

Построение стратегий закупок и ремонтов измерительной техники на основе свойств стационарных решений динамических систем

Р. З. Хайруллин

Главный научный метрологический центр МО РФ, Мытищи, Московская обл., Россия, e-mail: zrkzrk@list.ru

Представлена математическая модель долгосрочного планирования и целевого управления показателями эффективности (современности и исправности) парка измерительной техники при её закупках, ремонтах и списаниях. В основе модели лежат система конечно-разностных уравнений, описывающая динамику изменения количества образцов измерительной техники с различным уровнем технического совершенства и технического состояния, и алгоритмы, учитывающие свойства стационарных решений динамических систем. Отличительной особенностью модели является наглядность и простота применения.

Ключевые слова: парк измерительной техники, ремонты, закупки, показатели эффективности, динамическая система.

Развитие и совершенствование методов программно-целевого планирования в части разработки алгоритмов управления показателями эффективности (современности и исправности) парка измерительной техники (ИТ) представляется актуальной практической задачей в различных сферах деятельности [1–3]. В настоящей работе представлена математическая модель, предназначенная для построения стратегий закупок и ремонтов при долгосрочном планировании развития парка ИТ.

В соответствии с отечественной и зарубежной практикой программно-целевого планирования для оценки уровня технического совершенства далее используются такие обобщённые понятия, как современный и устаревший образцы ИТ, а для оценки технического состояния используются понятия исправный и неисправный образцы ИТ. Единые принципы и общие требования к классификации по категориям «современный» и «устаревший» [1] реализуются для ИТ в соответствующих методических указаниях на основе методов сравнительного анализа и экспертных оценок.

Необходимость повышения эффективности принимаемых решений в процессе управления развитием парка ИТ обусловила разработку специальных методик формирования простых, легко реализуемых на практике и обладающих достаточным уровнем объективности и достоверности стратегий закупок и ремонтов ИТ [4–6]. В настоящей статье представлена динамическая модель стратегий закупок, ремонтов и списаний образцов ИТ. В рамках этой модели обеспечивается достижение целевых значений показателей эффективности как в момент окончания планирования, так и на каждом интервале планирования.

Задача построения стационарных решений. *Постановка задачи построения стационарных решений.* Пусть в начале планирования парк ИТ включает N образцов ИТ: современных исправных x_1 и неисправных x_2 , а также устаревших исправных x_3 и неисправных x_4 образцов ИТ. Общее количество $N = x_1 + x_2 + x_3 + x_4$ считаем фиксированным. Предполагаем, что в результате статистической обработки данных

за достаточно продолжительный промежуток времени получены статистические вероятности переходов состояния: p_{12} , p_{13} (из состояний современный исправный в состояния современный неисправный, устаревший исправный); p_{24} (из состояния современный неисправный в состояние устаревший неисправный); p_{34} (из состояний устаревший исправный в состояние устаревший неисправный).

Переходы состояний рассматриваем как процессы управления со следующими управляющими параметрами: долями устаревших неисправных образцов ИТ, подлежащих ремонту k_{43} и замене k_{41} на закупленные современные исправные образцы; долей k_{21} современных неисправных образцов, подлежащих ремонту. После проведения ремонта и поверки неисправные образцы переходят в разряд исправных. Граф переходов состояния представлен на рис. 1, а.

Система дифференциальных уравнений, описывающая динамику средних показателей развития парка ИТ, имеет вид [7]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -p_{12}x_1 - p_{13}x_1 + k_{21}x_2 + k_{41}x_4; \\ \frac{dx_2}{dt} &= -p_{24}x_2 + p_{12}x_1 - k_{21}x_2; \\ \frac{dx_3}{dt} &= -p_{34}x_3 + p_{13}x_1 + k_{43}x_4; \\ \frac{dx_4}{dt} &= p_{24}x_2 + p_{34}x_3 - k_{41}x_4 - k_{43}x_4. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Начальные условия для (1) считаем заданными. Если коэффициенты при переменных x_i , $i = 1, 2, 3, 4$, входящие в правые части уравнений постоянны, то система (1) имеет стационарное решение, к которому стремятся все частные её решения при $t \rightarrow \infty$. Требуется найти такие значения управляющих параметров k_{41} , k_{43} , k_{21} , при которых показатели современности $P_c = (x_1 + x_2)/N$ и исправности $P_i = (x_1 + x_3)/N$ в долгосрочной перспективе (при $t \rightarrow \infty$) примут заранее заданные значения. Стационарное решение можно найти, если приравнять к нулю

производные в левой части системы (1). Стационарное решение удовлетворяет системе линейных однородных алгебраических уравнений относительно неизвестных x_i , $i = 1, 2, 3, 4$:

$$\left. \begin{aligned} -p_{12}x_1 - p_{13}x_1 + k_{21}x_2 + k_{41}x_4 &= 0; \\ -p_{24}x_2 + p_{12}x_1 - k_{21}x_2 &= 0; \\ -p_{34}x_3 + p_{13}x_1 + k_{43}x_4 &= 0; \\ p_{24}x_2 + p_{34}x_3 - k_{41}x_4 - k_{43}x_4 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Ранг системы (2) равен трём. Если в качестве свободной переменной выбрать x_2 , то общее решение (2) можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{p_{24} + k_{21}}{p_{12}} x_2; \\ x_3 &= \frac{p_{13}k_{41}(p_{24} + k_{21}) + k_{43}(p_{12}p_{24} + p_{13}p_{24} + p_{13}k_{21})}{p_{34}k_{41}p_{12}} x_2; \\ x_4 &= \frac{p_{12}p_{24} + p_{13}p_{24} + p_{13}k_{21}}{k_{41}p_{12}} x_2. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Построение стратегий развития парка ИТ. Стратегия 1. Пусть $k_{43} = 0$, k_{21} , $k_{41} \neq 0$, т. е. некоторая доля современных неисправных образцов ИТ подлежит ремонту и поверке, а вместо устаревших неисправных образцов ИТ могут быть закуплены современные исправные образцы. Тогда система (3) будет иметь вид

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{p_{24} + k_{21}}{p_{12}} x_2; \\ x_3 &= \frac{p_{13}k_{41}(p_{24} + k_{21})}{p_{34}k_{41}p_{12}} x_2; \\ x_4 &= \frac{p_{12}p_{24} + p_{13}p_{24} + p_{13}k_{21}}{k_{41}p_{12}} x_2. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Ограничения на общее количество ИТ, а также на показатели современности и исправности описываются системой

$$\left. \begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 &= N; \\ x_1 + x_2 &= NP_c; \\ x_1 + x_3 &= NP_{и}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Подставляем в систему (5) выражения (4) с неизвестными k_{41} , k_{21} , x_2 , решаем эту систему нелинейных алгебраических уравнений методом Ньютона [8] и получаем значения k_{41} , k_{21} , обеспечивающие требуемый уровень современности и исправности парка ИТ. Порядок системы (5) можно снизить до второго, если из первого соотношения выразить переменную x_2 с учётом системы (4) как

$$x_2 = N / \left(\frac{p_{24} + k_{21}}{p_{12}} + 1 + \frac{p_{13}k_{41}p_{24} + p_{13}k_{41}k_{21}}{p_{34}k_{41}p_{12}} + \frac{p_{12}p_{24} + p_{13}p_{24} + p_{13}k_{21}}{k_{41}p_{12}} \right)$$

и подставить её во второе и третье соотношения системы (5).

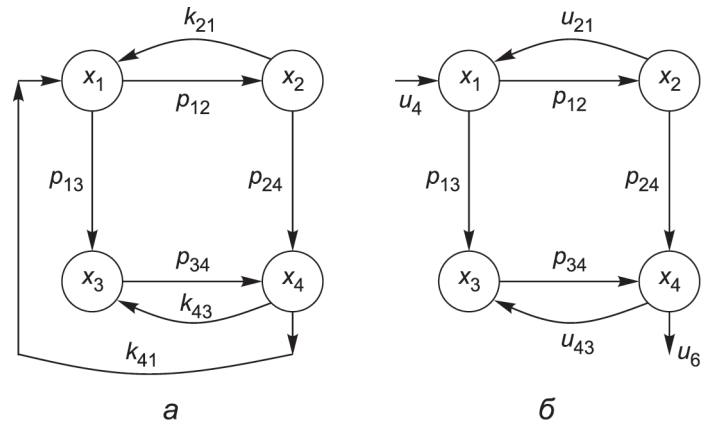


Рис. 1. Графы переходов состояния

Стратегия 2. Пусть $k_{21} = 0$; k_{41} , $k_{43} \neq 0$ (частный случай), т. е. современные неисправные образцы ИТ ремонту не подлежат, одна часть устаревших неисправных образцов ИТ подлежит ремонту и поверке, вместо другой части устаревших неисправных образцов производится закупка современных исправных образцов. Тогда из (3) следует система

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{p_{24}}{p_{12}} x_2; \\ x_3 &= \frac{p_{13}k_{41}p_{24} + k_{43}p_{12}p_{24} + k_{43}p_{13}p_{24}}{p_{34}k_{41}p_{12}} x_2; \\ x_4 &= \frac{p_{12}p_{24} + p_{13}p_{24}}{k_{41}p_{12}} x_2. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Ограничения на общее количество ИТ, а также на показатели современности и исправности определяются системой (5). Левые части (5) при условии (6) зависят от неизвестных k_{41} , k_{43} , x_2 . При решении системы (6) методом Ньютона получаем значения k_{41} , k_{43} , обеспечивающие требуемый уровень современности и исправности парка ИТ. Как и в Стратегии 1, порядок системы (5) можно снизить до второго, если из первого уравнения системы (5) с учётом (6) выразить переменную

$$x_2 = N / \left(\frac{p_{24}}{p_{12}} + 1 + \frac{p_{13}k_{41}p_{24} + k_{43}p_{12}p_{24} + k_{43}p_{13}p_{24}}{p_{34}k_{41}p_{12}} + \frac{p_{12}p_{24} + p_{13}p_{24}}{k_{41}p_{12}} \right)$$

и подставить её во второе и третье соотношения (5).

Отметим, что полученные значения управляющих параметров должны удовлетворять естественным ограничениям:

$$0 \leq k_{21} \leq 1; 0 \leq k_{43} \leq 1; 0 \leq k_{41} + k_{43} \leq 1 (x_i \geq 0, i = 1, 2, 3, 4).$$

Если найденные в результате решения системы нелинейных уравнений значения управляющих

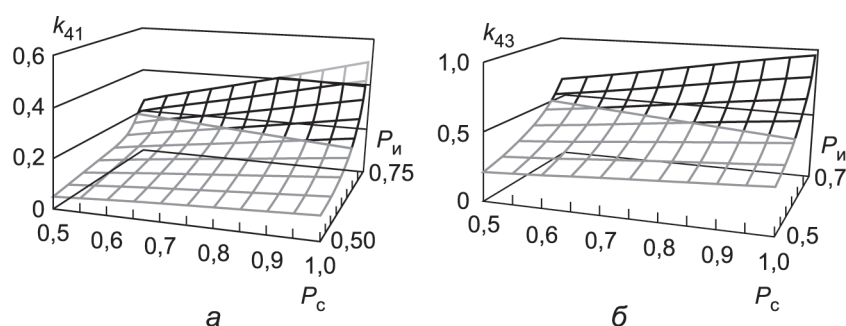


Рис. 2. Зависимость управляющих параметров (долей закупаемых k_{41} и ремонтируемых k_{43} образцов ИТ) от показателей современности P_c и исправности P_i

параметров не удовлетворяют указанным ограничениям, то ресурса управления недостаточно для одновременного выполнения требований по современности и исправности. В этом случае необходимо привлекать дополнительные ресурсы, например совместное выполнение ремонтов и проверок как современных неисправных, так и устаревших неисправных образцов ИТ. В некоторых случаях одновременное соблюдение ограничений по современности и исправности в форме двух независимых равенств оказывается невозможным. Тогда рекомендуется одно из ограничений учитывать в форме неравенства.

Стратегия 3. Пусть $x_2 = 0$; $k_{21}, k_{41}, k_{43} \neq 0$, т. е. все современные неисправные образцы подлежат ремонту и проверке на том же интервале планирования, на котором они стали неисправными, а также требуются ремонт и проверка одной части устаревших неисправных образцов ИТ. Кроме того, вместо другой части устаревших неисправных образцов производится закупка современных исправных образцов.

Стационарное решение удовлетворяет системе линейных однородных алгебраических уравнений

$$\left. \begin{aligned} -p_{13}x_1 + k_{41}x_4 &= 0; \\ -p_{34}x_3 + p_{13}x_1 + k_{43}x_4 &= 0; \\ p_{34}x_3 - k_{41}x_4 - k_{43}x_4 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Ранг системы (7) равен двум. Если в качестве свободной переменной выбрать x_4 , то общее решение этой системы имеет вид

$$x_1 = \frac{k_{41}}{p_{13}}x_4; \quad x_3 = \frac{k_{41} + k_{43}}{p_{34}}x_4.$$

Ограничение на общее количество образцов ИТ, а также на показатели современности и исправности также, как ранее, определяются системой (5). Левые

части уравнений зависят от неизвестных k_{41}, k_{43} . Из первого ограничения (5) получим

$$x_4 = N / \left(\frac{k_{41}}{p_{13}} + \frac{k_{41} + k_{43}}{p_{34}} + 1 \right). \quad (8)$$

При подстановке (8) во второе и третье уравнения системы (5) получаем систему линейных алгебраических уравнений второго порядка относительно k_{41}, k_{43} . Явное решение указанной системы имеет вид

$$\left. \begin{aligned} k_{41} &= P_c p_{13} / (1 - P_i); \\ k_{43} &= [P_i p_{34} - P_c (p_{34} + p_{13})] / (1 - P_i). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Аналитические зависимости (9) позволяют вычислять значения управляющих параметров k_{41}, k_{43} в зависимости от требуемых значений показателей эффективности P_c, P_i (рис. 2). С увеличением требуемых значений показателей эффективности увеличиваются доли закупаемых и ремонтируемых образцов ИТ.

Задача пошагового управления показателями эффективности. Динамическая модель развития парка ИТ. Опишем переходы состояний, рассматриваемые как процессы управления с управляющими параметрами: количествами ремонтов и проверок неисправных современных u_{21} и устаревших u_{43} образцов; количествами закупок современных исправных образцов ИТ u_4 и списаний устаревших неисправных образцов u_6 . Граф переходов состояний представлен на рис. 1, б. Система динамических уравнений развития парка ИТ с заданными начальными условиями имеют вид соответственно [7, 8]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -p_{12}x_1 - p_{13}x_1 + u_{21} + u_4; \\ \frac{dx_2}{dt} &= -p_{24}x_2 + p_{12}x_1 - u_{21}; \\ \frac{dx_3}{dt} &= -p_{34}x_3 + p_{13}x_1 + u_{43}; \\ \frac{dx_4}{dt} &= p_{24}x_2 + p_{34}x_3 - u_{43} - u_6; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$x_i(0) = x_i^3, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (11)$$

Постановка задачи пошагового управления целевыми показателями эффективности парка ИТ. Для заданного исходного состояния парка ИТ (известного количества образцов ИТ, имеющих разные уровни технического совершенства и состояния) требуется построить стратегии управления закупками и ремонтами образцов ИТ. При этом на момент окончания планового периода необходимо обеспечить выполнение норм снаб-

жения [1] и достижение целевых значений показателей эффективности (современности и исправности) с учётом динамики переходов состояния образцов ИТ в течение планового периода. Дополнительно требуется, чтобы указанные показатели и общее количество образцов парка ИТ изменялись строго равномерно от момента начала до момента окончания планирования. Общее количество образцов ИТ на момент окончания планирования определяется нормами снабжения [1], а целевые значения показателей эффективности – директивными документами, а также стратегическими и тактическими задачами, поставленными перед метрологическими службами.

Пошаговое решение системы уравнений динамики развития парка ИТ. Период планирования разбивается на T интервалов планирования t , продолжительностью один год. На каждом шаге планирования $\{t, t=1, 2, \dots, T\}$ рассчитывается общее количество N образцов ИТ, а также количества современных образцов, исправных образцов и прирост их общего количества соответственно

$$x_1(t) + x_2(t) + x_3(t) + x_4(t) = N(t);$$

$$\left. \begin{aligned} x_1(t) + x_2(t) &= N(t)P_{ц.с}(t); \\ x_1(t) + x_3(t) &= N(t)P_{ц.и}(t); \\ u_4(t) - u_6(t) &= C_{ц.п}(t), \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где $P_{ц.с}(t)$, $P_{ц.и}(t)$, $C_{ц.п}(t)$ – целевые значения показателей современности и исправности, а также прироста общего количества образцов на интервале t .

Рассчитываются также требуемые целевые значения указанных показателей и прироста на момент окончания текущего интервала планирования и начала следующего интервала планирования $t+1$.

Решение системы (10) с начальными условиями (11) имеет вид

$$\left. \begin{aligned} x_1(t+1) &= x_1(t) - p_{12}x_1(t) - p_{13}x_1(t) + u_{21}(t) + u_4(t); \\ x_2(t+1) &= x_2(t) - p_{24}x_2(t) + p_{12}x_1(t) - u_{21}(t); \\ x_3(t+1) &= x_3(t) - p_{34}x_3(t) + p_{13}x_1(t) + u_{43}(t); \\ x_4(t+1) &= x_4(t) + p_{24}x_2(t) + p_{34}x_3(t) - u_{43}(t) - u_6(t). \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Рассматриваем сначала случай $u_{43}(t) = 0$, когда ремонту и поверке подлежат только современные неисправные образцы ИТ (*Стратегия 3*). Тогда систему (12) представляем как

$$\left. \begin{aligned} x_1(t) + x_2(t) - p_{13}x_1(t) - p_{24}x_2(t) + u_4(t) &= \\ &= N(t+1)P_{ц.с}(t+1); \\ x_1(t) + x_3(t) - p_{12}x_1(t) - p_{34}x_3(t) + u_{21}(t) + u_4(t) &= \\ &= N(t+1)P_{ц.и}(t+1); \\ u_4(t) - u_6(t) &= C_{ц.п}(t+1). \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Система (14) линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных $u_{21}(t)$, $u_4(t)$, $u_6(t)$ имеет отличный от нуля определитель. Поэтому существует единственное решение системы:

$$\left. \begin{aligned} u_4(t) &= N(t+1)P_{ц.с}(t+1) - x_1(t) - x_2(t) + \\ &+ p_{13}x_1(t) + p_{24}x_2(t); \\ u_{21}(t) &= N(t+1)[P_{ц.и}(t+1) - P_{ц.с}(t)] - x_3(t) + \\ &+ x_2(t) + p_{12}x_1(t) + p_{34}x_3(t) - p_{13}x_1(t) - p_{24}x_2(t); \\ u_6(t) &= N(t+1)P_{ц.с}(t+1) - x_1(t) - x_2(t) + \\ &+ p_{13}x_1(t) + p_{24}x_2(t) - C_{ц.п}(t+1). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Расчёты показали, что целевых показателей для большинства интервалов планирования можно достичь, если использовать в качестве процессов управления только закупки, списания и ремонты современных неисправных образцов.

Необходимо отметить, что единственное (в соответствии с теорией линейных систем алгебраических уравнений) решение (15) может оказаться отрицательным по одной или нескольким переменным, что приводит к невозможности его практической реализации. Указанное обстоятельство свидетельствует о том, что используемого ресурса управления (u_4 , u_{21} , u_6) недостаточно для одновременного выполнения требований по современности, исправности и общему количеству образцов ИТ (нормам снабжения). В этом случае для получения результата, пригодного для практического использования, необходимо привлечение дополнительного ресурса, например u_{43} . Пусть для некоторого значения t оказалось $x_4(t) < 0$. Расширяем возможности управления, добавляя возможность ремонта и поверки устаревших неисправных образцов ($u_{43}(t) \neq 0$). Тогда равенства (12) записываем как

$$\left. \begin{aligned} x_1(t) + x_2(t) - p_{13}x_1(t) - p_{24}x_2(t) + u_4(t) &= \\ &= N(t+1)P_{ц.с}(t+1); \\ x_1(t) + x_3(t) - p_{12}x_1(t) - p_{34}x_3(t) + u_{21}(t) + u_4(t) + \\ &+ u_{43}(t) &= N(t+1)P_{ц.и}(t+1); \\ u_4(t) - u_6(t) &= C_{ц.п}(t+1). \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Количество неизвестных, входящих в систему (16), больше числа уравнений. В общем случае система (16) имеет бесконечное множество решений. Для обеспечения единственности решения управляющий параметр u_{21} выбираем таким, чтобы количество современных неисправных образцов на каждом интервале планирования равнялось нулю (все современные неисправные образцы ИТ подлежат ремонту и поверке на том же интервале планирования, на котором они стали неисправными):

$$u_{21}(t) = x_2(t) - p_{24}x_2(t) + p_{12}x_1(t).$$

Динамика развития парка ИТ

t	N	x_1	x_2	x_3	x_4	u_4	u_6	u_{21}	u_{43}	$P_{ц.с}$	$P_{ц.и}$
0	10 000	5 000	1 000	2 000	2 000	725	225	580	0	0,60	0,70
1	10 500	5 805	600	1 650	2 445	747	247	503	0	0,61	0,71
2	11 000	6 475	345	1 445	2 735	773	273	459	0	0,62	0,72
3	11 500	7 060	185	1 335	2 920	801	301	438	0	0,63	0,73
4	12 000	7 592	88	1 288	3 032	831	331	430	0	0,64	0,74
5	12 500	8 094	31	1 281	3 094	862	362	432	0	0,65	0,75
6	13 000	8 579	1	1 301	3 119	894	394	430	10	0,66	0,76
7	13 500	9 045	0	1 350	3 105	927	427	452	3	0,67	0,77
8	14 000	9 520	0	1 400	3 080	961	461	470	0	0,68	0,78
9	14 500	9 999	6	1 456	3 039	995	495	486	0	0,69	0,79
10	15 000	10 481	19	1 519	2 981	1 030	530	504	0	0,70	0,80

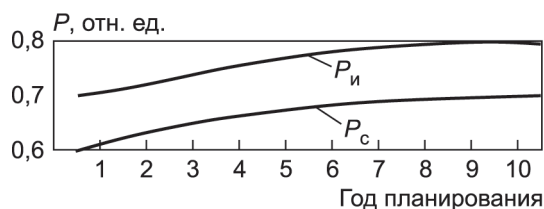


Рис. 3. Динамика показателей современности $P_{ц.с}$ и исправности $P_{ц.и}$ парка ИТ

Тогда оставшиеся управляющие параметры из (16) определяются однозначно:

$$\left. \begin{aligned} u_4(t) &= N(t+1)P_{ц.с}(t+1) - x_1(t) - x_2(t) + p_{13}x_1(t) + \\ &+ p_{24}x_2(t); \\ u_{43}(t) &= N(t+1)[P_{ц.и}(t+1) - P_{ц.с}(t)] - x_3(t) + \\ &+ p_{34}x_3(t) - p_{13}x_1(t); \\ u_6(t) &= N(t+1)P_{ц.с}(t+1) - x_1(t) - x_2(t) + p_{13}x_1(t) + \\ &+ p_{24}x_2(t) - C_{ц.п}(t+1). \end{aligned} \right\}$$

Расчётным путём установили, что при совместном управлении параметрами $u_{43}(t), u_{21}(t), u_4(t), u_6(t)$ возможны построение неотрицательных решений системы и пошаговая практическая реализация на каждом интервале планирования целевых показателей эффективности и норм снабжения.

Результаты расчётов. При вычислениях использовали целевые значения показателей современности $P_{ц.с}=0,7$ и исправности $P_{ц.и}=0,8$. В таблице представлена динамика изменения количества образцов ИТ разного уровня технического совершенства и технического состояния, а также количество закупаемых и ремонтируемых образцов ИТ. При этом согласно целевым нормам снабжения за период T планирования требуется увеличить общее количество образцов ИТ в полтора раза (выделены жирным шрифтом в последней

строке таблицы). Остальные исходные данные содержатся во второй строке таблицы (также выделены жирным шрифтом). Общее количество образцов ИТ, а также показатели современности и исправности изменяются равномерно от начальных значений до целевых конечных значений. Таким образом, для пошагового достижения показателей достаточно выполнение закупок, списаний и ремонтов современных неисправных образцов ИТ за исключением 6-го и 7-го годов планирования. На указанных интервалах $t=6; 7$ необходимо дополнительно производить ремонты и проверки устаревших неисправных образцов. На 8-м–10-м годах планирования

можно ограничиться ремонтами и проверками только современных неисправных образцов.

На рис. 3 приведены зависимости показателей исправности и современности для *Стратегии 1* (равномерные закупки и ремонты). Показатели эффективности изменяются уже не по линейному закону и приближаются к целевым значениям с некоторым опережением [4]. В результате этого на момент окончания планирования изменяется структура парка ИТ (изменяется количество современных и исправных образцов ИТ). В результате парк ИТ, имеющий на момент окончания планирования те же показатели современности и исправности, окажется более «старым», что в будущем может привести к более «агрессивному» управлению закупками и ремонтами на следующих за периодом времени T этапах долгосрочного планирования.

Закключение. Представленная математическая модель предназначена для построения долгосрочных и среднесрочных целевых программ развития парка ИТ. Полученные результаты можно использовать при планировании развития парка техники, технических средств, устройств и оборудования в различных сферах деятельности: машиностроении, авиации, в строительной отрасли, жилищно-коммунальном хозяйстве.

Л и т е р а т у р а

1. Буренок В. М., Погребняк Р. Н., Скотников А. П. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. М.: Машиностроение, 2010.
2. Кузнецов В. А., Исаев Л. К., Шайко И. А. Метрология. М.: Стандартинформ, 2005.
3. Khayrullin R. Z. On preparing offers for targeted development programs in housing and communal services // XXVI RSP Seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering, MATEC Web Conf. 2017. No. 117 (00076) DOI: 10.1051/mateconf/201711700076.
4. Хайруллин Р. З. Целевое управление показателями эффективности парка метрологического оборудования //

Научное обозрение. 2016. № 10. С. 300–303.

5. **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.

6. **Хайруллин Р. З.** Модельная задача динамики и управления показателем исправности парка измерительной

техники // Научное обозрение. 2017. № 18. С. 131–135.

7. **Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.** Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: КНОРУС, 2013.

8. **Федоренко Р. П.** Приближенное решение задач оптимального управления. М.: Наука, 1978.

Дата принятия: 18.04.2018.

To construction of strategies of purchases and repairs of measuring equipment on the basis of properties of stationary decisions of dynamic systems

R. Z. Khayrullin

The main scientific metrological center of defense of the Russian Federation, Mytishchi, Moscow region, Russia, e-mail: zrkzrk@list.ru

The mathematical model intended for long-term planning and target management of indicators of efficiency (modernity and serviceability) of Park of measuring equipment is presented. As control function there used procurements, repairs and write-offs. The model is based on a system of finite – difference equations describing. The model is based on a system of finite – difference equations, describing the dynamics of changes of number of measuring equipment samples with different level of modernity and serviceability and algorithms based on the properties of stationary solutions of dynamic systems. A distinctive feature of the model is the visibility and ease of use. The results of calculations are presented.

Key words: park of measuring equipment, repairs, purchases, efficiency indicators, dynamic system.

