ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ПАРКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

П.А. Маричев, А.С. Корнев, Р.З. Хайруллин¹

Главный научный метрологический центр Министерства обороны Российской Федерации (ГНМЦ),
141006, г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13;

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Предмет исследования: парк измерительной техники (ПИТ), включающий сотни тысяч образцов эталонов, средств измерений, контрольно-измерительных приборов и другой измерительной техники (ИТ), имеющих разные области применения, уровни надежности, сроки службы, уровни технического совершенства и технического состояния.

Цели: разработка комплекса математических моделей, позволяющих моделировать процессы развития ПИТ, управлять показателями эффективности ПИТ в целом, целенаправленно управлять стадиями жизненного цикла образцов ИТ; разработка метода, который, обладая достаточной степенью обоснованности и объективности, позволил бы решать задачи управления закупками и ремонтами как при подготовке предложений в проекты долгосрочных программных документов (ДПД), так и осуществлять контроль выполнения принятых планов. При этом разрабатываемый метод должен быть достаточно простым в использовании, легко настраиваться для решения задач разной размерности, быть пригодным для решения задачи оптимального управления для ПИТ в целом, для части ПИТ, а также быть пригодным для решения обобщенной задачи для некоторых агрегированных объектов, таких как центры метрологии.

Материалы и методы: использованы методы математического моделирования, методы сравнительного анализа, симплекс-метод решения задачи линейного программирования, методы программно-целевого планирования.

Результаты: разработан подход к решению задач программно-целевого планирования, основанный на решении серии задач линейного программирования. Представлены результаты применения подхода как для формирования предложений в проекты ДПД, так и для внесения уточнений (изменений) в ежегодные планы, реализуемые в рамках государственного оборонного заказа.

Выводы: представленные подход и алгоритмы являются эффективным инструментом решения практических задач целенаправленного управления показателями эффективности ПИТ. Анализаторы, контрольно-измерительные приборы и устройства, применяемые в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства, проходят те же стадии жизненного цикла и имеют аналогичные уровни технического совершенства и технического состояния, что и описанные в статье образцы ИТ. Поэтому представленные в работе результаты и методы могут быть эффективно использованы для управления показателями эффективности парка применяемых в сфере жилищного и коммунального хозяйства и строительства приборов и средств измерений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: программно-целевое планирование, парк измерительной техники, показатели эффективности, задача линейного программирования

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Маричев П.А., Корнев А.С., Хайруллин Р.З. Программно-целевое планирование и управление развитием парка контрольно-измерительной техники // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 1 (112). С. 71–79.

THE PROGRAM-TARGET PLANNING AND MANAGEMENT OF DEVELOPMENT OF MEASURING EQUIPMENT PARK

P.A. Marichev, A.S. Kornev, R.Z. Khayrullin¹

Main Scientific Metrological Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation,
13 Komarov st., Mytishi, Moscow oblast, 141006, Russian Federation;

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

Subject: study of the Park of Measuring Equipment (PME) that includes hundreds of thousands of standard samples, measuring instruments, control and measuring devices and other measuring mechanisms with different areas of application, levels of reliability, service life, levels of technical perfection and levels of technical condition.

Research objectives: 1. Development of a complex of mathematical models to simulate the processes of development of PME, control indicators of PME performance as a whole, purposefully control the stages of life cycle of measuring equipment samples. 2. Development of the method which, with a sufficient degree of validity and objectivity, would solve the tasks of management of procurement and repairs both in preparation of proposals for preliminary long-term plan documents (LTPD) and to ensure control over the implementation of adopted plans. Thus, the method being developed should be fairly simple to use, easily adjustable for solving problems of different dimensions, suitable for solving the optimal control problem for

PME as a whole, for a part of PME, and also suitable for solving a generalized problem for certain “aggregated objects” such as the Metrology Centers.

Materials and methods: the methods of mathematical simulation, methods of comparative analysis, simplex method for solving linear programming problem, methods of program-target planning were used.

Results: an approach to the solution of problems of program-target planning based on solving a series of linear programming problems has been developed. The results have been presented of using the approach both for formulation of proposals into the preliminary LTPD and also for introducing revisions (amendments) to annual plans, which are implemented in the framework of the state defense order.

Conclusions: the described method and algorithms constitute an effective tool for solving practical problems of target-oriented management of PME performance indicators. Analyzers, control and measuring equipment and devices used in the field of construction and housing and communal services go through the same stages of the life cycle and have similar levels of technical perfection and technical condition as the samples of measuring equipment, measuring devices and measuring mechanisms described in the article. Therefore, the results and methods presented in the paper can be effectively used to control the performance indicators of park of devices and measuring instruments used in the field of housing and communal services and construction industry.

KEY WORDS: program-target planning, Park of Measuring Equipment, efficiency indicators, linear programming problem

FOR CITATION: Marichev P.A., Kornev A.S., Khayrullin R.Z. Programmno-tselevoe planirovanie i upravlenie razvitiem parka kontrol'no-izmeritel'noj tekhniki [The program-target planning and management of development of measuring equipment park]. Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2018, vol. 13, issue 1 (112), pp. 71–79.

ВВЕДЕНИЕ

Отличительной особенностью программно-целевого планирования является планирование будущих состояний рассматриваемой системы, а также разработка программы достижения желаемых целей планирования. В соответствии с методологией программно-целевого планирования реализация государственной программы вооружения [1] осуществляется в рамках государственного оборонного заказа, являющегося долгосрочным программным документом (ДПД). После принятия ДПД осуществляется ежегодный контроль его выполнения, по результатам которого в рамках оборонного заказа вносятся уточнения по дальнейшей реализации и коррекции ДПД с учетом фактически проведенных к текущему моменту времени мероприятий.

Требуется в течение некоторого периода планирования (например, 7–10 лет) довести показатель современности ПИТ до требуемого уровня при ограничениях на показатель исправности каждого типа измерительной техники (ИТ) и при ограничении на сумму ежегодного финансирования закупок и ремонтов. При этом планируемые показатели, получаемые на последовательных этапах развития ПИТ, не должны противоречить соответствующим показателям двух прогнозных моделей (ПМ) развития ПИТ: ПМ развития ПИТ при отсутствии финансирования и ПМ потребного варианта развития ПИТ [1].

Исходные данные:

- номенклатура образцов ИТ, усредненные цены закупок и ремонтов разных типов ИТ;
- количество современных образцов и количество исправных образцов в соответствии с ПМ при

отсутствии финансирования по годам планирования [1];

- потребное количество образцов в соответствии с ПМ по годам планирования [1].

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Методы и методические подходы, используемые при формировании предложений в проекты ДПД для различных видов вооружения, описаны в работах [1–13], в том числе в части средств метрологического обеспечения [9–13].

В статье [14] с использованием методов [15–19] представлены результаты решения задачи о максимуме показателя современности при ограничениях на показатель исправности и объем финансирования. Используемый симплекс-метод решения задачи линейного программирования (ЗЛП) является достаточно простым в использовании, легко настраивается для решения задач разной размерности с различными формами задания исходных данных.

В настоящей работе метод используется для решения задачи программно-целевого планирования и управления показателями эффективности ПИТ при среднесрочном и долгосрочном планировании. При этом при переходе с очередного интервала планирования на следующий интервал используются разработанные в статье алгоритмы корректировки исходных данных для ЗЛП, предназначенные для согласованного учета данных ПМ.

Отметим, что до настоящего времени при подготовке предложений в ДПД в части метрологического обеспечения, а также для прогнозирования технического состояния ПИТ, использовались, в основном, методы экспертных оценок и вероятностно-статистические методы [1, 8, 20–21].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения задачи период планирования T разбивается на интервалы планирования, равные году. На каждом интервале планирования для заданной суммы финансирования S решается задача оптимального управления показателями эффективности ПИТ: максимизируется показатель современности ПИТ при ограничениях на показатели исправности каждого типа ИТ и объем финансирования. При переходе с текущего интервала планирования на очередной интервал производится корректировка исходных данных с учетом данных ПМ развития ПИТ при отсутствии финансирования и потребного варианта развития ПИТ [1], а также с учетом переходов образцов ИТ из состояния «исправный» в состояние «неисправный» [14].

На момент начала первого интервала планирования для каждого типа образцов ИТ $i = 1, 2, \dots, I$ задаются исходные данные: N^i — общее количество образцов ИТ, $N_{\text{си}}^i$ — количество современных исправных образцов, $N_{\text{сн}}^i$ — количество современных неисправных образцов, $N_{\text{уи}}^i$ — количество устаревших исправных образцов, $N_{\text{ун}}^i$ — количество устаревших неисправных образцов, $N_{\text{и}}^i$ — количество исправных образцов, $N_{\text{н}}^i$ — количество неисправных образцов, $N_{\text{с}}^i$ — количество современных образцов, $N_{\text{у}}^i$ — количество устаревших образцов.

Имеют место соотношения

$$\begin{aligned} N^i &= N_{\text{с}}^i + N_{\text{у}}^i, N^i = N_{\text{и}}^i + N_{\text{н}}^i, N_{\text{с}}^i = N_{\text{си}}^i + N_{\text{сн}}^i, \\ N_{\text{и}}^i &= N_{\text{си}}^i + N_{\text{уи}}^i, N_{\text{у}}^i = N_{\text{уи}}^i + N_{\text{ун}}^i, N_{\text{н}}^i = N_{\text{сн}}^i + N_{\text{ун}}^i \end{aligned} \quad [14].$$

Отметим, что все указанные величины должны быть неотрицательными.

В настоящей работе на каждом интервале планирования ПИТ условно представляется в виде объединения двух частей. Первую часть парка составляет множество образцов ИТ в соответствии с прогнозной моделью ПМ [1]. Вторая часть ПИТ формируется в результате закупок современных исправных образцов и переходов во вторую часть образцов ИТ из первой части после ремонтов. Граф переходов состояний ИТ изображен на рис. 1. Вершинами графа являются состояния: си — современный исправный, сн — современный неисправный, уи — устаревший исправный, ун — устаревший неисправный. В скобках рядом с состоянием указана принадлежность к соответствующей части исходных данных. Ребра графа показывают возможные переходы состояний.

Отметим, что для первой части ПИТ динамика переходов из состояния «современный и/или исправный» в состояние «устаревший и/или неисправный» предполагается известной [1]. Для моделирования переходов состояний для второй части ПИТ в настоящей работе представлены соответствующие алгоритмы.

Опишем более подробно два вида мероприятий, приводящих к смене состояния: закупка и ремонт образцов ИТ.

Ремонты неисправных образцов ИТ приводит к следующим изменениям количества образцов ИТ [14]:

Рис. 1. Граф переходов состояний для задачи квазиоптимального управления: 1 — закупки; 2 — ремонты; 3 — списания; 4 — модель перехода «исправный — неисправный»; 5 — модель перехода «современный — устаревший»

$$N_{\text{си}} := N_{\text{си}} + N_{\text{рси}}, N_{\text{си}} := N_{\text{си}} - N_{\text{рси}}, N_{\text{ун}} := N_{\text{ун}} + N_{\text{рун}}, \\ N_{\text{ун}} := N_{\text{ун}} - N_{\text{рун}},$$

где $N_{\text{рси}}$ — количество ремонтов современных неисправных образцов; $N_{\text{рун}}$ — количество ремонтов устаревших неисправных образцов.

Закупки приводят к следующим изменениям количества образцов ИТ [14]:

$$N_{\text{си}} := N_{\text{си}} + N_3, (N_{\text{ун}} := N_{\text{ун}} - N_3 \text{ или } N_{\text{ун}} := N_{\text{ун}} + N_3),$$

где N_3 — количество закупок современных исправных образцов ИТ.

Поскольку в настоящей работе на каждом этапе планирования общее количество N считается постоянным, то закупка всегда должна компенсироваться списанием устаревшего неисправного или устаревшего исправного образца.

При этом на каждом интервале планирования применяются: точные методы решения ЗЛП при ограничении на объем финансирования. При переходе с текущего интервала планирования на следующий интервал планирования производится корректирование коэффициентов ЗЛП с использованием разработанных в статье алгоритмов, учитывающих ПМ [1] и модели перехода из состояния «исправный» в состояние «неисправный».

Задача управления показателями эффективности ПИТ, решаемая на каждом интервале планирования. Требуется максимизировать показатель современности ПИТ

$$\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \cdot P_{\text{сов}}^i = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \frac{N_{\text{си}}^i + N_3^i}{N^i} \cdot P_{\text{сов}}^i \rightarrow \max, \quad (1)$$

при ограничении сверху на общую сумму, направляемую на закупку новых образцов и ремонт неисправных современных и устаревших образцов ИТ,

$$\sum_{i=1}^I N_3^i S_3^i + \sum_{i=1}^I N_{\text{рси}}^i S_p^i + \sum_{i=1}^I N_{\text{рун}}^i S_p^i \leq S, \quad (2)$$

и при условии, что исправность каждого типа ИТ ограничена снизу и сверху:

$$k_{\min}^i N^i \leq N_{\text{си}}^i + N_3^i + N_{\text{рси}}^i + N_{\text{рун}}^i \leq k_{\max}^i N^i, \\ i = 1, 2, \dots, I, \quad (3)$$

при условии

$$N_3^i \geq 0, \\ N_{\text{си}}^i \geq N_{\text{рси}}^i \geq 0, 0 \leq N_{\text{ун}}^i \leq N_{\text{рун}}^i, i = 1, 2, \dots, I, \quad (4)$$

здесь I — количество типов ИТ; верхний индекс означает принадлежность параметра к соответствующему типу ИТ; $N_{\text{си}}^i$ — количество современных неисправных; $N_{\text{рун}}^i$ — количество устаревших неисправных образцов на момент начала планирования; $k_{\min}^i$ и $k_{\max}^i$ — ограничения снизу и сверху на показатель исправности.

Сформулированная задача (1)–(4) является ЗЛП.

Алгоритм построения плана закупок и ремонтов. В соответствии с данными ПМ задаются исходные данные, необходимые для расчета коэффициентов ЗЛП для первого интервала планирования.

Построение плана на каждом интервале планирования включает следующие последовательные этапы:

1. Расчет коэффициентов ЗЛП.
2. Построение оптимального плана закупок и ремонтов на основе решения базовой ЗЛП [14].
3. Предварительный расчет количества образцов ИТ с учетом оптимального плана закупок и ремонтов.

4. Корректировка данных (количества образцов ИТ, принадлежащих разным уровням технического совершенства и технического состояния), необходимых для расчета коэффициентов ЗЛП на следующем шаге планирования и перехода к этапу 1:

- корректировка данных из второй части с учетом переходов «современный — устаревший» и «исправный — неисправный»;
- корректировка исходных данных из первой части с учетом проведенных ремонтов современных неисправных и устаревших неисправных образцов из первой части (количество соответствующих образцов уменьшается на количество отремонтированных образцов из первой части);
- совместная корректировка данных из первой и второй части в соответствии с ПМ, формирование данных, необходимых для расчета коэффициентов ЗЛП и переход к этапу 1 (корректировка осуществляется за счет списания устаревших неисправных образцов из первой части и (или) из второй).

Процесс построения плана завершается либо через заданное количество интервалов планирования, либо при достижении показателем современности ПИТ требуемого уровня, либо при достижении показателем современности ПИТ оптимального значения.

Поскольку коэффициенты ЗЛП при переходе от одного интервала планирования к другому меняются незначительно, а сумма средств, выделяемых на каждом интервале планирования, фиксирована и достаточна для выполнения ограничений по исправности, есть основания предполагать, что поэтапное планирование будет близким к оптимальному.

При выполнении этапа 2 для второго и последующих интервалов планирования предполагается, что финансовых средств достаточно для обеспечения потребного количества образцов в соответствии с ПМ.

Описание модели корректировки «современный — устаревший». Вводится в рассмотрение суммарный вектор современности $\vec{VS} = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_J)$ для второй части данных, где J — количество интервалов планирования. В начале все компоненты суммарного вектора задаются равными нулю. Для каждого интервала планирования и каждого типа

ИТ вводится характеристический вектор современности $\overline{VH}_m = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_j)$, $m = 1, 2, \dots, M$, где M — количество закупок на данном интервале планирования.

Координата характеристического вектора равна единице, если на соответствующем интервале планирования образец является современным, и равна нулю, если образец является устаревшим. Например, если закупка произошла на интервале с порядковым номером j , $1 \leq j \leq J$, то все координаты характеристического вектора с первой по $j-1$ равны нулю, далее идут J_c единиц и $J-j-J_c+1$ нулей (предполагается, что $J-j-J_c \leq J$), где J_c — прогнозируемый промежуток времени, в течение которого образец остается современным.

В конце каждого интервала планирования к суммарному вектору современности добавляются все характеристические вектора, сформированные на текущем интервале планирования.

В результате j -я компонента вектора $\overline{VS} = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_j)$ будет равна количеству современных образцов ИТ из второй группы на интервале планирования с порядковым номером j .

Количество современных образцов второй группы на начало следующего интервала планирования равно $VS(j+1)$. Если $VS(j) \neq VS(j+1)$, то при переходе к следующему интервалу планирования соответствующее количество современных образцов для второй группы пересчитываются по формулам

$$N_{\text{сн}} := N_{\text{сн}} + k_1 (VS(j+1) - VS(j)),$$

$$N_{\text{ун}} := N_{\text{сн}} + (1 - k_1) (VS(j+1) - VS(j)).$$

Общее количество современных образцов ИТ в конце интервала планирования с номером j равно сумме количества современных образцов из первой и второй группы и количества образцов, закупленных на данном интервале планирования.

Описание модели корректировки «исправный — неисправный». Расчет количества исправных и неисправных образцов на начало следующего

интервала планирования для второй части данных производится по формулам [14]:

$$N_{\text{сн}} := k_1 N_{\text{сн}}, N_{\text{сн}} := N_{\text{сн}} + (1 - k_1) N_{\text{сн}}, N_{\text{ун}} := k_2 N_{\text{ун}}, \\ N_{\text{ун}} := N_{\text{ун}} + (1 - k_2) N_{\text{ун}}.$$

Общее количество исправных образцов в конце интервала планирования с номером j равно сумме количества исправных образцов из первой и второй группы и количества образцов, закупленных на данном интервале планирования.

Отметим, что выбор такой упрощенной модели корректировки обусловлен рекомендациями [1], в соответствии с которыми при построении долгосрочных планов целесообразно использование моделей выхода ИТ из строя, инвариантных относительно интервалов планирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Горизонт планирования $T = 7$ лет, интервал планирования — год, сумма ежегодного финансирования $S = 4000$ условных единиц. Числовые значения остальных исходных данных приведены в работе [14]. Показатели эффективности по годам планирования представлены на рис. 2.

Для каждого года планирования и каждого типа ИТ было получено количество образцов, которое должно быть закуплено и отремонтировано.

Характерные особенности построенного квазиоптимального плана финансирования совпадают с особенностями решения базовой задачи [14].

Отметим некоторые из них.

На первом интервале планирования в 2018 г. обеспечивается выход по показателю исправности на нижнюю границу для всех типов ИТ как за счет ремонтов неисправных экземпляров, так и за счет закупок экземпляров ИТ-3. Во второй половине 2021 г. при $S = 13\,729$ происходит выход показателя исправности для всех типов ИТ на верхнюю границу 95 %. При этом общий показатель современности равен 0,50.

Рис. 2. Изменение показателей эффективности по годам планирования

Дальнейшее увеличение общего показателя современности без нарушения условий на показатели исправности невозможно.

Опишем один из возможных вариантов увеличения показателя современности ПИТ, при котором верхнее ограничение на показатель исправности будет нарушаться. Снимем ограничение сверху по показателю исправности. Тогда при последовательном финансировании ИТ-3, ИТ-1, ИТ-2 можно в 2022 г. при $S = 16\,471$ довести показатели исправности для всех типов до 100 % при $P_{\text{сов}} = 0,55$.

Дальнейшее увеличение уровня современности ПИТ в целом возможно за счет закупок с одновременным списанием устаревших исправных образцов в последовательности ИТ-3, ИТ-1, ИТ-2. При этом показатели современности будут последовательно выходить на уровень 1,00 для ИТ-3, ИТ-1, ИТ-2. Отметим, что при таком варианте финансирования отличие между уровнем современности ИТ-3 и ИТ-2 будет значительным.

Опишем другой возможный вариант повышения уровня современности ПИТ. Введем дополнительное ограничение сверху на показатели современности каждого типа ИТ, например 0,88. Тогда, в соответствии со сказанным выше, показатели современности разных типов ИТ будут выходить на уровень 0,88 в последовательности ИТ-3, ИТ-1, ИТ-2. Расчеты показали, что в конце 2024 г. представляется возможным общий уровень современности довести до 0,70 при сумме финансирования 28 000 единиц. При этом уровень исправности по всем типам ИТ будет равен 100 %, а уровни современности по типам ИТ — соответственно 0,88, 0,33 и 0,88. Введение такого ограничения сверху на показатель современности каждого типа ИТ представляется более разумным, поскольку оно приводит к выравниванию уровней современности разных типов ИТ.

Оценим долю финансовых затрат, приходящуюся на «чистую оптимизацию». Расчеты показали, что суммарная доля финансовых затрат, направленных на поддержание начального уровня современности, требуемого уровня исправности и на парирование изменений начальных условий при переходе от текущего интервала планирования на следующий, относительно невелика по сравнению с суммой средств, выделяемых на каждом интервале планирования. Указанная доля затрат представлена на рис. 3.

Отметим, что достаточно высокие затраты в конце 2018 г. объясняются необходимостью выдерживания ограничения по исправности за счет перераспределения финансовых ресурсов с ремонта на закупки новых современных образцов ИТ-3 и ИТ-1, в то время как цена ремонта существенно ниже цены закупки. Видно, что на последних интервалах планирования доля затрат уменьшается. Это означает, что средства в основном направляются на оптимизацию целевой функции. В то же время для обеспечения ограничений по исправности и компенсации изменений, которые происходят при переходе от текущего интервала планирования к следующему, достаточно небольшой доли финансовых ресурсов. Средняя доля затрат на «чистую оптимизацию» составляет около 63 % от общей суммы финансирования.

ВЫВОДЫ

Представленные в статье модели используются при решении задач программно-целевого планирования, для обоснования предложений в проекты программных и плановых документов по развитию ИТ военного назначения, а также для внесения уточнений (изменений) в ежегодные планы, реализуемые в рамках государственного оборонного за-

Рис. 3. Доля затрат, %, на поддержание начального уровня современности и требуемого уровня исправности

каза, с учетом фактически проведенных к текущему моменту времени мероприятий по закупкам и ремонтам [1–2].

Разработанные модели позволяют рассчитывать объемы финансирования, необходимые для обеспечения требуемых значений показателей эффективности ПИТ, и строить соответствующие планы закупок и ремонтов.

Расчеты показали, что при ежегодном финансировании в объеме, эквивалентном объему финансирования потребного варианта развития ПИТ [1], возможно доведение показателя современности ПИТ до требуемого уровня 70 % за период в 7 лет.

Представленные алгоритмы могут быть использованы при разработке автоматизированных систем управления ПИТ. Представленные в работе подход и алгоритмы могут быть использованы для задач управления показателями эффективности парка приборов, устройств и средств измерений, применяемых в сфере жилищно-коммунального хозяйства и строительства.

Подход, может быть использован для построения математических моделей, учитывающих «запаздывание результата управления» при проведении модернизаций образцов ИТ, которые имеют продолжительность несколько лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. М. : Машиностроение, 2010. 368 с.
2. Подольский А.Г., Швырков А.В. Формализованная постановка задачи формирования рационального варианта формирования государственного оборонного заказа в условиях монополизации рынка вооружения // Вооружение и экономика. 2016. № 3 (36). С. 59–68.
3. Кандыбко Н.В., Авдеев М.В. Проблемы выполнения государственного оборонного заказа в экономико-правовых условиях 2015 года // Вооружение и экономика. 2015. № 3 (32). С. 83–89.
4. Буравлев А.И., Нестеров А.А. Методика военно-экономического анализа целесообразности закупки образцов вооружения и военной техники // Вооружение и экономика. 2016. № 2 (35). С. 83–89.
5. Орлов В.А., Бывших Д.М., Ярыгин Ю.Н. Автоматизация процессов планирования развития техники радиоэлектронной борьбы // Вооружение и экономика. 2015. № 4 (33). С. 75–83.
6. Буравлев А.И., Буренок В.М., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности вооружения и военной техники. СПб. : ВАТТ, 2011. 142 с.
7. Дьяков А.Н., Решетников Д.В., Бояришинов С.Н. Моделирование системы поддержания работоспособного состояния сложных технических систем // Вооружение и экономика. 2016. № 3 (36). С. 35–43.
8. Буравлев А.И., Чумичкин А.А. Формирование базы знаний экспертной системы оценки боевой готовности: методологический подход // Вооружение и экономика. 2011. № 1 (13). С. 156–166.
9. Хайруллин Р.З. Целевое управление показателями эффективности парка метрологического оборудования // Научное обозрение. 2016. № 10. С. 300–303.
10. Прищепа А.Н., Шулунов А.Н. Современное состояние и проблемы развития отечественного приборостроения // Вестник метролога. 2012. № 1. С. 4–7.
11. Сычев Е.В., Храменков В.Н., Шкутин А.Д. Основы военной метрологии. М. : Воениздат, 1993. 400 с.
12. Бачурин Д.П., Яшин А.В. Аттестация программного обеспечения информационно-измерительных систем, входящих в состав испытательного оборудования // Вестник метролога. 2013. № 4. С. 8–12.
13. Новиков Н.Ю. Нормативно-правовое регулирование в области обеспечения единства измерений. Внесение изменений в Федеральный Закон «Об обеспечении единства измерений» // Вестник метролога. 2013. № 4. С. 4–5.
14. Маричев П.А., Корнев А.С., Хайруллин Р.З. К оптимальному управлению показателями эффективности парка измерительной техники // Вестник МГСУ. 2017. № 5. С. 564–571.
15. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М. : Наука, 1961. 391 с.
16. Bryson A., Ho Y. Applied Optimal Control. Waltham, MA, Blaisdell Publishing, 1969.
17. Федоренко Р.П. Приближенное решение задач оптимального управления. М. : Наука, 1978. 488 с.
18. Лапшин В.В., Юрин Е.А. Нелинейная упругопластическая модель коллинеарного удара // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки». 2016. № 1(64). С. 90–99.
19. Хайруллин Р.З. Оптимизация систем высокой размерности с использованием компонентов ПО ILOG // Вестник МГСУ. 2013. № 8. С. 157–163.
20. Лемешко Б.Ю., Блинов П.Ю., Лемешко С.Б. Смещенность непараметрических критериев согласия относительно некоторых пар конкурирующих гипотез // Измерительная техника. 2016. № 5. С. 16–20.
21. Лемешко Б.Ю., Блинов П.Ю., Лемешко С.Б. О критериях проверки равномерности закона распределения вероятностей // Автометрия. 2016. Т. 52. № 2. С. 28–42.

22. Тускаева З.Р. Формирование центров технической оснащенности строительства // Вестник МГСУ. 2016. № 9. С. 75–85.

23. Пилипенко Н.В., Гладских Д.А.. Определение тепловых потерь зданий и сооружений путем решения обратных задач теплопроводности // Измерительная техника. 2014. № 2. С. 51–53.

24. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Метод определения нестационарных тепловых потоков и теплопроводности путем параметрической идентификации // Измерительная техника. 2011. № 3. С. 48–51.

25. Лифанов И.С., Шерстюков Н.Г. Метрология, средства и методы контроля качества в строительстве. М., 1979. 225 с.

Поступила в редакцию 1 декабря 2016 г.

Принята в доработанном виде 26 сентября 2017 г.

Одобрена для публикации 25 декабря 2017 г.

О Б АВТОРАХ: **Маричев Павел Александрович** — кандидат технических наук, начальник отдела, **Главный научный метрологический центр Министерства обороны Российской Федерации (ГНМЦ)**, 141006, г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13, marichev.p@mail.ru;

Корнев Алексей Сергеевич — начальник лаборатории, **Главный научный метрологический центр Министерства обороны Российской Федерации (ГНМЦ)**, 141006, г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13, lexhkorban@rambler.ru;

Хайруллин Рустам Зиннатуллович — доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, профессор, кафедра прикладной математики, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, zrk@nm.ru.

REFERENCES

1. Burenok V.M., Pogrebnyak R.N., Skotnikov A.P. *Metodologiya obosnovaniya perspektiv razvitiya sredstv vooruzhennoy bor'by obshchego naznacheniya* [Methodology for substantiating the prospects for the development of general-purpose weapons]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2010. 368 p. (In Russian)

2. Podol'skiy A.G., Shvyrykov A.V. Formalizovannaya postanovka zadachi formirovaniya ratsional'nogo varianta formirovaniya gosudarstvennogo oboronnoy zakaza v usloviyakh monopolizatsii rynka vooruzheniya [The formalized problem statement of the state defense order rational variant forming in the context of the armament market monopolization]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Armament and Economics]. 2016, no. 3 (36), pp. 59–68. (In Russian)

3. Kandybko N.V., Avdeev M.V. Problemy vypolneniya gosudarstvennogo oboronnoy zakaza v ekonomiko-pravovykh usloviyakh 2015 goda [Problems of implementation of the state defense orders in economic and legal conditions of 2015]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Armament and Economics]. 2015, no. 3 (32), pp. 83–89. (In Russian)

4. Buravlev A.I., Nesterov A.A. Metodika voenno-ekonomicheskogo analiza tselesoobraznosti zakupki obraztsov vooruzheniya i voennoy tekhniki [Technique of the military-economic analysis of expediency of purchase of samples of arms and the military technics]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Armament and Economics]. 2016, no. 2 (35), pp. 83–89. (In Russian)

5. Orlov V.A., Byvshikh D.M., Yarygin Yu.N. Avtomatizatsiya protsessov planirovaniya razvitiya tekhniki radioelektronnoy bor'by [Automation of plan-

ning processes of the art electronic warfare]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Armament and Economics]. 2015, no. 4 (33), pp. 75–83. (In Russian)

6. Buravlev A.I., Burenok V.M., Brezgin V.S. *Metody otsenki effektivnosti vooruzheniya i voennoy tekhniki* [Methods for assessing the effectiveness of weapons and military equipment]. Saint-Petersburg, VATT Publ., 2011. 142 p. (In Russian)

7. D'yakov A.N., Reshetnikov D.V., Boyarshinov S.N. Modelirovanie sistemy podderzhaniya raboto-sposobnogo sostoyaniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Modeling the system for maintaining the workable state of complex technical systems]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Armament and Economics]. 2016, no. 3 (36), pp. 35–43. (In Russian)

8. Buravlev A.I., Chumichkin A.A. Formirovanie bazy znaniy ekspertnoy sistemy otsenki boevoy gotovnosti: metodologicheskii podkhod [Formation of the knowledge base of the expert system for assessing combat readiness: the methodological approach]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Armament and Economics]. 2011, no. 1 (13), pp. 156–166. (In Russian)

9. Khayrullin R.Z. Tselevoye upravlenie pokazatelyami effektivnosti parka metrologicheskogo obo-rudovaniya [Target management of metrology equipment performance indicators]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2016, no. 10, pp. 300–303. (In Russian)

10. Prishchepa A.N., Shulunov A.N. Sovremennoe sostoyanie i problemy razvitiya otechestvennogo priborostroeniya [Current State and Problems of the Development of Domestic Instrument Making]. *Vestnik*

metrologa [Metrologist's Bulletin]. 2012, no. 1, pp. 4–7. (In Russian)

11. Sychev E.B., Khramenkov V.N., Shkitin A.D. *Osnovy voennoy metrologii* [Fundamentals of the military metrology]. Moscow, Voenizdat Publ., 1993. 400 p. (In Russian)

12. Bachurin D.P., Yashin A.V. Attestatsiya programnogo obespecheniya informatsionno-izmeritel'nykh sistem, vkhodyashchikh v sostav ispytatel'nogo oborudovaniya [Certification of the software of information-measuring systems that are part of the testing equipment]. *Vestnik metrologa* [Metrologist's Bulletin]. 2013, no. 4, pp. 8–12. (In Russian)

13. Novikov N.Yu. Normativno-pravovoe regulirovanie v oblasti obespecheniya edinstva izmereniy. Vnesenie izmeneniy v Federal'nyy Zakon «Ob obespechenii edinstva izmereniy» [Regulatory and legal regulation in the field of ensuring the unity of measurement. Amendments to the Federal Law “On ensuring the uniformity of measurements”]. *Vestnik metrologa* [Metrologist's Bulletin]. 2013, no. 4, pp. 4–5. (In Russian)

14. Marichev P.A., Kornev A.S., Khayrullin R.Z. K optimal'nomu upravleniyu pokazatelyami effektivnosti parka izmeritel'noy tekhniki [To optimal management of performance indicators of control and measuring equipment stock]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, no. 5, pp. 564–571. (In Russian)

15. Pontryagin L.S., Boltyanskiy V.G., Gamkrelidze R.V., Mishchenko E.F. *Matematicheskaya teoriya optimal'nykh protsessov* [Mathematical theory of optimal processes]. Moscow, Nauka Publ., 1961. 391 p. (In Russian)

16. Bryson A., Ho Y. *Applied Optimal Control*. Waltham, MA, Blaisdell Publishing, 1969.

17. Fedorenko R.P. *Priblizhennoe reshenie zadach optimal'nogo upravleniya* [Approximate solution of optimal control problems]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 488 p. (In Russian)

18. Lapshin V.V., Yurin E.A. Nelineynaya uprugoplasticheskaya model' kollinearnogo udara [Nonlinear elastoplastic model of collinear impact]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Seriya «Estestvennye nauki»* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University.

Series Natural Sciences]. 2016, no. 1 (64), pp. 90–99. (In Russian)

19. Khayrullin R.Z. Optimizatsiya sistem vysokoy razmernosti s ispol'zovaniye komponentov PO ILOG [Optimization of high dimensionality systems using ilog software components]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 8, pp. 157–163. (In Russian)

20. Lemesko B.Yu., Blinov P.Yu., Lemesko S.B. Smeshchennost' neparametricheskikh kriteriev soglasiya otnositel'no nekotorykh par konkuriruyushchikh Gipotez [Bias of nonparametric goodness-of-fit tests relative to certain pairs of competing hypotheses]. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques]. 2016, no. 5, pp. 16–20. (In Russian)

21. Lemesko B.Yu., Blinov P.Yu., Lemesko S.B. O kriteriyakh proverki ravnomernosti zakona raspredeleniya veroyatnostey [Goodness-of-fit tests for uniformity of probability distribution law]. *Avtometriya* [Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing]. 2016, vol. 52, no. 2, pp. 28–42. (In Russian)

22. Tuskaeva Z.R. Formirovanie tsentrov tekhnicheskoy osnashchennosti stroitel'stva [Formation of technical equipment centers of construction]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2016, no. 9, pp. 75–85. (In Russian)

23. Pilipenko N.V., Gladskikh D.A. Opredelenie teplovykh poter' zdaniy i sooruzheniy putem resheniya obratnykh zadach teploprovodnosti [Determination of the heat losses of buildings and structures by solving inverse heat conduction problems]. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques]. 2014, no. 2, pp. 51–53. (In Russian)

24. Pilipenko N.V., Sivakov I.A. Metod opredeleniya nestatsionarnykh teplovykh potokov i teploprovodnosti putem parametricheskoy identifikatsii [Method for the determination of non-stationary heat fluxes and thermal conductivity by parametric identification]. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques]. 2011, no. 3, pp. 48–51. (In Russian)

25. Lifanov I.S., Sherstyukov N.G. *Metrologiya, sredstva i metody kontrolya kachestva v stroitel'stve* [Metrology, means and methods of quality control in construction]. Moscow, 1979. 225 p. (In Russian)

Received on December 1, 2016.

Adopted in final form September 26, 2017.

Approved for publication on December 25, 2017.

ABOUT THE AUTHORS: **Marichev Pavel Aleksandrovich** — Candidate of Technical Sciences, Head of Department, **Main Scientific Metrological Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation**, 13 Komarova str., Mytishchi, Moscow oblast, 141006, Russian Federation, marichev.p@mail.ru;

Kornev Aleksey Sergeevich — Head of Laboratory, **Main Scientific Metrological Center Ministry of Defense of the Russian Federation**, 13 Komarova str., Mytishchi, Moscow oblast, 141006, Russian Federation, lexkorban@rambler.ru;

Khayrullin Rustam Zinnatulloevich — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Professor of Applied Mathematics Department, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, zrk@nm.ru.