_1, \dots, m_n\}$ — вектор масс;

$\mathbf{Z} = \{z_0, z_1, \dots, z_n\}$ — вектор вертикальных координат центров масс;

$\mathbf{L} = \{l_0, l_1, \dots, l_n\}$ — вектор продольных координат центров масс;

$i = 0$ — соответствует СА без дополнительных элементов защиты;

$i \in [1, n]$ — соответствуют i -му элементу защиты зоны уязвимости;

$n \in N$ — число элементов защиты зон уязвимости СА.

Преобразуя выражения (1)–(3), получим зависимости значений факторов, влияющих на подвижность СА, от изменений массы СА и координат центра масс элементов защиты. Для удельной мощности:

$$N_{уд0} = N_{уд0} \frac{m_0}{m_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i} = N_{уд0} \frac{m_0}{\sum_{i=0}^{i=n} m_i},$$

где $N_{уд0}$ — удельная мощность СА без дополнительных элементов защиты;

m_0 — масса СА без элементов защиты;

$\sum_{i=1}^{i=n} m_i$ — суммарная масса элементов защиты;

m_i — масса i -го элемента защиты.

Для относительного угла поперечной статической устойчивости:

$$\Theta = \frac{\Theta_3}{\Theta_0} = \frac{m_0}{m_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i} + \frac{\sum_{i=1}^{i=n} m_i z_i}{z_0 (m_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i)} = \frac{\langle \mathbf{Z}, \mathbf{M} \rangle}{z_0 \sum_{i=0}^{i=n} m_i},$$

где Θ_0, Θ_3 — угол поперечной статической устойчивости СА без элементов защиты и с элементами защиты, соответственно;

z_0 — вертикальная координата центра масс СА без элементов защиты, $z_0 = z_3$, где z_3 — вертикальная координата центра масс СА с элементами защиты;

z_i — вертикальная координата центра масс i -го элемента защиты;

$\langle \mathbf{Z}, \mathbf{M} \rangle$ — скалярное произведение вектора вертикальных координат центров масс и вектора масс.

Для относительной нагрузки на переднюю ось С:

$$K_1 = \frac{R_{i0}}{R_{i3}} = \frac{m_0 \left(1 - \frac{l_0}{T}\right)}{\left(m_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i\right) \left(1 - \frac{1}{T} \cdot \frac{m_0 l_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i l_i}{m_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i}\right)} = \frac{m_0 \left(1 - \frac{l_0}{T}\right)}{\sum_{i=0}^{i=n} m_i - \frac{\langle \mathbf{M}, \mathbf{L} \rangle}{T}},$$

где R_{i0}, R_{i3} — нагрузка на переднюю ось СА без дополнительных элементов защиты и с дополнительными элементами защиты, соответственно;

l_0 — продольная координата центра масс СА без элементов защиты относительно передней оси («в стоке»);

l_i — продольная координата центра масс i -го элемента защиты;

T — колесная база: расстояние от передней оси до оси балансира задней тележки (до задней оси двухосного СА);

$\langle \mathbf{M}, \mathbf{L} \rangle$ — скалярное произведение вектора продольных координат центров масс и вектора масс.

Для относительной нагрузки на заднюю ось двухосного колесного СА:

$$K_2 = \frac{R_{20}}{R_{23}} = \frac{m_0 l_0}{m_0 l_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i l_i} = \frac{m_0 l_0}{\langle \mathbf{M}, \mathbf{L} \rangle},$$

где R_{20}, R_{23} — нагрузка на заднюю ось двухосного колесного СА без элементов защиты и с элементами защиты, соответственно.

Для получения частного вида функции (3) проводится линейный регрессионный анализ результатов, полученных имитационным моделированием движения СА по представительному маршруту с различными вариантами нагружения.

В то же время, величины нагрузки на оси K_i являются зависимыми между собой и могут быть выражены через массы и продольные координаты масс СА и элементов защиты зон уязвимости. С целью повышения точности регрессионной модели

один из зависимых факторов должен быть исключен. В этой связи достаточно оставить только K_1 .

Выводы

Таким образом, задача исследования сводится к поиску максимума целевой функции исследования (вероятности выполнения задачи на маршруте передвижения между пунктами):

$$P = 1 - \left(1 - \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^5 \frac{e^{\langle \mathbf{w}, \mathbf{x} \rangle}}{1 + e^{\langle \mathbf{w}, \mathbf{x} \rangle}} \cdot \mu_i \cdot v_j \right)^{\lambda \cdot \frac{100}{f(N, \Theta, K) + V_0}} \rightarrow \max. \quad (4)$$

Для построения методики оценки живучести, включающей представленные модели и зависимости, предполагается произвести следующее.

1. Построить регрессионные зависимости вероятности поражения СА от конструктивных свойств элементов защиты и факторов поражения по результатам повреждений, полученных в ходе предыдущих этапов использования СА.

2. Построить регрессионные зависимости показателей подвижности СА от массогабаритных показателей элементов защиты в соответствии с выведенными формулами.

3. Объединить полученные регрессионные зависимости в модель живучести СА, учитывающей подвижность, в соответствии с целевой функцией исследования (4).

4. Выполнить многофакторный анализ модели живучести. Получить значения аргументов модели живучести в точках (областях) максимума функции.

5. Синтезировать технические решения по разработке средств защиты с характеристиками, близкими к полученным значениям аргументов модели живучести.

6. Провести военно-техничко-экономическую оценку технических решений с помощью известных методов и методик.

Таким образом, разработанный методический подход позволит увеличить живучесть СА за счет рациональной дифференцированной защищенности зон уязвимости и обеспечения высокого уровня подвижности.

Список источников

1. Бархатов Г.С., Акумов А.В. Методический подход к определению тактико-технического потенциала и коэффициента технического уровня образцов военной автомобильной техники // Военная мысль. 2015. № 3. С. 26–34.
2. Шестаков В.А., Колтуков А.А. Бронированные колесные машины армий зарубежных стран. Воскресенск: «Воскресенская типография», 2013. 10 с.
3. Шевченко А.А. Проблемы и перспективы развития бронетанковой и автомобильной техники: Федеральный справочник. Оборонно-промышленный комплекс России 2009–2010. Вып. 6. М.: Центр стратегических программ, 2010. 226 с.
4. Ковальчук В.И. Автотранспорт в армии: современное состояние и тенденции развития // Военное искусство. 2020. № 45 (3). С. 12–25.
5. Иванов А.П. Современные технологии бронирования и защиты автотранспортных средств // Журнал военно-технических исследований. 2019. № 7 (1). С. 34–40.
6. Сидоров И.М., Павленко Д.М. Повышение мобильности автотранспортных средств в условиях городской войны // Военное обозрение. 2019. № 68 (2). С. 56–62.
7. Петренко Е.А. Автоматизация логистики военных перевозок: тенденции и перспективы // Научный вестник военных технологий. 2022. № 9 (4). С. 44–55.
8. Зарайский Д.А. Проблемные вопросы защищенности легкобронированной техники

воздушно-десантных войск // Известия ТулГУ. 2019. 209 с.

9. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования; под ред. В.А. Григоряна. М.: Радио Софт, 2008. 406 с.

10. Кудрявцева Н.С., Легкодух А.М., Матвоян А.П., Фанасова Е.И. Подходы к созданию особо прочных сталей для противопульной брони // Труды III Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». СПб.: АО «НПО Спецматериалов», 2000. 256 с.

11. Даниил Иринин. В России разработали броню для военных «КамАЗов». [Электронный ресурс]. URL: <https://lenta.ru/news/2023/11/26/v-rossii-razrabotali-bronyu-dlya-voennyh-kamazov/?ysclid=m9cfoxinjt242021255> (дата обращения: 11.12.2024).

12. Надежно, как в танке: армейские «КАМАЗы» и «Уралы» превратили в броневики. [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/ZWHR7qwZKma9DCeI?ysclid=m9cfvwr41i464374926> (дата обращения: 11.12.2024).

References

1. Barkhatov G.S., Akumov A.V. Methodological approach to determining the tactical and technical potential and the technical level coefficient of military automotive equipment // Military Thought. 2015. No 3. Pp. 26–34.

2. Shestakov V.A., Koltukov A.A. Armored wheeled vehicles of the armies of foreign countries. Voskresensk: «Voskresenskaya Printing House», 2013. 10 p.

3. Shevchenko A.A. Problems and prospects for the development of armored and automotive equipment: Federal reference book. Defense-industrial

complex of Russia 2009–2010. Issue. 6. M.: Center for Strategic Programs, 2010. 226 p.

4. Kovalchuk V.I. Motor transport in the army: current state and development trends // Military Art. 2020. No 45 (3). Pp. 12–25.

5. Ivanov A.P. Modern technologies for armoring and protecting vehicles // Journal of Military-Technical Research. 2019. No 7 (1). Pp. 34–40.

6. Sidorov I.M., Pavlenko D.M. Increasing the mobility of vehicles in urban warfare // Military Review. 2019. No 68 (2). Pp. 56–62.

7. Petrenko E.A. Automation of military transportation logistics: trends and prospects // Scientific Bulletin of Military Technologies. 2022. No 9 (4). Pp. 44–55.

8. Zaraysky D.A. Problematic issues of protection of lightly armored vehicles of the airborne troops // Izvestiya TuISV, 2019. 209 p.

9. Materials and protective structures for local and individual booking; edited by V.A. Grigoryan. M.: Publishing House Radio Soft, 2008. 406 p.

10. Kudryavtseva N.S., Legkodukh A.M., Matvosyan A.P., Fanasova E.I. Approaches to the creation of particularly strong steels for bulletproof armor // Proceedings of the Third All-Russian Scientific and Practical Conference «Actual Problems of Protection and Security». St. Petersburg, NPO Spetsmaterialov. 2000. 256 p.

11. Daniil Irinin. In Russia developed armor for military «KamAZ». [Electronic resource]. URL: <https://lenta.ru/news/2023/11/26/v-rossii-razrabotali-bronyu-dlya-voennyh-kamazov/?ysclid=m9cfoxinjt242021255> (date of reference: 11.12.2024).

12. Reliable as in a tank: army «KAMAZ» and «Ural» turned into armored cars. [Electronic resource]. URL: <https://dzen.ru/a/ZWHR7qwZKma9DCeI?ysclid=m9cfvwr41i464374926> (date of reference: 11.12.2024).

УДК 623.4

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_107

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ПРЕДМЕТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВЗРЫВА

RESEARCH OF LOCALIZATION OF EXPLOSIVE OBJECTS USING DEVICES FOR EXPLOSION PROTECTION

А.С. Пучков, канд. техн. наук А.И. Спивак, С.Н. Васильева, А.А. Сизов

A.S. Puchkov, Ph.D. A.I. Spivak, S.N. Vasileva, A.A. Sizov

НПО Спецматериалов

Рассмотрены вопросы использования устройств для защиты от взрыва для локализации в местах временного хранения и при транспортировании к месту уничтожения в полигонных условиях взрывоопасных предметов, обнаруженных в ходе инженерной очистки местности и гуманитарного разминирования. Экспериментальным методом подтверждено обеспечение сохранности пола помещения или кузова транспортных средств, эквивалентного стальному листу толщиной 8 мм, при несанкционированных срабатываниях в устройствах для защиты от взрыва расчетных зарядов тринитротолуола (ТНТ). Установлено, что устройства для защиты от взрыва могут быть использованы для изоляции взрывоопасных предметов (ВОП), обнаруженных в ходе инженерной очистки местности или гуманитарного разминирования, при их временном хранении и транспортировании к месту уничтожения в полигонных условиях.

Ключевые слова: заряд взрывчатого вещества, устройство для защиты от взрыва, воздушная ударная волна, избыточное давление, прогиб стального листа.

The issues of using explosion protection devices for localization in places of temporary storage and during transportation to the site of destruction in testing grounds of explosive objects discovered during engineering clearance of the area and humanitarian demining are considered. The experimental method has confirmed the safety of the floor of a room or the body of a vehicle, equivalent to a steel sheet 8 mm thick, in the event of unauthorized activation of devices for protection against the explosion of calculated TNT charges. It has been established that explosion protection devices can be used to isolate explosive substances discovered during engineering clearance of an area or humanitarian demining, during their temporary storage and transportation to the site of destruction in landfill conditions.

Keywords: explosive charge, explosion protection device, air shock wave, overpressure, steel sheet deflection.

В современных условиях проведения специальной военной операции, наличия региональных военных конфликтов, совершения противоправных актов террористической направленнос-

ти с применением взрывоопасных предметов (ВОП) особую актуальность приобретает вопрос очистки местности от ВОП [1] подготовленными специалистами [2], в том числе при проведении

гуманитарного разминирования, с использованием специализированной техники [3]. В этих условиях широкое применение получили устройства для защиты от взрыва (УЗВ), предназначенные для решения задач по изоляции ВОП с последующим их уничтожением [4].

Одними из наиболее эффективных отечественных мобильных УЗВ являются изделия «Фонтан», разработки и производства АО «НПО Спецматериалов», которые подтвердили свои высокие защитные свойства при локализации оболочечных и безоболочечных зарядов взрывчатого вещества (ВВ), а также усиленных зарядов ВВ [5, 6], в том числе под водой [7, 8].

УЗВ «Фонтан» снижают до минимума человеческие жертвы и разрушения за счет эффективного подавления фугасного, осколочно-го, термического и термобарического действия взрывов размещенных в них ВОП за счет уникальных амплитудно-частотных и релаксационных характеристик специального многофазного диспергента, являющегося основной рабочей средой изделия [9–11].

Актуальной задачей, связанной с использованием подобных устройств, является исследование бризантного, фугасного действия зарядов взрывчатых веществ, размещенных в них, на подстилающую поверхность с целью оценки возможности использования их внутри помещений или на транспортных средствах.

Для оценки бризантного, фугасного действия зарядов взрывчатых веществ, размещенных в УЗВ, были проведены исследования методом

подрыва заряда ТНТ массой 0,5 кг с использованием УЗВ «Фонтан-1» модели 05К [12]. Вид УЗВ «Фонтан-1» модели 05К представлен на рис. 1, а его характеристики — в табл. 1.

Для имитации воздействия взрыва на пол помещения или транспортных средств подрывы зарядов ТНТ проводились на стальном листе размерами 0,8×0,8 м, толщиной 8 мм, установленном на расстоянии 0,3 м над грунтом. После каждого опыта производилась замена стального листа, кроме серии 5 опытов, когда листы использовались повторно.

Воздействие на пол оценивалось по величине остаточного прогиба стального листа, измеренного в двух направлениях — по диагонали и параллельно стороне листа, как показано на рис. 2.

Для подтверждения факта штатного срабатывания УЗВ, а именно снижения уровня избы-



Рис. 1. Вид устройства для защиты от взрыва «Фонтан-1» модели 05К

Таблица 1

Характеристики устройства защиты от взрыва «Фонтан» модели 05К

Модель изделия	Наружные габаритные размеры, мм	Размеры внутренней полости, мм	Внутренний объем не более, куб. дм	Масса не более, кг	Нормативная масса локализуемого заряда ТНТ, кг
«Фонтан-1» модели 05К	440×440×440	220×220×180	10	30	0,5

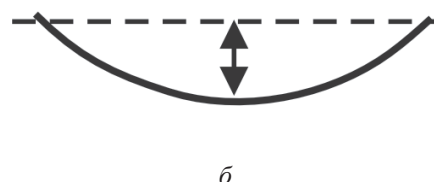
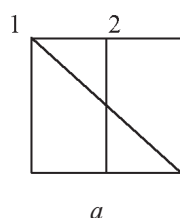


Рис. 2. Схема определения величины остаточного прогиба стального листа по направлению а: 1 — в направлении диагонали стального листа, 2 — параллельно стороне стального листа; б — абсолютной величине

точного давления во фронте ударной волны на фиксированном расстоянии до уровня не более 50 кПа, с помощью пьезоэлектрических датчиков давления ПД-7-1,5М цифровым многоканальным осциллографом на базе персонального компьютера осуществлялась регистрация уровня избыточного давления во фронте воздушной ударной волны (ВУВ) [12]. Схема расположения датчиков давления относительно заряда ВВ и УЗВ «Фонтан-1» модели 05К представлена на рис. 3.

Исследование включало серию экспериментов, а именно:

- открытый подрыв заряда ТНТ на стальном листе;
- открытый подрыв заряда ТНТ, приподнятого над стальным листом;

- подрыв заряда ТНТ в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К на стальном листе;
- подрыв заряда ТНТ в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К без крышки на стальном листе;
- подрыв заряда ТНТ в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К, приподнятом над стальным листом;
- два подрыва заряда ТНТ в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К на одном стальном листе.

Вид УЗВ «Фонтан-1» модели 05К перед подрывом заряда ТНТ представлен на рис. 4.

Условия проведения экспериментов представлены в табл. 2.

Кинограммы открытого подрыва заряда ТНТ массой 0,5 кг и подрыва аналогичного заряда ТНТ, размещенного в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К, представлены на рис. 5 и 6.

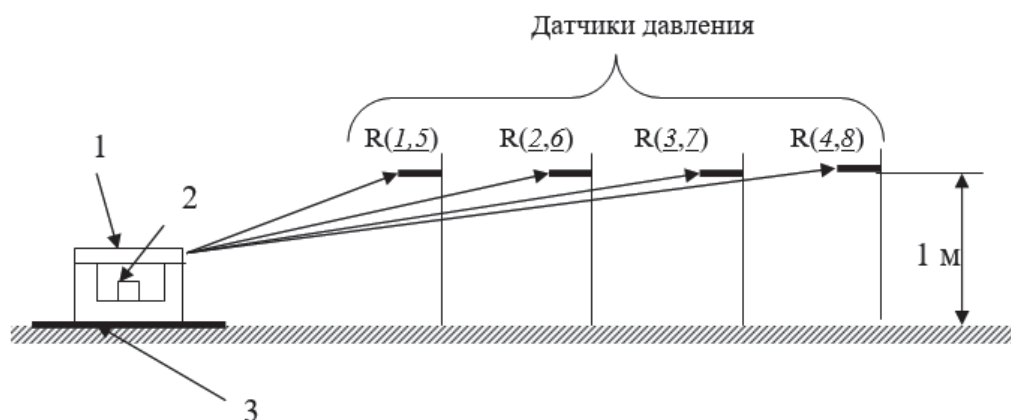


Рис. 3. Схема расположения (вид сбоку) заряда, устройства для защиты от взрыва «Фонтан-1» модели 05К и датчиков давления: 1 — устройство для защиты от взрыва «Фонтан-1» модели 05К; 2 — заряд ТНТ; 3 — плита

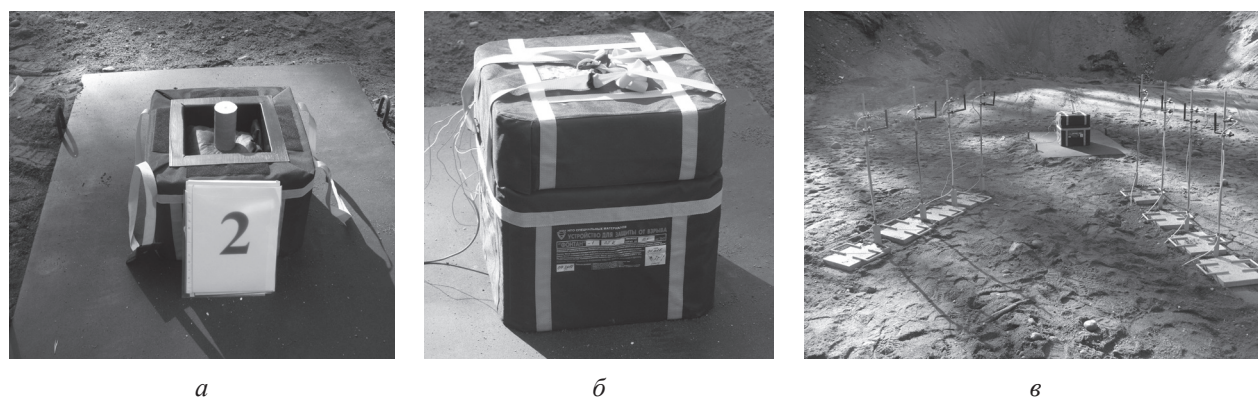
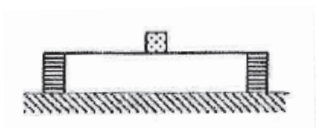
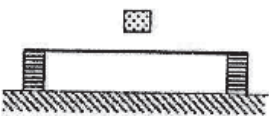
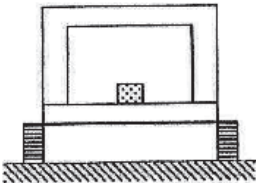
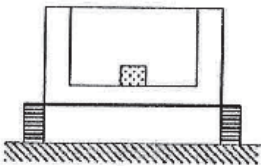
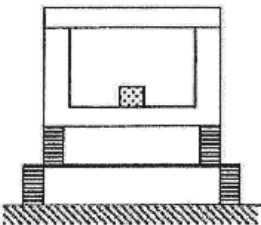
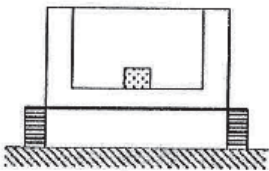


Рис. 4. Вид заряда ТНТ массой 0,5 кг перед подрывом с использованием устройства для защиты от взрыва «Фонтан-1» модели 05К: а — вид заряда ТНТ массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К; б — вид УЗВ «Фонтан-1» модели 05К с зарядом ТНТ массой 0,5 кг; в — вид УЗВ «Фонтан-1» модели 05К с зарядом ТНТ массой 0,5 кг и измерительных цепей

Таблица 2

Условия проведения экспериментов

№ п/п	Условное обозначение эксперимента	Схема проведения эксперимента	Условие проведения эксперимента
1	Серия опытов 1		Открытый подрыв заряда TNT массой 0,5 кг, расположенного на стальном листе 0,8×0,8 м толщиной 8 мм в его центре. Стальной лист расположен на высоте 0,3 м над грунтом
2	Серия опытов 2		Открытый подрыв заряда TNT массой 0,5 кг на высоте 0,1 м от стального листа 0,8×0,8 м толщиной 8 мм. Стальной лист расположен на высоте 0,3 м над грунтом
3	Серия опытов 3		Подрыв заряда TNT массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К, установленном на стальном листе 0,8×0,8 м толщиной 8 мм. Стальной лист расположен на высоте 0,3 м над грунтом
4	Серия опытов 4		Подрыв заряда TNT массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К без крышки, установленном на стальном листе 0,8×0,8 м толщиной 8 мм. Стальной лист расположен на высоте 0,3 м над грунтом
5	Серия опытов 5		Подрыв заряда TNT массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К, установленном над стальным листом 0,8×0,8 м толщиной 8 мм на высоте 0,12 м. Стальной лист расположен на высоте 0,3 м над грунтом
6	Серия опытов 6		Повторный подрыв заряда TNT массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан» модели 05К без крышки, установленном на стальном листе 0,8×0,8 м толщиной 8 мм. Стальной лист расположен на высоте 0,3 м над грунтом. Стальные листы использованы повторно после серии опытов 4

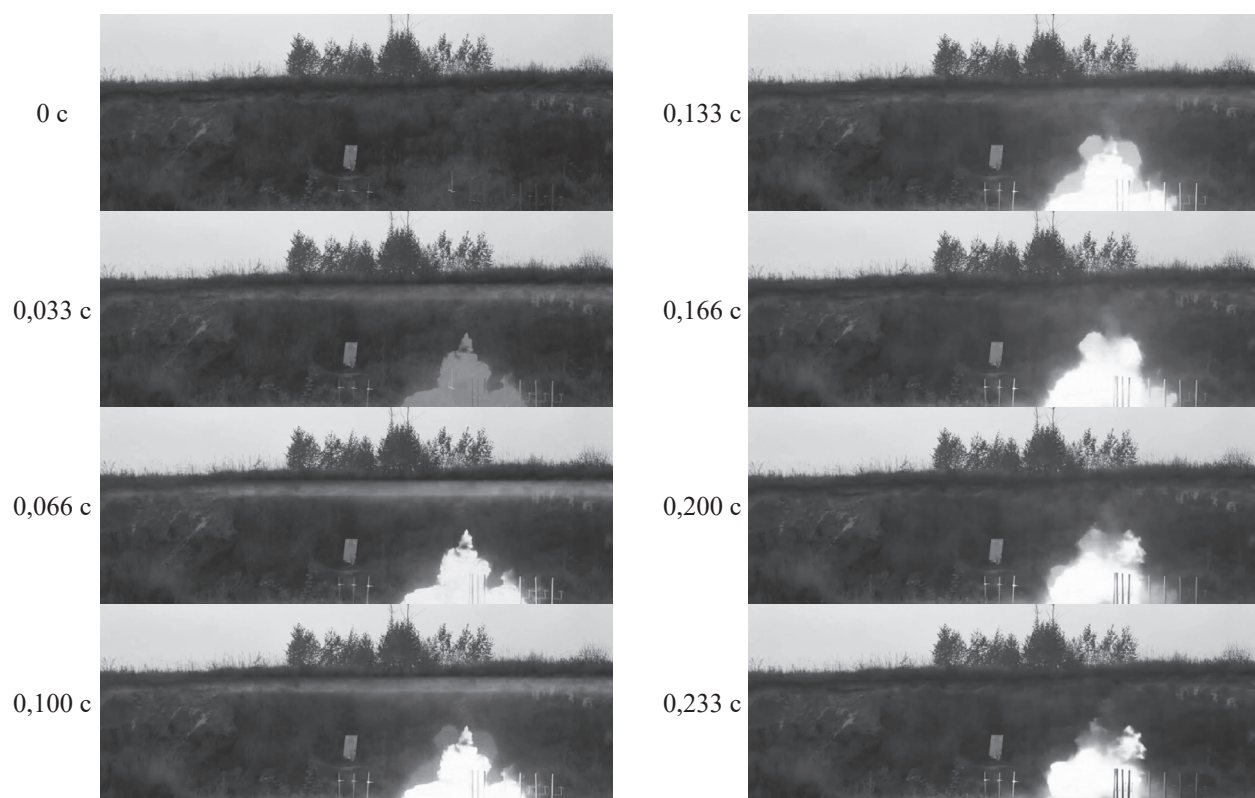


Рис. 5. Кинограмма подрыва открытого заряда ТНТ массой 0,5 кг

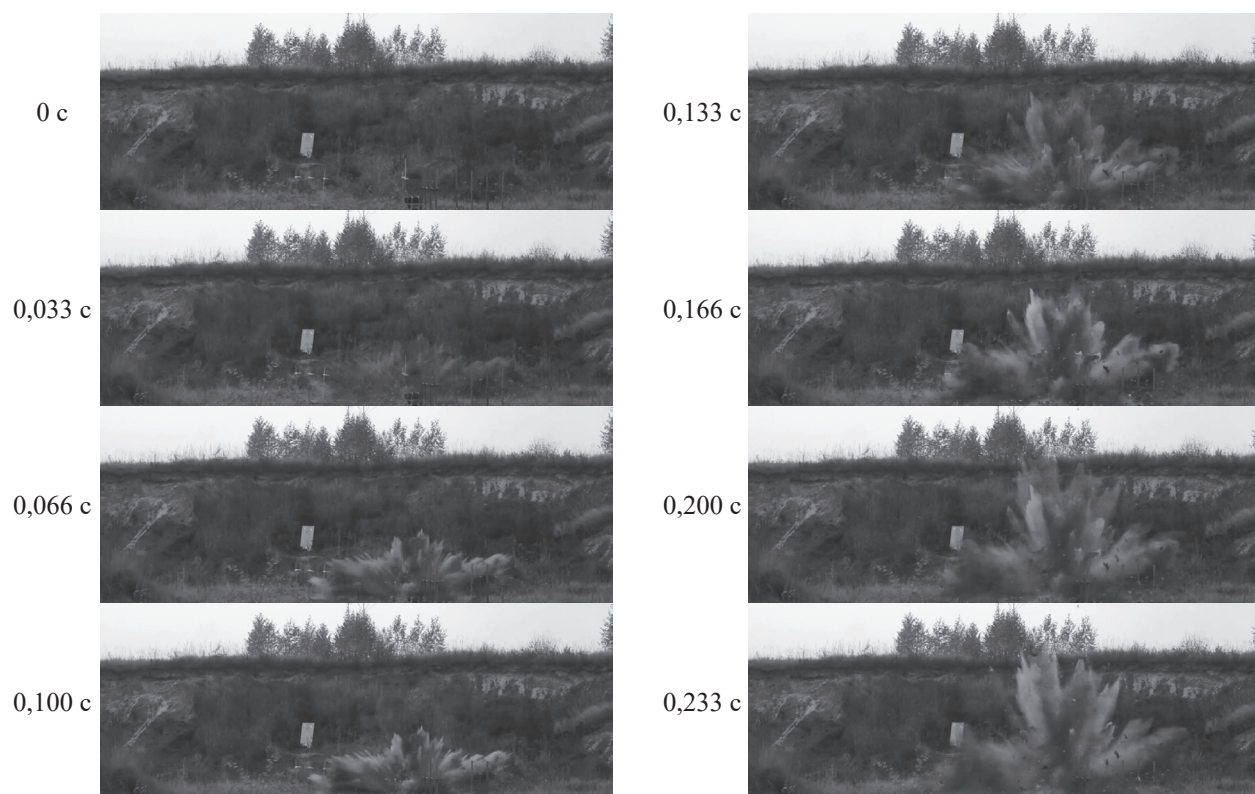


Рис. 6. Кинограмма подрыва заряда ТНТ массой 0,5 кг с использованием устройства для защиты от взрыва «Фонтан-1» модели 05К

В результате обработки экспериментальных данных [13] получены статистические модели зависимостей избыточного давления во фронте ВУВ и импульса давления от приведенного расстояния с использованием метода наименьших квадратов. При этом приведенное расстояние:

$$R^* = R / m^{\frac{1}{3}},$$

где R^* — приведенное расстояние;

m — эквивалентная масса ВВ;

R — расстояние от точки подрыва.

Было рассмотрено несколько видов функций $y = f(x, a, b, \dots)$ и выбрана функция, для которой суммарная погрешность $\sum_{i=1}^n [f(x_i, a, b, \dots) - y_i]^2$ оказалась минимальной.

Вид статистических моделей зависимостей избыточного давления во фронте ВУВ от приведенного расстояния представлен в табл. 3.

Зависимости избыточного давления во фронте ВУВ при взрыве локализованного заряда

ТНТ в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К от приведенного расстояния представлены на рис. 7.

Вид статистических моделей зависимостей импульса давления во фронте ВУВ от приведенного расстояния представлен в табл. 4.

Зависимости импульса давления во фронте ВУВ при взрыве локализованного заряда ТНТ в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К от приведенного расстояния представлены на рис. 8.

Анализ результатов, представленных на рис. 5–8 и в табл. 3 и 4, показывает, что УЗВ «Фонтан-1» модели 05К во всех экспериментах сработали штатно, что подтверждается снижением уровня избыточного давления во фронте ВУВ до заданного уровня. В связи с этими обстоятельствами, все измерения прогиба стальных листов в соответствии со схемой, представленной на рис. 2, относятся к разряду счетных и были использованы для исследования.

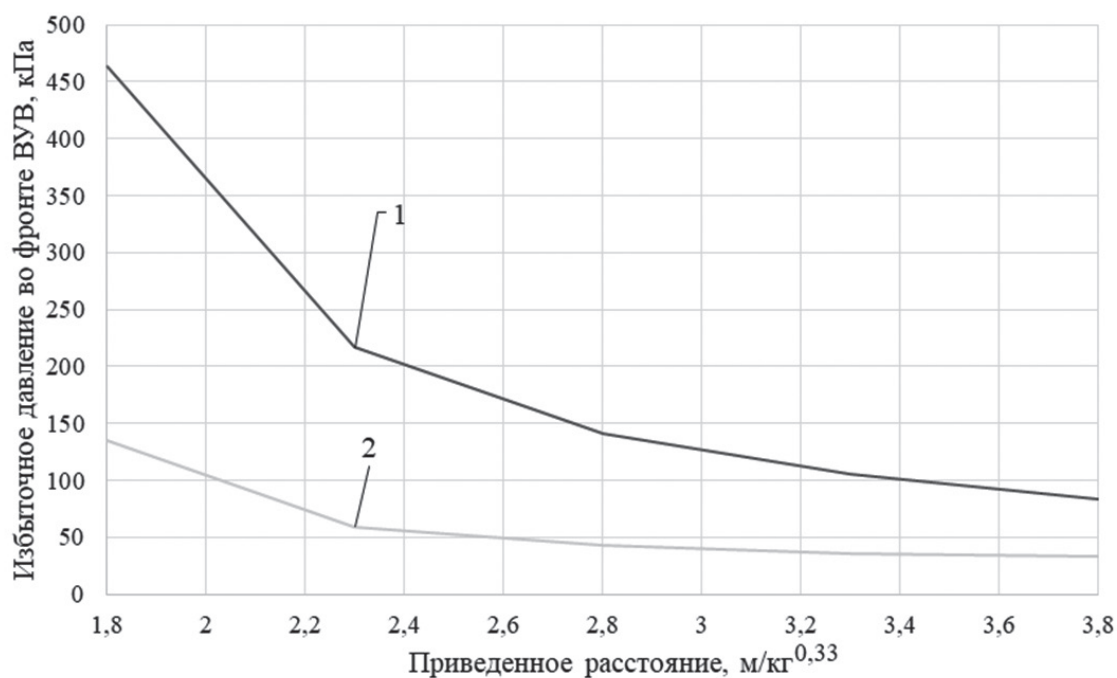
Вид измерения прогиба стального листа после одного из экспериментов представлен на рис. 9.

Таблица 3

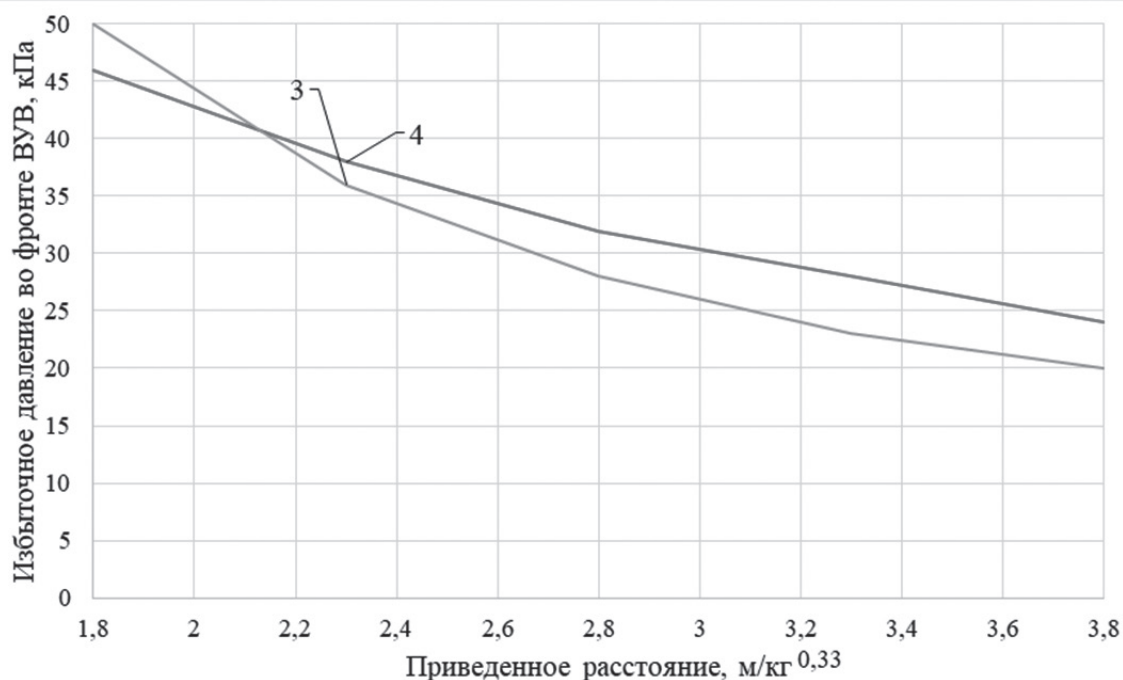
Вид статистических моделей зависимостей избыточного давления во фронте ВУВ от приведенного расстояния

№ п/п	Условие проведения эксперимента	Вид статистической модели	Коэффициенты модели		Среднее отклонение, %	Средне-квадратическое отклонение	Коэффициент корреляции
			a	b			
1	Открытый подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг на высоте 0,1 м от стального листа (Серия опытов 2)	$Y = a / (b + x)$	205,825	–1,355	5	0,0003	0,996
2	Подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К (Серия опытов 3)	$Y = a / (b + x)$	103,491	0,429	2	0,0074	0,994
3	Подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К без крышки (Серия опытов 4)	$Y = a x / (b + x)$	19,376	–1,544	2	0,0008	0,995
4	Подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К (Серия опытов 5)	$Y = a / (b + x)$	64,145	–0,523	2	0,0006	0,999

Примечание: область определения аргумента от 1,886 до 3,770 м/кг^{0,33}



а



б

Рис. 7. Зависимости избыточного давления во фронте ВУВ от приведенного расстояния.

а: 1 — открытый подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг,

2 — подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К без крышки;

б: 3 — подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К, установленном на подставке;

4 — подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К

Таблица 4

Вид статистических моделей зависимостей импульса давления от приведенного расстояния

№ п/п	Условие проведения эксперимента	Вид статистической модели	Коэффициенты модели		Среднее отклонение, %	Средне-квадратическое отклонение	Коэффициент корреляции
			a	b			
1	Открытый подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг на высоте 0,1 м от стального листа (Серия опытов 2)	$Y = a \exp(b / x)$	28,657	2,2865	4	0,050	0,978
2	Подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К (Серия опытов 3)	$Y = a + bx$	38,541	-4,885	2	0,441	0,991
3	Подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К без крышки (Серия опытов 4)	$Y = a + b / x$	14,889	44,456	1	0,358	0,997
4	Подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в УЗВ «Фонтан-1» модели 05К (Серия опытов 5)	$Y = a + b / x$	11,320	29,589	1	0,164	0,998

Примечание: область определения аргумента от 1,886 до 3,770 м/кг^{0,33}

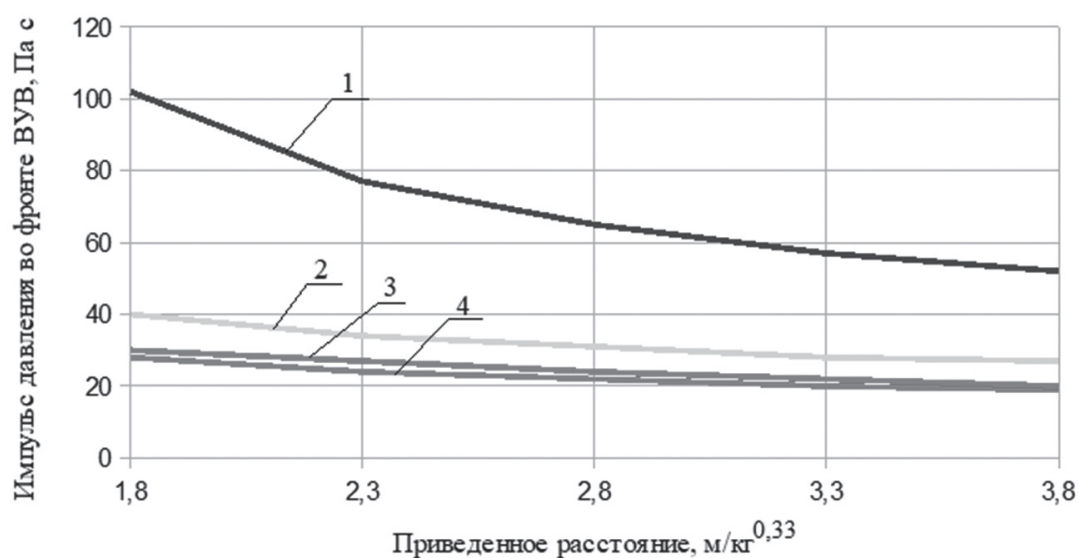


Рис. 8. Зависимости импульса давления во фронте ВУВ от приведенного расстояния:

1 — открытый подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг; 2 — подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в изделии «Фонтан-1» модели 05К без крышки; 3 — подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в изделии «Фонтан-1» модели 05К, установленном на подставке; 4 — подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в изделии «Фонтан-1» модели 05К



а



б

Рис. 9. Вид измерения величины остаточного прогиба стального листа по диагонали (а) и параллельно стороне листа (б) после подрыва заряда ТНТ

В результате открытого подрыва заряда ТНТ массой 0,5 кг, расположенного на стальном листе 0,8×0,8 м толщиной 8 мм в его центре, в стальном листе образовалась сквозная пробоина размерами 250×100 мм с фрагментацией материала листа, что подтверждает возможность повреждения пола помещения или транспортного средства нелокализованным зарядом ТНТ.

Экспериментальные значения величин остаточного прогиба стального листа для серий опытов представлены в табл. 5.

Анализ результатов, представленных в табл. 5, показывает, что во всех случаях использования УЗВ «Фонтан-1» модели 05К при подрыве в нем заряда ТНТ массой 0,5 кг отмечается увеличение величины остаточного прогиба стального листа в направлении диагонали в 1,6...2 раза, в направлении стороны — в 1,3...1,6 раза в сравнении с открытым приподнятым на 0,1 м над стальным листом аналогичным зарядом ТНТ. УЗВ «Фонтан-1» модели 05К обеспечивает сохранность пола помещения или транспортного средства в соответствии с эквивалентом по стальному листу толщиной 8 мм при подрыве локализованного заряда ТНТ массой 0,5 кг, тогда как подрыв аналогичного заряда ТНТ, размещенного на

стальном листе, приводит к его разрушению. Следует отметить, что размещение УЗВ «Фонтан-1» модели 05К на подставках высотой 0,12 м над стальным листом не оказывает значимого влияния на величину прогиба листа в сравнении с экспериментами, когда УЗВ «Фонтан-1» серии 05К размещался непосредственно на стальном листе. УЗВ «Фонтан-1» модели 05К также обеспечивает сохранность пола помещения или транспортного средства при подрыве заряда ТНТ массой 0,5 кг в случае отсутствия верхней крышки, при этом отмечаются повышенные уровни избыточного давления во фронте ВУВ и импульса давления (рис. 7 и 8), а также при повторном подрыве с двухкратным использованием стального листа.

Таким образом, УЗВ серии «Фонтан» обеспечивают сохранность пола помещения или транспортных средств, соответствующего по эквиваленту стальному листу толщиной 8 мм, при несанкционированных срабатываниях в них расчетных зарядов ТНТ и могут быть использованы для временной изоляции обнаруженных ВОП в ходе инженерной очистки местности или гуманитарного разминирования или их транспортирования к месту уничтожения в полигонных условиях.

Таблица 5

Величины остаточных прогибов стальных листов после экспериментов

№ п/п	Направление измерения	Величина остаточного прогиба стального листа, см				
		номер серии опытов				
		2	3	4	5	6
1	В направлении диагонали стального листа	9,0	15,0	17,0	15,0	18
2	В направлении, параллельном стороне стального листа	5,3	7,8	8,5	7,0	8,0

Список источников

1. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Васильев В.Д. и др. К вопросу организации работ по очистке местности от взрывоопасных предметов после чрезвычайных происшествий на объектах хранения боеприпасов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2012. № 3–4. С. 20–30.

2. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дунилов К.К. и др. Пути повышения эффективности подготовки специалистов по осуществлению разведки и нейтрализации минно-взрывных устройств // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2011. С. 68–71.

3. Сильников М.В., Спивак А.И., Пугачев А.Н., Сазыкин А.М. К вопросу разработки специализированной техники обеспечения разминирования и выполнения специальных задач // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2015. № 3 (87). С. 85–90.

4. Сильников М.В. Технические средства предотвращения и противодействия терроризму // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2003. № 1–2. С. 3–7.

5. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. К вопросу снижения фугасного действия взрыва устройствами для защиты от взрыва «Фонтан» при срабатывании усиленных зарядов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 5–6. С. 47–54.

6. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. К вопросу исследования закономерностей снижения уровня избыточного давления во фронте воздушной ударной волны устройствами для защиты от взрыва «Фонтан» // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 9–10. С. 61–64.

7. Сильников М.В., Гук И.В., Михайлин А.И., Шишкин В.Н. Экспериментальное и теоретическое исследование эффективности действия технических устройств на основе гетерогенной двухфазной среды для подавления поражающих факторов подводного взрыва // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2018. № 1 (101). С. 59–68.

8. Сильников М.В., Михайлин А.И., Шишкин В.Н., Гук И.В. Экспериментальное исследование эффективности действия технических средств на основе гетерогенной двухфазной среды для защиты от подводного взрыва // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 5–6 (119–120). С. 58–65.

9. Сильников М.В., Васильев Н.Н., Ермолаев В.А., Михайлин А.И. Об оценке эффективности модульных локализаторов взрыва // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2004. № 9–10. С. 49–53.

10. Сильников М.В., Васильев Н.Н., Михайлин А.И. Экспериментальное определение защитных характеристик модульных локализаторов взрыва // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2003. № 3–4. С. 83–85.

11. Михайлин А.И., Спивак А.И., Чернышов М.В. и др. Разработка и испытания комбинированных средств локализации поражающих факторов взрыва с эффектом направленного взрыва // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2011. № 7–8. С. 9–16.

12. Сильников М.В., Спивак А.И., Васильев Н.Н. и др. Экспериментальное исследование снижения фугасного действия взрыва устройствами защиты серии «Фонтан» при срабатывании усиленных зарядов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 11–12. С. 28–36.

13. Научно-технический отчет «Разработка теоретических основ и экспериментальное исследование новых материалов на основе гетерогенных сред для использования в новом поколении систем защиты от взрыва. Создание новых многофазных гетерогенных материалов для использования в системах защиты от взрыва». Шифр «Экран». СПб.: АО «НПО Спецматериалов», 2004. 75 с.

References

1. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Vasiliev V.D. et al. On the issue of organizing work to clear the area from explosive objects after emergency incidents

at ammunition storage facilities // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2012. No 3–4. Pp. 20–30.

2. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Dunilov K.K. et al. Ways to increase the efficiency of training specialists in reconnaissance and neutralization of mine-explosive devices. // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2011. No 3–4. Pp. 68–71.

3. Silnikov M.V., Spivak A.I., Pugachev A.N., Sazykin A.M. On the issue of developing specialized equipment for ensuring mine clearance and performing special tasks // Izvestia Rossiiskoi akademii raketnih i artilleriiskih nauk. 2015, No 3 (87). Pp. 85–90.

4. Silnikov M.V. Technical means of preventing and countering terrorism // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2003. No 1–2. Pp. 3–7.

5. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Dmitriev V.Ya. et al. On the issue of reducing the high-explosive effect of an explosion using «Fontan» explosion protection devices when amplified charges are triggered // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2014. No 5–6. Pp. 47–54.

6. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Dmitriev V.Ya. et al. On the issue of studying the patterns of reducing the level of excess pressure in the front of an air shock wave using devices for protection against explosions «Fontan» // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2014. No 9–10. Pp. 61–64.

7. Silnikov M.V., Guk I.V., Mikhaylin A.I., Shishkin V.N. Experimental and theoretical investigation of efficiency of technical devices based on heterogeneous two-phase medium for mitigation of underwater explosion lethal factor // Izvestia RARAN. 2018. No 1 (101). Pp. 59–68.

8. Silnikov M.V., Guk I.V., Mikhaylin A.I., Shishkin V.N. Experimental study of efficiency of technical means based on heterogeneous two-phase environment for protection from underwater explosion // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2018. No 5–6 (119–120). Pp. 58–65.

9. Silnikov M.V., Vasiliev N.N., Ermolaev V.A., Mikhailin A.I. On assessing the effectiveness of modular explosion localizers // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2004. No 9–10. Pp. 49–53.

10. Silnikov M.V., Vasiliev N.N., Mikhailin A.I. Experimental determination of the protective characteristics of modular explosion localizers // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2003. No 3–4. Pp. 83–85.

11. Mikhailin A.I., Spivak A.I., Chernyshov M.V. et al. Development and testing of combined means of localizing the damaging factors of an explosion with the effect of a directed explosion // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2011. No 7–8. Pp. 9–16.

12. Silnikov M.V., Spivak A.I., Vasiliev N.N. et al. Experimental study of the reduction of the high-explosive effect of an explosion using protection devices of the «Fontan» series when amplified charges are triggered // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2013. No 11–12. Pp. 28–36.

13. Scientific and technical report «Development of theoretical foundations and experimental research of new materials based on heterogeneous media for use in a new generation of explosion protection systems. Creation of new multiphase heterogeneous materials for use in explosion protection systems». Code «Screen». St. Petersburg: JSC NPO Spetsmaterialov, 2004. 75 p.

УДК 621.39

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_118

**СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ПОВРЕЖДЕННОЙ
ТЕХНИКИ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
И ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

**A METHOD OF CONDUCTING TECHNICAL RECONNAISSANCE
OF DAMAGED COMMUNICATIONS EQUIPMENT
AND AUTOMATED CONTROL SYSTEMS USING UNMANNED AERIAL
VEHICLES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY**

Е.П. Манилюк

E.P. Maniliuk

Военная академия связи им. С.М. Буденного

В статье рассматривается инновационный способ проведения технической разведки поврежденной техники связи и автоматизированных систем управления (ТС и АСУ) с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и технологии искусственного интеллекта (ИИ). Проведен анализ современных угроз и средств воздействия противника на ТС и АСУ. Выявлены основные факторы, затрудняющие восстановление техники в боевых условиях. Представленный способ позволяет проводить дистанционный мониторинг технического состояния поврежденной ТС и АСУ в зонах повышенной опасности без присутствия личного состава. Функциональные возможности способа включают: автоматическую классификацию повреждений по ключевым параметрам, анализ данных в реальном времени и формирование рекомендаций по восстановлению. Практическим преимуществом способа являются сокращение времени оценки повреждений.

Ключевые слова: восстановление, техника связи, техническая разведка, БПЛА, технологии искусственного интеллекта.

The article examines an innovative method for conducting technical reconnaissance of damaged communications equipment and automated control systems using unmanned aerial vehicles (UAVs) and artificial intelligence (AI) technology. The study analyzes modern threats and enemy countermeasures against these systems, identifying the main factors that complicate equipment restoration in combat conditions. The proposed method allows for remote monitoring of the technical condition of damaged communications and control systems in high-risk areas without requiring personnel presence. Its functional capabilities include automatic damage classification based on key parameters, real-time data analysis, and generation of recovery recommendations. The practical advantages of the method include reduced time for damage assessment compared to traditional methods and minimized risks to personnel. The developed solution is protected by a Russian patent and is currently undergoing field testing.

Keywords: recovery, communication technology, technical intelligence, UAVs, artificial intelligence technologies.

В современных условиях ведения боевых действий оперативное восстановление поврежденной техники связи и автоматизированных систем управления (ТС и АСУ) становится критически важным для обеспечения управляемости войск и выполнения боевых задач. Традиционные подходы к проведению технической разведки [1, 2], требующие непосредственного участия специалистов, зачастую неприменимы в условиях активных боевых действий, где существует высокий риск для сил и средств групп технической разведки из-за минирования местности, обстрелов, воздействий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или других угроз.

Применение БПЛА в сочетании с передовыми технологиями анализа данных позволяет решить эти проблемы. БПЛА способны быстро и безопасно обследовать поврежденную технику в зонах повышенной опасности, передавать информацию в реальном времени и проводить предварительный анализ состояния оборудования. Это значительно сокращает время на принятие решений по восстановлению систем, что особенно важно в условиях быстро меняющейся оперативной обстановки [3, 4].

В современных конфликтах, где ключевую роль играют высокотехнологичные системы связи и управления, предложенный подход к технической разведке становится неотъемлемой частью обеспечения боеспособности подразделений.

Анализ средств разведки и поражения противником [7] позволяет сделать выводы, что в результате использования противником современных средств воздействия улучшился процесс вскрытия и поражения элементов системы связи, увеличилось число пораженной ТС и АСУ и характер повреждений ТС и АСУ в сторону увеличения сильных повреждений и безвозвратных потерь, техническая разведка и эвакуация поврежденной ТС и АСУ проводится неэффективно, с большими временными потерями.

Основными, выявленными в ходе анализа особенностями современных операций, влияющими на эффективность восстановления ТС и АСУ, являются [8, 9]:

- использование противником информации и военно-технической помощи развитых в военно-техническом отношении государств;

- относительно статичное положение оперативных группировок войск и высокая мобильность тактических групп;

- отсутствие элементов оперативного оборудования района ведения боевых действий, значительное удаление баз материально-технического обеспечения действий группировки войск (сил);

- преимущественное ведение боевых действий в населенных пунктах либо в районах крупных объектов инфраструктуры;

- широкое распространение маневренных и диверсионных действий со стороны противника;

- стремление противника решать оперативные и тактические задачи дальним огнем поражением, в основном ракетно-артиллерийскими системами;

- широкое применение всеми сторонами технологически сложных комплексов вооружения, в том числе и БПЛА;

- создание и широкое применение противником разведывательно-ударных систем;

- дистанционное поражение объектов системы управления войсками высокоточным оружием с активным использованием сил и средств разведки стран НАТО;

- сокращение расстояний между противоборствующими сторонами;

- повышенный расход боеприпасов противником;

- увеличение точности наведения и поражения вследствие применения противником современных средств разведки.

Учитывая актуальность оперативного восстановления поврежденной ТС и АСУ в условиях современных боевых действий, возникает необходимость в разработке новых, более эффективных способов проведения технической разведки. Предлагаемый способ основан на интеграции БПЛА и технологий искусственного интеллекта (ИИ), что позволяет значительно повысить скорость, точность и безопасность выполнения задач.

Сущность способа проведения технической разведки поврежденной ТС и АСУ с использованием БПЛА и технологии искусственного интеллекта (рисунки) заключается в следующем.

При использовании БПЛА для технической разведки поврежденной ТС и АСУ [5] они оснащаются специализированным оборудованием, включая высокоточные камеры, тепловизоры, ли-

дары и другие сенсоры, позволяющие проводить детальное обследование поврежденной техники. Беспилотники оперативно выдвигаются в зону поражения, что исключает необходимость присутствия личного состава в опасных условиях.

БПЛА в реальном времени передают собранные данные на командный пункт или в центр обработки информации. Использование каналов защищенной связи обеспечивает надежность и конфиденциальность передаваемой информации.

Полученные исходные данные обрабатываются с помощью встраиваемого программного модуля, оснащенного алгоритмами искусственного интеллекта, которые способны автоматически выявлять повреждения, классифицировать их по степени тяжести и предлагать оптимальные варианты восстановления. ИИ также позволяет прогнозировать возможные сбои в работе техники на основе анализа текущего состояния и исторических данных, накапливаемых в базе данных.

Алгоритмы распознавания и классификации поврежденной ТС и АСУ осуществляют анализ по следующим признакам.

1. Фотографирование средств связи с различных проекций.
2. Соответствие размещения ТС и АСУ окружающей местности.
3. Соответствие расположения ТС и АСУ в пространстве в трехмерной системе координат.
4. Соответствие ТС и АСУ первоначальному облику.

5. Соответствие ТС и АСУ своим цветовым характеристикам.

6. Соответствие ТС и АСУ своим геометрическим формам начального облика.

7. Соответствие радиационного фона в месте расположения ТС и АСУ значениям, измеренным при разворачивании.

8. Соответствие местоположения ТС и АСУ согласно заданным координатам.

Периодичность мониторинга средств связи может задаваться исходя из оперативной обстановки.

На основе проведенного анализа формируются подробные отчеты и рекомендации для инженерно-технического состава, что ускоряет процесс принятия решений и восстановления техники. В случае критических повреждений система может автоматически запрашивать дополнительные ресурсы или эвакуацию техники. На основании полученных данных должностные лица органов технического обеспечения принимают решение о восстановлении ТС и АСУ.

Предложенный способ интегрируется с существующими автоматизированными системами управления войсками, что позволяет оперативно координировать действия подразделений технического обеспечения.

Таким образом, сущность способа заключается в создании высокоэффективной системы технической разведки, которая сочетает в себе мобильность и безопасность БПЛА с

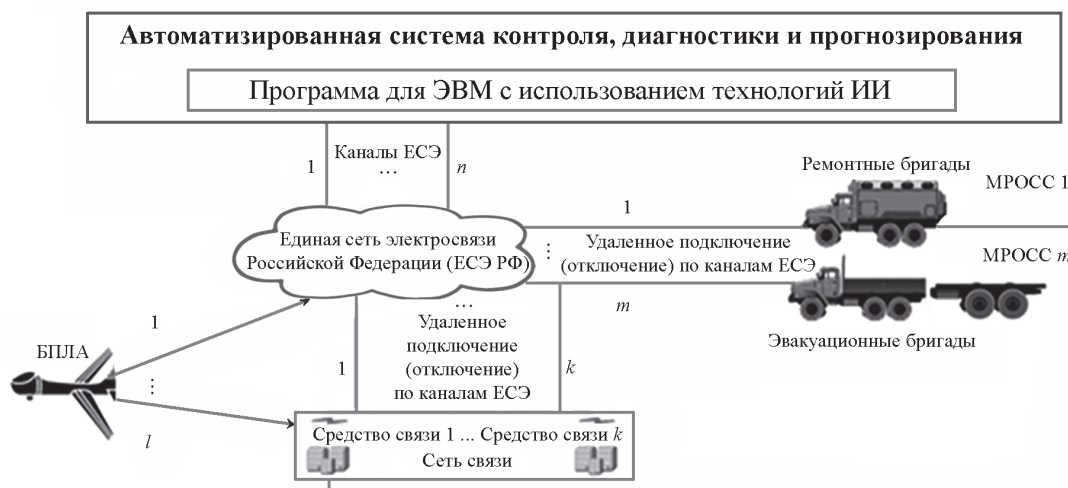


Рис. Способ проведения технической разведки поврежденной ТС и АСУ с использованием БПЛА и технологии искусственного интеллекта

возможностями искусственного интеллекта. Это позволяет не только оперативно выявлять и устранять повреждения, но и повышать общую устойчивость систем связи и управления в условиях современных боевых действий. Использование БПЛА для проведения технической разведки поврежденной техники связи и АСУ является важным шагом в повышении эффективности восстановления ТС и АСУ. На представленный в статье способ оформлена заявка, на которую получено положительное решение о выдаче патента на изобретение.

Список источников

1. Гречишников Е.В. Теоретические основы технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления: учебник. Орел: Академия федеральной службы охраны Российской Федерации, 2013. 143 с.

2. Лабунец А.М., Гречишников Е.В. и др. Теоретические основы технической эксплуатации средств телекоммуникационных систем: учеб. пособие; под общ. ред. А.М. Лабунца. Орел: Академия ФСО России, 2010. 299 с.

3. Манилюк Е.П., Гречишников Е.В., Гиляdziнов М.С., Федяев Ю.Ю. Обеспечение оперативности восстановления средств связи в полевых условиях // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Материалы VIII межвузовской научно-практической конференции Санкт-Петербург, 2023. С. 45–49.

4. Манилюк Е.П., Гиляdziнов М.С. Моделирование отказов и восстановлений средств связи // Промышленные АСУ и контроллеры. 2023. № 6. С. 24–27.

5. Манилюк Е.П., Гречишников Е.В., Федяев Ю.Ю. Способ обеспечения своевременности восстановления связи // Современное состояние и перспективы развития инфокоммуникационных сетей связи специального назначения. Материалы научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 178–180.

6. Understanding War. URL: <https://understandingwar.org/background/russia-ukraine-war> (дата обращения: 13.11.2024).

7. Дмитрий Булгаков. Беспилотные миссии: какие дроны есть на вооружении ВСУ. URL: [https://riamo.ru/article/638168/bespilotnye-](https://riamo.ru/article/638168/bespilotnye-misheni-kakie-drony-est-na-vooruzhenii-vsu/)

[misheni-kakie-drony-est-na-vooruzhenii-vsu/](https://riamo.ru/article/638168/bespilotnye-misheni-kakie-drony-est-na-vooruzhenii-vsu/) (дата обращения: 13.11.2024).

8. Летящие шпионы: какие разведывательные дроны используются в зоне СВО. URL: <https://ren.tv/longread/1106605-letaiushchie-shpiony-kakie-razvedyvatelnye-drony-ispolzuiutsia-v-zone-svo/> (дата обращения: 13.11.2024)

References

1. Grechishnikov E.V. Theoretical foundations of technical support for communications and automated control systems: textbook. Orel: Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation, 2013.

2. Labunets A.M., Grechishnikov E.V. et al. Theoretical foundations of technical operation of telecommunication systems: a textbook / under the general editorship of A.M. Labunts. Orel: Academy of the Federal Tax Service of Russia, 2010. 299 p.

3. Manilyuk E.P., Grechishnikov E.V., Giladzinov M.S., Fedyaev Yu.Yu. Ensuring prompt recovery of communications facilities in the field // Problems of technical support of troops in modern conditions. Proceedings of the VIII Interuniversity Scientific and Practical Conference St. Petersburg, 2023. Pp. 45–49.

4. Manilyuk E.P., Giladzinov M.S. Modeling failures and recoveries of communication facilities // Industrial automated control systems and controllers. 2023. No 6. Pp. 24–27.

5. Manilyuk E.P., Grechishnikov E.V., Fedyaev Yu.Y. A way to ensure timely communication restoration // The current state and prospects for the development of special-purpose infocommunication networks. Materials of the scientific and practical conference. Saint Petersburg, 2024. Pp. 178–180.

6. Understanding War. URL: <https://understandingwar.org/background/russia-ukraine-war> (date of access: 11/13/2024).

7. Dmitry Bulgakov. Unmanned targets: which drones are in service with the Armed Forces of Ukraine. URL: [https://riamo.ru/article/638168/bespilotnye-](https://riamo.ru/article/638168/bespilotnye-misheni-kakie-drony-est-na-vooruzhenii-vsu/)

[misheni-kakie-drony-est-na-vooruzhenii-vsu/](https://riamo.ru/article/638168/bespilotnye-misheni-kakie-drony-est-na-vooruzhenii-vsu/) (date of access: 11/13/2024).

8. Flying spies: which reconnaissance drones are used in their area. URL: <https://ren.tv/longread/1106605-letaiushchie-shpiony-kakie-razvedyvatelnye-drony-ispolzuiutsia-v-zone-svo/> (date of access: 13.11.2024).

УДК 623.4

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_122

**К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ
КОНЕЧНОСТЕЙ ИЗ СОСТАВА БОЕВОЙ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЭКИПИРОВКИ**
**ON THE PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MEANS OF PROTECTION
OF THE LIMBS FROM THE COMPOSITION OF INDIVIDUAL COMBAT
EQUIPMENT**

Канд. техн. наук А.И. Спивак, Ю.Е. Ланцов, С.Н. Васильева, А.А. Котова

Ph.D. A.I. Spivak, Yu.E. Lantsov, S.N. Vasileva, A.A. Kotova

НПО Спецматериалов

Проведен анализ структуры огнестрельных ранений у личного состава в современных вооруженных конфликтах. Показано, что наиболее уязвимой частью тела человека при осколочном поражении являются конечности. Проведен анализ основных характеристик отечественных и зарубежных средств защиты конечностей. Показана необходимость повышения защитных характеристик средств защиты конечностей за счет реализации научно-методического аппарата, предполагающего решение ряда обоснованных задач. Показано, что повышение защитных характеристик средств защиты конечностей может быть обеспечено за счет использования в их составе отечественного сверхвысокомолекулярного полиэтилена «РУССИЛ».

Ключевые слова: боевая индивидуальная экипировка, средства защиты конечностей, противоположная стойкость, противоосколочная стойкость.

The structure of gunshot wounds among personnel in modern armed conflicts has been analyzed. It has been shown that the most vulnerable part of the human body in case of shrapnel damage are the limbs. The main characteristics of domestic and foreign means of limb protection have been analyzed. The necessity of increasing the protective characteristics of limb protection by implementing a scientific and methodological apparatus that involves solving a number of justified problems has been shown. It has been shown that the protective characteristics of limb protection can be increased by using domestic ultra-high molecular weight polyethylene «RUSSIL» in their composition.

Keywords: individual combat equipment, means of limb protection, bulletproof resistance, anti-fragmentation resistance.

В ходе ведения военных действий виды боевых потерь подразделяют на безвозвратные и санитарные [1]. К безвозвратным потерям относятся убитые на поле боя, умершие от ран на этапах медицинской эвакуации, пропавшие без вести и оказавшиеся в плену. Санитарные потери составляют раненые, контуженные, обожженные, заблуждающиеся и обмороженные, эвакуированные из

районов боевых действий в армейские, фронтовые и тыловые госпитали.

При ведении масштабных боевых действий, когда для решения поставленных задач активно применяются авиационные и артиллерийские осколочно-фугасные, кассетные и фугасные боеприпасы больших калибров, основными поражающими факторами поля боя, несомненно, будут

осколки естественного дробления, готовые поражающие элементы и взрывная ударная волна (ВУВ). В локальных вооруженных конфликтах, характеризующихся ведением боевых действий небольшими воинскими формированиями (взвод, рота, батальон), особенно в населенных пунктах, основными поражающими факторами поля боя являются противопехотные средства ближнего боя и стрелковое оружие. Указанные особенности ведения военных действий нашли закономерное отражение в структуре боевых потерь личного состава войск (подразделений) по виду поражающих элементов, представленной на рис. 1 [1] и 2 [2].

Анализ данных, представленных на рис. 1–2, показывает, что среди убитых в военных кампаниях в основном отмечаются осколочные поражения. Увеличение количества пулевых поражений в отдельные периоды контртеррористической операции (например, Чечня-II) можно объяснить боестолкновениями с членами незаконных бандформирований, вооруженными в основном стрелковым оружием.

Статистические данные, характеризующие частоту пулевых и осколочных поражений среди раненых в некоторых военных кампаниях, представлены в табл. 1 [1].

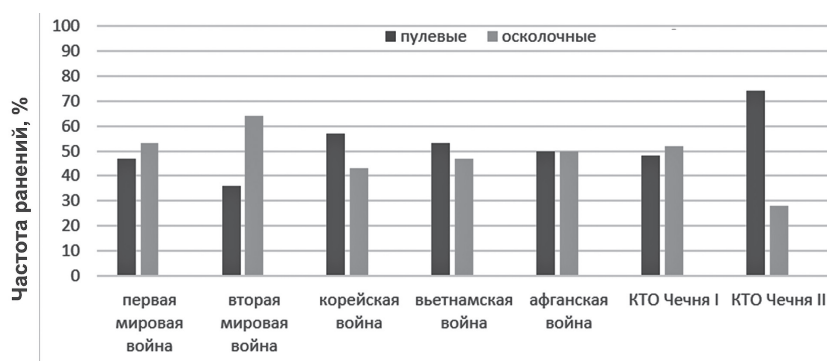


Рис. 1. Соотношение частоты пулевых и осколочных ранений среди убитых на поле боя в различных военных кампаниях и локальных вооруженных конфликтах

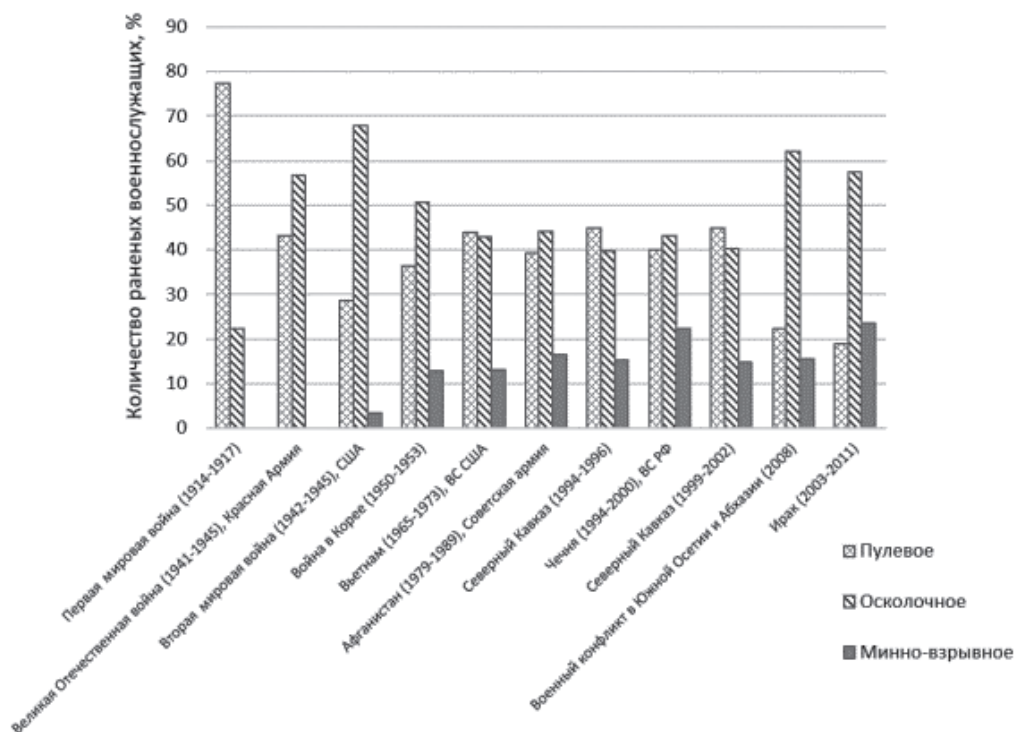


Рис. 2. Соотношение частоты пулевых осколочных и минно-взрывных ранений среди раненых на поле боя в различных военных кампаниях и локальных вооруженных конфликтах

Таблица 1

Частота различных видов огнестрельного поражения среди раненых в некоторых военных кампаниях, %

Вооруженный конфликт, Вооруженные Силы	Вид огнестрельного поражения	
	пулевое	осколочное
Великая Отечественная война (1941–1945), Красная Армия	42,2	57,8
Афганистан (1979–1989), Советская Армия	32,2	67,8
Чечня-I (1994–1996), Вооруженные Силы РФ	40,0	60,0
Чечня-II (1999–2000), Вооруженные Силы РФ	35,6	64,4

Анализ данных, представленных в табл. 1, показывает, что среди раненых частота осколочных поражений превышает в 1,37–2,10 раза частоту пулевых поражений.

При разработке средств индивидуальной бронезащиты и способов их применения актуальным является вопрос, связанный с систематизацией локализации огнестрельных (пулевых и осколочных) поражений в анатомической области человеческого тела. Структура огнестрельных поражений среди раненых военнослужащих в зависимости от локализации представлена в табл. 2 [1] и на рис. 3 [2].

Анализ данных, представленных на рис. 3 и в табл. 2, показывает, что наиболее уязвимой

частью тела человека при осколочном поражении являются конечности, частотность поражения которых составляет 58,3–71,0 % от общего числа раненых в различных военных кампаниях. В связи с этими обстоятельствами, одной из первоочередных задач по обеспечению защищенности личного состава от средств поражения является оснащение его средствами индивидуальной бронезащиты (СИБ), имеющими в своем составе элементы защиты конечностей.

В верхней конечности человека выделяют плечевой пояс и свободную верхнюю конечность, состоящую из плеча, локтя, предплечья и кисти. Нижняя конечность состоит из пояса нижней конечности и свободной нижней конечности.

Таблица 2

Структура огнестрельных поражений среди раненых военнослужащих в зависимости от локализации, %

Вооруженный конфликт, Вооруженные Силы	Локализация огнестрельного повреждения			
	голова, шея	грудь, позвоночник	живот, таз	конечности
Русско-японская война (1904–1905), Русская Армия	15,0	14,0	4,0	67,0
Первая мировая война (1914–1917), Русская Армия	15,0	9,0	5,0	71,0
Великая Отечественная война (1941–1945), Красная Армия	19,0	9,0	5,0	67,0
Вторая мировая война (1942–1945), Армия США	15,0	10,0	6,0	69,0
Афганистан (1979–1989 гг.), Советская Армия	15,7	12,2	10,9	61,2
Чечня-I (1994–1996), Вооруженные Силы РФ	24,9	14,7	2,1	58,3
Чечня-II (1999–2000), Вооруженные Силы РФ	15,8	9,8	5,8	68,6
Место в общем рейтинге	2	3	4	1

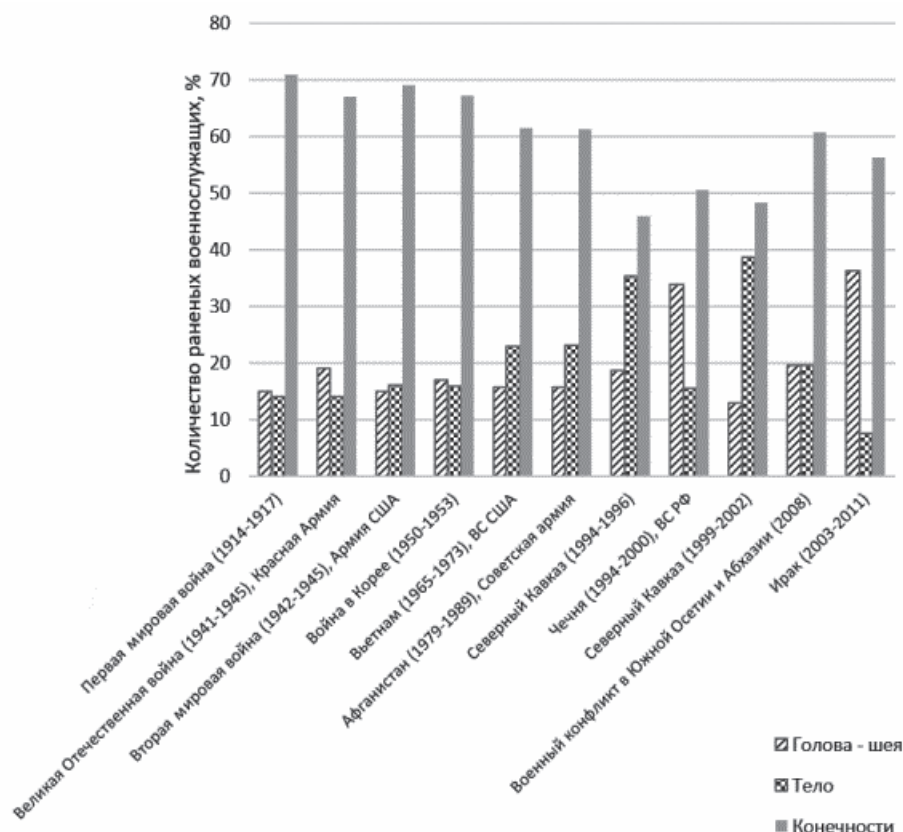


Рис. 3. Структура огнестрельных поражений среди раненых военнослужащих в зависимости от локализации среди раненых на поле боя в различных военных кампаниях и локальных вооруженных конфликтах

ти, включающей бедро, колено, голень и стопу. Проведем анализ характеристик существующих в настоящее время отечественных и зарубежных элементов защиты конечностей в составе СИБ. В общем случае отечественные элементы защиты конечностей можно разделить на следующие группы: защита рук, защита ног, защита бедра, защитные комплекты, обеспечивающие защиту рук и ног. Зарубежные элементы защиты конечностей можно разделить на следующие группы: защита рук, защита ног, защита бедра, защитные комплекты, обеспечивающие защиту рук и ног; интегрированные с бронежилетом модули защиты конечностей.

Характеристики некоторых элементов защиты конечностей отечественного производства представлены в табл. 3, а некоторых зарубежных элементов защиты конечностей — в табл. 4.

Анализ данных, представленных в табл. 3–4, показывает, что защитные элементы средств защиты конечностей изготавливаются из арамидных тканей или СВМПЭ. Класс защитной структуры

определяется конструкцией и количеством слоев арамидных тканей или СВМПЭ, при этом противоосколочная стойкость большинства защитных структур находится на уровне $V_{50\%}$ 270–550 м/с.

В результате обработки экспериментальных данных получена статистическая модель зависимости скорости осколков, образовавшихся при подрыве типового 152-мм осколочно-фугасного артиллерийского снаряда, от расстояния до точки подрыва с использованием метода наименьших квадратов. Было рассмотрено несколько видов функций $y = f(x, a, b, \dots)$ и выбрана функция, для которой суммарная погрешность

$$\sum_{i=1}^n [f(x_i, a, b, \dots) - y_i]^2$$

оказалась минимальной.

Вид статистической модели зависимости скорости осколков, образовавшихся при подрыве типового 152-мм осколочно-фугасного артиллерийского снаряда, от расстояния до точки подрыва представлен в табл. 5.

Таблица 3

Характеристики элементов защиты конечностей отечественного производства

Общий вид	Характеристики
Защита рук	
 Защита предплечий	Класс защиты: Бр1 Материал защитной структуры: арамидная ткань/СВМПЭ Материал чехла: Cordura 1000D + Кордон500 Тип крепления: по объему на липучке Velcro
Защита ног	
 Защита голеней	Класс защиты: Бр1 Материал защитной структуры: арамидная ткань/СВМПЭ Материал чехла: Cordura 1000D + Кордон500 Тип крепления: по объему на липучке Velcro
 Шорты тактические ШТ	Предназначены для защиты верхней части бедра. Класс защиты С2. Противоосколочная стойкость $V_{50\%}$ не менее 540 м/с. Площадь защиты: 54 дм ² . Крепление, регулировка и фиксация осуществляется за счет штатного ремня и эластичных ременных лент. Масса: 2500 г
 Гамаши «Воин 164»	Противоосколочные гамаши, сконструированы с учетом рекомендаций медиков Минобороны России. Класс защитной структуры С2. Противоосколочная стойкость $V_{50\%}$ не менее 540 м/с. Защитный структура — баллистический композитный параарамид. Поверхностная плотность — 450 г/м ²
Защитные комплекты	
 Щитки защитные «Партнер»	Класс защитной структуры: С. Комплект включает: защиту плеч, защиту рук, защиту ног. Тип крепления: по объему на лямки. Материал: высокопрочный полимер. Масса: 3900 г
 Комплект боевого снаряжения «Стрелок»	Состав комплекта: бронежилет с системой распределения массы и модули бронезащиты: шеи; плеча (наплечник); плеча (бицепс); паха абдоминальный; паха (фартук); паха (шорты); бедра. Классы защитных структур Бр1 и С2, Бр5. Противоосколочная стойкость $V_{50\%}$ не менее 630 м/с. Усиленная защитная структура бронеэлементов обеспечивает защиту от pistol патронах 9×19 мм с пулей FMJ 7,5 г с расстояния 5 м

Таблица 3 (продолжение)

Общий вид	Характеристики
 Взрывозащитный комплект «Буча»	Классы защитных структур Бр1 и С2. Противоосколочная стойкость $V_{50\%}$ не менее 600 м/с. Состав комплекта: ножная секция (комплект защитных щитков на голень); ручная секция (комплект защитных щитков на предплечье). Элементы комплекта снабжены противорикошетной защитой
 Взрывозащитный костюм «Доспехи»	Противоосколочная стойкость по классу защитной структуры С2: $V_{50\%}$ не менее 550 м/с. Состав костюма: защитная куртка; защитные брюки; защитные шорты; защитные рукавицы
 Противоосколочный комбинезон «КОБАЛЬТ-Т»	Противоосколочная стойкость по классу защитной структуры С2: $V_{50\%}$ не менее 330 м/с. По передней части брюк комбинезона в области бедер, коленей и голени располагаются карманы под баллистические экраны
 Костюм «Атлант-5»/ «Атлант-6»	Противоосколочная стойкость по классу защитной структуры С2: $V_{50\%}$ не менее 480 м/с (для «Атланта-5»), не менее 600 м/с (для «Атланта-6»)
 Защитный комплект сапера «Заслон»	Противоосколочная стойкость по классу защитной структуры С2: $V_{50\%}$ не менее 450 м/с. В комплект входят: куртка с воротником и съемными рукавами, брюки (фартук и щитки ног), элементы дополнительного бронирования
 Индивидуальный взрывозащитный комплекс «Гранат-В»	Фронтальная защита: куртка с воротником круговой защиты, брюки с бахилами, шорты, рукавицы по классу защитной структуры С2: $V_{50\%}$ не менее 600 м/с. Круговая защита рук по классу защитной структуры С2: $V_{50\%}$ не менее 550 м/с. Дорсальная защита: куртка, брюки, шорты по классу защитной структуры С2: $V_{50\%}$ не менее 400 м/с

Таблица 4

Характеристики некоторых элементов защиты конечностей зарубежного производства

Общий вид, название, страна производитель	Характеристики
Защита рук	
 Защита локтей и предплечья, Финляндия	Класс защиты: NIJ-IIIА
 Защита рук, США	Защита рук прикреплена к Outer Tactical Vest. Предназначена для защиты пулеметчиков (HUMVEE). Масса — менее 4,5 кг (в комплекте с защитой ног). Защитная структура изготовлена из СВМПЭ «Дупеета»
Защита ног	
 Защита ног, Финляндия	Класс защиты: NIJ-IIIА
 Защита ног, США	Противоосколочные штаны, защита всех проекций ног. Предназначена для защиты пулеметчиков (HUMVEE). Масса — менее 4,5 кг (в комплекте с защитой рук). Защитная структура изготовлена из СВМПЭ «Дупеета»
 Защита бедер с наколенниками, Финляндия	Класс защиты: NIJ-IIIА
 Защита ног, США	Предназначена для полной фронтальной и частично боковой защиты ног. В комплект входят съемные бронепанели. Крепится на поясе с помощью подтяжек. Класс защиты NIJ-IIIА, (пуля 22 кал. и осколок 17 грн со скоростью $V_{50\%}$ 475–480 м/с)
 Защита фронтальной проекции бедер и голени, ЮАР	Класс защиты NIJ-IIIА: Защита от пистолетных пуль калибра 44 Магнум, 357 Магнум и 9×19 мм

Таблица 4 (продолжение)

Общий вид, название, страна производитель	Характеристики
 Защита ног, Китай	Защитная структура из GearXFiber, соответствует классу NIJ IIIA. Толщина 18 мм. Масса — 3,2 кг. Внутренняя сторона: 3D-сетка, мягкий подпор. Подгонка по ноге осуществляется за счет липучек, резинок. Можно крепить к поясу
 Бронешорты TIER 3 Virtus Multicam, Великобритания	Обеспечивает защиту верхней части бедра. Класс защиты: NIJ-IIIА
 Боевой пояс с защитой бедра, Великобритания	Боевой пояс и защита бедра, выполнены в виде сочетающихся модулей. Класс защиты: NIJ-II и NIJ-IIIА. Чехол изготовлен из нейлона 500D. Подкладка изготовлена из нейлона с 3D-сеткой. Подгонка по фигуре осуществляется на липучках
Защитные комплекты	
 Шорты, Болгария	Защита только во фронтальной проекции. Противоосколочная стойкость $V_{50\%}$ не менее 750 м/с. Масса: 8,2 кг
 Противоосколочный костюм, Германия	Противоосколочная стойкость костюма дифференцирована по различным элементам: $V_{50\%}$ не менее 400–1200 м/с. Жилет и полунакидка массой 7,2 кг обеспечивает на площади 1,8 м ² противоосколочную стойкость $V_{50\%}$ не менее 500 м/с. Рукава массой 1,8 кг обеспечивают на площади 0,55 м ² противоосколочную стойкость $V_{50\%}$ не менее 450 м/с. Защита ног, ботинки массой 2,5 кг обеспечивают на площади 0,2 м ² противоосколочную стойкость $V_{50\%}$ не менее 450 м/с
 Противоосколочный костюм, Германия	Модульный взрывозащитный/противоосколочный костюм. В зависимости от элемента костюма обеспечивается противоосколочная стойкость в диапазоне $V_{50\%}$ 250–550 м/с

Таблица 4 (продолжение)

Общий вид, название, страна производитель	Характеристики
Интегрированные с БЖ модули защиты конечностей	
 Защита конечностей, США	Защита конечностей интегрирована с модульным бронежилетом, в нее входят: боевой пояс, напашник, набедренники (с защитой внутренней части), наплечники. Класс защиты: IIIA-IIIJ. Изготовлена из СВМПЭ
 Защита конечностей, Бельгия	Защита конечностей интегрирована с модульным комплектом, в состав которого входит бронежилет, боевой пояс, напашник, наплечники, защита бедра. Класс защиты IIIJ-IIIА. Боевой пояс массой 1,8 кг обеспечивает защиту на площади 18 дм ² . Напашник массой 0,5 кг обеспечивает защиту на площади 6 дм ² . Наплечники массой 0,9 кг обеспечивают защиту на площади 9 дм ² . Защита бедра массой 1,0 кг обеспечивает защиту на площади 12 дм ²
 Специальная анатомическая защита, США	Обеспечивает защиту груди, плеч, верхней части ног, паха и шеи. Класс защиты IIIJ IIIA (3A). Защищает от SIG 357 и Magnum 44 калибра

Таблица 5

Вид статистической модели зависимости скорости осколков, образовавшихся при подрыве типового 152-мм осколочно-фугасного артиллерийского снаряда, от расстояния до точки подрыва

Вид статистической модели	Коэффициенты модели		Среднее отклонение, %	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент корреляции
	<i>a</i>	<i>b</i>			
$Y = a \exp / (bx)$	1520,463	-0,0362	1	0,00895	0,999

Примечание: область определения аргумента от 1,0 до 100,0 м

Анализ полученной статистической модели показывает, что элементы защиты конечностей обеспечивают противоосколочную стойкость (вероятность $P = 0,5$ не пробития) защиты конечностей на удалении 30–47 м от места подрыва. Дальнейшее уменьшение такого расстояния при неизменном составе защитных структур связано с увеличением их массы.

Проведенные исследования [3, 4] показали зависимость эффективности применения личного оружия, ручных и противотанковых гранат от массы экипировки. Так, статистическая модель зависимости средней частоты поражения мишеней (СЧПМ) из автоматического оружия из по-

ложения «лежа с упора» от массы экипировки m_3 определяется выражением

$$\text{СЧПМ} = 0,31725 - 0,036 m_3, \quad (1)$$

при этом, эффективная скорострельность прицельными очередями (ЭСПО) от массы экипировки m_3 определяется выражением

$$\text{ЭСПО} = 4,9738 - 0,678 m_3. \quad (2)$$

Анализ выражений (1) и (2) показывает, что увеличение массы экипировки оказывает дополнительную нагрузку на военнослужащих, приво-

для увеличения времени выполнения огневых задач, снижению эффективной скорострельности очередями, снижению вероятности поражения целей, а в сочетании со свойственным ей сковывающим действием — к увеличению тяжести выполняемой работы в ходе преодоления тактической полосы боя за ротный опорный пункт, ухудшению возможности совершения дальности бросков гранат, а также точности их метания. Так, например, увеличение массы защитной структуры только на 1 кг приведет к снижению средней частоты поражения мишеней на 0,036 балла, а эффективной скорострельности прицельными очередями — к снижению на 0,678 балла.

В связи с отмеченными обстоятельствами, в условиях информационной неопределенности [5] основным направлением совершенствования защитных структур конечностей является повышение защитных характеристик при уменьшении их массы за счет внедрения новых материалов, оптимизации формы и структуры защитных элементов.

Для достижения поставленной цели целесообразно разработать единый научно-методический аппарат разработки средств защиты конечностей из состава боевой индивидуальной экипировки, который включает комплексное решение следующих частных задач:

- разработка теоретических положений раневой баллистики о механизмах огнестрельных, закрытых контузионных повреждений конечностей и установление критериев повреждения конечностей;
- разработка математической модели конечностей с целью прогнозирования огнестрельных и закрытых контузионных повреждений;
- разработка материально-технического обеспечения для имитационного моделирования взаимодействия поражающих элементов с имитаторами конечностей, экранированными защитными структурами, при непробитии их поражающими элементами;
- разработка баллистических имитаторов конечностей для оценки их заброневого контузионного повреждения при непробитии защитных структур поражающими элементами;
- разработка эффективных климатических амортизационных подпоров средств защиты конечностей с целью уменьшения заброневого контузионного повреждения;

– разработка защитных структур защиты конечностей, характеризующихся минимальной массой за счет внедрения новых материалов.

Разработка теоретических положений раневой баллистики о механизмах огнестрельных, закрытых контузионных повреждений конечностей и установление критериев повреждения конечностей должны явиться логичным развитием положений раневой баллистики, изложенных в [6–8], при этом особое внимание необходимо уделить критериям повреждения коленных, локтевых суставов [9], трубчатых костей, мягких тканей и кровеносных сосудов [10].

При разработке математической модели конечностей с целью прогнозирования огнестрельных и закрытых контузионных повреждений необходимо развить основные положения, изложенные в [11], применительно к новым средствам поражения.

При разработке баллистических имитаторов конечностей для оценки их заброневого контузионного повреждения при непробитии защитных структур поражающими элементами может быть учтен опыт разработки и опытной эксплуатации баллистического имитатора конечностей (БСИК) [12–14], который подтвердил свою работоспособность при проведении предварительных и государственных испытаний отдельных комплектов защиты конечностей.

При разработке эффективных климатических амортизационных подпоров средств защиты конечностей с целью уменьшения заброневого контузионного повреждения должен быть учтен опыт разработки и экспериментальной проверки новых конструкций климатических амортизационных подпоров в составе малослойных тканевых защитных структур противоосколочных средств защиты конечностей [15].

При разработке материально-технического обеспечения для имитационного моделирования взаимодействия поражающих элементов с имитаторами конечностей, экранированными защитными структурами, при непробитии их поражающими элементами целесообразно использовать основные положения и выводы работы [16].

При разработке защитных структур защиты конечностей, характеризующихся минимальной массой за счет внедрения новых материалов, должны быть использованы новые отечественные баллистические материалы на основе СВМПЭ,

например известный под торговой маркой «РУС-СИЛ». Этот материал представляет собой высокопрочный композит, включающий два или более поперечнонаправленных полимерных слоев, которые могут быть подвергнуты термообработке и прессованию. При этом полимерные слои предварительно пропитываются клеевым связующим, а между слоями дополнительно устанавливается термоактивируемая пленка толщиной 5–8 мкм из реактопластичного материала с последующим термопрессованием композиции при рабочей температуре в диапазоне от 120 до 130 °С.

Максимальная плотность полученного материала составляет 0,97 г/см³ [17].

Удельная прочность нити СВМПЭ «РУС-СИЛ» в 15 раз выше, чем у стали. При сравнении стальных конструкций и изделий из СВМПЭ можно установить, что баллистические характеристики материалов сопоставимы, при этом изделия из СВМПЭ имеют меньший удельный вес. Сравнение поверхностной плотности защитных структур, выполненных из броневой стали и СВМПЭ «РУССИЛ», представлено в табл. 6 [18].

Анализ данных, представленных в табл. 6, показывает, что защитные структуры, изготовленные из СВМПЭ «РУССИЛ», могут успешно использоваться в качестве гибких защитных бронезащитных элементов классов Бр1–Бр2, а прессованные панели — для бронезащитных элементов класса Бр3–Бр4, входящих в состав средств защиты конечностей. Следует отметить, что противоосколочная стойкость защитных структур, изготовленных из прессованного СВМПЭ «РУССИЛ», может составлять $V_{50\%} = 600\text{--}750$ м/с.

Отличительной особенностью СВМПЭ «РУССИЛ» является возможность его использования в составе комбинированных защитных

структур в комплекте с металлическими или композитными элементами с целью снижения массы структур без ухудшения их защитных свойств.

Таким образом, реализация предлагаемого научно-методического аппарата разработки средств защиты конечностей из состава боевой индивидуальной экипировки позволит повысить их защитные характеристики при уменьшении массы за счет внедрения новых материалов, оптимизации формы и структуры защитных элементов в условиях сокращения материальных затрат и сроков на разработку.

Список источников

1. Байдак В.И., Блинов О.Ф., Знахурко В.А. и др. Концептуальные основы создания средств индивидуальной защиты. Ч. 1. Бронежилеты; под ред. Михеева В.Г. М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2003. 338 с.
2. Васильева С.Н., Денисов А.В., Гук И.В. Модель оценки поражения живой силы в средствах индивидуальной бронезащиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 5–6 (167–168). С. 76–84.
3. Логаткин С.М., Сокуров А.В., Резванцев М.В., Хижняк А.Е. Влияние тяжести физической нагрузки, создаваемой боевой индивидуальной экипировкой, на эффективность применения ручных и противотанковых гранат // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2011. № 11–12. С. 73–76.
4. Сокуров А.В. Влияние тяжести физической нагрузки, создаваемой боевой индивидуальной экипировкой, на эффективность применения

Таблица 6

Сравнение поверхностной плотности защитных структур, выполненных из броневой стали и СВМПЭ «РУССИЛ»

Класс защитной структуры	Поверхностная плотность защитной структуры, кг/м ²	
	броневая сталь	СВМПЭ «РУССИЛ»
Бр1	10–15	3,8–4,2
Бр2	17–20	8,0–10,0
Бр3	33–37	16,0–20,0

личного оружия // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2011. № 7–8. С. 81–85.

5. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Пугачев А.Н., Дмитриев В.Я. Методологические проблемы информационной неопределенности при разработке средств индивидуальной бронезащиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 11–12. С. 11–16.

6. Озерецковский Л.Б., Гуманенко Е.К., Бояринцев В.В. Раневая баллистика. История и современное состояние огнестрельного оружия и средств индивидуальной бронезащиты. СПб.: Журнал «Калашников», 2006. 406 с.

7. Александров Л.Н., Озерецковский Л.Б., Дыскин Е.А. О механизме огнестрельных ранений конечности // Вестник хирургии И.И. Грекова. 1964. Т. 93. № 7. С. 79.

8. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я., Малинин А.А. К вопросу оценки противоосколочной стойкости защитных структур // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 1–2. С. 68–72.

9. Хоминец В.В., Денисов А.В., Куринной Е.Д. и др. Экспериментальная оценка степени тяжести контузионной травмы коленного и локтевого суставов // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2016. Т. 54. № 2. С. 126–130.

10. Денисов А.В., Озерецковский Л.Б., Самохвалов И.М., Пронченко А.А. Хирургические аспекты огнестрельных повреждений артерий конечностей ранящими снарядами современного стрелкового оружия // Военно-медицинский журнал. 2024. № 10. С. 19–24.

11. Денисов А.В., Матвейкин С.В., Васильева С.Н. и др. Применение математической модели нижней конечности человека для моделирования ударно-волнового воздействия контактного взрыва // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2024. Т. 26. № 3. С. 337–348.

12. Баллистический стенд-имитатор конечностей: пат. 116675 Рос. Федерация. № 2011130469/14; заявл. 21.07.2011; опубл. 27.05.2012, Бюл. № 15. 16 с.

13. Визуальный индикатор повреждений для определения защитных свойств средств защиты нижних конечностей: пат. 227420 Рос. Федера-

ция. № 2024105857; заявл. 06.03.2024; опубл. 19.07.2024, Бюл. № 20. 7 с.

14. Логаткин С.М., Спивак А.И., Спивак И.А. и др. Разработка баллистического стенда имитатора конечностей человека для оценки эффективности тканевых противоосколочных средств защиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2012. № 7–8. С. 128–130.

15. Пучков А.С., Сильников Н.М., Спивак И.А., Спивак А.И. К вопросу разработки климатических амортизационных подпорков для средств индивидуальной бронезащиты на основе малослойных тканевых защитных структур // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 4. С. 173–181.

16. Логаткин С.М., Денисов А.В., Озерецковский Л.Б., Анисин А.В. Экспериментальное моделирование в современной раневой баллистике // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2018. Т. 62. № 2. С. 144–149.

17. Сильников Н.М., Фомичев А.Б., Гук И.В., Новак О.С., Котова А.А. Применение сверхвысокомолекулярного полиэтилена «Руссил» для защиты корпусных конструкций судов / Сборник трудов второй отраслевой научно-технической конференции «Новые технологии в судостроении» (НТС–2023). СПб.: АО «ЦТСС», 2023. 200 с.

18. Сильников Н.М., Фомичев А.Б., Гук И.В., Котова А.А. Применение сверхвысокомолекулярного полиэтилена «Руссил» для защиты прибрежных территорий и акватории / Сборник трудов второй отраслевой научно-технической конференции «Новые технологии в судостроении» (НТС–2024). СПб.: АО «ЦТСС», 2024. 220 с.

References

1. Baidak V.I., Blinov O.F., Znakhurko V.A. et al. Conceptual foundations for the creation of personal protective equipment. Part 1. Bulletproof vests. M.: Armament. Politics. Conversion, 2003. 338 p.
2. Vasilyeva S.N., Denisov A.V., Guk I.V. Model for assessing the damage to manpower in personal body armor // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2022. No 5–6 (167–168). Pp. 76–84.
3. Logatkin S.M., Sokurov A.V., Rezvantsev M.V., Khizhnyak A.E. The influence of the

severity of physical load created by individual combat equipment on the effectiveness of hand and anti-tank grenades // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2011. No 11–12. Pp. 73–76.

4. Sokurov A.V. The influence of the severity of physical load created by individual combat equipment on the effectiveness of using personal weapons // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2011. No 7–8. Pp. 81–85.

5. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Pugachev A.N., Dmitriev V.Ya. Methodological problems of information uncertainty in the development of personal armor protection // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2014. No 11–12. Pp. 11–16.

6. Ozeretskovsky L.B., Gumanenko E.K., Boyarintsev V.V. Wound ballistics. History and current state of firearms and personal body armor. St. Petersburg: Kalashnikov Magazine, 2006. 406 p.

7. Aleksandrov L.N., Ozeretskovsky L.B., Dyskin E.A. On the mechanism of gunshot wounds of the limb. Grekov's Bulletin of Surgery. 1964. V. 93, No 7. 79 p.

8. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Dmitriev V.Ya., Malinin A.A. On the assessment of fragmentation resistance of protective structures // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2014. No 1–2. Pp. 68–72.

9. Khominets V.V., Denisov A.V., Kurinoy E.D. et al. Experimental assessment of the severity of contusion injury of the knee and elbow joints // Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2016. V. 54. No 2. Pp. 126–130.

10. Denisov A.V., Ozeretskovsky L.B., Samokhvalov I.M., Pronchenko A.A. Surgical aspects of gunshot injuries to arteries of the extremities by wounding projectiles of modern small arms // Military Medical Journal. 2024. No 10. Pp. 19–24.

11. Denisov A.V., Matveikin S.V., Vasilyeva S.N. et al. Application of a mathematical model of the human lower limb to simulate the

shock wave impact of a contact explosion // Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2024. V. 26. No 3. Pp. 337–348.

12. Ballistic Limb Simulator stand: pat. 116675 Russian The Federation. No. 2011130469/14; application dated 07/21/2011; published on 05/27/2012, Byul. No. 15. 16 p.

13. Visual damage indicator for determining the protective properties of lower limb protection products: pat. 227420 Russian The Federation. No. 2024105857; application no. 03/06/2024; publ. 07/19/2024, Bul. no. 20. 7 p.

14. Logatkin S.M., Spivak A.I., Spivak I.A. et al. Development of a ballistic rig simulating human limbs to assess the effectiveness of fabric anti-fragmentation protective equipment // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2012. No 7–8. Pp. 128–130.

15. Puchkov A.S., Silnikov N.M., Spivak I.A., Spivak A.I. On the development of climatic shock-absorbing supports for personal body armor based on low-layer fabric protective structures // Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2023. No 4. Pp. 173–181.

16. Logatkin S.M., Denisov A.V., Ozeretskovsky L.B., Anisin A.V. Experimental modeling in modern wound ballistics // Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2018. V. 62. No 2. Pp. 144–149.

17. Silnikov N.M., Fomichev A.B., Guk I.V. et al. Application of ultra-high molecular weight polyethylene «Russil» for protection of ship hull structures / Collection of works of the second industry scientific and technical conference «New technologies in shipbuilding» (NTS–2023). St. Petersburg: JSC «CTSS», 2023. 200 p.

18. Silnikov N.M., Fomichev A.B., Guk I.V., Kotova A.A. Application of ultra-high molecular weight polyethylene «Russil» for the protection of coastal territories and waters / Collection of works of the second industry scientific and technical conference «New technologies in shipbuilding» (NTS–2024). St. Petersburg: JSC «CTSS», 2024. 220 p.

УДК 623.436

doi: 10.53816/23061456_2025_3–4_135

**МОДЕЛЬ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ
«ПОРАЖАЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ — ПРЕГРАДА» БАРРАЖИРУЮЩЕГО
БОЕПРИПАСА**

**MODEL OF HIGH-SPEED INTERACTION IN THE «DAMAGING
ELEMENT — OBSTACLE» SYSTEM OF LOAMING AMMUNITION**

П.С. Суздальцев, канд. техн. наук С.А. Куканов

P.S. Suzdaltsev, Ph.D. S.A. Kukanov

*Филиал Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева
(г. Пенза)*

В статье представлено описание модели высокоскоростного взаимодействия в системе «поражающий элемент — преграда» барражирующего боеприпаса, которая позволяет проводить моделирование и анализировать динамику и механизмы разрушения преграды при взаимодействии с различными типами поражающих элементов. Модель основана на методе конечных элементов с использованием эволюционирующего во времени алгоритма адаптивного сгущения сетки и учитывает различные механизмы разрушения материала преграды, такие как хрупкое разрушение, пластическое течение и сдвиговую локализацию. Исследование демонстрирует точность и эффективность модели и показывает её способность предсказывать механизмы разрушения преграды и кинематические поля деформаций и напряжений. Модель может быть использована для анализа различных сценариев высокоскоростного взаимодействия и оптимизации конструкций средств поражения и преград. Разработанная модель имеет важное значение для понимания механизмов разрушения при высокоскоростном взаимодействии.

Ключевые слова: математическая модель, метод конечных элементов, высокоскоростное взаимодействие.

The article describes a model of high-speed interaction in the «striking element — barrier» system of a barrage munition, which allows modeling and analyzing the dynamics and mechanisms of barrier destruction when interacting with various types of striking elements. The model is based on the finite element method using a time-evolving adaptive mesh thickening algorithm and takes into account various mechanisms of fracture of the barrier material, such as brittle fracture, plastic flow and shear localization. The study demonstrates the accuracy and effectiveness of the model and shows its ability to predict the mechanisms of barrier failure and kinematic fields of deformations and stresses. The model can be used to analyze various scenarios of high-speed interaction and optimize the designs of weapons and obstacles. The developed model is important for understanding the mechanisms of destruction during high-speed interaction.

Keywords: mathematical model, finite element method, high-speed interaction.

Для описания процесса соударения барражирующего боеприпаса (ББ) с объектом поражения, как правило, используются модели сжимаемого упругопластического тела. Основные соотношения, описывающие движение сжимаемой упругопластической среды, базируются на законах сохранения массы, импульса и энергии, замыкаются соотношениями Прандтля — Рейсса при условии текучести Мизеса [3]. Условия разрушения зависят от температуры, скорости нагружения и прочностных свойств материалов. Рассмотрим основные уравнения, описывающие процесс соударения [1] (рис. 1).

Законы сохранения импульса, массы и энергии представим в виде [2]:

$$\frac{d\dot{u}_a}{dt} - \frac{1}{p} \frac{\partial \sigma_{a\beta}}{\partial x_\beta} = 0;$$

$$\frac{dp}{dt} + p \frac{d\dot{u}_a}{dx_a} = 0; \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{p} \sigma_{a\beta} \dot{\epsilon}_{a\beta}, \quad (2)$$

где p — плотность;

$\dot{u}_a$ — компоненты скорости деформации;

$\sigma_{a\beta}$ — компоненты тензора напряжений;

$\dot{\epsilon}_{a\beta}$ — компоненты тензора скоростей деформации;

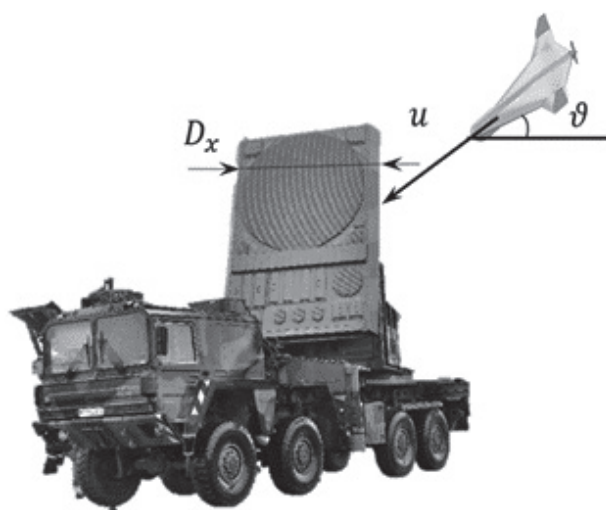


Рис. 1. Схема динамического взаимодействия ББ с объектом поражения

E — внутренняя энергия;

x_a, x_β — составляющие вектора координат;

α, β — индексы координатного вектора. Указание индексов α, β означает, что берется его соответствующая координата: $\alpha, \beta \in \{x, y, z\}$;

$\frac{d}{dt}$ — субстанциональная производная по времени [7].

Здесь для сокращения записи используется форма с немymi индексами, которая означает, что если в произведении встречаются величины с одинаковыми индексами, то по ним ведется суммирование. Например, из уравнения (1) имеем:

$$\frac{\partial \dot{u}_a}{\partial x_a} = \frac{\partial \dot{u}_x}{\partial x_x} + \frac{\partial \dot{u}_y}{\partial x_y} + \frac{\partial \dot{u}_z}{\partial x_z} = \frac{\partial \dot{u}_x}{\partial x} + \frac{\partial \dot{u}_y}{\partial y} + \frac{\partial \dot{u}_z}{\partial z}$$

для случая трехмерного пространства, а из уравнения (2) следует:

$$\begin{aligned} \sigma_{a\beta} \dot{\epsilon}_{a\beta} = & \sigma_{xx} \dot{\epsilon}_{xx} + \sigma_{xy} \dot{\epsilon}_{xy} + \sigma_{xz} \dot{\epsilon}_{xz} + \sigma_{yx} \dot{\epsilon}_{yx} + \\ & + \sigma_{yy} \dot{\epsilon}_{yy} + \sigma_{yz} \dot{\epsilon}_{yz} + \sigma_{zx} \dot{\epsilon}_{zx} + \sigma_{zy} \dot{\epsilon}_{zy} + \sigma_{zz} \dot{\epsilon}_{zz}. \end{aligned}$$

Реологические соотношения запишем в гиперупругой форме в следующем виде [4]:

$$\frac{dS_{a\beta}}{dt} = 2G_0 \left(\dot{\epsilon}_{a\beta} - \frac{1}{3} \delta_{a\beta} \dot{\epsilon}_{\alpha\alpha} \right) + S_{ay} R_{\beta y} + S_{y\beta} R_{ay},$$

где $S_{a\beta}$ — девиатор тензора напряжений для координатных составляющих α и β , определяющий напряжения в точке, не связанный с гидростатическим напряжением (всесторонним давлением);

G_0 — модуль сдвига;

$$R_{ay} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \dot{u}_a}{\partial y} - \frac{\partial \dot{u}_y}{\partial a} \right);$$

$\delta_{a\beta}$ — символ Кронекера;

$$\delta_{a\beta} = \begin{cases} 1, & \text{если } a = \beta, \\ 0, & \text{если } a \neq \beta. \end{cases}$$

Для описания пластических течений используется теория Прандтля — Рейсса. В этой теории для определения начала пластического течения используется критерий Мизеса [3]. При $q_{\Pi} = S_{a\beta} S_{a\beta} = 2K^2$, K — предел текучести на сдвиг, считается, что имеет место пластическое течение. При $q_{\Pi} < 2K^2$ движение среды считается упругим. Для учета эффекта пластичности

в правую часть уравнения (2) необходимо добавить член $\theta(q_{\Pi})(S_{a\beta}\dot{\epsilon}_{a\beta})S_{a\beta}$, где:

$$\theta(q_{\Pi}) = \begin{cases} 0, & \text{если } q_{\Pi} = 2K^2; \\ 0, & \text{если } q_{\Pi} = 2K^2, S_{a\beta}\dot{\epsilon}_{a\beta} \leq 0; \\ \frac{G_0}{K^2}, & \text{если } q_{\Pi} = 2K^2, S_{a\beta}\dot{\epsilon}_{a\beta} > 0. \end{cases} \quad (3)$$

В этом случае выражение $S_{a\beta}\dot{\epsilon}_{a\beta}$ не выходит за границы поверхности Мизеса. В качестве уравнения состояния моделируемой среды использовано уравнение состояния [1]

$$\begin{aligned} p &= p_n + \Gamma p(E - E_n); \\ p_n &= \frac{p_0 c_0 \mu (1 + \mu)}{[1 - (-1)\mu]^2}; \\ E_n &= \frac{p_n}{2p_0} \left(\frac{\mu}{1 + \mu} \right); \\ p\Gamma &= p_0\Gamma_0 = \text{const}; \\ \mu &= \frac{p}{p_0} - 1, \end{aligned} \quad (4)$$

где p — полное давление системы;

p_n — давление в начальном состоянии;

Γ — коэффициент Грюнайзена в текущий момент времени;

Γ_0 — коэффициент Грюнайзена при нормальных условиях, который характеризует термическое давление со стороны колеблющихся атомов;

E_n — внутренняя энергия в начальном состоянии;

p_0 — плотность материала при нормальных условиях;

c_0 — скорость звука в материале;

μ — изменение плотности в процессе исследования. Константы Γ_0 , c_0 определяются экспериментальным путем.

Достаточно интенсивное ударное нагружение преград часто приводит к возникновению нарушений сплошности материала в результате разрушения. Например, при ударе пластиной происходит откол (рис. 2, а), под которым понимают образование макроскопической полости внутри материала преграды, которая может быть замкнутой, либо выходить на поверхность преграды, а в некоторых случаях возможно отделение тыльной части преграды (рис. 2, б).

Численное моделирование процессов разрушения можно осуществлять несколькими путями. В континуальном подходе определяется область поврежденной среды и корректируется напряженно-деформированное состояние материала в этой области. В качестве критерия разрушения могут быть выбраны различные модели. В настоящей работе используется модель Джонсона — Кука, согласно которой предел текучести определяется формулой (3).

Рассмотрим метод сплаженных частиц, он является бессточным лагранжевым численным методом для расчетов процессов высокоскоростного соударения, а также иного интенсивного динамического нагружения тел, в особенности, когда имеет место существенное изменение топологии моделируемых объектов (разлет вещества). Производные вычисляются с помощью сплайн-ин-



Рис. 2. Схема динамического взаимодействия ББ с объектом поражения

терполяции, в соответствии с чем каждая гладкая частица является точкой интерполяции, в которой известны параметры деформируемой среды. Численное решение во всей области интегрирования получается с помощью интерполяционных функций, для которых эти частицы являются интерполяционными узлами. Таким образом, вычисление градиентов сводится к аналитическому дифференцированию гладких функций.

Основная суть метода заключается в приближении формулы следующей цепочкой преобразований:

$$a(x) = \int_R^I a(\tilde{x}) \delta(\tilde{x} - x) d\tilde{x},$$

где $a(x)$ — некоторое свойства материала, на месте данной величины может быть плотность, скорость, положение в пространстве;

$\tilde{x}$ — конкретное значение координаты;

$\delta(\tilde{x} - x)$ — дельта-функция (функция Дирака):

$$\delta(\tilde{x} - x) = \begin{cases} +\infty, & x = \tilde{x}, \\ 0, & x \neq \tilde{x}; \end{cases}$$

R — некоторая область, где представляет интерес определение величины $a(x)$. Сначала обобщенная функция $\delta(x)$ заменяется аналитической функцией $\omega(\tilde{x} - x, h)$, которую называют ядром сглаживания, а h — радиусом сглаживания. В результате получаем:

$$a^*(x) = \int_R^I a(\tilde{x}) \omega(\tilde{x} - x, h) d\tilde{x}.$$

В случае если рассматривается среда плотности $\rho(x)$, то удобна бывает запись с использование нормировки. Ядро $\omega(\tilde{x} - x, h)$ должно удовлетворять условиям

$$\int_R^I \omega(x, h) d\tilde{x} = 1;$$

$$\omega(x, h) \xrightarrow{h \rightarrow 0} \delta(x).$$

В работе Моногана установлено, что при соблюдении этих условий и выборе $\omega(x, h) = e^{-\left(\frac{x}{h}\right)^2}$ аппроксимация обеспечивает порядок $O(h^2)$.

Далее требуется рассмотреть численные методы вычисления этих интегралов. Будем полагать, что среда разбита на маленькие, по сравне-

нию с характерными размерами рассчитываемой модели, элементы. Каждый такой элемент имеет свое значение аппроксимируемого параметра $a(x)$, равное a^i . Так же будем считать известными его плотность — p^i , место положения — x^i и массу — m^i . Здесь и далее, если не оговорено другое, верхний индекс у параметра будет обозначать его принадлежность к конкретному дискретному элементу. Вопрос расположения этих элементов (далее частиц), так, чтобы наиболее лучше аппроксимировать параметр $a(x)$, пока является открытым. Будем использовать самое простое и очевидное начальное расположение — кубическую равномерную решетку.

Заменой интегрирования суммированием по частицам-соседям получаем выражение:

$$a^*(x) = \sum_i \frac{m^i a^i}{p^i} \omega(x^i - x, h).$$

Использование такой аппроксимации существенно упрощает вычисление градиента функции $\frac{\partial a(x)}{\partial x_a}$, так как достаточно аналитически продифференцировать ядро сглаживания, что даст

$$\frac{\partial a^*}{\partial x_a} = \sum_i \frac{m^i a^i}{p^i} \frac{\partial \omega(x^i - x, h)}{\partial x_a}.$$

Рассмотрим более подробно ядро сглаживания. Важно, чтобы носитель функции $\omega(x, h)$ был конечным, так как в сплошной среде все взаимодействия короткодействующие. Однако $e^{-\left(\frac{x}{h}\right)^2}$ этим свойством не обладает. Из-за вышеперечисленных причин удобно использовать следующий сплайн:

$$\omega(x, h) = \begin{cases} \frac{1 - 1,75\varphi^2 + 0,75\varphi^3}{\pi h^3}, & \varphi \in [0, 1]; \\ \frac{(2 - \varphi)^3}{4\pi h^3}, & \varphi \in [1, 2]; \\ 0, & \varphi \in [2, \infty], \end{cases}$$

$$\text{где } \varphi = \frac{|x - \tilde{x}|}{h}.$$

Численные аппроксимации уравнений механики деформируемого тела, построенные с помощью метода конечных элементов, пример

такого объемного восьмиузловой элемента представлен на рис. 3, описан следующим образом:

$$f_1^i = -\sum_k m^k (\dot{u}_a^k - \dot{u}_a^i) \frac{\partial \omega^{ik}}{\partial x_a^i}; \quad (5)$$

$$f_{2,a}^i = \sum_k m^k \left(\frac{\sigma_{a\beta}^i}{(p^i)^2} + \frac{\sigma_{a\beta}^k}{(p^k)^2} \right) \frac{\partial \omega^{ik}}{\partial x_\beta^i}; \quad (6)$$

$$f_3^i = \sum_k m^k (\dot{u}_a^i - \dot{u}_a^k) \left(\frac{\sigma_{a\beta}^i}{(p^i)^2} + \frac{\sigma_{a\beta}^k}{(p^k)^2} \right) \frac{\partial \omega^{ik}}{\partial x_\beta^i}; \quad (7)$$

$$f_{4,a\beta}^i = 2G_0 \left(\dot{\epsilon}_{a\beta}^i - \frac{1}{3} \delta_{a\beta} \dot{\epsilon}_{\alpha\alpha}^i \right) + S_{\alpha\gamma}^i R_{\beta\gamma}^i + S_{\gamma\beta}^i R_{\alpha\gamma}^i; \quad (8)$$

$$\dot{\epsilon}_{a\beta}^i = \frac{1}{2} \sum_k \frac{m^k}{p^k} \left[(\dot{u}_a^i - \dot{u}_a^k) \frac{\partial \omega^{ik}}{\partial x_\beta^i} + (\dot{u}_\beta^k - \dot{u}_\beta^i) \frac{\partial \omega^{ik}}{\partial x_a^i} \right]; \quad (9)$$

$$R_{a\beta}^i = \frac{1}{2} \sum_k \frac{m^k}{p^k} \left[(\dot{u}_a^k - \dot{u}_a^i) \frac{\partial \omega^{ik}}{\partial x_\beta^i} - (\dot{u}_\beta^k - \dot{u}_\beta^i) \frac{\partial \omega^{ik}}{\partial x_a^i} \right]. \quad (10)$$

Производные типа $\frac{\partial \omega_{ik}}{\partial x_\beta^i}$ и $\frac{\partial \omega^{ik}}{\partial x_\beta^i}$ берутся от аналитической весовой функции, поэтому справа от знака равенства в уравнениях (5)–(10) стоят алгебраические выражения. Интегрирование уравнений для i -й частицы производится, как правило, по явной схеме Эйлера:

$$\begin{cases} \vec{x}^{i,n+1} = \vec{x}^{i,n} + \Delta t \left(\vec{u}^{i,n} + \frac{1}{2} \Delta t \vec{f}_2^{i,n} \right); \\ E^{i,n+1} = E^{i,n} + \Delta t \vec{f}_3^{i,n}; \\ p^{i,n+1} = p^{i,n} + \Delta t \vec{f}_1^{i,n}; \\ \vec{u}^{i,n+1} = \vec{u}^{i,n} + \Delta t \vec{f}_2^{i,n}; \\ \hat{S}^{i,n+1} = \hat{S}^{i,n} + \Delta t \vec{f}_4^{i,n}; \\ \hat{\sigma}^{i,n+1} = -\hat{\delta} \Delta p(p^{i,n+1}, E^{i,n+1}) + \hat{S}^{i,n+1}, \end{cases}$$

где $\hat{S}$, $\hat{\delta}$, $\hat{\sigma}$ — тензорные величины;

$\vec{u} = (\dot{u}_x, \dot{u}_y, \dot{u}_z)$ — вектор скорости деформации;

Δt — шаг по времени;

значение p — вычисляется по формуле (4);

индексы n и $n+1$ указывают на предыдущий и текущий временные слои.

Видно, что значение компонента тензора напряжений $\sigma^{i,n+1}$ вычисляется с помощью уравне-

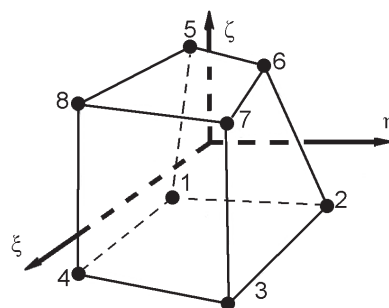


Рис. 3. Объемный восьмиузловой элемент в параметрических координатах

ния состояния по вычисленным значениям плотности $p^{i,n+1}$ и девиатора $S^{i,n+1}$.

Шаг интегрирования выбирается следующим образом:

$$\Delta t = \min_i \frac{ah^i}{\sqrt{\max(c^i, \dot{u}^i)^2 + \left(\frac{h^i \dot{p}^i}{p^i} \right)^2}};$$

$$a = 0, 1 \div 0, 4,$$

где $\dot{u}^i$ — скорость i -й частицы;

c^i — скорость звука в i -й частице;

h^i — радиус сглаживания i -й частицы;

p^i — плотность i -й частицы;

$\dot{p}^i = f_1^i$ — производная по времени i -й частицы;

α — зависит от используемого метода.

Практика показала, что методы дают устойчивое решение при значении $a = 0, 1$. Так как в задачах возможно возникновение сверхзвуковых течений, то в знаменателе содержится максимум скорости частицы и продольной скорости звука в этой частице. При наличии сверхзвуковых течений возможно сильное увеличение плотности и в этом случае существенную роль играет член $\left(\frac{h^i \dot{p}^i}{p^i} \right)^2$.

Выводы

Разработана модель высокоскоростного взаимодействия в системе «поражающий элемент — преграда», основанная на методе конечных элементов с использованием эволюционирующего во времени алгоритма адаптивной

сетки. Модель учитывает различные механизмы разрушения материала преграды, включая хрупкое разрушение, пластическое течение и сдвиговую локализацию. Исследование демонстрирует точность и эффективность модели и её способность предсказывать механизмы разрушения преграды и кинематические поля деформаций и напряжений. Модель может быть использована для анализа различных сценариев высокоскоростного взаимодействия и оптимизации конструкций средств поражения и преград. Разработанная модель имеет важное значение для понимания механизмов разрушения при высокоскоростном взаимодействии. Она предоставляет исследователям и инженерам мощный инструмент для анализа и оптимизации конструкций средств поражения и преград. Модель может способствовать разработке более эффективных средств защиты от высокоскоростных поражающих элементов.

Список источников

1. Бабкин А.В., Селиванов В.В. Механика разрушения деформируемого тела. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 424 с.
2. Cai S., Feng J., Xu H. et al. The concentration of deformation caused by the closed end contributes to the destruction of the sleeve in the lower part[J]. Defence Technology 2020; 16 (6): 1151–9.
3. LS-DYNA Theory Manual. Livermore: LSTC, 2019. 686 p.
4. Бабкин А.В., Колпаков В.Н., Охитин В.Н. и др. Численные методы в задачах физики быстротекающих процессов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 518 с.
5. Велданов В.А., Тихонов К.М., Тишков В.В. Прикладная теория удара. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 44 с.
6. Галлагер Р.М. Метод конечных элементов. Основы. М.: Мир, 1984. 428 с.
7. Басов К.А. ANSYS справочник пользователя. М.: Изд-во ДМК-Пресс, 2005. 640 с.

8. Герасимов А.В. Высокоскоростной удар. Моделирование и эксперимент. Томск: изд. НТЛ, 2016. 568 с.

9. Зарубин В.С., Селиванов В.В. Вариационные и численные методы механики сплошной среды. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993. 508 с.

10. Зенкевич О.В., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. М.: Мир, 1974. 239 с.

References

1. Babkin A.V., Selivanov V.V. Mechanics of fracture of a deformable body. M.: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 2005. 424 p.
2. Cai S., Feng J., Xu H. et al. The concentration of deformation caused by the closed end contributes to the destruction of the sleeve in the lower part[J]. Defence Technology 2020; 16 (6): 1151–9.
3. LS-DYNA Theory Manual. Livermore: LSTC, 2019. 686 p.
4. Babkin A.V., Kolpakov V.N., Okhitin V.N. et al. Numerical methods in problems of physics of fast-flowing processes. M.: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 2005. 518 p.
5. Veldanov V.A., Tikhonov K.M., Tishkov V.V. Applied theory of impact. M.: Publishing house of MSTU named after N.E. Bauman, 2016. 44 p.
6. Gallagher R.M. Finite element method. Fundamentals. M.: Mir, 1984. 428 p.
7. Basov K.A. ANSYS user guide. M.: Publishing house DMC-Press, 2005. 640 p.
8. Gerasimov A.V. High-speed impact. Modeling and experiment. Tomsk: ed. NTL, 2016. 568 p.
9. Zarubin V.S., Selivanov V.V. Variational and numerical methods of continuum mechanics. M.: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 1993. 508 p.
10. Zenkevich O.V., Chang I. Finite element method in the theory of structures and continuum mechanics. M.: Mir, 1974. 239 p.

УДК 623.437.093

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_141

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПОДРЕССОРИВАНИЯ НА ПОДВИЖНОСТЬ
ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН**

**USING REGRESSION ANALYSIS TO ASSESS THE IMPACT
OF SUSPENSION SYSTEM CHARACTERISTICS ON THE MOBILITY
OF MILITARY TRACKED VEHICLES**

А.А. Ташкинов

A.A. Tashkinov

*Филиал Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева
(г. Омск)*

В статье представлены результаты регрессионного анализа имитационной модели движения военных гусеничных машин с ходовой частью, выполненной на базе танка Т-80БВМ. С помощью разработанной имитационной модели движения военной гусеничной машины по маршруту проведен ряд модельных экспериментов. В качестве варьируемых параметров выбраны жесткость упругих элементов, динамические характеристики амортизаторов и количество амортизаторов, устанавливаемых на машине заводом-изготовителем. Откликом являлось значение средней скорости при движении по маршруту. В результате с помощью имитационного моделирования стало возможным получить регрессионную зависимость показателя подвижности — средней скорости от значения изменения показателей жесткости упругих элементов, динамических характеристик амортизаторов и количества амортизаторов в системе поддрессирования военных гусеничных машин.

Ключевые слова: имитационное моделирование, регрессионный анализ, жесткость упругого элемента, военные гусеничные машины, подвижность, амортизатор.

The article presents the results of a regression analysis of a simulation model of the movement of military tracked vehicles with an undercarriage based on the T-80BVM tank. A number of model experiments were conducted using the developed simulation model of the movement of a military tracked vehicle along the route. The stiffness of the elastic elements, the dynamic characteristics of the shock absorbers and the number of shock absorbers installed on the machine by the manufacturer were selected as variable factors. The response was the value of the average speed when driving along the route. As a result, using simulation modeling, it became possible to obtain a regression dependence of the mobility indicator — the average speed on the value of changes in the stiffness of elastic elements, dynamic characteristics of shock absorbers and the number of shock absorbers in the suspension system of military tracked vehicles.

Keywords: simulation modeling, regression analysis, stiffness of elastic element, military tracked vehicles, mobility, shock absorber.

Таблица 1

Рабочая матрица трехфакторного эксперимента

Факторы	c	r	n
Обозначение	X_1	X_2	X_3
Нижний уровень (–1)	120	60	2
Верхний уровень (+1)	300	100	10
Основной уровень (0)	210	80	6
Интервал варьирования	90	20	4

При движении машины на больших скоростях по пересеченной местности динамическая нагрузка на звенья и связи подвески военной гусеничной машины в несколько раз превышает их статическую нагрузку [8, 9]. И это необходимо учитывать при конструировании элементов подвески, при определении нагрузок часто невозможно обойтись без длительных и затратных экспериментальных исследований. Экспериментальный способ подбора параметров подвески длителен, требует больших затрат времени и средств и не всегда приводит к правильному результату. Особенно это относится к сравнительно новым устройствам подвесок военных гусеничных машин, свойства которых детально пока не изучены [4, 5].

При стратегическом планировании модельного эксперимента необходимо задать факторы (критерии оценки), функцию отклика и выбрать тип плана.

С помощью разработанной имитационной модели движения военной гусеничной машины по представительскому маршруту протяженностью 5 км со случайными реализациями параметров дороги проведен ряд модельных экспериментов со следующими варьируемыми параметрами (факторами):

- жесткость упругих элементов (кН/м);
- динамические характеристики амортизаторов (кН);
- количество амортизаторов (шт.).

Откликом являлось значение средней скорости при движении по маршруту. Тогда функция отклика Y запишется [1]:

$$Y = V_{cp} = f(c, r, n),$$

где c — жесткость упругих элементов, кН/м;

r — динамические характеристики амортизаторов, кН;

n — количество амортизаторов в системе поддрессирования, шт.

В связи с тем, что влияние варьируемых параметров друг на друга очевидно и нелинейно, выбран полный факторный эксперимент (ПФЭ) для трехфакторного эксперимента [1]. Поскольку согласно предварительным исследованиям поверхности отклика должны быть нелинейными, то факторы имели три уровня варьирования [2] (табл. 1).

На этапе планирования эксперимента заполняют таблицу соответствия натуральных и кодированных значений факторов, так называемую матрицу эксперимента (табл. 1).

Основными уровнями факторов были приняты следующие номинальные значения:

- жесткость упругих элементов c , 120–300 кН/м;
- динамические характеристики амортизаторов r , 60–100 кН ;
- количество амортизаторов n , 2–10 шт.

В классическом полном факторном эксперименте количество опытов равно количеству неповторяющихся комбинаций уровней факторов:

$$N = p^k,$$

где p — число уровней (в ПФЭ — 3); k — число факторов. Матрица плана эксперимента показана в табл. 2.

Коэффициенты уравнения регрессии определяются по методу наименьших квадратов, поэтому необходимо отметить, что экспериментальные данные должны быть однородными и нормально распределенными [6, 7].

Любой коэффициент уравнения регрессии b_j определяется скалярным произведением столбца y на соответствующий столбец x_j , отнесенным к числу опытов в матрице планирования N :

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} y_i,$$

где $b_0, b_1, \dots, b_n$ — коэффициенты регрессии;

N — число экспериментов.

Для определения коэффициентов взаимодействия необходимо расширить табл. 2 дополнительными столбцами 6–9, учитывающими эф-

Таблица 2

Матрица полного факторного эксперимента
в закодированном виде

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	Y
1	2	3	4	5	6
1	+1	-1	-1	-1	Y_1
2	+1	0	-1	-1	Y_2
3	+1	1	-1	-1	Y_3
4	+1	-1	0	-1	Y_4
5	+1	0	0	-1	Y_5
6	+1	1	0	-1	Y_6
7	+1	-1	1	-1	Y_7
8	+1	0	1	-1	Y_8
9	+1	1	1	-1	Y_9
10	+1	-1	-1	0	Y_{10}
11	+1	0	-1	0	Y_{11}
12	+1	1	-1	0	Y_{12}
13	+1	-1	0	0	Y_{13}
14	+1	0	0	0	Y_{14}
15	+1	1	0	0	Y_{15}
16	+1	-1	1	0	Y_{16}
17	+1	0	1	0	Y_{17}
18	+1	1	1	0	Y_{18}
19	+1	-1	-1	1	Y_{19}
20	+1	0	-1	1	Y_{20}
21	+1	1	-1	1	Y_{21}
22	+1	-1	0	1	Y_{22}
23	+1	0	0	1	Y_{23}
24	+1	1	0	1	Y_{24}
25	+1	-1	1	1	Y_{25}
26	+1	0	1	1	Y_{26}
27	+1	1	1	1	Y_{27}

Примечание: знаки +1 и -1 означают значения факторов: верхнего и нижнего уровня, 0 — среднего уровня соответственно

факт двойного и тройного взаимодействия факторов, табл. 3. Эффекты взаимодействия определяются аналогично линейным эффектам.

Результатами имитационного моделирования явилось уравнение множественной линейной регрессии, которое в общем виде запишется:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3,$$

где $b_0, b_1, \dots, b_n$ — коэффициенты регрессии; $X_1, \dots, X_n$ — факторы.

Таблица 3

Расширенная матрица планирования полного факторного эксперимента 3^3

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	Y_1
2	+1	0	-1	-1	0	0	1	0	Y_2
3	+1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	Y_3
4	+1	-1	0	-1	0	1	0	0	Y_4
5	+1	0	0	-1	0	0	0	0	Y_5
6	+1	1	0	-1	0	-1	0	0	Y_6
7	+1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	Y_7
8	+1	0	1	-1	0	0	-1	0	Y_8
9	+1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	Y_9
10	+1	-1	-1	0	1	0	0	0	Y_{10}
11	+1	0	-1	0	0	0	0	0	Y_{11}
12	+1	1	-1	0	-1	0	0	0	Y_{12}
13	+1	-1	0	0	0	0	0	0	Y_{13}
14	+1	0	0	0	0	0	0	0	Y_{14}
15	+1	1	0	0	0	0	0	0	Y_{15}
16	+1	-1	1	0	-1	0	0	0	Y_{16}
17	+1	0	1	0	0	0	0	0	Y_{17}
18	+1	1	1	0	1	0	0	0	Y_{18}
19	+1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	Y_{19}
20	+1	0	-1	1	0	0	-1	4	Y_{20}
21	+1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	Y_{21}
22	+1	-1	0	1	0	-1	0	0	Y_{22}
23	+1	0	0	1	0	0	0	0	Y_{23}
24	+1	1	0	1	0	1	0	0	Y_{24}
25	+1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	Y_{25}
26	+1	0	1	1	0	0	1	0	Y_{26}
27	+1	1	1	1	1	1	1	1	Y_{27}

Для определения дисперсии воспроизводимости в каждой серии параллельных опытов вычисляют оценку дисперсии, приведено в табл. 4:

$$S_j^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{\text{эсп}} - Y_p)^2,$$

где n — количество параллельных опытов;

$Y_{\text{эсп}}$ — средний отклик эксперимента;

Y_p — расчетное значение отклика.

Проверка воспроизводимости дисперсий по критерию Кохрена:

$$G_p = \frac{\max(S^2\{\tilde{y}_i\})}{\sum_{i=1}^N S^2\{\tilde{y}_i\}} = \frac{0,813}{5,495} = 0,102 < G_T = 0,2167,$$

где $\max(S^2\{\tilde{y}_i\})$ — максимальное значение дисперсии;

$\sum_{i=1}^N S^2\{\tilde{y}_i\}$ — сумма квадратов дисперсий.

Для степеней свободы $f = n - 1 = 3 - 1 = 2$ и $K = N = 27$ при уровне значимости 0,95 табличное значение критерия Кохрена $G_T = 0,2167$. Гипотеза об однородности дисперсий принимается.

Таблица 4

Результаты определения дисперсии воспроизводимости

Номер точки плана эксперимента	Отклики параллельных экспериментов			Среднее значение отклика	Расчетное значение отклика	Дисперсия
	$Y_{\varepsilon 1}$	$Y_{\varepsilon 2}$	$Y_{\varepsilon 3}$	$Y_{\text{эпр}}$	Y_p	S_j^2
1	28,1	28,3	28,9	28,433	27,498	0,173
2	35,08	35,3	35,9	35,427	37,384	0,180
3	44,7	45,6	45,2	45,167	47,270	0,203
4	35,1	35,6	35,9	35,533	37,686	0,163
5	36,23	36,81	36,56	36,533	37,535	0,085
6	35,68	35,9	35,32	35,633	37,385	0,086
7	44,1	45,31	45,2	44,870	47,873	0,448
8	35,8	36,75	36,7	36,417	37,687	0,286
9	28,58	28,7	28,9	28,727	27,500	0,026
10	37,6	37,73	38,4	37,910	39,392	0,184
11	38,8	39,6	39,2	39,200	39,592	0,160
12	40,4	41,6	40,78	40,927	39,793	0,376
13	40,68	41,89	41,3	41,290	39,772	0,366
14	40,7	41,65	41,3	41,217	39,396	0,231
15	39,3	39,15	39,4	39,283	39,019	0,016
16	42,67	43,2	43,31	43,060	40,153	0,117
17	40,2	40,33	40,9	40,477	39,200	0,139
18	36,1	36,6	37,14	36,613	38,246	0,271
19	47,1	47,32	48,76	47,727	51,286	0,813
20	49,14	49,28	48,4	48,940	79,637	0,224
21	34,21	33,34	33,6	33,717	32,316	0,199
22	42,46	43,52	42,6	42,860	41,859	0,332
23	43,12	43,19	42,84	43,050	41,256	0,034
24	38,5	38,9	38,7	38,700	40,654	0,040
25	35,1	34,32	34,51	34,643	32,433	0,165
26	40,1	40,16	39,57	39,943	40,712	0,105
27	47,1	47,45	47,63	47,393	48,991	0,073
$\sum_{j=1}^N S_j^2$						5,495

Поскольку матрица полного факторного эксперимента является диагональной матрицей, то коэффициенты регрессии некоррелированы между собой, следовательно, значимость для каждого коэффициента в отдельности можно проверять по критерию Стьюдента, при этом

исключение из уравнения регрессии незначимого коэффициента не скажется на остальных коэффициентах. Величины коэффициентов уравнения регрессии характеризуют вклад каждого фактора в величину Y . Диагональные элементы ковариационной матрицы равны между собой,

Оценка значимости коэффициентов регрессии

Коэффициент регрессии	Оценка по величине критерия Стьюдента			
	Значение коэффициентов регрессии b_i	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$	Результат оценки b_i
b_0	39,396	0,0075	453,765	39,396
b_1	-0,377		4,337	-0,377
b_2	-0,196		2,262	-0,196
b_3	1,860		21,429	1,860
b_{12}	-0,577		6,646	-0,577
b_{13}	-0,226		2,606	-0,226
b_{23}	-0,348		4,006	-0,348
b_{123}	9,459		108,951	9,459

поэтому все коэффициенты уравнений определяются с одинаковой точностью:

$$S_{b_j} = \sqrt{S^2_{(b_j)}}.$$

Значимость коэффициентов регрессии оценивалась по критерию Стьюдента. Значение по модулю коэффициента менее критерияльного значения говорит о его незначительности и в уравнение регрессии не принимается.

Для установления факта незначимости коэффициента необходимо вычислить оценки дисперсии, с которой они определялись:

$$S^2(b_i) = \frac{S^2(y)}{N},$$

где $S^2(y) = \frac{1}{N} \sum S_f^2$; N — количество опытов.

С оценками дисперсий $S^2(y)$ и $S^2(b_i)$ связывают число степеней свободы:

$$f_b = N \cdot (n - 1),$$

где N — количество опытов;

n — число параллельных опытов.

Для 54 степеней свободы и 95 % уровне значимости критерий Стьюдента равен $t = 2,005$.

Результаты оценки значимости коэффициентов регрессии сведены в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что незначимых коэффициентов нет. Уравнение регрессии в кодированном виде будет выглядеть следующим образом:

$$Y = 39,396 - 0,377x_1 - 0,196x_2 + 1,860x_3 - 0,577x_1x_2 - 0,226x_1x_3 - 0,348x_2x_3 + 9,459x_1x_2x_3.$$

Адекватность полученного уравнения регрессии проверялась по критерию Фишера [3]. В нашем случае $k_1 = N - n - 1 = 27 - 3 - 1 = 23$; $k_2 = m - 1 = 3 - 1 = 2$ и при 95 % уровне значимости критерияльное значение $F_T = 19,452$. Если расчетное значение меньше табличного, модель регрессии адекватно описывает процесс. Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, представлены в табл. 6.

Как видно из табл. 6, значение расчетного критерия Фишера меньше табличного, что указывает на адекватность регрессионной модели исследуемому процессу в рассматриваемой области поверхности отклика.

Расшифруем кодированное уравнение регрессии, подставив натуральные значения по формуле:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i_0}}{J_0},$$

где x_i — кодированное значение фактора $(-1, 0, 1)$;

$\tilde{x}_i$ — натуральное значение фактора;

$\tilde{x}_{i_0}$ — натуральное значение основного уровня фактора;

J_0 — интервал варьирования.

Таблица 6

Результаты расчета критерия Фишера

Номер опыта	Экспериментальное Y_i	Расчетное по уравнению $\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$
1	28,433	27,498	0,875
2	35,427	37,384	3,831
3	45,167	47,270	4,424
4	35,533	37,686	4,633
5	36,533	37,535	1,004
6	35,633	37,385	3,069
7	44,870	47,873	9,019
8	36,417	37,687	1,613
9	28,727	27,500	1,504
10	37,910	39,392	2,196
11	39,200	39,592	0,154
12	40,927	39,793	1,286
13	41,290	39,772	2,303
14	41,217	39,396	3,315
15	39,283	39,019	0,070
16	43,060	40,153	8,450
17	40,477	39,200	1,631
18	36,613	38,246	2,665
19	47,727	51,286	12,666
20	48,940	79,637	942,316
21	33,717	32,316	1,963
22	42,860	41,859	1,001
23	43,050	41,256	3,217
24	38,700	40,654	3,816
25	34,643	32,433	4,886
26	39,943	40,712	0,591
27	47,393	48,991	2,554
Сумма			1025,052
Дисперсия остаточная $S_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - m - 1}$			44,567
Дисперсия факторная $S_{\text{факт}}^2 = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{m - 1}$			512,526
Критерий Фишера расчетный $F = \frac{S_{\text{факт}}^2}{S_{\text{ост}}^2}$			11,5

$$x_1 = \frac{c - 210}{90(300 - 120)} = \frac{c - 210}{16200};$$

$$x_2 = \frac{r - 80}{20(100 - 60)} = \frac{r - 80}{800} = 0,00125r - 0,1;$$

$$x_3 = \frac{n-6}{4(10-2)} = \frac{n-6}{32} = 0,03125n - 0,1875.$$

Подставив, в закодированное уравнение полученные выражения, получим:

$$Y = 39,06 - 0,000006c + 0,06n - \\ - 0,0013r - 0,000002cn - 0,000002cr - \\ - 0,00013nr + 0,000002cnr.$$

Таким образом, с помощью имитационного моделирования стало возможным получить регрессионную зависимость показателя подвижности — средней скорости от значения жесткости упругих элементов, динамических характеристик амортизаторов на прямом ходу и количества амортизаторов, установленных на военных гусеничных машинах.

Список источников

1. Некрасов В.И. Планирование и обработка результатов: учеб. пособие. Курган: Изд-во Курганского гос. университета, 1998. 146 с.

2. Ермаков С.М., Жиглявский А.А. Математическая теория оптимального эксперимента: учебник. М.: Наука, 1987. 320 с.

3. Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б., Горбунова А.А. О применении и мощности критериев проверки однородности дисперсий. Ч. 2. Параметрические критерии // Измерительная техника. 2010. № 3. С. 21–32.

4. Шевченко А.А. Проблемы и перспективы развития бронетанковой и автомобильной техники: Федеральный справочник / Оборонно-промышленный комплекс России 2009–2010. Вып. 6. М.: Центр стратегических программ, 2010. 226 с.

5. Клепик Н.К., Клементьев Д.С. Корреляционно-регрессионный анализ в задачах автомобильного транспорта: учеб. пособие. Волгоград: ВолГТУ, 2009. 58 с.

6. Лапач С.Н., Радченко С.Г. Регрессионный анализ в условиях неоднородности факторного пространства // Математические машины и системы. 2016. № 3. С. 55–63.

7. Лысенко А.А. Введение в регрессионный анализ данных и регрессионные модели // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2020. Т. 1, № S2. С. 15.

8. Ташкинов А.А., Денисенко В.И., Стихановский Б.Н. Параметры дорожного полотна, учитываемые при расчетах систем подпрессоривания военных гусеничных машин // Наука и военная безопасность. 2024. № 2 (37). С. 36–40.

9. Ташкинов А.А., Попов А.Ю. Определение средних скоростей движения военных гусеничных машин по «пробою подвески» // Наука и военная безопасность. 2024. № 4 (39). С. 11–14.

References

1. Nekrasov V.I. Planning and processing of results: a tutorial. Kurgan: Publishing house of Kurgan state university, 1998. 146 p.

2. Ermakov S.M., Zhiglyavsky A.A. Mathematical theory of optimal experiment: a tutorial. Moscow: Science. 1987. 320 p.

3. Lemeshko B.Yu., Lemeshko S.B., Gorbunova A.A. On the application and power of criteria for testing the homogeneity of variances. Part 2. Parametric criteria // Measuring equipment. 2010. No 3. Pp. 21–32.

4. Shevchenko A.A. Problems and Prospects of Development of Armored and Automotive Equipment: Federal Handbook. Defense-Industrial Complex of Russia 2009–2010. Issue 6. Moscow: Center for Strategic Programs, 2010. 226 p.

5. Klepik N.K., Klementyev D.S. Correlation and Regression Analysis in Automobile Transport Problems: A Tutorial. Volgograd: VolGTU, 2009. 58 p.

6. Lapach S.N., Radchenko S.G. Regression Analysis in Conditions of Heterogeneity of Factor Space // Mathematical Machines and Systems. 2016. No 3. Pp. 55–63.

7. Lysenko A. A. Introduction to Regression Data Analysis and Regression Models // Proceedings of the St. Petersburg State Marine Technical University. 2020. Vol. 1. No S2. P. 15.

8. Tashkinov A.A., Denisenko V.I., Stikhanovsky B.N. Roadway parameters taken into account when calculating the suspension systems of military tracked vehicles // Science and military security. 2024. No 2 (37). Pp. 36–40.

9. Tashkinov A.A., Popov A.Yu. Determination of average speeds of military tracked vehicles by «suspension breakdown» // Science and military security. 2024. No 4 (39). Pp. 11–14.

УДК 621.43

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_149

**РЕЗУЛЬТАТЫ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ,
ПРОИСХОДЯЩИХ В ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ,
НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

**THE RESULTS OF A FORMALIZED DESCRIPTION OF THE PROCESSES
OCCURRING IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, NECESSARY FOR
SOLVING DIAGNOSTIC PROBLEMS**

В.В. Нечаев

V.V. Nechaev

Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева

Создание диагностических моделей позволяет формализовать происходящие процессы, прописать схемы анализа, составить удобные алгоритмы и автоматизировать ряд задач. Разработка диагностических моделей процессов, происходящих при функционировании двигателя важна для эффективного управления его техническим состоянием. В статье представлена диагностическая модель, описывающая процессы, происходящие в двигателе военной автомобильной техники при проворачивании коленчатого вала без инициализации рабочего процесса, позволяющая сделать вывод о том, что момент сопротивления вращению коленчатого вала и ток, потребляемый стартером, меняется синусоидально, причем максимумы тока соответствуют очередным приходам поршней в верхнюю мертвую точку. Зафиксировав максимумы синусоиды, формируемой в результате прокрутки стартером коленчатого вала и зная порядок работы цилиндров можно без труда сделать заключение о техническом состоянии деталей кривошипно-шатунного и газораспределительных механизмов двигателя.

Ключевые слова: теория механизмов и машин, диагностическая модель, максимумы тока, приход поршней двигателя в верхнюю мертвую точку, момент вращения стартера.

The creation of diagnostic models allows you to formalize ongoing processes, prescribe analysis schemes, create convenient algorithms and automate a number of tasks. The development of diagnostic models of processes occurring during engine operation is important for effective management of its technical condition. The article presents a diagnostic model describing the processes occurring in the engine of military vehicles when cranking the crankshaft without initializing the workflow, which allows us to conclude that the moment of resistance to rotation of the crankshaft and the current consumed by the starter varies sinusoidally, with current maxima corresponding to the next arrivals of pistons at the top dead center. Having fixed the maxima of the sinusoid formed as a result of scrolling the crankshaft by the starter and knowing the order of operation of the cylinders, it is possible to easily draw a conclusion about the technical condition of the parts of the crank and gas distribution mechanisms of the engine.

Keywords: theory of mechanisms and machines, diagnostic model, current maxima, arrival of engine pistons at the top dead center, starter rotation moment.

Разработка диагностической модели военной автомобильной техники в целом для решения задач технической диагностики затруднено ввиду её чрезвычайной сложности. Для практических целей необходимо строить формализованное описание, которое является исходным для определения и выполнения алгоритмов диагностирования отдельных агрегатов, систем или механизмов. На таких моделях могут быть решены задачи оценки их технического состояния и поиска неисправностей, а также прогнозирование изменения технического состояния. Для разработки диагностической модели военную автомобильную технику целесообразно представить в виде блочно-функциональной схемы.

Формализованное описание процессов, происходящих в двигателе, также как и в отдельно взятом экземпляре военной техники в целом, складывается из формализованного описания процессов, происходящих в его системах и механизмах.

Основу двигателя составляют кривошипно-шатунный и газораспределительные механизмы, детали которых совершают сложные, возвратно-поступательные и вращательные движения. Используя теорию машин и механизмов, а также физику упругих колебаний, проведем анализ явлений, происходящих в кинематических парах двигателя внутреннего сгорания военной автомобильной техники.

В работающем механизме различают три вида физических процессов:

- движение его деталей;
- взаимный обмен энергией с внешней средой;
- разрушение деталей.

Диагностика имеет дело со всеми этими процессами. Разрушение элементов механизма, в данном случае деталей, приводит к изменению состояния механизма в целом, определение технического состояния которого является одной из задач диагностики. Процессы взаимодействия механизма с внешней средой служат диагностическим сигналом. Благодаря движению элементов механизма устанавливается связь между состоянием его деталей и диагностическим сигналом [1].

Рассмотрим движение деталей, соединенных в кинематические пары. Анализ будет опираться на ряд абстракций и допущений, которые приводят к определенным погрешностям, однако

он позволит вскрыть принципиальную сущность этих явлений и облегчит понимание механизма возникновения упругих колебаний в системах и механизмах двигателя.

Любой физический объект при анализе можно идеализировать многими способами. Так, в теории механизмов и машин рассматриваются схемы технических устройств, у которых кинематические цепи замкнуты. Такая идеализация приводит к одномерной динамической задаче. Все движущиеся массы и действующие на них силы удастся привести к одной точке выбранного звена приведения и вместо анализа сложной системы, которой, безусловно, является любой механизм, ограничиться рассмотрением движения материальной точки с одной степенью свободы. Такие идеализированные схемы механизмов служат для объяснения простейших свойств их движения и успешно используются при проектировании.

Реальный механизм всегда имеет внутренние степени свободы, связанные с наличием зазоров в кинематических парах и других дефектов. Для формализованного описания происходящих в них процессов это обстоятельство является существенным, так как механизм выступает в качестве системы со многими степенями свободы. Точная постановка задачи о движении реального механизма требует составления и решения многомерной системы дифференциальных уравнений, порядок которой равен удвоенному числу степеней свободы механизма. Такой подход к задаче о движении механизма неизбежно привел бы к невозможности её решения. Следовательно, первым шагом в упрощении задачи будет рассмотрение относительного движения элементов механизма, соединенных в кинематическую пару, изолированно от движения других деталей. Силы, действующие на детали рассматриваемой пары со стороны сопряженных с нею элементов, будем считать заданными и независимыми от состояния этих элементов. Такое упрощение, в известных пределах, допустимо, поскольку практически наблюдаемые изменения состояния деталей в результате износа или технологических нарушений невелики и их проявления во время работы механизма носят локальный характер [2].

Детали механизма во время работы совершают сложные движения, поэтому необходимо со-

средоточить внимание только на перемещении деталей относительно друг друга по паразитным степеням свободы. Это второй шаг в идеализации рассматриваемых явлений. И наконец, третьим шагом в этом направлении будет концентрация внимания только на одной стороне относительного движения деталей, соединенных в кинематическую пару, это процесс их соударения.

Важнейшей характеристикой кинематической пары, определяющей её ресурс и эффективность функционирования, является закон взаимодействия деталей. Силы, действующие между сопряженными деталями, можно разделить на квазистатические (постоянные или медленно меняющиеся), силы трения и импульсные. Они различаются между собой характером изменения во времени. Особенность квазистатических взаимодействий заключается в том, что они не возбуждают в механизме упругих колебаний. За редким исключением к ним можно отнести все нормальные силы, действующие на детали «идеального» механизма [3, 4].

Импульсные взаимодействия возникают при соударении деталей. Они отличаются значительной величиной и малой длительностью процесса. В первый момент столкновения деталей деформация и напряжения локализуются лишь в малом объеме материала, а большая часть механизма остается в невозмущенном состоянии. Лишь через некоторое время возмущение распространится по всему механизму и в нем начнется колебательный процесс [5].

Формализовано опишем, при помощи математического аппарата, происходящее в двигателе внутреннего сгорания при проворачивании коленчатого вала без инициализации рабочего процесса. При прокручивании коленчатого вала двигателя момент сопротивления вращению M_c можно представить как сумму момента, учитывающего механические затраты энергии на вращение кривошипно-шатунного механизма и привод вспомогательных механизмов $M_{мех}$, момента сопротивления трению $M_{тр}$ и момента сопротивления на сжатие рабочей смеси $M_{сж}$:

$$M_c = M_{сж} + M_{тр} + M_{мех}.$$

Для упрощения формализованного описания момента сопротивления вращению используем схему движения кривошипно-шатунного

механизма, отображенную на рис. 1. Для определения степени изменения момента сопротивления вращению от угла поворота коленчатого вала необходимо установить его максимальное и минимальное значения.

Сила, действующая на поршень, максимальна при $\varphi = 180^\circ$. Рассмотрим момент сопротивления коленчатого вала при прокрутке двигателя, который производит компенсацию этой силы. Очевидно, что в мертвых точках, когда сила, действующая на поршень, направлена вдоль

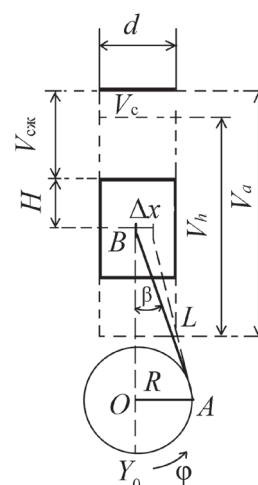


Рис. 1. Схема движения

кривошипно-шатунного механизма:

- $V_{сж}$ — объем надпоршневого пространства;
- d — диаметр поршня; V_c — объем камеры сгорания;
- V_a — полный объем цилиндра;
- V_h — рабочий объем цилиндра;
- R — длина кривошипа коленчатого вала;
- L — длина шатуна; φ — угол поворота;
- H — расстояние от центра поршневого пальца до дна цилиндра;
- β — угол между осью поршня и шатуном

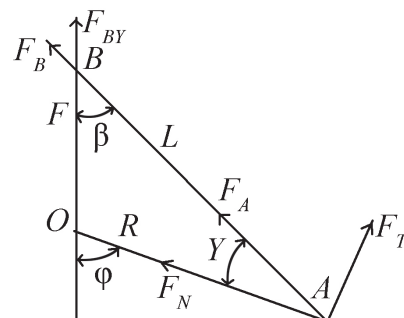


Рис. 2. Силы, действующие на кривошипно-шатунный механизм

кривошипа коленчатого вала, рассматривается отрезок OA , этот момент равен 0. Схематично силы, действующие на кривошипно-шатунный механизм, представлены на рис. 2.

Шатун в точке B действует на поршень с силой F_B , направленной вдоль отрезка AB , причем вертикально составляющая её F_{BY} по величине равна F .

$$F_B = \frac{F}{\cos \beta}.$$

Выразим угол β , который, в соответствии с рис. 1 и 2, будет определяться как:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{R \sin \varphi}{L}\right);$$

$$F_A = F_B = \frac{F}{\cos \beta}.$$

Сила F_A имеет две составляющие:

F_N — направлена к центру вращения коленчатого вала и препятствует растягиванию отрезка OA ;

F_T — создается моментом сопротивления M_c .

$$M_c = F_T R. \quad (1)$$

Из рис. 2 следует что:

$$F_T = F_A \cos Y;$$

$$Y = 180^\circ - (180^\circ - \varphi) - \beta = \varphi - \beta.$$

Следовательно, F_T будет равно:

$$F_T = \frac{F}{\cos \beta} \sin(\varphi - \beta).$$

Подставляя полученные величины в выражение (1) определим искомый момент:

$$M_c = \frac{F R}{\cos \beta} \sin(\varphi - \beta).$$

Используя программу MathCad, промоделируем изменение этого момента от угла поворота коленчатого вала двигателя для ряда значений, используя для этого двигатель модели ТМЗ 8492.10–033. Кривые, получившиеся в результате моделирования, представленные на рис. 3, позволяют утверждать, что момент

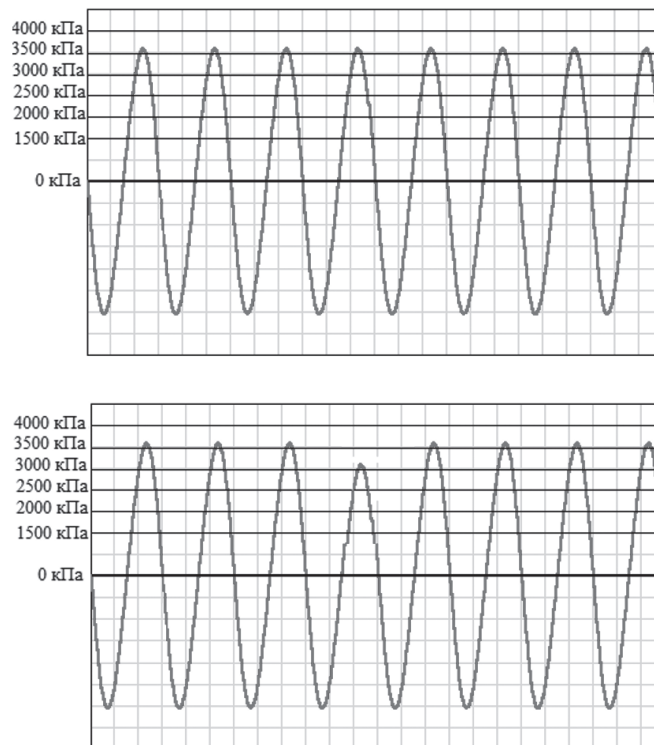


Рис. 3. Промоделированный при помощи программы MathCad момент сопротивления M_c

сопротивления изменяется по синусоиде от угла поворота коленчатого вала φ .

Как следует из расчетов, и наблюдается на полученных графиках, максимум момента смещен относительно прихода поршня в верхнюю мертвую точку на постоянный угол, и при прочих равных условиях зависит от длины кривошипа, длины шатуна, радиуса поршня и компрессии [6].

На верхней части рис. 3 представлена синусоида, указывающая на отсутствие неисправностей, в том числе и износа, деталей кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов двигателя.

Изменяя данные и вводя заведомо значения, которые не соответствуют работоспособному состоянию элементов кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов двигателя, получим синусоиду, отображенную на нижней части рис. 3.

Зная порядок работы цилиндров двигателя 1–5–4–2–6–3–7–8, можно сделать вывод о том, что во втором цилиндре давление в конце такта сжатия ниже, чем в остальных, на 5–6 кПа. Это указывает на наличие неисправности [7].

Определим, каким образом изменяется ток, потребляемый стартером при прокрутке двигателя. Для обеспечения вращения коленчатого вала двигателя необходимо, чтобы момент вращения стартера $M_{вр}$ был равен максимальному моменту сопротивления [8, 9].

Момент вращения стартера при прокрутке двигателя без его пуска определяется произведением тока якоря $I_я$ и магнитного потока Φ :

$$M_{вр} = C_m I_я \Phi, \quad (2)$$

где C_m — постоянная электродвигателя.

В свою очередь магнитный поток определяется отношением:

$$\Phi = \frac{F_n}{R_{мц}},$$

где F_n — намагничивающая сила;

$R_{мц}$ — сопротивление магнитной цепи.

Намагничивающая сила будет равна:

$$F = \varpi_{ов} I_я,$$

где $\varpi_{ов}$ — число витков обмотки возбуждения стартера.

Подставив полученные величины в выражение (2), получим:

$$M_{вр} = C_m I_я \frac{\varpi_{ов} I_я}{R_{мц}}. \quad (3)$$

Бесспорным выглядит утверждение о том, что при вращении коленчатого вала стартером момент сопротивления должен быть равным моменту вращения:

$$M_{вр} = M_c.$$

Из выражения (3) определим величину тока якоря стартера при прокрутке двигателя:

$$I_я = \sqrt{\frac{M_c}{C_m \varpi_{ов}}} R_{мц}. \quad (4)$$

Подставив величину момента сопротивления в выражение (4), установим зависимость изменения тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя:

$$I_я = \sqrt{\frac{FR \sin(\varphi - \beta) R_{мц}}{C_m \varpi_{ов} \cos \beta}}.$$

Таким образом, и момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала, и ток, потребляемый стартером при проворачивании двигателя, с незначительным допущением изменяются синусоидально от угла поворота коленчатого вала, причем максимумы тока соответствуют очередным приходам поршней двигателя в верхнюю мертвую точку. Силу, действующую на поршень, можно представить равной:

$$F = PS,$$

где P — давление в цилиндре двигателя;

S — площадь поршня.

Максимальная величина данной силы будет определяться зависимостью:

$$F_{max} = \frac{P_k \pi d^2}{4},$$

где P_k — давление в конце такта сжатия;
 d — диаметр поршня.

Вывод о том, что момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала и ток, потребляемый стартером при проворачивании двигателя, изменяются синусоидально от угла поворота коленчатого вала, подтверждается и экспериментальным путем.

Сущность натурального эксперимента заключается в том, что отключают подачу топлива в цилиндры двигателя, тем самым обеспечивают невозможность пуска двигателя. Аккумуляторная батарея должна быть заряжена. В осциллографическом устройстве с функцией запоминания изображения, используемом для анализа синусоидального сигнала, на экран которого специально наносят шкалу соответствия между определяемым осциллографическим устройством изображением кривой и значением величины давления в цилиндрах двигателя, устанавливают необходимый режим и масштаб измерений. Подключают осциллограф к аккумуляторной батарее диагностируемого двигателя. Датчик стробоскопа соединяют со штуцером или топливопроводом топливного насоса высокого давления (ТНВД) первого цилиндра. Стартером прокручивают не более 10 с коленчатый вал диагностируемого двигателя без инициализации рабочего процесса. Одновременно с этим стробоскоп направляют на начало экрана осциллографического устройства с той стороны, откуда появляется при прокрутке коленчатого вала двигателя кривая в форме синусоиды на уровне её максимального значения. Стробоскоп осветит точку на синусоиде. Контролируют прохождение этой точки, которая будет находиться на одной из вершин синусоиды и соответствовать приходу поршня первого цилиндра в верхнюю мертвую точку на такте сжатия, по всему экрану осциллографического устройства и при перемещении точки в противоположную часть экрана фиксируют и запоминают положение синусоиды при помощи осциллографического устройства. Выводят запомненное положение синусоиды на экран. Зная максимум синусоиды, который соответствует моменту прихода поршня первого цилиндра в верхнюю мертвую точку на такте сжатия, порядок работы цилиндров двигателя, используя специальную шкалу экрана осциллографического устройства, делают заключение о техническом состоянии деталей кривошипно-

шатунного и газораспределительных механизмов отдельных цилиндров двигателя [10–12].

Таким образом, с помощью формализованного описания процессов, происходящих в механизмах двигателя, была разработана диагностическая модель двигателя внутреннего сгорания военной автомобильной техники, которая стала основой нового метода диагностирования. Результатом формализованного описания стал обоснованный вывод о том, что момент сопротивления вращению коленчатого вала и ток, потребляемый стартером в момент прокручивания маховика, а, следовательно, и коленчатого вала диагностируемого двигателя без его пуска, изменяется синусоидально, причем максимумы тока соответствуют очередным приходам поршней двигателя в верхнюю мертвую точку.

Список источников

1. Игнатьев С.В., Нечаев В.В. Оценка эффективности функционирования и направления совершенствования процессов поддержания и обеспечения работоспособного состояния военной автомобильной техники // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 1–2 (139–140). С. 36–42.
2. Нечаев В.В., Дубовский В.А. Формализованное описание процесса локализации отказа, возникающего при эксплуатации военной автомобильной техники // Вестник ВА МТО им. А.В. Хрулева. 2020. № 1 (21). С. 58–64.
3. Картуков А.Г., Нечаев В.В. Метод определения разброса компрессии в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания при прокрутке коленчатого вала // Двигателестроение. 2017. № 1 (267). С. 31–33.
4. Нечаев В.В. Моделирование системы регламентированного технического обслуживания автомобильной техники // Строительные и дорожные машины. 2019. Вып. 12. М.: Инновационное машиностроение. С. 37–40.
5. Малкин В.С. Теоретические основы технической эксплуатации: конспект лекций для студентов вузов. Тольятти: ТГУ, 2004. 242 с.
6. Нечаев В.В., Головкин К.В. Метод определения технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя по величине давле-

ния газов в картере // Двигателестроение. 2018. Вып. 4 (284). С. 31–34.

7. Патрин А.Н., Нечаев В.В., Меркушов Ю.Н. Функциональное диагностирование электромагнитных форсунок впрысковых ДВС с искровым зажиганием // Автомобильная промышленность. 2007. № 8. С. 29–31.

8. Нечаев В.В., Воробьев Е.В., Тарасенко А.А. Методики технического диагностирования цилиндропоршневой группы дизелей холодной пусковой прокруткой коленчатого вала // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3 (50). С. 23.

9. Аринин И.Н. Техническая эксплуатация автомобиля: учеб. пособие для вузов. Ростов: Феникс, 2015. 308 с.

10. Программа для расчета скорости движения двухзвенной гусеничной машины на плаву: свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661584 Рос. Федерация. № 023660233; заявл. 11.05.2023; опубл. 01.06.2023, Бюл. № 6.

11. Способ эксплуатации автомобильной техники: пат. 2731740 Рос. Федерация. № 201914383; заявл. 23.12.2019; опубл. 08.09.2020, Бюл. № 25. 7 с.

12. Способ комплексного диагностирования двигателя и агрегатов трансмиссии автомобильной техники: пат. 2788020 Рос. Федерация. № 2021134460; заявл. 24.11.2021; опубл. 16.01.2023, Бюл. № 2. 17 с.

References

1. Ignatiev S.V., Nechaev V.V. Evaluation of the effectiveness of functioning and directions for improving the processes of maintaining and ensuring the operational condition of military automotive equipment // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2020. № 1–2 (139–140). Pp. 36–42.

2. Nechaev V.V., Dubovsky V.A. A formalized description of the process of localization of failure occurring during the operation of military vehicles // Bulletin of the Military Academy of

Logistics named after A.V. Khrulev. 2020. № 1 (21). Pp. 58–64.

3. Kartukov A.G., Nechaev V.V. Method for determining the compression spread in the cylinders of an internal combustion engine when scrolling the crankshaft // Engine engineering. 2017. № 1 (267). Pp. 31–33.

4. Nechaev V.V. Modeling of the system of regulated maintenance of automotive equipment // Construction and road vehicles. Issue 12. Moscow: Innovative Mechanical Engineering, 2019. Pp. 37–40.

5. Malkin V.S. Theoretical foundations of technical operation. Lecture notes for university students. Tolyatti: TSU, 2004. 242 p.

6. Nechaev V.V., Golovko K.V. Method of determining the technical condition of the cylinder piston group of the engine by the amount of gas pressure in the crankcase // Engine building. Issue 4 (284). St. Petersburg: Ecology, 2018. Pp. 31–34.

7. Patrin A.N., Nechaev V.V., Merkushev Yu.N. Functional diagnostics of electromagnetic injectors of internal combustion engines with spark ignition // Automotive industry. 2007. No 8. Pp. 29–31.

8. Nechaev V.V., Vorobyov E.V., Tarasenko A.A. Methods of technical diagnostics of the cylinder piston group of diesel engines by cold cranking // Engineering Bulletin of the Don. 2018. № 3 (50). 23 p.

9. Arinin I.N. Technical operation of a car [Text]: A textbook for universities. Rostov: Feniks Publ., 2015. 308 p.

10. Program for calculation of speed of two-track crawler machine afloat: certificate of state registration of computer program № 2023661584 Ros. Federation. No. 023660233; filed. 11.05.2023; published 01.06.2023, Bulletin No. 6.

11. Method of operation of automobile equipment: patent. 2731740 Ros. Federation. No. 201914383; avv. 23.12.2019; published 08.09.2020, Bulletin No. 25. 7 p.

12. Method of complex diagnostics of engine and transmission units of automotive equipment: patent. 2788020 Ros. Federation. No. 2021134460; avv. 24.11.2021; published 16.01.2023, Bulletin No. 2. 17 p.

УДК 323.44

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_156

**9-ММ ПИСТОЛЕТ ЛЕБЕДЕВА ПЛК. ОШИБКИ, ДОПУСКАЕМЫЕ
СТРЕЛКАМИ ПРИ ПРИВЕДЕНИИ ОРУЖИЯ К НОРМАЛЬНОМУ БОЮ**
**LEBEDEV PLC 9-MM PISTOL. MISTAKES MADE BY SHOOTERS WHEN
RINGING THE GUN TO NORMAL COMBAT**

С.Н. Коломиец

S.N. Kolomiets

НПО «СТУС» МВД России

В настоящее время в подразделения органов внутренних дел Российской Федерации поступают принятые на вооружение 9-мм пистолеты ПЛК. За период почти 3-летней эксплуатации пистолета имеются единичные нарекания стрелков по возникающим дефектам прицельных приспособлений. В частности, речь идет о случаях поломки головки винта мушки пистолета. Причиной данного вида дефекта могут стать неправильные действия стрелков, выполняющих замену мушки и установку новой при приведении оружия к нормальному бою. Предлагается ряд мер, направленных на недопущение массовой поломки оружия при приведении оружия к нормальному бою. Актуализируется проблема представления в обобщенном виде правил и требований по обращению с оружием в период его приведения к нормальному бою, что предполагает регулировку прицельных приспособлений и при необходимости их замену.

Ключевые слова: пистолет, приведение пистолета к нормальному бою, прицельные приспособления, замена мушки, запасные инструменты и принадлежности.

Currently, the units of the internal affairs bodies of the Russian Federation are receiving adopted 9-mm PLC pistols. For the period of almost 3 years of operation of the pistol, there have been isolated complaints from shooters about defects in sighting devices. In particular, we are talking about cases of breakage of the front sight screw head. The reason for this type of defect may be incorrect actions by shooters who replace the front sight and install a new one when bringing the weapon to normal combat. A number of measures are proposed aimed at preventing mass breakage of weapons when bringing weapons to normal combat. The problem of presenting the rules and requirements for handling weapons in a generalized form during the period of their reduction to normal combat is being actualized, which involves adjusting the aiming devices and, if necessary, replacing them.

Keywords: pistol, bringing the pistol to normal combat, aiming devices, front sight replacement, spare tools and accessories.

В 2021 году в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 6 октября 2021 года № 1698 на вооружение органов внутренних дел Российской Федерации был принят 9×19 мм пистолет Лебедева компактный

(ПЛК). Пистолет прошел полный цикл Государственных испытаний, при этом доказав свою надежность в работе в различных климатических условиях (+50 °C и –50 °C), а также в затрудненных условиях эксплуатации, и занял почетное

место среди других образцов самозарядных пистолетов, состоящих на вооружении и применяемых сотрудниками органов внутренних дел Российской Федерации и других силовых структур в служебной деятельности.

В комплект пистолета ПЛК входят: пистолет, 3 магазина, одиночный комплект ЗИП, кобура поясная, подсумок на 2 магазина, формуляр и руководство по эксплуатации для ознакомления пользователей оружия с его устройством. Важно помнить, что пистолет, находящийся в подразделении и закрепленный за сотрудником, всегда должен быть приведен к нормальному бою.

Основным патроном к пистолету является 9×19 мм патрон федеральных органов (ПФО) [1]. Также к пистолету могут использоваться патроны 9×19 мм с пулей с бронебойным сердечником 7Н21-01 и 7Н21-02 [2].

В период достаточно короткого промежутка времени эксплуатации пистолета ПЛК, а это не более 3 лет, появлялись отдельные нарекания стрелков на его прицельные приспособления. В дальнейшем речь пойдет о случаях поломки винта мушки пистолета. Данный вид дефекта возможен при выполнении работ, связанных с заменой мушки при приведении оружия к нормальному бою.

Некоторые стрелки в процессе приведения пистолета ПЛК к нормальному бою (с заменой мушки) чрезмерно прикладывают усилие при затягивании винта шестигранным ключом и ломают его. Одна из возможных причин поломки винта — это использование для закручивания длинной протирки. Протирка, вставляющаяся в отверстие шестигранного ключа, имеет значительную длину (длину рычага) и, как следствие, чрезмерное усилие затяжки. Головка закаленного винта при этом испытывает значительную деформацию и зачастую отламывается.

Автором предлагается для затягивания винта использовать одну из имеющихся выколоток небольшой длины из одиночного комплекта ЗИП.

Рассмотрим более подробно, в каких же случаях может понадобиться замена мушки на пистолете ПЛК.

В руководстве по эксплуатации пистолета Лебедева ПЛК (пункт 2.3.2) указано: «пистолет, находящийся в подразделении, должен всегда быть приведен к нормальному бою» [3]. Приве-

дение к нормальному бою выполняется в случае, когда выявлено, что во время стрельбы по мишени отклонение пробойн от точки прицеливания составляет более 7,5 см, а также после ремонта пистолета. При этом необходимо уточнить один важный момент: все новое оружие, поступающее в подразделение от довольствующего органа и предприятия-изготовителя или поступившее из ремонтного органа, в соответствии с техническими условиями (далее — ТУ) на ПЛК является приведенным к нормальному бою и не требует никаких дополнительных действий по его пристрелке. В данном случае фраза «...а также после ремонта» является неверной и требует корректировки. Так, в наставлении по стрелковому делу 9-мм пистолета Макарова (ПМ) использована более правильная формулировка, указывающая, что проверка боя пистолета производится в следующих случаях [4]:

- при поступлении пистолета в часть;
- после ремонта или замены частей пистолета, которые могут повлиять на его бой;
- при обнаружении во время стрельбы ненормальных отклонений пуль.

Следует особо выделить детали пистолета ПЛК, которые в случае ремонта повлияют на его бой, — это ствол, рамка, затвор и находящиеся на нем детали прицельных приспособлений (мушка и целик). Поэтому, например, если в пистолете при ремонте был заменен ударник или пружина возвратного механизма, нет необходимости выполнять его пристрелку.

Если же, по результатам контрольных стрельб из пистолета ПЛК сотрудник принял мотивированное решение о необходимости его пристрелки, то она выполняется в соответствии с п. 2.3.2 Руководства с определением средней точки попаданий (далее — СТП).

Опираясь на положения существующего уже более 70 лет Наставления по стрелковому делу 9-мм пистолета ПМ, проверку боя оружия должен выполнять только наиболее подготовленный(е) сотрудник(и) данного подразделения и в обязательном присутствии тех лиц, за которыми закреплено это оружие. Также в этом подразделении (организации) должен быть установочный Приказ с указанием фамилий тех лиц, кто имеет право это выполнять. Это могут быть 2–3 человека, имеющие подтвержденную квалификацию по стрельбе из пистолета (как

наиболее приемлемый вариант — сотрудники, имеющие оценку не ниже «отлично» по огневой подготовке).

Точкой прицеливания при приведении пистолета к нормальному бою служит нижняя часть черного круга диаметром 200 мм (рис. 1, 2) мишени, установленной на расстоянии 25 м [5].

Стрелок, одинаковым образом прицеливаясь, производит четыре выстрела. Пистолет считается приведенным к нормальному бою, если СТП совпадает с точкой прицеливания или отклоняется от нее в любом направлении не более чем на 7,5 см, при большем отклонении пистолеты поступают на корректировку прицельной линии.

Регулировка, производимая при корректировке прицельной линии для обеспечения точности стрельбы, должна осуществляться [5]:

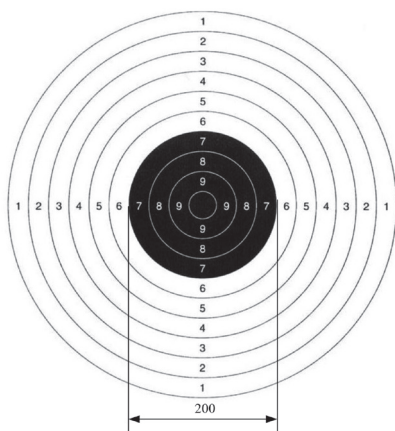


Рис. 1. Мишень пристрелочная для приведения пистолета ПЛК к нормальному бою на 25 м



Рис. 2. Точка прицеливания на мишени при стрельбе из пистолета ПЛК

— по горизонтали — перемещением целика в правую или левую сторону. Перемещение целика производится приспособлением для регулировки точности стрельбы, входящим в групповой комплект ЗИП;

— по вертикали — заменой мушки необходимой высоты из группового комплекта ЗИП.

СТП следует определять способом проведения осей рассеивания, для этого необходимо:

— отсчитать нижнюю половину пробоев и отделить её осью рассеивания по высоте;

— отсчитать таким же образом правую или левую половину пробоев и отделить её осью рассеивания по боковому направлению. Точка пересечения осей является СТП.

Так, если в процессе проверки точности стрельбы выясняется, что СТП находится выше или ниже, то требуется корректировка прицельной линии по вертикали с заменой мушки.

В групповом комплекте ЗИП к пистолету в соответствии с конструкторской документацией на ПЛК должны находиться мушки пяти номинальных размеров с обозначением точек °, °°, °°, °°, °°° и «без точек» на поверхности мушки. Так, например, высота мушки, не имеющей никакого обозначения («без точек»), составляет 4,4 мм по высоте. При этом высота мушки предыдущего или следующего размера увеличивается/уменьшается на 0,3 мм. Это позволяет добиться при стрельбе из пистолета на дальности 25 м в проекции круглой мишени диаметром 20 см изменения СТП по вертикали вверх или вниз на 5 см.

В дальнейшем после стрельбы и оценки её результатов в случае необходимости проводятся действия по определению СТП и выбору мушки необходимой высоты из группового комплекта ЗИП [6]. Мушка для последующей установки на пистолет выбирается больше или меньше по высоте в зависимости от результатов СТП по вертикали.

В случае если требуется замена мушки, то выполняется работа по её снятию. Выкручивается винт, расположенный на внутренней поверхности затвора (рис. 3), вынимается старая мушка и на её место устанавливается новая. Для выкручивания винта используется ключ шестигранный из комплекта одиночного ЗИП (рис. 3).

Очень важно при снятии старой и последующей установке новой мушки использовать в качестве дополнительного рычага к шестигранно-



а



б

Рис. 3. Ключ шестигранный и винт мушки пистолета из одиночного комплекта ЗИП:
а — винт и ключ; б — одиночный комплект ЗИП к пистолету

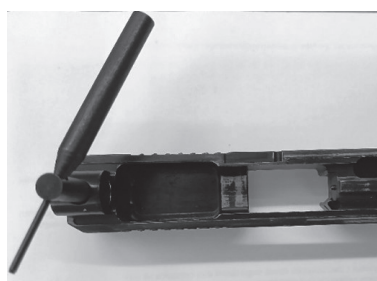


Рис. 4. Использование выколотки для закручивания винта



Рис. 5. Шестигранный ключ с дополнительным рифлением

му ключу выколотки из комплекта одиночного ЗИП (рис. 4).

Автор предлагает дополнить комплект одиночного ЗИП к пистолету шестигранным ключом с нанесенной на его поверхность накаткой (рифлением) (рис. 5) [7]. Использование такого ключа с накаткой на его поверхности при текущем ремонте пистолета позволит стрелку закрутить винт без чрезмерного усилия и дополнительных инструментов и при этом не допустить его поломки [8].

При подготовке статьи по данной теме автору также удалось выявить несоответствие комплектации группового ЗИПа на все выпущенные и поставленные в подразделения различных силовых структур пистолеты ПЛК. Во всех парти-

ях пистолетов в групповых комплектах ЗИП отсутствуют мушки пяти номинальных размеров к пистолету, отличающиеся по высоте. Номинальные размеры высоты мушки в пистолете ПЛК представлены в таблице.

По данному вопросу был проинформирован представитель руководства предприятия-изготовителя АО «Ижевский Механический завод», которому доведена эта информация в целях устранения указанного недостатка и скорейшей допоставки отсутствующих комплектующих.

В настоящее время в групповых комплектах ЗИП к пистолетам ПЛК, согласно упаковочному листу от предприятия-изготовителя, имеются в наличии только две мушки одного размера по высоте.

Таблица

Номинальные размеры высоты мушки в пистолете ПЛК

Обозначение	Н, мм	Масса, г	Маркировка
ПЛК. 2–2	5h12 (–0,12)	1,3	Две точки
– 0,1	5,3h12 (–0,12)	1,4	Три точки
– 0,2	4,7h12 (–0,12)	1,2	Одна точка
– 0,3	4,4h12 (–0,12)	1,1	Без точек
– 0,4	5,6h12 (–0,12)	1,5	Четыре точки

Выводы

Новые пистолеты ПЛК, поступающие в подразделения из довольствующего органа МВД России и поставляемые предприятием-изготовителем, являются приведенными к нормальному бою в соответствии с Техническими условиями (ТУ) на 9-мм пистолет Лебедева ПЛК.

По мнению автора, в территориальном подразделении МВД России и в других подразделениях различных силовых структур проверке меткости пистолета и определение СТП (в случае её необходимости) должны выполнять только наиболее подготовленные сотрудники, имеющие отличные результаты по стрельбе и в обязательном присутствии тех лиц, за которыми закреплено это оружие. При этом фамилии тех, кто проводит пристрелку, должны быть отражены в годовом установочном Приказе. Это позволит избежать поломок винтов мушки для всех существующих номенклатур пистолетов Лебедева, поступающих в территориальные подразделения.

Автор предлагает дополнить комплект одиночного ЗИП к пистолету шестигранным ключом с нанесенной на его поверхность накаткой (рифлением) для возможности затягивания винта от усилия пальцев руки без дополнительного рычага.

Предприятию-изготовителю пистолетов ПЛК АО «Ижевский механический завод» в настоящее время требуется выполнить доукомплектование групповых комплектов пистолетов мушками различных высот для возможности осуществлять пристрелку оружия.

В целях обеспечения качественной подготовки оружейных мастеров, инспекторов по вооружению, инструкторов по стрельбе различных силовых ведомств требуется разработка «Наставления по стрелковому делу» для 9-мм пистолетов Лебедева ПЛК, МПЛ и МПЛ-1.

Список источников

1. Дворянинов В.Н. Боевые патроны стрелкового оружия: монография. В 4-х кн. Климовск: Изд-во «Д'СОЛО», 2015. 28 с.

2. Васильев Н.Н., Лазарев В.В., Сильников М.В., Химичев В.А. Стрелковое оружие и боеприпасы. СПб.: Фонд «Университет», 2001. С. 514–517.

3. 9-мм пистолет Лебедева компактный. Руководство по эксплуатации ПЛК РЭ. 26 с.

4. Наставление по стрелковому делу. 9-мм пистолет Макарова (ПМ). М.: Военное изд-во МО СССР, 1968. 103 с.

5. Технические условия на 9-мм производство пистолета Лебедева компактного (ПЛК). Сб. ТУ-ЛУ. 2020. С. 21–22.

6. ГОСТ 28653–2018. Межгосударственный стандарт. Оружие стрелковое. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2008. 67 с.

7. Большая Российская энциклопедия. В 35 т. Том 22. С. 214. М.: Большая Российская энциклопедия, 2013. [Электронный ресурс]. <https://bigenc.ru/c/nakatyvanie-4ead57> (дата обращения: 15.12.24)

8. Киричек А.В., Афонин А.Н. Резьбонакатывание. М.: Машиностроение, 2009. 311 с.

References

1. Dvoryaninov V.N. Small arms live ammunition: monograph: 4 books. Klimovsk: Publishing house «D'SOLO». 2015. 28 p.

2. Vasil'ev N.N., Lazarev V.V., Silnikov M.V., Khimichev V.A. Small arms and ammunition. St. Petersburg: «University» Foundation. 2001. Pp. 514–517.

3. Lebedev's 9-mm pistol is compact. Operating Manual of PLC. 26 p.

4. 9-mm Makarov pistol (PM). Instruction in shooting. 78 p.

5. Specifications for the 9-mm production of the Lebedev compact pistol (PLC). Sat. TU-LU. 2020. Pp. 21–22.

6. GOST 286530–2018. Interstate Standard. Small arms. Terms and definitions. M.: Standartinform, 2008. 67 p.

7. The Great Russian Encyclopedia. In 35 vol. Vol. 22. 214 p. M.: The Great Russian Encyclopedia. 2013/ Electronic resource. <https://bigenc.ru/c/nakatyvanie-4ead57> (date of access: 15.12.24).

8. Kirichek A.V., Afonin A.N. Threading. M.: Mashinostroenie Publ., 2009. 311 p.

УДК 614.842

doi: 10.53816/23061456_2025_3–4_161

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРА И УДЕЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

STUDY OF THE DEPENDENCE OF FIRE PARAMETERS AND SPECIFIC OPTICAL ENVIRONMENT ON THE CONCENTRATION OF COMBUSTION PRODUCTS FOR MILITARY FACILITIES

А.В. Прищенко, д-р техн. наук Н.М. Сильников

A.V. Prishchenko, D.Sc. N.M. Silnikov

НПО Спецматериалов

В статье рассматривается концепция нового подхода к комплексной проверке работоспособности автоматической пожарной сигнализации (АПС) на объектах военного назначения. Предложено для воспроизведения очагов пожаров использовать дымогенератор «Кипарис-П (Ст)», способный имитировать дугообразование тестовых очагов пожара в соответствии с ГОСТ Р 53325–2012, в котором используется синтетическое дымообразующее вещество. Скорость дымообразования и скорость восходящего воздушного потока задается программным способом. Применение данного способа проверки АПС в значительной мере расширяет возможности оценки работы АПС при комплексных испытаниях. Повсеместное использование данного подхода позволит визуализировать эффективность работы АПС и исключить ввод в эксплуатацию на объектах военного назначения неисправных изделий.

Ключевые слова: неисправность системы, требования обслуживания, противопожарная защита, дымовые извещатели, спринклерная система.

The article deals with the concept of a new approach to the comprehensive performance testing of automatic fire alarm systems (FAS) at military facilities. It is proposed to use the smoke generator «Kiparis-P (St)», capable of simulating the arc formation of test fire centers in accordance with GOST R 53325–2012, which uses a synthetic smoke-forming substance to reproduce the fire centers. The rate of smoke formation and the rate of upward air flow is set by the program method. Application of this method of FAS testing significantly expands the possibilities of FAS performance evaluation during complex tests. The widespread use of this approach will make it possible to visualize the effectiveness of FAS operation and exclude the commissioning of defective products at military facilities.

Keywords: System failure, maintenance requirements, fire protection, smoke detectors, sprinkler system.

Основной задачей системы пожарной сигнализации является автоматическое обнаружение пожара за время, необходимое для включения систем оповещения о пожаре в целях организации безопасной эвакуации людей в условиях конкретного объекта [1, 2].

Пожарная безопасность является одним из важнейших аспектов функционирования объектов Министерства обороны Российской Федерации. В условиях повышенных требований к защите военного имущества, документации и личного состава особую значимость приобрета-

ет эффективная работа систем пожарной сигнализации и автоматического пожаротушения.

Контроль состояния систем противопожарной защиты на военных объектах осуществляется специально уполномоченными подразделениями государственного пожарного надзора, действующими в структуре Минобороны России в соответствии с приказом МО РФ от 18 февраля 2022 года № 99 «Об утверждении Порядка организации и осуществления федерального государственного пожарного надзора на объектах Министерства обороны Российской Федерации». К их числу относятся инспекции, отделы и отделения государственного пожарного надзора по военным округам и Северному флоту, а также специализированное Управление государственного пожарного надзора.

Актуальность вопроса проверки пожарной сигнализации на объектах военного назначения обусловлена не только необходимостью соблюдения требований пожарной безопасности, но и спецификой функционирования таких объектов. Особое внимание уделяется соответствию систем противопожарной защиты техническим регламентам Таможенного союза и Евразийского экономического союза, а также Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Регулярные проверки систем пожарной сигнализации позволяют своевременно выявлять и устранять возможные неисправности, обеспечивать надежную защиту объектов и предотвращать возникновение чрезвычайных ситуаций. При этом контроль осуществляется как в отношении непосредственно систем сигнализации, так и в отношении средств обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения.

В большинстве случаев при применении автоматической пожарной сигнализации (АПС) защищаемые помещения следует оборудовать дымовыми пожарными извещателями. Таким образом принципиальное значение имеет способность пожарного извещателя обнаружить дым в условиях развивающегося пожара. Даже если объект защищен пожарными извещателями другого типа, распространение дыма рассматривается как один из основных факторов риска при эвакуации людей [3].

Наиболее достоверное представление о чувствительности пожарного извещателя (ПИ)

и его способности обнаруживать дым от различных тестовых очагов дают огневые испытания по ГОСТ Р 53325–2012 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний», которые проводятся в специальном помещении для огневых испытаний.

Для проведения огневых испытаний используют следующие виды тестовых очагов пожара (далее — ТП), обозначаемые ТП-1, ТП-2, ТП-2А, ТП-2Б, ТП-3, ТП-3А, ТП-3Б, ТП-4, ТП-5, ТП-5А, ТП-5Б, ТП-6, ТП-9.

Для оценки чувствительности пожарных извещателей к дыму используются тестовые очаги: ТП-2 (ТП-2А), ТП-3 (ТП-3А), ТП-4, ТП-5.

Данные испытания дают объективную оценку эффективности срабатывания пожарных извещателей. Проведение подобных испытаний в условиях реального объекта затруднено или невозможно из-за опасности применения открытого огня и сложности задания параметров тестового очага в зависимости от размеров помещения, профиля потолка и т.д. [4].

В настоящее время с 15 сентября 2021 года введен в действие ГОСТ Р 59638–2021 «Системы пожарной сигнализации. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность».

В данном документе говорится, что проверка только электронных компонентов ИП не соответствует положениям настоящего стандарта в части контроля функционирования автоматических ИП. Контроль функционирования автоматических ИП должен подтверждать, что факторы пожара способны достичь чувствительного элемента автоматического ИП из защищаемого пространства, а не только возможность чувствительного элемента (электронного компонента) сформировать сигнал.

Контроль функционирования точечных дымовых ИП осуществляют указанным производителем способом с помощью дыма или аэрозоля, приведенным в технической документации на ИП, с контролем отображения соответствующего тревожного или тестового извещения на прибор приемно-контрольный пожарный (ППКП) [5].

В настоящее время имеющиеся приборы и устройства тестирования дымовых пожарных извещателей обеспечивают возможность провер-

ки факта функционирования дымового пожарного извещателя путем точечного воздействия на него облаком дымовой аэрозоли. При этом оптические свойства имитирующего дым аэрозоля, формирующегося из специального баллончика или путем испарения специальной жидкости не изучены, и их корреляция с тестовыми очагами пожара не производилась.

При этом проводимый в настоящий момент контроль функционирования пожарного извещателя указанным производителем ИП способом, с помощью дыма и аэрозоля, приведенным в технической документации на ИП, не позволяет оценить оптическую плотность среды непосредственно в помещении и не дает возможность оценить влияние дыма от реального очага пожара на возможность эвакуации в момент срабатывания извещателя.

В рамках работ по студенческой тематики в инициативном порядке был разработан и предварительно испытан дымогенератор «Кипарис-П (Ст)», способный имитировать дугообразование тестовых очагов пожара по ГОСТ Р 53325–2012, в котором используется синтетическое дымообразующее вещество на основе пропиленгликоля. Скорость дымообразования и скорость восходящего воздушного потока задается программным способом.

Пример проведения испытаний АПС на объекте представлен на рисунке.

В связи с тем, что образующийся дым безопасен для человека, комиссия может визуально наблюдать за изменением оптической плотности среды на момент срабатывания пожарных извещателей, оценивать работу систем оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ), дымоудаления и

т.д. на предмет возможной безопасной эвакуации людей, что соответствует базовым требованиям Федерального закона № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Применение данного способа проверки АПС не отменяет необходимость всех других проверок, предусмотренных ГОСТ Р 59638–2021, но в значительной мере расширяет возможности оценки эффективности работы АПС при комплексных испытаниях [6].

Суть концепции нового подхода комплексных испытаний сводится к тому, что при комплексной проверке работоспособности АПС в качестве имитатора используется дымогенератор, имитирующий дым тестового очага, предназначенного для проверки пожарных извещателей. С учетом очевидного отличия размеров реальных помещений от комнаты огневых испытаний по ГОСТ Р 53325–2012, корректировки по интенсивности и длительности дымообразования производятся компьютерным моделированием и внесением соответствующих изменений в программу работы дымогенератора «Кипарис-П (Ст)» или аналогичного устройства.

Данный подход актуален и для проверки АПС в случае применения пожарных извещателей другого типа (пламени, тепловых, дымовых) [7].

В любом случае дымогенератор, имитирующий очаг пожара включается в режиме, учитывающим характер пожарной нагрузки. Через промежуток времени, указанный в технической документации, как время реагирования на тестовый очаг при проведении огневых испытаний по ГОСТ Р 53325–2012, производится инициация пожарного извещателя рекомендованным способом.

Следует отметить, что успешное срабатывание системы свидетельствует о ее работоспособности в данный момент. Для диагностики сохранения функции работоспособности в условиях влияния мешающих факторов рекомендуется проводить данные испытания при их искусственной имитации (отключение основного электропитания, короткое замыкание, обрыв или ухудшение параметров линии связи, помехи и т.д.) [8].

Повсеместное применение данного подхода позволит визуализировать эффективность работы АПС, исключить случаи ввода в эксплуатацию бракованных изделий, некачественного монтажа или технического обслуживания.



Рис. Испытания АПС на объекте с помощью дымогенератора «Кипарис-П (Ст)»

Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2020 г. [Электронный ресурс] // ФГБУ ВНИИПО МЧС России / URL: <https://fireman.club/literature/statistika-pozharov-za-2012-god-pozharyi-i-pozharnaya-bezopasnost-v-2020/> (дата обращения: 05.03.2024).

2. Лушкина В.А., Кузнецов Ю.Д. Прогнозирование количества пожаров на территории Российской Федерации на 2021–2023 г. методом наименьших квадратов // Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее; сб. науч. ст. Курск: Юго-запад. гос. универ., 2021. С. 134–137.

3. Прищенко А.В., Овчаренко М.С. К вопросу обеспечения пожарной безопасности в дошкольных образовательных учреждениях // Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее; сб. науч. ст. Всероссийской научной конференции. В 4-х томах. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2018. С. 55–58.

4. Прищенко А.В., Васильев М.А., Зайцев А.И. Оценка эффективности функционирования световых оповещателей в условиях задымленности на складах силовых структур // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 3–4 (153–154). С. 173–176.

5. Прищенко А.В., Овчаренко М.С. Анализ современного состояния вопроса по обеспечению пожарной безопасности в дошкольных образовательных учреждениях // Вестник Студенческого научного общества. 2019. Т. 2. № 10. С. 101–103.

6. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Танклевский А.Л. Разработка нормативного документа в части формирования требований к автоматическим установкам сдерживания пожара // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий. 2021. С. 363–369.

7. Васильев М.А., Аракчеев А.В., Бабиков И.А., Доронин А.С. Перспективы развития спринклерных систем пожаротушения с управлением пуском // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: сб. науч. тр. IX Всероссийской научно-практической конференции. СПб.: изд-во Политехнического университета, 2017. С. 205–210.

8. Зыбина О.А., Танклевский А.Л., Таранцев А.А. О проблеме разработки автоматических установок сдерживания пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 4 (52). С. 67–72.

References

1. Fire and fire safety in 2020. [Electronic resource] // FGBU VNIPO MES of Russia. URL: <https://fireman.club/literature/statistika-pozharov-za-2012-god-pozharyi-i-pozharnaya-bezopasnost-v-2020/> (date of reference: 05.03.2024).

2. Lushkina V.A., Kuznetsov Yu.D. Forecasting the number of fires in the Russian Federation for 2021–2023 years by least squares method // Problems and prospects for Russia: youth look into the future. 2021. С. 134–137.

3. Prishchenko A.V., Ovcharenko M.S. On the issue of fire safety in pre-school educational institutions // Problems and prospects for development of Russia: Youth Vision into the Future Collection of Scientific Papers of All-Russian Scientific Conference. In 4 vol. Kursk: University book. 2018. С. 55–58.

4. Prishchenko A.V., Vasilyev M.A., Zaitsev A.I. Evaluation of the effectiveness of light sirens under smoke conditions in the warehouses of power structures // Voprosy Defence Engineering. Series 16. Technical countermeasures against terrorism. 2021. № 3–4 (153–154). С. 173–176.

5. Prishchenko A.V., Ovcharenko M.S. Analysis of the current state of the issue of fire safety in pre-school educational institutions // Bulletin of Student Scientific Society. 2019. Т. 2. № 10. С. 101–103.

6. Tanklevskiy L.T., Tarantsev A.A., Tanklevskiy A.L. Development of regulatory document in terms of forming the requirements for automatic fire containment installations // Actual problems of fire safety: materials of XXXIII International Scientific-Practical Conference dedicated to the Year of Science and Technology. 2021. С. 363–369.

7. Vasiliev M.A., Arakcheev A.V., Babikov I.A., Doronin A.S. Safety in Emergency Situations: Proceedings of IX All-Russian Scientific and Practical Conference, St. Petersburg. 2017. С. 205–210.

8. Zybina O.A., Tanklevsky A.L., Tarantsev A.A. On the problem of developing automatic fire control systems // Problems of Risk Management in the Technosphere. 2019. № 4 (52). С. 67–72.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОПОЛИТИКА И ОБОРОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Багрецов С.А., Петров Д.М., Шалонова Т.Г. Модель оценки устойчивости промышленных предприятий оборонно-промышленного комплекса в условиях диверсификации производства3

Рыбаков А.Н., Реулов Р.В., Семернин М.А., Нестеров В.О. Модель формирования вертикально интегрированной структуры предприятий оборонно-промышленного комплекса по созданию образцов высокоскоростного оружия 10

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, РАСЧЕТЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Кежаев В.А., Макаров М.М., Сазыкин А.М. Обеспечение исследований перспектив развития автоматизированных систем управления в условиях сетецентрической парадигмы управления 17

Куклин Р.В. Методика определения требований к размещению и резервированию информационных ресурсов по компонентам распределенной базы данных 24

Николаев А.Е., Абрамов И.А. Методика оценивания рисков применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления 31

Парфиров В.А. Модели, повышающие достоверность оценки разведывательной защищенности объектов специального назначения 38

Бакланов Д.В., Куканов С.А. Математическая модель функционирования композитной гильзы с применением разрывного метода Бубнова-Галеркина и моментной теории прочности тонких оболочек 45

Калинина М.И., Соловьев Ю.В., Оркин В.В. Представление модели проведения операции аппаратом цепи Маркова 52

Маслова Л.А., Мужичек С.М., Скрынников А.А., Хрулин С.В. Оценка распределения площади проекции осколка неорганизованного дробления 60

Чернов И.В., Петлик С.С., Соловьев А.В., Корнеев Б.Н. Способы определения элементов внешнего ориентирования аэрокосмических снимков участков местности, не обеспеченной данными топогеодезических наблюдений 67

Коновалов В.Б., Игнатчик В.С., Сенюкович М.А., Ещенко А.Н. Результаты исследований закономерностей изменения затрат на строительство транспортных сооружений систем водоотведения 76

МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ

Бойко А.П., Одоевский С.М., Стародубцев Ю.И. Повышение пропускной способности оптических транспортных сетей специального назначения за счет эффективного использования арендуемых спектральных ресурсов85

Курочка В.С., Бурлаков А.А., Ковалев В.В., Николаев В.Б. Пути совершенствования системы технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления воинских формирований с использованием технологий блокчейн и QR-кодов в условиях современных операций93

Эдигаров В.Р., Конев В.С. Повышение защиты специального автомобиля рациональной дифференцированной защитой уязвимых зон с сохранением высокого уровня подвижности.....101

Пучков А.С., Спивак А.И., Васильева С.Н., Сизов А.А. Исследование вопросов локализации взрывоопасных предметов с использованием устройств для защиты от взрыва.....107

Манилюк Е.П. Способ проведения технической разведки поврежденной техники связи и автоматизированных систем управления с использованием беспилотных летательных аппаратов и технологии искусственного интеллекта118

Спивак А.И., Ланцов Ю.Е., Васильева С.Н., Котова А.А. К вопросу о перспективах развития средств защиты конечностей из состава боевой индивидуальной экипировки122

ВООРУЖЕНИЕ, ВОЕННАЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Суздальцев П.С., Куканов С.А. Модель высокоскоростного взаимодействия в системе «поражающий элемент — преграда» барражирующего боеприпаса135

Ташинов А.А. Использование регрессионного анализа для оценки влияния характеристик системы подрессоривания на подвижность военных гусеничных машин141

Нечаев В.В. Результаты формализованного описания процессов, происходящих в двигателе внутреннего сгорания, необходимые для решения задач диагностирования.....149

Коломиец С.Н. 9-мм пистолет Лебедева ПЛК. Ошибки, допускаемые стрелками при приведении оружия к нормальному бою156

СООБЩЕНИЯ

Прищенко А.В., Сильников Н.М. Исследование зависимости параметров пожара и удельной оптической среды от концентрации продуктов горения для объектов военного назначения161

СПИСОК АВТОРОВ СТАТЕЙ

Абрамов Иван Александрович, преподаватель кафедры иностранных языков, Военный университет радиоэлектроники. E-mail: vure@mil.ru

Багрецов Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, профессор, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: sergeibagrecov@bk.ru

Бакланов Дмитрий Владимирович, адъюнкт, Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева (Филиал г. Пенза). E-mail: baklanov90@yandex.ru

Бойко Алексей Павлович, канд. техн. наук, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: varenyuxa89@gmail.com

Бурлаков Андрей Анатольевич, канд. воен. наук, доцент, доцент кафедры, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: burlakov38@gmail.com

Васильева Светлана Николаевна, младший научный сотрудник НИИ АО «НПО Спецматериалов». E-mail: VasilyevaSN@np-sm.ru

Ещенко Андрей Николаевич, ВИ (ИТ) Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулева. E-mail: 79112426982@yandex.ru

Игнатчик Виктор Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры, ВИ (ИТ) Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулева. E-mail: ign73@yandex.ru

Калинина Марина Ивановна, канд. пед. наук, доцент, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Кежаев Валерий Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского), Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Ковалев Владимир Викторович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: kovalvv130360@yandex.ru

Коломиец Сергей Николаевич, старший научный сотрудник отдела научно-технической информации, УМЦ ФКУ НПО «СТиС» МВД России. E-mail: kolomiec_sergei@mail.ru

Конев Вячеслав Сергеевич, адъюнкт, Военная академия материально-технического

обеспечения им. А.В. Хрулева (Филиал г. Омск). E-mail: edigarovs@mail.ru

Коновалов Владимир Борисович, д-р экон. наук, профессор, начальник штаба материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. E-mail: vlad.conovalov@yandex.ru

Корнеев Борис Николаевич, адъюнкт, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Котова Анастасия Андреевна, инженер НИИ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 542-8770.

Куканов Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры, Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева (Филиал г. Омск). E-mail: Kuk_@mail.ru

Куклин Роман Викторович, канд. техн. наук, докторант, Михайловская военная артиллерийская академия. Тел.: +7 (981) 680-5550.

Курочка Владимир Сергеевич, канд. воен. наук, доцент кафедры, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: Uprava223@mail.ru

Ланцов Юрий Евгеньевич, инженер НИИ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 291-4503.

Макаров Михаил Михайлович, канд. техн. наук, начальник отдела ВИ (НИ), Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Манилюк Евгения Петровна, адъюнкт, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: manilyusha@mail.ru

Маслова Лариса Александровна, инженер первой категории Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем. E-mail: maslova@gosniias.ru

Мужичек Сергей Михайлович, д-р техн. наук, профессор, ученый секретарь, Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем. E-mail: msm@yandex.ru

Нестеров Василий Олегович, младший научный сотрудник, 46 ЦНИИ Минобороны России. E-mail: fenomen.lul@gmail.com

Нечаев Виктор Витальевич, адъюнкт, Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева. E-mail: viktorneechaev98@yandex.ru

Николаев Владимир Борисович, старший преподаватель, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: Nniickk@mail.ru

Николаев Алексей Евгеньевич, д-р экон. наук, доцент, Военный университет радиоэлектроники. E-mail: vure@mail.ru

Одоевский Сергей Михайлович, д-р техн. наук, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. E-mail: odse2017@mail.ru

Оркин Вадим Витальевич, канд. техн. наук, старший преподаватель, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mail.ru

Парфиров Виталий Александрович, канд. техн. наук, преподаватель, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: vitality.parfirov@yandex.ru

Петлик Степан Сергеевич, канд. воен. наук, доцент, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mail.ru

Петров Дмитрий Михайлович, д-р экон. наук, доцент, профессор кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: pdm64office@mail.ru

Прищенко Алина Владимировна, заместитель директора ЗСМ по качеству, АО «НПО Спецматериалов», vladimir_prishenko@mail.ru

Пучков Андрей Сергеевич, директор НИИ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 542-8770.

Реулов Роман Владимирович, канд. техн. наук, доцент, советник, Российская академия ракетных и артиллерийских наук. E-mail: rreulov@yandex.ru

Рыбаков Александр Николаевич, канд. экон. наук, директор дирекции гиперзвуковых технологий, корпорация «Тактическое ракетное вооружение». E-mail: RAN411@ktrv.ru

Сазыкин Андрей Михайлович, канд. техн. наук, доцент, Михайловская военная артиллерийская академия, начальник НМЦ АО «НПО Спецматериалов». E-mail: sazykin@npo-sm.ru

Семернин Максим Александрович, старший научный сотрудник, 46 ЦНИИ Минобороны России. E-mail: semernin.88@mail.ru

Сенюкович Михаил Александрович, канд. техн. наук, преподаватель кафедры, ВИ (ИТ) Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева. E-mail: senyukovich19@gmail.com

Сизов Александр Алексеевич, ведущий специалист НИИ АО «НПО Спецматериалов». E-mail: a.sizov@npo-sm.ru

Сильников Никита Михайлович, д-р техн. наук, первый зам. генерального директора АО «НПО Спецматериалов». E-mail: Nikita.Silnikov@npo-sm.ru

Скрынников Андрей Александрович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, начальник сектора, Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем. E-mail: a1260@mail.ru

Соловьев Алексей Владимирович, канд. техн. наук, начальник 443 лаборатории ВИ(НИ), Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mail.ru

Соловьев Юрий Валерьевич, преподаватель, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mail.ru

Спивак Александр Иванович, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник НИИ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 291-4503.

Стародубцев Юрий Иванович, д-р техн. наук, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: prof.starodubtsev@gmail.com

Суздальцев Павел Сергеевич, адъюнкт, Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева (Филиал г. Омск). E-mail: suzdal.1990@bk.ru

Ташкинов Александр Анатольевич, адъюнкт, Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева (Филиал г. Омск). E-mail: sachal46@mail.ru

Хрулин Сергей Васильевич, ведущий инженер, Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем. E-mail: burgoam@mail.ru

Чернов Иван Владимирович, канд. техн. наук, доцент, докторант, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mail.ru

Шалонova Татьяна Геннадьевна, младший научный сотрудник, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: shalnova_tatyna@mail.ru

Эдигаров Вячеслав Робертович, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры, Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева (Филиал г. Омск). E-mail: edigarovs@mail.ru

LIST OF AUTHORS OF ARTICLES

Abramov Ivan Aleksandrovich, doctoral student, lecturer of the Department in Military University of Radio Electronics. E-mail: vure@mil.ru

Bagretsov Sergey Alekseevich, Doctor of Sciences, professor, professor in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: sergeibagrecov@bk.ru

Baklanov Dmitrii Vladimirovich, adjunct in Filial Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva (Penza). E-mail: baklanov90@yandex.ru

Boiko Aleksei Pavlovich, Candidate of Sciences, Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. Ph.: +7 (911) 706-9148. E-mail: varenixa89@gmail.com

Burlakov Andrei Anatolevich, Candidate of Sciences, docent, docent of the Department in Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. E-mail: burlakov38@gmail.com

Chernov Ivan Vladimirovich, Candidate of Sciences, docent, doctoral student in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: vka@mil.ru

Edigarov Viacheslav Robertovich, Candidate of Sciences, docent, Head of the Department in Filial Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva (Omsk). E-mail: edigarovs@mail.ru

Eshchenko Andrei Nikolaevich, adjunct in VI (IT) Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva. E-mail: 79112426982@yandex.ru

Ignatchik Viktor Sergeevich, Doctor of Sciences, professor, Professor of the Department in VI (IT) Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva. E-mail: ign73@yandex.ru

Kalinina Marina Ivanovna, Candidate of Sciences, docent in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: vka@mil.ru

Kezhaev Valery Alekseevich, Doctor of Sciences, профессор, senior researcher in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: vka@mil.ru

Khrulin Sergei Vasilevich, engineer in Gosudarstvennyj nauchno-issledovatel'skij institut aviacionnyx sistem. E-mail: burgoam@mail.ru

Konev Viacheslav Sergeevich, adjunct in Filial Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva (Omsk). E-mail: edigarovs@mail.ru

Kononov Vladimir Borisovich, Doctor of Sciences, the chief of the Shtab material'no-tekhnicheskogo obespecheniya Vooruzhennyx Sil Rossijskoj Federacii. E-mail: vlad.kononov@yandex.ru

Korneev Boris Nikolaevich, adjunct in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: vka@mil.ru

Kotova Anastasiia Andreevna, engineer in NPO Speczmaterialov. Ph.: +7 (812) 542-8770.

Kovalev Vladimir Viktorovich, Candidate of Sciences, docent, docent of the Department in Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. E-mail: kovalvv130360@yandex.ru

Kukanov Sergei Anatolevich, Candidate of Sciences, docent, Filial Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva (Penza). E-mail: Kuk_@mail.ru

Kuklin Roman Viktorovich, Candidate of Sciences, doctoral student. Mikhailovskaya Military Artillery Academy. Ph.: +7 (981) 680-5550.

Kurochka Vladimir Sergeevich, Candidate of Sciences, docent in Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. E-mail: Uprava223@mail.ru

Lantsov Iurii Evgenevich, engineer in NPO Speczmaterialov. Ph.: +7 (812) 291-4503.

Makarov Mikhail Mikhailovich, Candidate of Sciences, Head of the Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: vka@mil.ru

Maniliuk Evgeniia Petrovna, adjunct in Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. E-mail: manilyusha@mail.ru

Maslova Larisa Aleksandrovna, engineer in Gosudarstvennyj nauchno-issledovatel'skij institut aviacionnyx sistem. E-mail: maslova@gosniias.ru

Muzhichuk Sergei Mikhailovich, Doctor of Sciences, Scientific Secretary in Gosudarstvennyj nauchno-issledovatel'skij institut aviacionnyx sistem. E-mail: msm@yandex.ru

Nechaev Viktor Vital'evich, adjunct in Voennaya akademiya material'no-tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva. E-mail: viktor-neechev98@yandex.ru

Nesterov Vasiliy Olegovich, junior researcher in 46 Central Research Institute of the Russian Ministry of Defense. E-mail: fenomen.lul@gmail.com

Nikolaev Alexey Evgenievich, Doctor of Sciences, docent, scientific and pedagogical worker in Military University of Radio Electronics. E-mail: vure@mail.ru

Nikolaev Vladimir Borisovich, senior lecturer of the Department in Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. E-mail: Nniickk@mail.ru

Odoevskii Sergei Mikhailovich, Doctor of Sciences, Sankt-Peterburgskij Gosudarstvennyj Morskoy Tekhnicheskij Universitet. E-mail: odse2017@mail.ru

Orkin Vadim Vitalevich, Candidate of Sciences, senior lecturer of the Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mail.ru

Parfirov Vitaly Aleksandrovich, Candidate of Sciences, lecturer of the Department in Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. E-mail: vitaly.parfirov@yandex.ru

Petlik Stepan Sergeevich, Candidate of Sciences, docent in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mail.ru

Petrov Dmitry Mikhailovich, Doctor of Sciences, associate professor, professor of the Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: pdm64office@mail.ru

Prishchenko Alina Vladimirovna, Deputy Director of ZSM NPO Spetsmaterialov for Quality. E-mail: vladimir_prishchenko@mail.ru

Puchkov Andrei Sergeevich, the Chief of the Department in NPO Spetsmaterialov. Ph.: +7 (812) 542-8770.

Reulov Roman Vladimirovich, Candidate of Sciences, associate professor, head of the center, Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. E-mail: rreulov@yandex.ru

Rybakov Alexander Nikolaevich, Candidate of Sciences, director of the directorate of hypersonic technologies in JSC «Tactical Missile Armament Corporation». E-mail: RAN411@ktrv.ru

Sazykin Andrey Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Mikhailovskaya Military Artillery Academy, Head of the Scientific and Methodological Center of NPO Spetsmaterialov JSC. E-mail: sazykin@npo-sm.ru

Semernin Maxim Alexandrovich, senior

researcher in 46 Central Research Institute of the Russian Ministry of Defense. E-mail: semernin.88@mail.ru

Seniukovich Mikhail Aleksandrovich, Candidate of Sciences, lecturer of the Department in VI (IT) Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva. E-mail: senyukovich19@gmail.com

Sergej Nikolaevich Kolomicz, senior researcher in UMCz FKU NPO «STiS» MVD Rossii. E-mail: kolomicz_sergei@mail.ru

Silnikov Nikita Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences, First Deputy General Director of NPO Spetsmaterialov JSC. E-mail: Nikita.Silnikov@npo-sm.ru

Shalnova Tatiana Gennadevna, junior researcher in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: shalnova_tatyna@mail.ru

Sizov Aleksandr Alekseevich, leading specialist in NPO Spetsmaterialov. E-mail: a.sizov@npo-sm.ru

Skrynnikov Andrei Aleksandrovich, Candidate of Sciences, senior researcher in Gosudarstvennyj nauchno-issledovatel'skij institut aviacionnyx sistem. E-mail: a1260@mail.ru

Solovev Aleksei Vladimirovich, Candidate of Sciences, the chief of Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mail.ru

Solovev Iurii Valerevich, lecturer of the Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mail.ru

Spivak Aleksandr Ivanovich, Candidate of Sciences, docent, senior researcher in NPO Spetsmaterialov. Ph.: +7 (812) 291-4503.

Starodubtsev Iurii Ivanovich, Doctor of Sciences, Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. E-mail: prof.starodubtsev@gmail.com

Suzdal'cev Pavel Sergeevich, adjunct in Filial Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva (Omsk). E-mail: suzdal.1990@bk.ru

Tashkinov Aleksandr Anatol'evich, adjunct in Filial Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva (Omsk). E-mail: sachal46@mail.ru

Vasileva Svetlana Nikolaevna, junior researcher in NPO Spetsmaterialov. E-mail: VasilyevaSN@npo-sm.ru

ПАМЯТКА АВТОРУ

по подготовке к публикации научно-технической статьи

Структура статьи

1. Аннотация (реферат). Повествует о содержании работы и показывает, что, по мнению автора, наиболее ценно и применимо в выполненной им работе.

2. Вводная часть. Обоснование актуальности темы: важность, особенность, известный вариант решения, недостатки его.

3. Основная часть. Описание предлагаемого варианта решения: начальные условия решения задачи, проведение исследования (место исследования, основные данные о предмете исследования), сущность предлагаемого варианта решения, методы (наблюдение, эксперимент, моделирование, расчёт, разработка, конструирование, проектирование, изготовление, методы управления и пр.), технические средства реализации, экспериментальная проверка.

Оценка предлагаемого варианта решения (определение степени новизны результата): особенности предлагаемого варианта решения (преимущества перед аналогами, эквивалентные результаты, недостатки явные, предполагаемые), сведения об авторских свидетельствах и патентах, экономическая, технологическая оценка, внедрения.

Необходимо представить результаты в наглядной форме: в виде таблиц, графиков, диаграмм. Применение математики для объяснения полученных результатов должно быть минимальным (не загромождать текст формулами).

Не следует приводить пространные рассуждения и описания, повторять в тексте подрисовочные подписи при ссылках на рисунки, один и тот же материал представлять в различной форме: в тексте и таблице, в формуле и графике, в таблице и графике и т.п.

4. Выводы. Должны показывать, что получено и иметь характер тезисов, не могут быть слишком многочисленными.

5. Список литературы. Важно правильно оформить ссылку на источник в списке, указывая при этом фамилии и инициалы авторов, название журнала (монографии), год издания, выпуск (том), номер, страницы. Читатель должен иметь возможность найти указанный источник. Количество источников должно быть не менее 10. Оформление библиографических списков необходимо осуществлять по ГОСТам: ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка». Общие требования правила составления и ГОСТ Р 7.0.12-2011 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила».

Структура представления материалов для публикации

Авторский оригинал статьи должен в обязательном порядке содержать следующие элементы:

На русском и английском языках:

- название статьи;
- индекс УДК;
- фамилия, имя, отчество авторов полностью, ученая степень, место работы, e-mail;
- аннотация — размером 600–800 знаков;
- ключевые слова;
- список литературы, не менее 10 источников.

На русском языке:

- основной текст, содержащий в себе формулы, таблицы и иллюстрации.

Требования к оформлению публикации

Заголовок статьи набирать исключительно строчными буквами.

Текст: материалы набираются в текстовом редакторе Microsoft Word с расширением *.rtf или *.doc, шрифт Times New Roman Cyr, размер 12, **без стилового оформления.**

Текст должен быть отредактирован, набран без переносов слов, разрядка текста исключается.

В статье не должно быть повторов, излишних подробностей, частных деталей, известных положений, **громоздких таблиц и формул.** Следует избегать сокращений. Все имеющиеся в тексте аббревиатуры, сокращения и условные обозначения должны быть расшифрованы.

Не допускается использование сносок, закладок, нумерованных списков (нумерацию пунктов, подразделов). Для заголовков и подзаголовков **запрещается** использовать специальные стили и подчёркивания. Ссылки в тексте на литературу даются в квадратных скобках.

Таблицы представляются **без использования сканирования**, цветного фона, размер шрифта — 10 пт (параметры таблицы, ширина × высота, не более 165 × 240 мм).

Иллюстрации (графики, рисунки) должны быть черно-белые и выполнены в форматах *.jpeg или *.tif с разрешением не менее 300 dpi для штриховых изображений (схем, чертежей, графиков) и не менее 600 dpi для полутоновых (фотографии и т.п.); иметь линейные размеры не превышающие 165 × 240 мм. Дополнительно каждая иллюстрация прилагается отдельным файлом. В имени файла следует указать порядковый номер иллюстрации.

Все буквенные и цифровые обозначения, приведенные на иллюстрациях, поясняются или в основном тексте, или в подрисуночной подписи.

Иллюстрации, таблицы должны иметь порядковый номер и название.

Математические формулы следует набирать **исключительно в редакторе формул Math Type** (размеры символов: обычный — 11 пт, крупный индекс — 8 пт, мелкий индекс — 5 пт, крупный символ — 15 пт, мелкий символ — 10 пт. Шрифты: Times New Roman — для стилей Текст, Функция, Переменная, Матрица-вектор; Symbol — для стилей Греческий, Символ. Для стиля Переменная следует выбирать наклонное начертание, для стиля Матрица-вектор — полужирное). Нумерация формул представляется с правой стороны. Расшифровка формульных обозначений дается в тексте после слова «где» без абзацного отступа. **Использование сканированных формул запрещается.**

Единицы физических величин следует приводить в системе СИ.

В редакцию предоставляются электронная версия и контрольная распечатка статьи, которая должна быть подписана всеми авторами. Электронная и бумажная версии статьи должны быть полностью идентичными.

Объем статьи должен быть не более 10 листов формата А4.

Все статьи должны сопровождаться экспертными заключениями о допустимости публикации материала статьи в открытой печати.

К статьям прилагаются рецензии внешних рецензентов.

Материалы представляются в электронном виде (CD, флеш-карта) или по e-mail: vot@npo-sm.ru

Плата за публикацию статей с авторов, в том числе с аспирантов не взимается.

Материалы, не отвечающие требованиям, не рассматриваются

ISSN 2306-1456

ПОДПИСКА
на 2025 год

ВОПРОСЫ ОБОРОННОЙ ТЕХНИКИ
Серия 16. Технические средства
противодействия терроризму

Подписной индекс № 41271
в объединенном каталоге
«Пресса России»

НПО Спецматериалов

195277, г. Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., д. 28-а, литера Б

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ

АО «НПО Спецматериалов»

Р/с 40702810900000000547	БИК 044030889	К/счет 30101810400000000889
В ЗАО «Экспортно-импортный банк», г. Санкт-Петербург		
ИНН 7806125671	Код ОКОНХ 17210	Код по ОКПО 31041642
		КПП 780201001

СЧЕТ № *

Дата: « _____ » _____ 2025 г.

Предмет счета	Кол-во комплектов	Цена одного комплекта (руб.)	Сумма (руб.)
Подписка на журнал «ВОТ. Серия 16» На 2025 год – 6 сдвоенных номеров (январь–декабрь)		6360-00	
НДС 10%		636,00	
Итого с учетом НДС		6996,00	

Всего к оплате (в т.ч. НДС): шесть тысяч девятьсот девяносто шесть рублей 00 копеек

***Счёт на подписку будет выставлен после подачи заявки на эл. почту: commerce@npo-sm.ru**

Начальник ЦРСИ

Бухгалтер



/В. П. Кныш/

/Г. И. Фёдорова/

ВНИМАНИЕ!

В платежном поручении в графе «Назначение платежа» обязательно укажите:

- * наименование издания в период подписки
- * номер счета, на основании которого производится оплата
- * контактный телефон
- * подробный почтовый адрес, на который будет высылаться журнал

ОТДЕЛ АДРЕСНОЙ ПОДПИСКИ

Тел. : (812) 600-75-54
Факс: (812) 542-75-58
E-mail: vot@npo-sm.ru

Редакция вправе сокращать и литературно обрабатывать принятые к публикации тексты.
Редакция может публиковать материалы, не разделяя точку зрения авторов.
Ответственность за достоверность информации, точность фактов, цифр и цитат, а также за то, что в материалах нет данных, не подлежащих открытой публикации, несут авторы.
В соответствии с Законом РФ «О средствах массовой информации» редакция имеет право не вступать в переписку с авторами.
При перепечатке материалов ссылка на журнал «Вопросы оборонной техники» обязательна.

Запросы по материалам выпуска направлять в редакцию журнала по адресу:
АО «НПО Спецматериалов», 195277, Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 28А, литера Б.
Тел. (812) 542-98-50; факс: (812) 542-75-58, E-mail: vot@npo-sm.ru
Адрес сайта: <http://www.vot16.ru>

Вопросы оборонной техники. Серия 16.
Технические средства противодействия терроризму. 2025. Вып. 3–4 (201–202)

Компьютерная верстка — М.А. Лаурман
Корректор — Е.А. Красикова, А.К. Райхчин

Подписано в печать 16.04.2025
Дата выхода издания 26.04.2025
Формат 60х90 1/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л.
Тираж 600 экз. Заказ №
Отпечатано в типографии «Любавич».
ООО «Первый издательско-полиграфический холдинг»,
Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 60, лит. «У».
Тел.: (812) 603 25 25.
Цена свободная.