К ОПТИМАЛЬНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРКА КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

П.А. Маричев, А.С. Корнев, Р.З. Хайруллин*

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

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

АННОТАЦИЯ. Большое многообразие контрольно-измерительной техники (ИТ), приборов, устройств и оборудования, используемого в сфере строительства и ЖКХ, а также непрерывное повышение требований к точности, достоверности, быстродействию и уровню автоматизации приводит к необходимости решения задач оценки уровня технического совершенства и технического состояния парка указанного оборудования и техники, управления показателями эффективности парка, планирования обновления парка и т.д.

Управление показателями эффективности парка осуществляется путем сбалансированного проведения закупок современных исправных образцов техники и ремонтов неисправных образцов. Практически независимо от области применения и назначения каждый прибор проходит аналогичные стадии жизненного цикла, такие как проектирование, разработка, внедрение, эксплуатация, модернизация, ремонт, утилизация. Поэтому рассмотренная в настоящей статье задача оптимального управления показателями парка измерительной техники (ПИТ) военного назначения и методы решения этой задачи представляются актуальными и для строительной отрасли.

В качестве базового метода исследования используется симплекс-метод решения задачи линейного программирования с ограничениями в форме равенств и неравенств. Предполагается, что по уровню технического совершенства оборудование может быть современным или устаревшим, а по техническому состоянию — исправным или неисправным. Разработана математическая модель для учета переходов образцов ИТ из исправного состояния в неисправное. Показано, что в рамках этой модели показатели современности и исправности ПИТ связаны между собой линейной зависимостью.

Исследуется задача построения оптимальных планов финансирования мероприятий по закупкам и ремонтам отдельных образцов ИТ для парка, включающего несколько типов ИТ, при различных ограничениях на объем финансирования. В качестве критерия оптимальности используется показатель современности ПИТ, а в качестве ограничений — показатель исправности ПИТ и показатели исправности для каждого типа ИТ. При исследовании возможных рациональных вариантов финансирования используются также показатели современности для разных типов ИТ.

Представлены результаты решения базовой задачи для разных значений объемов финансирования мероприятий по закупкам и ремонтам. Выявлена структура и последовательность оптимального финансирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оптимальное управление, парк измерительной техники, задача линейного программирования

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Маричев П.А., Корнев А.С., Хайруллин Р.З. К оптимальному управлению показателями эффективности парка контрольно-измерительной техники // Вестник МГСУ. Т. 12. Вып. 5 (104). С. 564–571. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.564-571

TO OPTIMAL MANAGEMENT OF PERFORMANCE INDICATORS OF CONTROL AND MEASURING EQUIPMENT STOCK

P.A. Marichev, A.S. Kornev, R.Z. Khayrullin*

*Main Scientific Metrology Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation (GNMTs),
13 Komarova str., Mytishchi, 141006, Russian Federation;*

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

ABSTRACT. Article studies the problem of development of optimal plans of funding of activities for procurement and repair of particular samples of measuring equipment (ME) for the stock including several types of ME, under various restrictions for the funding. As the underlying research method, the simplex method for solving of a linear programming problem with equalities and inequalities constraints is used. It is assumed that as per the level of technical excellence the equipment can be modern or outdated, and as per the level of technical condition — operable or faulty. Mathematical model for record keeping of transitions of ME samples from an operable state into a faulty state is worked out. It is shown that, within the framework of this model, the indicators of modernity and operability of measuring equipment stock (MES) are linked by a linear dependence. As the optimality criterion, the MES modernity indicator is used; the MES operability indicator and operability indicators for each ME type are used as the constraints. While studying possible rational financing options, the modernity indicators for different types of ME also are used. Results of solving of the basic problem for different values of funding amounts for procurement and repairs are presented. Structure and sequence of optimal funding is revealed.

KEY WORDS: optimal management, measuring equipment stock, linear programming problem

FOR CITATION: Marichev P.A., Kornev A.S., Khayrullin R.Z. K optimal'nomu upravleniyu pokazatelyami effektivnosti parka kontrol'no-izmeritel'noy tekhniki [To Optimal Management of Performance Indicators of Control and Measuring Equipment Stock]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 5 (104), pp. 564–571. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.564-571

В настоящее время обеспечение и наращивание оборонного потенциала Вооруженных Сил Российской Федерации осуществляется в плановом режиме путем обоснования, формирования и реализации совокупности долгосрочных программных документов (ДПД), основным из которых является государственная программа вооружения. В соответствии с методологией программно-целевого планирования реализация государственной программы вооружения осуществляется в рамках государственного оборонного заказа. После принятия ДПД осуществляется ежегодный контроль его выполнения, по результатам которого в рамках оборонного заказа вносятся уточнения по дальнейшей реализации ДПД с учетом фактически проведенных к текущему моменту времени мероприятий. Методы и методические подходы, используемые при формировании предложений в проекты ДПД для различных видов вооружения, описаны в работах [1–10]. Основные положения и проблемы программно-целевого планирования в строительстве и методические положения по развитию программно-целевого управления инновациями в сфере ЖКХ сформулированы в работах [11, 12].

В состав ПИТ входят сотни тысяч образцов контрольно-измерительной техники (ИТ), имеющих разные назначения, области применения, надежности, сроки службы, уровни технического совершенства и технического состояния.

Управление показателями парка измерительной техники (ПИТ) возможно за счет сбалансированного проведения закупок, ремонтов и модернизаций отдельных образцов ИТ [1, 8]. В настоящей работе модернизация, которая может происходить в течение нескольких лет, рассматривается как последовательность закупок в течение нескольких лет по некоторой приведенной цене. Приведенная цена закупки модернизированного образца равна отношению стоимости работ по модернизации к ее продолжительности.

Поэтому актуальной является задача разработки такого метода, который позволил бы решать задачи управления закупками и ремонтами как при подготовке предложений в ДПД, так и осуществлять контроль его выполнения. 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 парка ИТ в целом, для части парка ИТ, а также быть пригодным для решения обобщенной задачи для не-

которых агрегированных переменных — центров метрологии.

С использованием классической теории оптимального управления [13] и приближенных методов решения задач оптимизации [14–16] в работах [17–21] дается постановка и решение задач управления производственной и экономической направленности, для решения которых используются вероятностные методы, идеи агрегирования систем, теории организационных систем, алгоритмы нелинейного и целочисленного программирования. Непосредственное применение этих методов для решения поставленных в настоящей работе задач затруднено из-за специфики задания исходных данных и необходимости учета набора данных, получаемых из других моделей: прогнозной модели (ПМ) развития ПИТ при отсутствии финансирования [1] и ПМ требуемого варианта развития ПИТ [1].

В настоящей работе в качестве такого простого и универсального метода предлагается использовать симплекс-метод решения задачи линейного программирования (ЗЛП). Отметим, что до настоящего времени при подготовке ДПД, а также для прогнозирования технического состояния ПИТ использовались, в основном, методики, опирающиеся на методы экспертных оценок и вероятностно-статистические методы [1, 7, 22–23].

В настоящей работе рассматривается простейшая задача оптимального управления показателями ПИТ (базовая задача), которая включает все основные характерные особенности задачи в более полной и детальной постановке (с учетом особенностей модернизации образцов ПИТ, с учетом различных видов ремонтов, с учетом дефлятора и т.д.). Для выявления структуры оптимального финансирования предлагаемая в статье постановка базовой задачи оказывается вполне достаточной. Дано решение задачи для разных значений объемов финансирования. Произведен анализ структуры оптимального финансирования, построена последовательность оптимального финансирования, которая может быть использована при построении среднесрочных и долгосрочных планов.

В статье разработана модель перехода образцов ИТ из исправного состояния в неисправное. Модель позволяет для двух категорий технического совершенства (современное и устаревшее) образцов ИТ рассчитывать указанные выше переходы. Показано, что для этой модели существует линейная связь между показателями современности и исправности ПИТ в целом.

Анализаторы, контрольно-измерительные приборы и устройства, применяемые в сфере строительства и ЖКХ [24–27], проходят те же стадии жизненного цикла и имеют аналогичные уровни технического совершенства и технического состояния, что и описанные в статье образцы ИТ военного назначения. Поэтому представленные в работе результаты и методы могут быть эффективно использованы для управления показателями эффективности парка применяемых в сфере ЖКХ и строительства приборов и средств измерений.

Описание множества возможных состояний образцов ИТ и моделирование переходов состояния. Предположим, что по уровню технического совершенства образцы подразделяются на современные или устаревшие, а по техническому состоянию — исправные или неисправные. Обозначим как N общее количество образцов ИТ, N_{su} — количество современных исправных образцов, N_{sn} — количество современных неисправных образцов, N_{yu} — количество устаревших исправных образцов, N_{yn} — количество устаревших неисправных образцов, N_u — количество исправных образцов, N_n — количество неисправных образцов, N_s — количество современных образцов, N_y — количество устаревших образцов.

Имеют место соотношения $N = N_s + N_y$, $N = N_u + N_n$, $N_s = N_{su} + N_{sn}$, $N_u = N_{yu} + N_{yn}$, $N_n = N_{sn} + N_{yn}$. Отметим, что все указанные величины должны быть неотрицательными.

Рассматриваются два вида мероприятий, приводящих к смене состояния: закупка и ремонт.

Ремонт современного неисправного образца приводит к увеличению количества современных исправных образцов и уменьшению количества современных неисправных образцов. Ремонт устаревшего неисправного образца приводит к увеличению количества устаревших исправных образцов и уменьшению количества устаревших неисправных образцов:

$$\begin{aligned} N_{su} &:= N_{su} + N_{psn}, N_{sn} := N_{sn} - N_{psn}, \\ N_{yu} &:= N_{yu} + N_{pyu}, N_{yn} := N_{yn} - N_{pyu}, \end{aligned}$$

где N_{psn} , N_{pyu} — количество ремонтов устаревших неисправных и современных неисправных образцов ИТ соответственно.

Закупка приводит к увеличению количества современных исправных образцов. 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. Поэтому закупка приводит к увеличению количества современных исправных образцов и уменьшению количества устаревших неисправных образцов (или устаревших исправных образцов):

$$N_{su} := N_{su} + N_z \text{ и } (N_{yn} := N_{yn} - N_z \text{ или } N_{yu} := N_{yu} - N_z).$$

Показатели эффективности ПИТ и связь между ними. Введем следующие обозначения: N_{so} — количество современных образцов на момент начала интервала планирования, N_{uo} — количество исправных образцов на момент начала интервала планирования, $N_p = N_{psn} + N_{pyu}$ — количество ремонтов, S_z , S_p — усредненная цена закупки и ремонта, S — сумма средств, выделяемых на закупку и ремонт вместе, k_1 и k_2 — коэффициенты исправности для современных и устаревших образцов, причем $0 < k_1 \leq k_2 < 1$. Тогда показатель современности

$$P_{сов} = N_s / N = (N_{so} + N_z) / N, \quad (1)$$

показатель исправности

$$P_{исп} = N_u / N = (k_1 N_{so} + k_2 (N - N_{so}) + N_z + N_p) / N, \quad (2)$$

сумма финансирования

$$S = N_z S_z + N_p S_p. \quad (3)$$

Предполагается, что закупаемый образец ИТ является современным исправным и остается таковым в течение интервала планирования.

Если выразить из выражений (1) и (3) величины N_z , N_p и подставить их в (2), то получим линейную связь между этими показателями $P_{исп} = a P_{сов} + b$, где $a = 1 - S_z / S_p$, $b = S / (S_p N) + N_{so} (k_1 - k_2 + S_z / S_p - 1) / N + k_2$.

Отметим, что $a < 0$, $b > 0$, поэтому:

- при фиксированном объеме финансирования S при увеличении показателя современности показатель исправности будет уменьшаться и наоборот,
- при увеличении S и фиксированном значении $P_{сов}$ значение показателя $P_{исп}$ будет увеличиваться.

На рис. 1 представлены характерные виды зависимостей показателя современности от показателя исправности для трех рассматриваемых в настоящей работе типов ИТ.

Описанная модель применяется для расчета количества исправных и неисправных образцов до начала решения ЗПП.

Постановка базовой задачи о максимуме показателя современности ПИТ при ограничениях на показатели исправности отдельных типов ИТ о объем финансирования. Требуется максимизировать показатель современности ПИТ:

$$\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I P_{сов}^i = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \frac{N_{so}^i + N_z^i}{N^i} P_{сов}^i \rightarrow \max. \quad (4)$$

При этом ограничена сверху общая сумма, направляемая на закупку новых образцов и ремонт неисправных современных и устаревших образцов ИТ:

$$\sum_{i=1}^I N_z^i S_z^i + \sum_{i=1}^I N_{psn}^i S_p^i + \sum_{i=1}^I N_{pyu}^i S_p^i \leq S, \quad (5)$$

и исправность каждого типа ИТ ограничена снизу и сверху:

Рис. 1. Зависимость показателя современности от показателя исправности

$$k_{\min}^i N^i \leq N_{uo}^i + N_z^i + N_{psn}^i + N_{pyu}^i \leq k_{\max}^i N^i, \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, I,$$

при условии

$$N_z^i \geq 0, N_{sno}^i \geq N_{psn}^i \geq 0, 0 \leq N_{yno}^i \leq N_{pyu}^i, \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, I.$$

где I — количество типов ИТ (верхний индекс означает принадлежность параметра к соответствующему типу ИТ); N_{sno}^i — количество современных неисправных, а N_{yno}^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 (4) – (7) является ЗЛП.

Результаты решения базовой задачи. Исходные данные следующие: $I = 3$, $N^1 = 41\,503$, $N^2 = 24\,000$, $N^3 = 52\,000$, $N_{so}^1 = 8469$, $N_{so}^2 = 2300$, $N_{so}^3 = 21\,000$, $N_{uo}^1 = 23\,365$, $N_{uo}^2 = 12\,300$, $N_{uo}^3 = 24\,000$, $N_{sno}^1 = 847$, $N_{sno}^2 = 200$, $N_{sno}^3 = 2000$, $k_{uo}^1 = k_{uo}^2 = k_{uo}^3 = 0,8$, $k_{sno}^1 = k_{sno}^2 = k_{sno}^3 = 0,95$, $k_{min}^1 = k_{min}^2 = k_{min}^3 = 0,55$, $S_z^1 = 1$, $S_z^2 = 0,140$, $S_z^3 = 0,055$, $S_p^1 = 0,20$, $S_p^2 = 0,028$.

Расчеты проводились для разных значений S и $k_{\max}^i$ ($i = 1, 2, 3$). В таблице представлены результаты расчетов объемов финансирования при $k_{\max}^i = 0,95$ ($i = 1, 2, 3$).

Видно, что при малых объемах финансирования $S < S_1$ все средства следует направлять на ремонт ИТ (на достижение показателями исправности каждого из типов ИТ допустимой нижней границы). Соответствующая ЗЛП решения не имеет.

При $S = S_1$ показатели исправности всех видов ИТ выходят на нижнюю допустимую границу в 80 %.

При $S_1 < S < S_2$ условие по исправности выполняется строго на нижней границе и производится перераспределение средств с увеличением закупок и уменьшением ремонтов ИТ третьего типа (ИТ-3).

При $S = S_2$ объем средств, выделяемых на ремонт, уменьшается до величины, необходимой для

ремонта имеющихся 2000 современных неисправных образцов, и происходит выход показателя современности по ИТ-3 на уровень 95 %.

При $S_2 < S < S_3$ средства направляются на закупку ИТ-1, причем средства, направляемые на ремонт ИТ-1, уменьшаются.

При $S = S_3$ средства, выделяемые на ремонт ИТ-1, уменьшаются до величины, необходимой для ремонта имеющихся 847 современных неисправных образцов, и происходит выход показателя современности по ИТ-1 на уровень 95 %.

При $S_3 < S < S_4$ средства направляются на закупку ИТ-2, причем средства, выделяемые на ремонт ИТ-2 уменьшаются.

При $S = S_4$ происходит выход показателя исправности по ИТ-2 на уровень 95 %, причем средства, выделяемые на ремонт, уменьшаются до величины, необходимой для ремонта имеющихся 200 современных неисправных экземпляров ИТ-2.

Общий показатель современности ПИТ для $S = S_4$ составляет 0,63.

Дальнейшее увеличение уровня современности для каждого типа ИТ и для всего ПИТ в целом возможно только за счет закупок с заменой устаревших исправных на современные исправные образцы в последовательности ИТ-3, ИТ-1, ИТ-2.

На рис. 2 представлены изменения показателя современности в зависимости от размера финансирования для ограничения сверху на показатель исправности в 95 и 100 % для всех типов ИТ. Видно, что, при объеме финансирования $S = 22\,003$ показатель современности ПИТ возможно увеличить до уровня 0,68.

Отметим, что поскольку количество образцов ИТ достаточно велико, то для получения результатов, пригодных для практического использования, достаточно решать ЗЛП в общей постановке. Решение с применением ЭВМ занимает менее 1 с. Решение целочисленной ЗЛП составляет не более 2...3 с.

Структура и последовательность оптимального финансирования. Расчеты показали, что оптимальная последовательность финансирования

выглядит так: ИТ-3, ИТ-1, ИТ-2, причем сначала средства выделяются на ремонты, а затем на закупки образцов ИТ в указанной последовательности.

Опишем основные этапы управления распределением финансовых ресурсов, направляемых на развитие ПИТ.

1. Средства направляются только на ремонт как современных неисправных, так и устаревших неисправных ИТ в размере, достаточном для выхода на нижнюю границу по показателю исправности по всем типам ИТ, в последовательности: ИТ-3, ИТ-1, ИТ-2.

2. Средства перераспределяются с ремонта устаревших неисправных образцов на закупки, при этом средства на ремонт уменьшаются до суммы, достаточной для ремонта только современных неисправных образцов. Сначала выдерживается ограничение по показателю исправности на нижней границе. Затем показатель исправности увеличивается до верхней границы. Пункт выполняется для всех типов ИТ в последовательности: ИТ-3, ИТ-1, ИТ-2. Показатель современности возрастает до целевого уровня.

Результаты расчетов для диапазона исправности 80...95 %

Обозначения	Сумма	Мероприятия	Объем финансирования			Показатели	Показатели эффективности			Критерий
			ИТ-1	ИТ-2	ИТ-3		ИТ-1	ИТ-2	ИТ-3	
	1000	Закупки	Нет решения	Нет решения	Нет решения	$P_{\text{сов}}$	Нет решения	Нет решения	Нет решения	0
		Ремонты	Нет решения	Нет решения	Нет решения	$P_{\text{исп}}$	Нет решения	Нет решения	Нет решения	
S_1	1856	Закупки	0	0	0	$P_{\text{сов}}$	0,22	0,1	0,44	0,253
		Ремонты	541,035	822	493	$P_{\text{исп}}$	0,8	0,8	0,8	
	4000	Закупки	0	0	2580	$P_{\text{сов}}$	0,22	0,1	0,8	0,373
		Ремонты	541,035	822	56	$P_{\text{исп}}$	0,8	0,8	0,85	
S_2	4695	Закупки	0	0	3276	$P_{\text{сов}}$	0,22	0,1	0,89	0,403
		Ремонты	541,035	822	56	$P_{\text{исп}}$	0,8	0,8	0,95	
	8000	Закупки	3671,8	0	3276	$P_{\text{сов}}$	0,39	0,1	0,89	0,460
		Ремонты	173,855	822	56	$P_{\text{исп}}$	0,8	0,8	0,95	
	12 000	Закупки	7799	0	3276	$P_{\text{сов}}$	0,57	0,1	0,89	0,520
		Ремонты	46,585	822	56	$P_{\text{исп}}$	0,93	0,8	0,95	
S_3	12 569	Закупки	8368,25	0	3276	$P_{\text{сов}}$	0,59	0,1	0,89	0,527
		Ремонты	46,585	822	56	$P_{\text{исп}}$	0,95	0,8	0,95	
	16 000	Закупки	8368,25	4213	3276	$P_{\text{сов}}$	0,59	0,28	0,89	0,587
		Ремонты	46,585	40	56	$P_{\text{исп}}$	0,95	0,81	0,95	
S_4	19 297	Закупки	8368,25	7510	3276	$P_{\text{сов}}$	0,59	0,42	0,89	0,633
		Ремонты	46,585	40	56	$P_{\text{исп}}$	0,95	0,95	0,95

Рис. 2. Изменения показателя современности в зависимости от размера финансирования

Заметим, что если объем финансирования достаточно велик, а финансовые риски малы, то при выполнении этапа 1 целесообразно средства направить только на ремонт современных неисправных образцов и закупку новых образцов с последующим выполнением этапа 2.

Заключение. Представленный в статье подход эффективно используется при подготовке предло-

жений в ДПД и для осуществления контроля его выполнения. Разработанные алгоритмы могут быть использованы при разработке автоматизированных систем поддержки принятия решений и других автоматизированных систем управления, применяемых в сфере строительства и ЖКХ, в т.ч. для разработки аппаратно-программных комплексов мониторинга коммунальной техники.

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. 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.
4. 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.
5. Буравлев А.И., Буренок В.М., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности вооружения и военной техники. СПб. : ВАТТ, 2011. 142 с.
6. 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.
7. 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.
8. Хайруллин Р.З. Целевое управление показателями эффективности парка метрологического оборудования // Научное обозрение. 2016. № 10. С. 300–303.
9. Прищепа А.Н., Шулунов А.Н. Современное состояние и проблемы развития отечественного приборостроения // Вестник метролога. 2012. № 1. С. 4–7.
10. Бачурин Д.П., Яшин А.В. Аттестация программного обеспечения информационно-измерительных систем, входящих в состав испытательного оборудования // Вестник метролога. 2013. № 4. С. 8–12.
11. Антонов А.Г. Методы программно-целевого управления инновациями в сфере ЖКХ // Транспортное дело России. 2010. № 14. С. 53–55.
12. Яськова Н.Ю., Карасик Д.М. Программно-целевые методы развития строительства. Современный формат городских целевых программ // Вестник МГСУ. 2012. № 3. С. 182–186.
13. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В. и др. Математическая теория оптимальных процессов. М. : Наука, 1961. 391 с.
14. Bryson A., Ho Y. Applied optimal control. MA : Blaisdell Publishing, Waltham, 1969.
15. Федоренко Р.П. Приближенное решение задач оптимального управления. М. : Наука, 1978. 488 с.
16. Лапшин В.В., Юрин Е.А. Нелинейная упругопластическая модель коллинеарного удара // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Естественные науки. 2016. № 1 (64). С. 90–99.
17. Хайруллин Р.З. К оптимизации систем высокой размерности с использованием компонентов ПО ILOG // Вестник МГСУ. 2013. № 8. С. 157–163.
18. Хоботов Е.Н. Задачи и методы управления многоименными запасами в условиях производства продукции // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2011. № 6. С. 165–174.
19. Резчиков А.Ф. Управление энергосбережением на промышленных предприятиях // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2010. № 5. С. 114–124.
20. Есенков А.С., Леонов В.Ю., Тизик А.П. и др. Нелинейная целочисленная транспортная задача с дополнительными пунктами производства и потребления // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2015. № 1. С. 88–100.
21. Сидоренко А.М., Хоботов Е.Н. Агрегирование при планировании работ на машиностроительных предприятиях // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2013. № 5. С. 132–140.
22. 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.
23. Лемешко Б.Ю., Блинов П.Ю., Лемешко С.Б. О критериях проверки равномерности закона распределения вероятностей // Автометрия. 2016. Т. 52. № 2. С. 28–42.
24. Тускаева З.Р. Формирование центров технической оснащенности строительства // Вестник МГСУ. 2016. № 9. С. 75–85.
25. Пилипенко Н.В., Гладских Д.А. Определение тепловых потерь зданий и сооружений путем решения обратных задач теплопроводности // Измерительная техника. 2014. № 2. С. 51–53.
26. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Метод определения нестационарных тепловых потоков и теплопроводности путем параметрической идентификации // Измерительная техника. 2011. № 3. С. 48–51.
27. Лифанов И.С., Шерстюков Н.Г. Метрология, средства и методы контроля качества в строительстве. М., 1979. 225 с.

Поступила в редакцию в декабре 2016 г.

Принята в доработанном виде в феврале 2017 г.

Одобрена для публикации в апреле 2017 г.

Об 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, marichevpa@mail.ru;

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

Хайруллин Рустам Зиннатуллович — доктор физико-математических наук, старший науч. сотрудник, профессор кафедры 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 Means of Armed Fight]. Moscow, Engineering Publ., 2010, 368 p. (In Russian)
2. Podolsky A.G., Shvyrkov A.V. Formalizovannaya postanovka zadachi formirovaniya ratsional'nogo varianta formirovaniya gosudarstvennogo oboronnogo zakaza v usloviyakh monopolizatsii rynka vooruzheniya [Formalized Statement of the Problem of the Formation of Rational Variants of the State Defense Order Formation in Conditions of Monopolization of the Weapons Market]. *Vooruzheniye i ekonomika* [Weapons and Economy]. 2016, no. 3 (36), pp. 59–68. (In Russian)
3. Buravlev A.I., Nesterov A.A. Metodika voenno-ekonomicheskogo analiza tselesoobraznosti zakupki obraztsov vooruzheniya i voennoy tekhniki [Methodology for the Military-Economic Analysis of the Feasibility of Procurement of Weapons and Military Equipment]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Weapons and Economy]. 2016, no. 2 (35), pp. 83–89. (In Russian)
4. Orlov V.A., Former D.M., Yarygin Yu.N. Avtomatizatsiya protsessov planirovaniya razvitiya tekhniki radioelektronnoy bor'by [Automation of the Processes of Planning the Electronic Warfare Equipment Development]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Weapons and Economy]. 2015, no. 4 (33), pp. 75–83. (In Russian)
5. Buravlev A.I., Burenok V.M., Breslin V.S. *Metody otsenki effektivnosti vooruzheniya i voennoy tekhniki* [Methods for Evaluating the Effectiveness of Weapons and Military Equipment]. Saint Petersburg, WATTS Publ., 2011, 142 p. (In Russian)
6. Dyakov A.N., Reshetnikov D.V., Boyarshinov S.N. Modelirovanie sistemy podderzhaniya rabotosposobnogo sostoyaniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Modeling System of the Operable State Maintenance of Complex Technical Systems]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Weapons and Economy]. 2016, no. 3 (36), pp. 35–43. (In Russian)
7. Buravlev A.I., Comiccon A.A. Formirovanie bazy znaniy ekspertnoy sistemy otsenki boevoy gotovnosti: metodologicheskii podkhod [Formation of the Knowledge Base of the Expert System for Evaluation of Combat Readiness: Methodological Approach]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Weapons and Economy]. 2011, no. 1 (13), pp. 156–166. (In Russian)
8. Khayrullin R.Z. Tselevoe upravlenie pokazatelyami effektivnosti parka metrologicheskogo oborudovaniya [Targeted Management of the Indicators of the Effectiveness of the Calibration Equipment Stock]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review]. 2016, no. 10, pp. 300–303. (In Russian)
9. Prishchepa A.N., Shalunov A.N. Sovremennoe sostoyanie i problemy razvitiya otechestvennogo priborostroyeniya [Current State and Problems of Development of the Domestic Instrument Making]. *Vestnik metrologa* [Metrologist's Bulletin]. 2012, no. 1, pp. 4–7. (In Russian)
10. Bachurin D.P., Yashin A.V. Attestatsiya programmno obespecheniya informatsionno-izmeritel'nykh sistem, vkhodyashchikh v sostav ispytel'noy oborudovaniya [Certification of the Software of Information-Measuring Systems Comprising the Testing Equipment]. *Vestnik metrologa* [Metrologist's Bulletin]. 2013, no. 4, pp. 8–12. (In Russian)
11. Antonov A.G. Metody programmno-tselevogo upravleniya innovatsiyami v sfere ZHKH [Methods of Program-Target Management of Innovations in the Housing-and-Communal Services Sphere]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport Business in Russia]. 2010, no. 14, pp. 53–55. (In Russian)
12. Yas'kova N.Yu., Karasik D.M. Programmno-celevye metody razvitiya stroitel'stva. Sovremennyy format gorodskikh celevykh programm [Programm-target Methods for the Construction Development. Modern Format of the City-Target Programs]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 3, pp. 182–186. (In Russian)
13. Pontryagin L.S., Boltyansky V.G., Gamkrelidze R.V. et al. *Matematicheskaya teoriya optimal'nykh protsessov* [Mathematical Theory of the Optimal Processes]. Moscow, Nauka Publ., 1961, 391 p. (In Russian)
14. Bryson A., Ho Y. *Applied Optimal Control*. MA, Blaisdell Publishing, Waltham, 1969.
15. Fedorenko R.P. *Priblizhennoe reshenie zadach optimal'nogo upravleniya* [Approximate Solution of the Optimal Control Problems]. Moscow, Nauka Publ., 1978, 488 p. (In Russian)
16. Lapshin V.V., Yurin E.A. Nelineynaya uprugoplasticheskaya model' kollinearnogo udara [Nonlinear Elastoplastic Model of Collinear Impact]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Bauman. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. "Natural Sciences" Library]. 2016, no. 1 (64), pp. 90–99. (In Russian)

17. Khayrullin R.Z. K optimizatsii sistem vysokoy razmernosti s ispol'zovaniem komponentov PO ILOG [On the Optimization of High Dimensionality Systems Using the ILOG Software Components]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 8, pp. 157–163. (In Russian)
18. Khobotov E.N. Zadachi i metody upravleniya mnogomenklaturnymi zapasami v usloviyakh proizvodstva produkci [Tasks and Methods of Management of Diversified Stocks in Production Conditions]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and Control Systems]. 2011, no. 6, pp. 165–174. (In Russian)
19. Rezhnikov A.F. Upravlenie energosberezheniem na promyshlennykh predpriyatiyakh [Energy Saving Management at the Industrial Enterprises]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and Control Systems]. 2010, no. 5, pp. 114–124. (In Russian)
20. Esenkov A.S., Leonov V.Y., Titik P.A. et al. Nelineynaya tselochislennaya transportnaya zadacha s dopolnitel'nymi punktami proizvodstva i potrebleniya [Non-Linear Integer Transportation Problem with Additional Points of Production and Consumption]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and Control Systems]. 2015, no. 1, pp. 88–100. (In Russian)
21. Sidorenko A.M., Khobotov E.N. Agregirovanie pri planirovanii rabot na mashinostroitel'nykh predpriyatiyakh [Aggregation in the Planning of Works at Engineering Enterprises]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and Control Systems]. 2013, no. 5, pp. 132–140. (In Russian)
22. Lemesko B.Yu., Blinov P.Yu., Lemesko S.B. Smeshchennost' neparametricheskikh kriteriev soglasiya otnositel'no nekotorykh par konkuriruyushchikh gipotez [Bias of Non-Parametric Acceptance Criteria on Some Pairs of Competing Hypotheses]. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques]. 2016, no. 5, pp. 16–20. (In Russian)
23. Lemesko B.Yu., Blinov P.Yu., Lemesko S.B. O kriteriyakh proverki ravnomernosti zakona raspredeleniya veroyatnosti [On the Criteria for Testing the Uniformity of the Probability Distribution Law]. *Avtometriya* [Autometry]. 2016, vol. 52, no. 2, pp. 28–42. (In Russian)
24. Tuskayev Z.R. Formirovanie centrov tekhnicheskoy osnashchennosti stroitel'stva [Formation of the Centers of Technical Equipment of the Construction]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2016, no. 9, pp. 75–85. (In Russian)
25. Pilipenko N.V., Gladskikh D.A. Opredelenie teplovykh poter' zdaniy i sooruzheniy putem resheniya obratnykh zadach teploprovodnosti [Determination of Thermal Losses of Buildings and Structures by Solving Inverse Heat Conduction Problem]. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques]. 2014, no. 2, pp. 51–53. (In Russian)
26. Pilipenko N.V., Sivakov I.A. Metod opredeleniya nestatsionarnykh teplovykh potokov i teploprovodnosti putem parametricheskoy identifikatsii [Method for the Determination of Unsteady Heat Fluxes and Heat Conductivity by Parameter Identification]. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques]. 2011, no. 3, pp. 48–51. (In Russian)
27. Lifanov I.S., Sherstyukov N.G. *Metrologiya, sredstva i metody kontrolya kachestva v stroitel'stve. Spravochnoe posobie* [Metrology, Means and Methods of Quality Control in Construction]. Moscow, 1979, 225 p. (In Russian)

Received in December 2016.

Adopted in revised form in February 2017.

Approved for publication in April 2017.

About the authors: **Marichev Pavel Aleksandrovich** — Candidate of Technical Sciences, Head of Department, **Main Scientific Metrology Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation (GNMTs)**, 13 Komarova str., Mytisch, 141006, Russian Federation, marichevpa@mail.ru;

Kornev Aleksey Sergeevich — Head of Laboratory, **Main Scientific Metrology Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation (GNMTs)**, 13 Komarova str., Mytisch, 141006, Russian Federation, lexkorban@rambler.ru;

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