

УДК: 623.488

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ОБОСНОВАНИЯ СОСТАВА ОБОРУДОВАНИЯ  
И СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ**

**MODEL AND ALGORITHM FOR SUBSTANTIATING THE COMPOSITION  
OF EQUIPMENT AND SPECIALISTS FOR TESTING**

*Д-р техн. наук В.Г. Анисимов<sup>1</sup>, д-р техн. наук, д-р воен. наук Е.Г. Анисимов<sup>2</sup>,  
д-р экон. наук Т.Н. Сауренко<sup>2</sup>, канд. техн. наук А.М. Сазыкин<sup>3</sup>, Р.Ф. Усиков<sup>4</sup>*

*DPhil V.G. Anisimov, DPhil E.G. Anisimov, DPhil T.N. Saurenko,  
PhD A.M. Sazikin, R.F. Usikov*

*<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов, <sup>3</sup>АО «НПО Спецматериалов»,  
<sup>4</sup>Михайловская военная артиллерийская академия*

В статье рассматривается модель и алгоритм обоснования состава оборудования и специалистов для проведения полигонных испытаний комплексов артиллерийского вооружения. Модель основана на представлении процедуры формирования оборудования и специалистов в виде дискретной задачи математического программирования. В рамках модели рассмотрен вариант представления трудозатрат в виде нечетких переменных, задаваемых интервалами возможных значений. Для решения задачи дискретного программирования, относящейся к классу сложности NP, предложен итерационный алгоритм последовательного формирования плана привлечения состава оборудования и специалистов для проведения испытаний. Предлагаемые модель и алгоритм являются базой для создания конкретных методик формирования оптимального состава оборудования и специалистов при планировании соответствующих испытаний.

**Ключевые слова:** комплексы артиллерийского вооружения, испытания, оборудование, модель, алгоритм.

The article discusses the model and algorithm for substantiating the composition of equipment and specialists for conducting field tests of artillery weapons systems. The model is based on the representation of the procedure for forming equipment and specialists in the form of a discrete mathematical programming problem. Within the framework of the model, a variant of representing labor costs in the form of fuzzy variables set by intervals of possible values is considered. To solve the problem of discrete programming related to the NP complexity class, an iterative algorithm for sequentially forming a plan for attracting equipment and specialists for testing is proposed. The proposed model and algorithm are the basis for creating specific methods for forming the optimal composition of equipment and specialists when planning appropriate tests.

**Keywords:** artillery weapons systems, tests, equipment, model, algorithm.

**Введение**

Одним из наиболее распространённых видов экспериментальных работ, выполняемых на различных стадиях жизненного цикла комплексов артиллерийского вооружения (КАВ), являются испытания [1–3]. При этом наибольший объём работ осуществляется в процессе полигонных испытаний [4–7]. Проведение полигонных испытаний КАВ обеспечивается экспериментально-испытательной базой (ЭИБ) полигона. Типовой вариант состава ЭИБ полигона представлен на рис. 1.

Широкий спектр задач, решаемых при проведении полигонных испытаний КАВ, обуславливает необходимость выбора для каждого вида испытаний соответствующего состава оборудования и специалистов. Поэтому обоснование состава оборудования и специалистов является одной из основных задач планирования каждого вида испытаний КАВ [8]. Целью данной статьи является разработка модели и алгоритма задачи формирования в зависимости от поставленных целей и решаемых задач состава оборудования и специалистов ЭИБ при планировании полигонных испытаний КАВ.

**Модель формирования состава оборудования и специалистов для проведения испытаний**

Рассматриваемая задача относится к классу задач минимизации трудозатрат в процессе выполнения комплекса работ при ограничениях на количественный состав, взаимозаменяемость и производительность привлекаемых оборудования и специалистов [9, 10]. Сложность этой задачи, а также существенные временные и материальные издержки, связанные с возможными просчётами при принятии решений, обуславливают необходимость объективного обоснования состава оборудования и специалистов для проведения полигонных испытаний. Формально эта задача может быть представлена в виде дискретной модели математического программирования следующего вида:

требуется определить план:

$$X = \left\| x_{ikj}^* \right\|, \tag{1}$$

привлечения оборудования ( $k$ ) ЭИБ и специалистов  $i$ -й квалификации для измерения технических характеристик ( $j$ ) КАВ такой, что:

$$P_{\text{ТР}}(X) = \min_{x_{ikj}} \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{ikj} \cdot p_{ikj}, \tag{2}$$



Рис. 1. Типовой вариант состава экспериментально-испытательной базы полигона

при:

$$x_{ikj} \leq z_{kj}, i = \overline{1, I}, k = \overline{1, K}, j = \overline{1, J}; \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J z_{kj} \geq 1, k = \overline{1, K}; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ijk} = F_{ik}, i = \overline{1, I}, k = \overline{1, K}; \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{ijk} \leq F_i, i = \overline{1, I}; \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I x_{ijk} \geq 1, j = \overline{1, J}; \quad (7)$$

$$p_{ikj} = \frac{p_{ikj}}{z_{kj}}, i = \overline{1, I}, \quad (8)$$

где

$$z_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-й тип оборудования может} \\ & \text{быть использован при измерении} \\ & j\text{-й технической характеристики;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$$x_{ikj} = \begin{cases} 1, & \text{если специалист } i\text{-й квалификации} \\ & \text{и оборудование } k\text{-го типа} \\ & \text{привлекаются для измерения} \\ & j\text{-й технической характеристики;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$P_{\text{ТР}}$  — суммарные трудозатраты специалистов на проведение соответствующих испытаний;

$p_{ikj}$  — трудозатраты специалистов  $i$ -й квалификации на проведение работ на  $k$ -м типе оборудования по измерению  $j$ -й технической характеристики (ТХ);

$I$  — количество типов квалификаций специалистов;

$K$  — количество типов оборудования ЭИБ, привлекаемых для оценки ТХ;

$J$  — количество ТХ, оцениваемых при проведении соответствующих испытаний;

$F_i$  — количество специалистов  $i$ -й квалификации;

$F_{ik}$  — количество специалистов  $i$ -й квалификации, привлекаемое для проведения измерений с использованием  $k$ -го типа оборудования.

В этой модели матрица (1) определяет план привлечения оборудования и специалистов для измерения ТХ КАВ. Целевая функция (2) устанавливает требования по минимизации трудозатрат на проведение испытаний. Условие

(3) обеспечивает соответствие возможностей привлекаемого оборудования задачам испытаний. Условие (4) определяет, что привлекаемый состав оборудования может обеспечить выполнение всех видов измерений в процессе испытаний. Из условия (5) следует, что привлечение  $k$ -го типа оборудования требует соответствующего количества специалистов соответствующей квалификации. Условие (6) означает, что необходимое для обеспечения работ количество специалистов  $i$ -й квалификации не может превышать их общего количества. Условие (7) означает, что привлечение  $k$ -го типа оборудования и специалистов  $i$ -й квалификации должно обеспечивать измерение необходимого количества ТХ. Условие (8) исключает возможность включения в план оборудования, не позволяющего измерить соответствующую характеристику.

При определении трудозатрат  $p_{ikj}$  должны использоваться соответствующие нормативные документы и опыт проведения аналогичных испытаний в прошлом. При этом необходимо также учитывать неопределенность этих характеристик, обусловленную воздействием неконтролируемых факторов. С учетом особенностей планирования полигонных испытаний для учета неопределенности целесообразно представление трудозатрат в виде нечетких переменных, задаваемых интервалами их возможных значений. При этом полагается, что величина  $p_{ikj}$  находится между нижней и верхней границей интервала:

$$a_{ikj} \leq p_{ikj} \leq b_{ikj}, \quad (9)$$

где  $a_{ikj}$  — нижняя граница интервала распределения величины  $p_{ikj}$ ;

$b_{ikj}$  — верхняя граница интервала распределения величины  $p_{ikj}$ .

Внутри интервала величины  $p_{ikj}$  можно полагать случайными. При этом, поскольку распределение случайной величины  $p_{ikj}$  сосредоточено на интервале (9) и имеет унимодальный характер, то можно полагать, что функция этого распределения имеет вид бета-распределения:

$$F(\alpha, \beta) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \int_{a_{ikj}}^{b_{ikj}} p_{ikj}^{\alpha-1} (1 - p_{ikj})^{\beta-1} dp_{ikj}, \quad (10)$$

где  $\alpha, \beta$  — параметры бета распределения;

$B(\alpha, \beta)$  — бета-функция.

В этом случае оценка величины  $p_{ikj}$  может быть получена с помощью математического ожидания. При известных  $a_{ikj}, b_{ikj}$  она определяется соотношением:

$$\overline{p_{ikj}} = \frac{3a_{ikj} + 2b_{ikj}}{5}, \quad i = \overline{1, I}; k = \overline{1, K}; j = \overline{1, J}, \quad (11)$$

а при известных  $a_{ikj}, b_{ikj}, m_{ikj}$  — соотношением:

$$p_{ikj}^* = \frac{a_{ikj} + 4m_{ikj} + b_{ikj}}{6}, \quad i = \overline{1, I}; k = \overline{1, K}; j = \overline{1, J}, \quad (12)$$

где  $m_{ikj}$  — мода распределения, которая соответствует наиболее вероятному значению трудозатрат специалистов, и определяется на основе опыта предыдущих испытаний.

С учетом соотношений (11), (12) целевая функция (2) принимает вид:

$$\overline{P_{TP}}(X) = \min_{x_{ikj}} \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{ikj} \overline{p_{ikj}}, \quad (13)$$

или

$$\overline{P_{TP}}(X) = \min_{x_{ikj}} \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{ikj} p_{ikj}^*, \quad (14)$$

где  $\overline{P_{TP}}(X)$  — математическое ожидание суммы трудозатрат специалистов в пределах интервала  $[\hat{a}, \hat{b}]$ .

Величины  $\hat{a}$  и  $\hat{b}$  представляют собой соответственно суммарную нижнюю и верхнюю границы интервала распределения величины  $P_{TP}$ :

$$\hat{a}(X) = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J a_{ijk} \cdot x_{ikj}^*, \quad (15)$$

$$\hat{b}(X) = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J b_{ijk} \cdot x_{ikj}^*. \quad (16)$$

Поскольку реальная величина трудозатрат  $P_{TP}$  является случайной и представляет собой сумму случайных величин  $p_{ikj}$  можно предположить, что закон распределения величины  $P_{TP}(X)$  является нормальным, с плотностью распределения:

$$f(P_{TP}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\overline{D}(X)}} \cdot e^{-\frac{(P_{TP}(X) - \overline{P_{TP}}(X))^2}{2\overline{D}(X)}}, \quad (17)$$

где  $\overline{D}$  — дисперсия суммы трудозатрат специалистов.

Указанная величина при известных  $a_{ikj}, b_{ikj}$  определяется по соотношению:

$$\overline{D}(X) = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{ikj}^* D_{ikj}, \quad (18)$$

а при известных  $a_{ikj}, b_{ikj}, m_{ikj}$  — по соотношению:

$$\overline{D}(X) = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{ikj}^* D_{ikj}^*. \quad (19)$$

Величины  $D_{ikj}, D_{ikj}^*$  представляют собой оценки дисперсий трудозатрат специалистов. При этом величина  $D_{ikj}$  определяется по формуле:

$$D_{ikj} = \left( \frac{b_{ikj} - a_{ikj}}{5} \right)^2, \quad (20)$$

а величина  $D_{ikj}^*$  — по формуле:

$$D_{ikj}^* = \left( \frac{b_{ikj} - a_{ikj}}{6} \right)^2. \quad (21)$$

Важной характеристикой оценки плана привлечения оборудования и специалистов является вероятность того, что величина  $P_{TP}(x)$  не превысит заданное значение  $P_{TP}^{зад}(X)$ . Эта характеристика определяется соотношением:

$$\theta = \int_{-\infty}^{P_{TP}^{зад}(X)} \frac{1}{\sqrt{2\pi\overline{D}(X)}} \cdot e^{-\frac{(P_{TP}^{зад}(X) - \overline{P_{TP}}(X))^2}{2\overline{D}(X)}}. \quad (22)$$

### Алгоритм определения состава оборудования и специалистов для проведения испытаний

Задача (1)–(8) является NP-сложной задачей дискретного программирования [11–13]. Для решения задачи предлагается использовать итерационный алгоритм последовательного формирования плана  $X$ . На каждой итерации  $r$  этого алгоритма выбирается предпочтительный, с точки зрения

трудозатрат, тип оборудования  $k^r$  и формируется связанный с этим выбором фрагмент плана  $X^r$ .

Для представления алгоритма введём обозначения:

$r$  — номер итерации формирования плана  $X$ ;

$S^r$  — множество типов оборудования, включенных в план  $X$  на  $r$ -й итерации;

$G^r$  — множество типов оборудования, которые могут быть включены в план  $X$  на  $r$ -й итерации;

$E^r$  — множество типов оборудования, которые не могут быть включены в план  $X$  на  $r$ -й итерации;

$H^r$  — множество характеристик, которые могут быть определены на  $r$ -й итерации.

Схема алгоритма представлена на рис. 2.

В блоке 1 задаются исходные данные:

– множество типов оборудования  $O = \{1, 2, \dots, K\}$ ;

– множество  $F = \{F_1 \dots F_I\}$ ,  $i = \overline{1, I}$ , характеризующее количество специалистов различной квалификации;

– множество  $F_k = \{F_{ik} \dots F_{Ik}\}$ ,  $i = \overline{1, I}$ ,  $k = \overline{1, K}$ , характеризующее количество специалистов различной квалификации, необходимых для привлечения к испытаниям оборудования  $k$ -го типа;

– множество характеристик  $H = \{1, 2, \dots, J\}$ , определяемых при проведении испытаний;

– матрица  $Z = \|z_{kj}\|$ ,  $k = \overline{1, K}$ ;  $j = \overline{1, J}$ , характеризующая возможности различных типов оборудования при проведении испытаний;

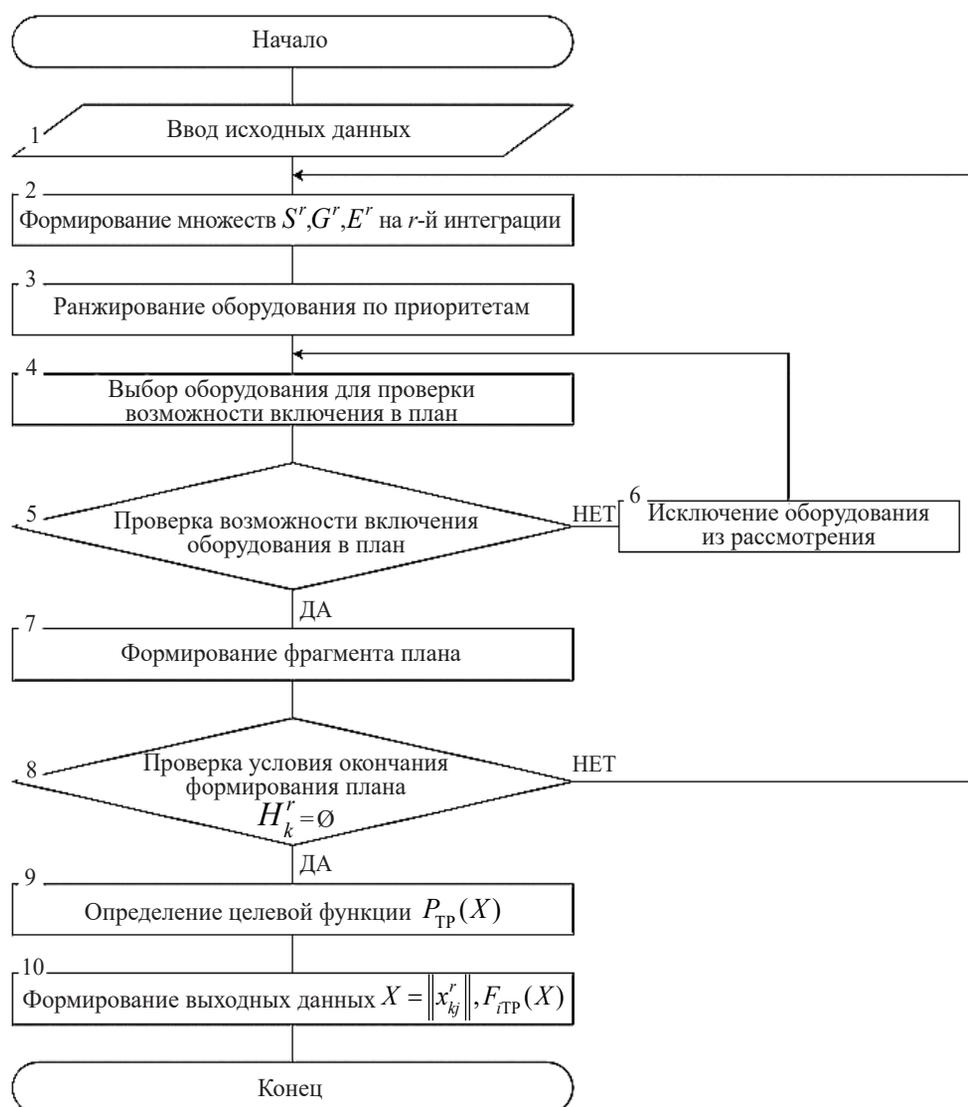


Рис. 2. Схема алгоритма определения состава оборудования и специалистов

– трудовозатраты специалистов ( $p_{ikj}, i = \overline{1, I}; k = \overline{1, K}; j = \overline{1, J}$ ) при определении характеристик КАВ.

В блоке 2 формируются множества  $S^r, G^r, E^r, H^r, F^r$ . При этом полагается, что на первом шаге алгоритма ( $r=1$ ):

$$S^r = \emptyset; G^r = \emptyset; H^r = H; E^r = \emptyset; F^r = F.$$

В блоке 3 выполняется ранжирование оборудования по приоритетам. Критерием ранжирования является параметр:

$$h_k^r = \frac{\sum_{j \in H_k^r} \sum_{i=1}^I F_{ik} p_{ikj}}{\sum_{j \in H_k^r} z_{kj}}, k \in G^r, \quad (23)$$

где  $H_k^r$  — характеристики, которые могут быть определены  $k$ -м типом оборудования и включены в план на  $r$ -й итерации.

В блоке 4 проводится выбор оборудования для проверки возможности включения в план. Порядок выбора определяется вариационным рядом:

$$h_{kl}^r \leq h_{kl+1}^r \leq h_{kl+2}^r \dots \leq h_{kL}^r, \quad (24)$$

где  $l$  — порядковый номер оборудования в вариационном ряду ( $l=1, 2, \dots$ );  $k$ -й тип оборудования с меньшим порядковым номером в вариационном ряду (24) принимается к рассмотрению в первую очередь.

В блоке 5 осуществляется проверка возможности включения оборудования в план. Для этого  $k$ -й тип оборудования, принятый к рассмотрению, проверяют на соответствие условиям (5) и (6).

Если эти условия выполняются, то осуществляется переход к блоку 7. Если условия не выполняются — к блоку 6.

В блоке 6 производится изменение множеств  $G^r$  и  $E^r$ , т.е. полагается, что  $k_i^r \notin G^r$  и  $k_i^r \in E^r$ .

В блоке 7 формируются очередной фрагмент плана с учетом выбранного оборудования, т.е. полагается, что  $x_{ijk} = 1$  для всех  $i$ , для которых  $F_{ik} \geq 0, z_{kj} = 1$ .

В блоке 8 проверяется условие окончания формирования плана.

Если  $H_k^r = \emptyset$ , то осуществляется переход к блоку 9.

Если нет, то осуществляется переход к блоку 2, в котором полагается:

- итерация  $r = r + 1$ ;
- из множества  $G^r$  исключается оборудование  $k_i^{r-1}$ , вошедшее в сформированный на предыдущей итерации фрагмент плана  $X^{r-1}$ ;
- в множество  $S^r$  включается оборудование  $k_i^{r-1}$ , вошедшее в план  $X^{r-1}$ ;
- из множества  $H^r$  исключаются все характеристики, вошедшие в план  $X^{r-1}$ ;
- в множество  $E^r$  включается оборудование  $k_i^{r-1}$ , которое с учетом ранее сделанных назначений не может быть включено в план  $X$  на последующих итерациях;
- элементы  $F_i^r$  множества  $F^r$  пересчитываются с учетом привлечения специалистов для обслуживания оборудования, включенного в фрагмент плана на предыдущей итерации ( $F_i^r = F_i^{r-1} - F_{k_i^{r-1}}, i = \overline{1, I}$ ).

В блоке 9 в соответствии с соотношением (2) определяются целевая функция.

В блоке 10 формируются выходные данные, характеризующие необходимое количество специалистов  $F_{i\text{ТР}}$  и их трудовозатраты  $P_{\text{ТР}}(X)$ .

### Пример

Рассмотрим применение модели и алгоритма обоснования состава оборудования и специалистов на примере проведения полигонных испытаний артиллерийских боеприпасов (АБП). Перечень оцениваемых характеристик, состав и возможности привлечения оборудования ЭИБ для выполнения работ представлены в табл. 1.

Для проведения испытаний могут быть привлечены 117 специалистов, в том числе: специалистов I квалификационной группы — 59 человек, II квалификационной группы — 30 человек, III квалификационной группы — 28 человек. Перечень специалистов и их квалификационные возможности представлены в табл. 2 [14].

В результате расчетов получен представленный в табл. 3 оптимальный вариант плана привлечения оборудования ЭИБ и специалистов для оценки технических характеристик АБП в процессе испытаний.

В соответствии с этим планом, к испытаниям привлекается оборудование следующих типов:  $k_1, k_3, k_8, k_{10}, k_{12}, k_{16}$ , а также 53 специалиста. В том числе I квалификационной группы — 26 человек, II квалификационной группы — 13 человек, III квалификационной группы —

Таблица 1

Перечень оцениваемых характеристик, состав и возможности привлечения оборудования экспериментально-испытательной базы

№ п/п	Наименование оборудования и его тип	Количество оборудования, шт.	Оцениваемые при проведении испытаний технические характеристики													
			траекторные измерения					фото и видео регистрация			метео-обеспечение			топо-обеспечение		
			A					B			C			D		
			Определение текущих угловых координат	Определение параметров траектории движения	Регистрация изображения	Определение начальной скорости движения	Определение скорости движения на траектории	Фото регистрация высокоскоростных процессов	Видео регистрация высокоскоростных процессов	Видео регистрация параметров	Комплексное зондирование атмосферы	Приземные метеонаблюдения	Обработка информации о параметрах атмосферы	Определение координат местности	Измерение высоты местности	Определение вектора скорости потребителя
			A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
1	Вереск-М2 (k <sub>1</sub> )	1	+	+	+			+								
2	Кама-Н (k <sub>2</sub> )	3	+	+												
3	АБС-2 (k <sub>3</sub> )	4				+										
4	ВИКА-А (k <sub>4</sub> )	6	+		+											
5	Луч-83М1 (k <sub>5</sub> )	2				+	+									
6	Луч-88М2 (k <sub>6</sub> )	1				+	+									
7	НС-Х9000М (k <sub>7</sub> )	10							+							
8	АПК (k <sub>8</sub> )	1				+		+								
9	СВК-1 (k <sub>9</sub> )	2				+		+	+							
10	МВК (k <sub>10</sub> )	1						+	+							
11	ФЭБ-7 (k <sub>11</sub> )	1				+										
12	РМК (k <sub>12</sub> )	1								+	+	+				
13	МРМК (k <sub>13</sub> )	1								+	+	+				
14	ДМК (k <sub>14</sub> )	2									+					
15	Бриз-Н (k <sub>15</sub> )	3											+	+	+	
16	СИГМА (k <sub>16</sub> )	1											+	+	+	

Перечень специалистов и их квалификационные возможности

№ п/п	Тип оборудования	Количество оборудования, шт.	Квалификация специалиста	Количество специалистов, привлекаемых для оценивания технических характеристик артиллерийских боеприпасов на соответствующем оборудовании, чел.												Минимальные трудозатраты специалистов, чел. часов	Максимальные трудозатраты специалистов, чел. часов	Маг. ожидание трудозаграт специалистов, чел. часов	Дисперсия трудозаграт специалистов, чел. часов	Количество оцениваемых характеристик	Ранговый параметр		
				A					B			C			D								
				A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>							D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
1	k <sub>1</sub>	1	I	1	1	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	7,0	9,0	7,8	0,2	5,0	1,6
			II	3	3	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4,0	7,0	5,2	0,4	5,0
2	k <sub>2</sub>	3	I	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,0	8,0	6,2	0,4	2,0	3,1
			II	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	5,0	3,8	0,2	2,0
3	k <sub>3</sub>	4	I	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,0	8,0	6,2	0,4	2,0	3,1
			II	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	2,0	1,4	0,1	2,0
4	k <sub>4</sub>	6	I	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,0	8,0	6,2	0,4	2,0	3,1
			II	16	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	3,0	1,8	0,2	2,0
5	k <sub>5</sub>	2	I	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	5,0	3,8	0,2	2,0	1,9
6	k <sub>6</sub>	1	I	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,0	7,0	5,2	0,4	2,0	2,6
7	k <sub>7</sub>	10	I	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	3,0	5,0	3,8	0,2	1,0	3,8
			II	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3,0	5,0	3,8	0,2	1,0
8	k <sub>8</sub>	1	I	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	5,0	7,0	5,8	0,2	2,0	2,9
			II	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,0	6,0	4,8	0,2	1,0
9	k <sub>9</sub>	2	I	0	0	0	4	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	5,0	9,0	6,6	0,6	3,0	2,2
			II	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4,0	6,0	4,8	0,2	3,0
10	k <sub>10</sub>	1	I	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	4,8	8,0	6,1	0,4	2,0	3,0
11	k <sub>11</sub>	1	I	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,0	5,0	4,4	0,1	1,0	4,4
12	k <sub>12</sub>	1	III	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	0	0	0	2,0	4,0	2,8	0,2	3,0	0,9
13	k <sub>13</sub>	1	III	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	3,0	5,0	3,8	0,2	3,0	1,3
14	k <sub>14</sub>	2	III	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1,0	2,0	1,4	0,1	1,0	1,4
15	k <sub>15</sub>	3	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	1	3,0	5,0	3,8	0,2	3,0	1,3
16	k <sub>16</sub>	1	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	4,0	5,0	4,4	0,1	3,0	1,5

План привлечения оборудования и специалистов для оценки технических характеристик артиллерийских боеприпасов

№ п/п	Тип оборудования	Привлекаемое количество оборудования (шт.)	Оцениваемые при проведении испытаний технические характеристики															Количество специалистов каждой квалификации, привлекаемых для проведения измерений (чел.)		
			A					B			C			D				I	II	III
			A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>				
1	k <sub>1</sub>	1	+	+	+		+			+								6	10	–
2	k <sub>5</sub>	1				+	+											8	–	–
3	k <sub>8</sub>	1				+		+										8	3	–
4	k <sub>10</sub>	1							+	+								4	–	–
5	k <sub>12</sub>	1									+	+	+					–	–	8
6	k <sub>16</sub>	1												+	+	+		–	–	6

14 человек. Суммарные трудозатраты специалистов с доверительной вероятностью 0,95 будут находиться в интервале 261–265 человеко-часов.

В целом предложенная математическая модель и алгоритм обоснования состава оборудования и специалистов для проведения испытаний могут быть использованы для подсистем поддержки принятия решений систем автоматизированного управления испытательных полигонов.

### Литература

1. Филостин А.Е., Кивалов А.Н., Мартыщенко Л.А., Малиновский В.С. Испытания ракетно-артиллерийского вооружения. Часть I: учебник. — СПб: МО РФ. 1998. 295 с.

2. Мартыщенко Л.А., Шатохин Д.В. и др. Методы оперативного статистического анализа результатов выборочного контроля качества промышленной продукции. — Тула. 2001. 72 с.

3. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Герцев В.Н. Оценивание эффективности системы ракетно-артиллерийского вооружения ракетных войск и артиллерии // Военная мысль. 2001. № 4. С. 39–46.

4. Бажин Д.А., Барабанов В.В., Филиппов А.А. и др. Модели организации и проведе-

ния испытаний элементов системы информационного обеспечения применения высокоточных средств // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. № 648. С. 6–12.

5. Сысуев С.Ю., Любарчук Ф.Н., Кулишкин В.А. и др. Учет износа стволов артиллерийских орудий при проведении полигонных испытаний артиллерийских боеприпасов. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019620526, 01.04.2019. Заявка № 2019620343 от 12.03.2019.

6. Сазыкин А.М., Усиков Р.Ф. и др. Методические положения сокращения объема выборки при испытаниях артиллерийских боеприпасов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 9–10 (135–136). С. 90–96.

7. Усиков Р.Ф., Хохлов В.А., Казенов И.Д. и др. Контроль проведения полигонных испытаний артиллерийских боеприпасов. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019620525, 01.04.2019. Заявка № 2019620341 от 12.03.2019.

8. Гасюк Ю.Д., и др. Моделирование приемосдаточных испытаний ракетно-артиллерийского вооружения // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2015. № 2 (87). С. 95–100.

9. Осипенков М.Н., Селиванов А.А., Чварков С.В. и др. Математические методы и модели в военно-научных исследованиях: Том 2. — М.: ВА ГШ. 2017. 466 с.

10. Осипенков М.Н., Селиванов А.А., Чварков С.В. и др. Математические методы и модели в военно-научных исследованиях: Том 1. — М.: ВА ГШ. 2017. 362 с.

11. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. Модификация метода решения одного класса задач целочисленного программирования // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1997. Т. 37. № 2. С. 179–183.

12. Алексеев А.О., Алексеев О.Г. и др. Применение двойственности для повышения эффективности метода ветвей и границ при решении задачи о ранце // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1985. Т. 25. № 11. С. 1666–1673.

13. Алексеев А.О., Алексеев О.Г. и др. Применение цепей Маркова к оценке вычислительной сложности симплексного метода // Известия Академии наук СССР. Техническая кибернетика. 1988. № 3. С. 59–63.

14. Положение о порядке организации и проведения испытаний вооружения, военной техники на испытательном полигоне (ст. Донгузская): утв. нач. ФГБУ «3 ЦНИИ» 2014. — Донгуз. Изд-во 3 ЦНИИ МО РФ. 2014. 158 с.

## References

1. Filyustin A.E., Stupak A.N., Martyshchenko L.A., Malinovsky V.S., Tests of rocket-artillery armament. Part I: the textbook. — Saint-Petersburg: MO RF. 1998. 295 p.

2. Martyshchenko L.A., Shatokhin D.V. et al. Methods of operational statistical analysis of the results of selective quality control of industrial products. — Tula. 2001. 72 p.

3. Anisimov V.G., Anisimov E.G., Gertsev V.N. Evaluating the effectiveness of the system of rocket and artillery weapons of rocket forces and artillery // Voennaya mysl'. 2001. №. 4. P. 39–46.

4. Bazhin D.A., Barabanov V.V., Filippov A.A. et al. Models of organization and testing of elements of the information support system for the use of high-precision tools // Proceedings of the Military space Academy. A.F. Mozhaysky. 2015. №. 648. P. 6–12.

5. Sysuev S.YU., Lyubarchuk F.N., Kulishkin V.A. et al. Accounting for the wear of barrels of artillery guns during field tests of artillery ammunition. Certificate of registration of the database RU 2019620526, 01.04.2019. Application no. 2019620343 from 12.03.2019.

6. Sazykin A.M., Usikov R.F. et al. Methodological provisions for reducing the sample size during tests of artillery ammunition // Military Engineering. Counter-terrorism technical devices. Issue 16. 2019. № 9–10 (135–136). P. 90–96.

7. Usikov R.F., Hohlov V.A., Kazenov I.D. et al. Control of field tests of artillery ammunition. Certificate of registration of the database RU 2019620525, 01.04.2019. Application № 2019620341 from 12.03.2019.

8. Gasyuk Y.D. et al. Modeling of the acceptance tests of rocket-artillery armament // Bulletin of the Russian Academy of rocket and artillery Sciences. 2015. № 2 (87). P. 95–100.

9. Osipenkov M.N., Selivanov A.A., Chvarkov S.V., et al. Mathematical methods and models in military scientific research: Volume 2. — Moscow: Military academy of the General Staff. 2017. 466 p.

10. Osipenkov M.N., Selivanov A.A., Chvarkov S.V., et al. Mathematical methods and models in military research: Volume 1. — Moscow: Izdatel'stvo akademii General'nogo shtaba. 2017. 362 p.

11. Anisimov V.G., Anisimov E.G. Modification of a method for solving a class of integer programming problems // Journal of computational mathematics and mathematical physics. 1997. Vol. 37. № 2. P. 179–183.

12. Alekseyev A.O., Alekseyev O.G., et al. Application of duality to improve the efficiency of the branch and boundary method in solving the satchel problem. Journal of computational mathematics and mathematical physics. 1985. Vol. 25. № 11. P. 1666–1673.

13. Alekseyev A.O., Alekseyev O.G., et al. Application of chains of Markov to an assessment of computing complexity of a simplex method // Izvestia RARAN. 1988. № 3. P. 59–63.

14. Regulations on the procedure for organizing and conducting tests of weapons and military equipment at the test site (art. Donguzskaya): approved. beginning of fsbi «3TSNII» 2014. — Donguz. Publishing house 3 of the Central research Institute of the Ministry of defense of the Russian Federation. 2014. 158 p.