

УДК 530.1

© Чапоргин В.С., Кулиш Н.С., Богданов Ю.В.
Chaporgin V.S., Kulish N.S., Bogdanov Y.V.**ЗАДАЧА ОБОСНОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПОВЕРКИ
И РЕМОНТА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РКТ КОСМОДРОМА
В ПРОГРАММНОМ ПЕРИОДЕ****TASK OF JUSTIFICATION OF SYSTEM CHARACTERISTICS OF CHECKING
AND REPAIR OF MEASUREMENT MEANS OF ROCKET-SPACE TECHNICAL
EQUIPMENT PARAMETERS OF THE COSMODROME IN PROGRAM PERIOD**

Аннотация. Рассматриваются вопросы обоснования характеристик системы поверки и ремонта средств измерений параметров РКТ космодрома.

Annotation. The questions of justification of system characteristics of checking and repair of measurement means of rocket-space technical equipment parameters of the cosmodrome are considered.

Ключевые слова. Обоснование, характеристика, система поверки, ремонт, средство измерения, параметр, ракетно-космическая техника, космодром, программный период.

Key words. Justification, characteristic, checking system, repair, measurement means, parameter, rocket-space technical equipment, the cosmodrome, program period.

В целях обеспечения единства, требуемой точности и своевременности измерений технических параметров и условий эксплуатации (испытаний) ракетно-космической техники (РКТ) на космодромах создаются и функционируют метрологические подразделения (МП), оснащенные рабочими эталонами с соответствующими метрологическими (точностными) характеристиками. На них возлагаются задачи проведения поверки и ремонта средств измерений (СИ), входящих в состав РКТ и используемых при испытаниях.

Совокупность метрологических подразделений, располагаемых в определенных пунктах эксплуатации РКТ и объединенных единым управлением со стороны Метрологической службы космодрома, представляет собой пространственно-распределенную организационно-техническую систему – систему поверки и ремонта (СПР) СИ.

Непрерывное развитие испытываемых на космодромах образцов РКТ, связанное с расширением их номенклатуры и улучшением тактико-технических характеристик, требует опережающего по срокам и сбалансированного по затратам развития СПР, что достигается применением программно-целевого метода планирования развития РКТ и инфраструктуры космодромов.

В настоящее время ряд научных задач по обоснованию параметров (характеристик) метрологических подразделений применительно к предприятиям промышленности и воинским частям в определенной мере решены. В работах [1,2] предложены методики определения потребности поверочных подразделений предприятий промышленности в производственных ресурсах, а также количества поверочных (ремонтных) рабочих мест выездной поверочной лаборатории. В работе [3] установлен порядок определения номенклатуры и количества СИ обменного

Чапоргин Виктор Степанович – заместитель начальника отдела 4 ЦНИИ МО РФ, тел. 519-91-89;

Кулиш Николай Семенович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель начальника управления 4 ЦНИИ МО РФ, тел. 515-99-58;

Богданов Юрий Васильевич – доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник управления, 4 ЦНИИ МО РФ, тел. 515-22-85.

Chaporgin Victor Stepanovich – the deputy chief of division of the 4th CSRI DoD of the Russian Federation, tel.519-91-89;

Kulish Nikolay Semenovich – the candidate of technical sciences, the senior research scientist, the deputy chief of department of the 4th CSRI DoD of the Russian Federation, tel.515-99-58;

Bogdanov Yuriy Vasilevich – the doctor of technical sciences, the senior research scientist, the chief of department of the 4th CSRI DoD of the Russian Federation, tel.515-22-85.

фонда войсковых средств измерений в метрологических воинских частях и подразделениях.

В проведенных в последние годы специалистами 4 ЦНИИ, ВА им. Петра Великого и 32 ГНИИИ Минобороны исследованиях были получены важные научно-практические результаты, связанные с обоснованием характеристик систем, решающих задачи поверки и ремонта средств измерений [4].

Однако, как показывает анализ, модели и алгоритмы, приведенные в перечисленных работах, не учитывают ряд важных факторов, влияющих на эффективность (обоснованность) принимаемых решений по развитию СПР в программном периоде, определяемом государственной (целевой) программой развития РКТ (космодрома). В частности не учитываются:

- требования своевременности проведения поверки и ремонта (обслуживания) СИ, которые должны увязываться со сроками испытаний и подготовки к применению создаваемых РКТ;
- случайный характер времени обслуживания СИ;
- состав и структурная сложность системы, а также территориальная рассредоточенность ее элементов;
- динамика развития РКТ космодрома, старение рабочих эталонов и обслуживаемых СИ параметров эксплуатируемых образцов РКТ в течение программного периода.

Устранение указанных недостатков требует дальнейшего развития моделей функционирования и алгоритмов обоснования характеристик СПР СИ космодромов в программном периоде развития РКТ.

Для оценки эффективности функционирования СПР при условии, что качество обслуживания СИ обеспечивается соблюдением требований нормативно-технических документов, регламентирующих методики поверки, введем следующие показатели:

- 1) в t -м году программного периода:
 - P_t – вероятность того, что заявки на обслуживание СИ будут выполнены в требуемые сроки;
 - C_t^P – финансовые затраты на развитие СПР в t -м году;
 - $C_t^Э$ – финансовые затраты на эксплуатацию СПР в t -м году.
 - C_t – суммарные финансовые затраты на развитие и эксплуатацию СПР в t -м году;
- 2) в программном периоде:
 - C – суммарные затраты финансовых средств на развитие и эксплуатацию СПР.

Значения показателей эффективности функционирования СПР зависят как от ее характеристик, так и от

условий (среды) функционирования. К основным характеристикам СПР относятся:

$\bar{K}_t^{IM} = (N_{i11}^I, N_{i11}^P, N_{i12}^I, N_{i12}^P, \dots, N_{if\mu}^I, N_{if\mu}^P, \dots, N_{iFM}^I, N_{iFM}^P)$ – вектор состава поверочных и ремонтных рабочих мест метрологических подразделений в t -м году, где $N_{if\mu}^I$ ($N_{if\mu}^P$) – количество поверочных (ремонтных) рабочих мест для обслуживания СИ μ -го типоразмера в f -м метрологическом подразделении в t -м году ($\mu = 1, M$; $f = 1, F$);

$\bar{H}_t^{IM} = (\bar{H}_a^I, \bar{H}_a^P, \dots, \bar{H}_\mu^I, \bar{H}_\mu^P, \dots, \bar{H}_M^I, \bar{H}_M^P)$ – вектор характеристик типовых поверочных и ремонтных рабочих мест метрологических подразделений в t -м году, где $\bar{H}_\mu^I = (F(T_\mu^{I np}), P_\mu^{I \text{ \textcircled{p}}}(t), F(T_\mu^{I \text{ \textcircled{c}}}), C_{t\mu}^I, C_{t\mu}^{I \text{ \textcircled{c}}}, C_{t\mu}^{I \text{ \textcircled{n}}})$ – вектор ресурсных и надежностных характеристик поверочных рабочих мест, предназначенных для обслуживания СИ μ -го типоразмера, где $F(T_\mu^{I np})$ – функция распределения времени поверки СИ μ -го типоразмера; $P_\mu^{I \text{ \textcircled{p}}}(t)$ – вероятность отказа поверочных рабочих мест, предназначенных для обслуживания СИ μ -го типоразмера; $F(T_\mu^{I \text{ \textcircled{c}}})$ – функция распределения времени ремонта поверочных рабочих мест, предназначенных для обслуживания СИ μ -го типоразмера; $C_{t\mu}^I$ – средние затраты финансовых средств на эксплуатацию поверочного рабочего места, предназначенного для поверки (ремонта) СИ μ -го типоразмера в t -м году; $C_{t\mu}^{I \text{ \textcircled{c}}}$ – средние затраты финансовых средств на ремонт поверочного рабочего места, предназначенного для поверки СИ μ -го типоразмера в t -м году; $C_{t\mu}^{I \text{ \textcircled{n}}}$ – средние затраты финансовых средств на поверку СИ μ -го типоразмера на рабочем месте в t -м году;

$\bar{H}_t^P = (F(T_\mu^{P np}), P_\mu^{P \text{ \textcircled{p}}}(t), F(T_\mu^{P \text{ \textcircled{c}}}), C_{t\mu}^P, C_{t\mu}^{P \text{ \textcircled{c}}}, C_{t\mu}^{P \text{ \textcircled{e}}})$ – вектор ресурсных и надежностных характеристик ремонтных рабочих мест, предназначенных для обслуживания СИ μ -го типоразмера, где $F(T_\mu^{P np})$ – функция распределения времени ремонта СИ μ -го типоразмера; $P_\mu^{P \text{ \textcircled{p}}}(t)$ – вероятность отказа ремонтных рабочих мест, предназначенных для обслуживания СИ μ -го типоразмера; $F(T_\mu^{P \text{ \textcircled{c}}})$ – функция распределения времени ремонта ремонтных рабочих мест, предназначенных для обслуживания СИ μ -го типоразмера; $C_{t\mu}^P$ – средние затраты финансовых средств на эксплуатацию ремонтного рабочего места, предназначенного для поверки (ремонта) СИ μ -го типоразмера в t -м году; $C_{t\mu}^{P \text{ \textcircled{c}}}$ – средние затраты финансовых средств на ремонт ремонтного рабочего места, предназначенного для ремонта СИ μ -го типоразмера в t -м году; $C_{t\mu}^{P \text{ \textcircled{e}}}$ – средние затраты на ремонт СИ μ -го типоразмера на рабочем месте в t -м году;

$\bar{K}_t^{IC} = (N_{i11}^3, N_{i12}^3, \dots, N_{if\mu}^3, \dots, N_{iFM}^3)$ – вектор состава находящихся на хранении СИ в t -м году, где $N_{if\mu}^3$ – количе-

ство СИ μ -го типоразмера, находящихся в запасе в f -м метрологическом подразделении в t -м году;

$\bar{H}_t^{PC} = (\bar{H}_1^{PC}, \bar{H}_2^{PC}, \dots, \bar{H}_\mu^{PC}, \dots, \bar{H}_M^{PC})$ – вектор ресурсных характеристик запасов СИ в t -м году,

где $\bar{H}_\mu^{PC} = (F(T_\mu^{зам}), F(T_\mu^{сзн}), C_{t\mu}^3)$ – вектор временных и финансовых затрат на замену СИ μ -го типоразмера в t -м году; $F(T_\mu^{зам})$ – функция распределения времени замены СИ μ -го типоразмера; $F(T_\mu^{сзн})$ – функция распределения времени восполнения запаса СИ μ -го типоразмера;

$C_{t\mu}^3$ – средние затраты финансовых средств на содержание СИ μ -го типоразмера в запасе в t -м году;

$\bar{P}_t = (\bar{P}_1, \bar{P}_2, \dots, \bar{P}_\mu, \dots, \bar{P}_M)$ – план поверки и ремонта СИ параметров РКТ космодрома в t -м году [9].

Условия функционирования определяются совокупностью (множеством) V_t характеристик вышестоящих и взаимодействующих с СПР систем и их элементов, в том числе объектов обслуживания. К данному множеству относятся:

- требуемые календарные сроки начала $t_{i,msn}^d$ и окончания $t_{i,msk}^d$ выполнения заявки на обслуживание СИ s -го обслуживаемого подразделения в d -м месяце t -го года, устанавливаемые исходя из директивных сроков запусков космических аппаратов проведения регламентных, пусконаладочных и испытательных работ на объектах РКТ (с учетом установленного интервала планирования сроки устанавливаются с дискретностью в один месяц);

- необходимые средние удельные затраты финансовых средств на транспортировку СИ на обслуживание $C_{t\mu}^{mp}$, на поверку и ремонт СИ в сторонних метрологических организациях $C_{t\mu}^{cm,онл}$, на приобретение средств обслуживания и реконструкцию помещений для вводимых поверочных (ремонтных) рабочих мест $C_{t\mu}^{M,II} (C_{t\mu}^{M,P})$, на закупку запасных СИ и реконструкцию складских помещений $C_{t\mu}^{M,3}$;

- требующий обслуживания парк СИ параметров образцов РКТ космодрома в t -м году, характеризуемый вектором $\bar{K}_t^{PC} = (N_{t11}, N_{t12}, \dots, N_{t1s\mu}, \dots, N_{tSM})$,

где $N_{t1s\mu}$ – количество СИ μ -го типоразмера в s -м подразделении космодрома, эксплуатирующем РКТ, в t -м году;

- параметры СИ, подлежащих обслуживанию в t -м году, характеризуемые вектором

$$\bar{H}_t^{PC} = (\bar{H}_1, \bar{H}_2, \dots, \bar{H}_\mu, \dots, \bar{H}_M),$$

где $\bar{H}_\mu = (T_\mu^{M,III}, P_\mu^B(t), P_\mu^H(t))$ – вектор параметров СИ μ -го типоразмера, подлежащих обслуживанию в t -м году;

$T_\mu^{M,III}$ – периодичность поверки СИ μ -го типоразмера;

$P_\mu^B(t)$ – вероятность забракования СИ-го типоразмера;

$P_\mu^H(t)$ – вероятность восстановления СИ μ -го типоразмера.

Характеристики СПР целесообразно устанавливать так, чтобы их значения обеспечивали минимум за-

трат финансовых средств на развитие и эксплуатацию СПР в программном периоде при выполнении требований к своевременности обслуживания СИ.

Математическая постановка задачи определения значений характеристик СПР в программном периоде формулируется следующим образом.

Дано:

а) векторы состава (\bar{K}_0^{PM}) и характеристик (\bar{H}_0^{PM}) поверочных и ремонтных рабочих мест метрологических подразделений, решающих задачи обслуживания (поверки и ремонта) СИ параметров РКТ космодрома в предпрограммный период;

б) векторы состава (\bar{K}_0^{PC}) и характеристик (\bar{H}_0^{PC}) запасов СИ в предпрограммный период;

в) начало (t_0) и конец (T) программного периода;

г) векторы характеристик поверочных и ремонтных рабочих мест метрологических подразделений (\bar{H}_t^{PM}) и запасов СИ (\bar{H}_t^{PC}) по годам программного периода;

д) множество факторов, влияющих на функционирование СПР в предпрограммный период (V_0) и по годам программного периода (V_t);

е) векторы планов поверки и ремонта СИ (\bar{P}_t) по годам программного периода;

ж) требуемое значение вероятности выполнения заявок на обслуживание СИ в требуемые сроки в программном периоде – P_t^{mp} .

Найти: для каждого года t программного периода T такое количество и расположение поверочных и ремонтных рабочих мест \bar{K}_t^{PM*} , а также запасных СИ \bar{K}_t^{PC*} , которые обеспечивают минимум затрат финансовых средств на развитие и функционирование СПР в программном периоде в целом C^* при выполнении ограничений на значение вероятности выполнения заявок на обслуживание СИ в требуемые сроки P_t^{mp}

$$(\bar{K}_t^{PM*}, \bar{K}_t^{PC*}) = \underset{\substack{\bar{K}_t^{PM} \in \{\bar{K}^{PM}\}, \bar{K}_t^{PC} \in \{\bar{K}^{PC}\}, t=t_0}}{\text{argmin}} \sum_{t=t_0}^T C_t(\bar{K}_t^{PM}, \bar{K}_t^{PC}, \bar{H}_t^{PM}, \bar{H}_t^{PC}, V_t, \bar{P}_t, t_0, T); \quad (1)$$

$$\text{при } P_t(\bar{K}_t^{PM}, \bar{K}_t^{PC}, \bar{H}_t^{PM}, \bar{H}_t^{PC}, V_t, \bar{P}_t, t_0, T) \geq P_t^{mp}. \quad (2)$$

Для решения задачи в математической постановке (1) – (2) необходимо установить зависимости

$$C_t = C_t(\bar{K}_t^{PM}, \bar{K}_t^{PC}, \bar{H}_t^{PM}, \bar{H}_t^{PC}, V_t, \bar{P}_t, t_0, T);$$

$$P_t = P_t(\bar{K}_t^{PM}, \bar{K}_t^{PC}, \bar{H}_t^{PM}, \bar{H}_t^{PC}, V_t, \bar{P}_t, t_0, T).$$

Учитывая сложность структуры и взаимосвязей СПР, а также случайный характер ее функционирования, значения показателей эффективности функционирования системы по годам программного периода

находятся с использованием имитационной модели [9].

Следует отметить, что для находящейся в эксплуатации СПР необходимость развития возникает в случае невыполнения требований к своевременности обслуживания СИ в программном периоде, т.е. когда эффективность функционирования СПР по показателю P_t становится ниже требуемой даже при оптимальном планировании работ.

План проверки и ремонта СИ в t -м году программного периода будем считать оптимальным, если из всего множества возможных планов $\{\bar{P}_t\}$ он обеспечивает для заданных (фиксированных) характеристик СПР ($\bar{K}_t^{IM*}, \bar{K}_t^{IC*}$) минимум затрат финансовых средств $C_t^{\text{э}}$ при условии, что вероятность выполнения заявок P_t не ниже требуемой P_t^{mp} .

Математическая постановка формирования плана проверки и ремонта СИ и алгоритм ее решения представлены в работе [5].

Таким образом, задача обоснования характеристик СПР в программном периоде в общем случае включает задачу формирования плана проверки и ремонта СИ в t -м году.

Для формализации построения всех возможных вариантов количества и размещения поверочных и ремонтных рабочих мест и запасных СИ как в t -м году, так и в программном периоде в целом, можно использовать морфологический метод [6].

В соответствии с данным методом по каждому типоразмеру СИ параметров РКТ космодрома может быть построен морфологический блок (МБ) характеристик СПР. Под МБ характеристик СПР будем понимать таблицу, каждая строка которой (параметр МБ) соответствует номенклатуре определяемых характеристик по рассматриваемым метрологическим подразделениям (поверочные рабочие места, ремонтные рабочие места, запасные СИ μ -го типоразмера), а столбцы – возможным значениям этих характеристик.

Строки МБ формируются группами по метрологическим подразделениям космодрома. Форма МБ характеристик СПР в части обслуживания СИ μ -го типоразмера в t -м году представлена в виде табл. 1.

На основе анализа морфологических блоков характеристик СПР по годам программного периода может быть сформирован обобщенный МБ СПР на программный период. Набор обобщенных морфологических блоков по годам программного периода определяет все пространство возможных значений характеристик СПР в программном периоде в целом.

Учитывая, что изменение характеристик СПР в результате реализации предусмотренного в программе развития комплекса мероприятий (управления) осуществля-

Таблица 1

Морфологический блок характеристик СПР в части обслуживания СИ μ -го типоразмера в t -м году

Метрологические подразделения	Возможные значения количества поверочных и ремонтных рабочих, а также запасных СИ μ -го типоразмера в t -м году		
МП 1 ($f = 1$)	$N_{(t-1)1\mu}^{II}$	$N_{t1\mu}^{II}$	$N_{t1\mu}^{II \max}$
	$N_{(t-1)1\mu}^P$	$N_{t1\mu}^P$	$N_{t1\mu}^{P \max}$
	$N_{(t-1)1\mu}^3$	$N_{t1\mu}^3$	$N_{t1\mu}^{3 \max}$
МП f	$N_{(t-1)f\mu}^{II}$	$N_{tf\mu}^{II}$	$N_{tf\mu}^{II \max}$
	$N_{(t-1)f\mu}^P$	$N_{tf\mu}^P$	$N_{tf\mu}^{P \max}$
	$N_{(t-1)f\mu}^3$	$N_{tf\mu}^3$	$N_{tf\mu}^{3 \max}$
МП F ($f = F$)	$N_{(t-1)F\mu}^{II}$	$N_{tF\mu}^{II}$	$N_{tF\mu}^{II \max}$
	$N_{(t-1)F\mu}^P$	$N_{tF\mu}^P$	$N_{tF\mu}^{P \max}$
	$N_{(t-1)F\mu}^3$	$N_{tF\mu}^3$	$N_{tF\mu}^{3 \max}$

ется дискретно по годам программного периода, то изменение состояния СПР в t -м году S_t , определяемое значениями ($\bar{K}_t^{IM}, \bar{K}_t^{IC}$), условно можно считать изменяющимися скачкообразно при наступлении очередного года. Если на оси абсцисс отложить номера шагов управления (t), соответствующих годам программного периода, а на оси ординат – значение целевой функции (C), то каждая точка на плоскости будет соответствовать интервалу программного периода и некоторым значениям характеристик СПР ($\bar{K}_t^{IM}, \bar{K}_t^{IC}$), которые достигаются благодаря управлению \bar{A}_t и определяют состояние системы S_t . Множество точек, соответствующих взаимосвязанным состояниям системы по годам программного периода, образуют траекторию значений характеристик системы в программном периоде. Множество траекторий в свою очередь образует множество возможных вариантов развития СПР (значений характеристик СПР) в программном периоде (рис. 1).

Определение требуемых характеристик СПР в программном периоде предполагает, таким образом, формирование, оценку и выбор такой траектории развития из возможного их множества, которая соответствует минимальному значению финансовых затрат в программном периоде при условии обеспечения своевременности обслуживания СИ в каждом году.

Задача в математической постановке (1) – (2) относится к классу дискретных нелинейных задач оптимизации ввиду нелинейного характера зависимости вероятности выполнения заявок P_t от искомых характеристик и их дискретного (скачкообразного) измерения по годам.

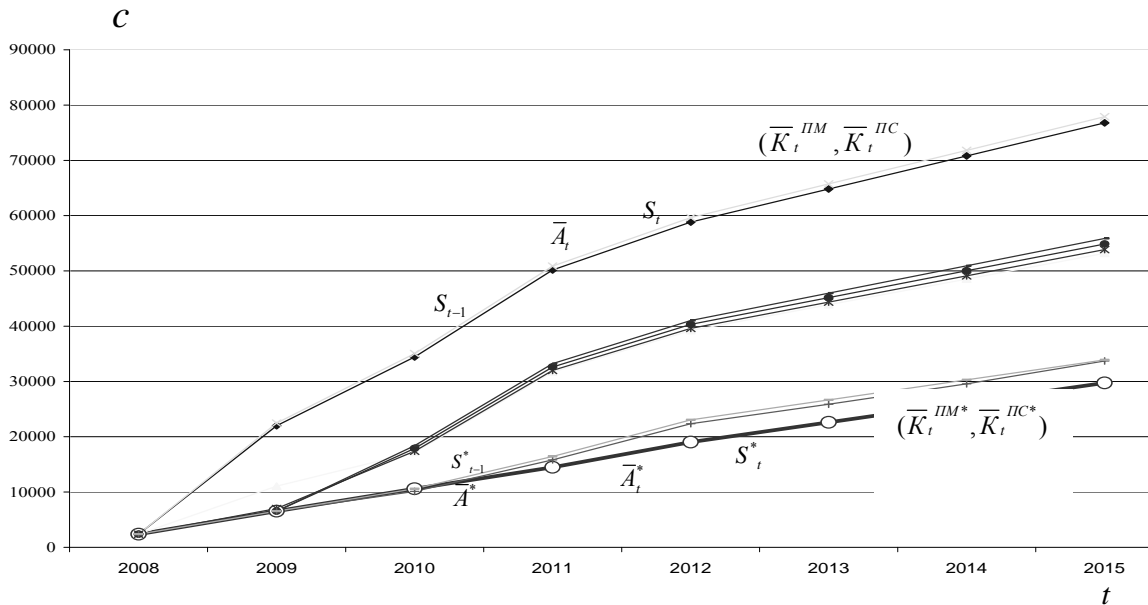


Рис. 1. Геометрическое представление задачи формирования альтернативных вариантов развития СПР в программном периоде

Кроме того, рассматриваемая задача характеризуется рядом особенностей. Так, для определения состояний системы необходимо осуществить поиск по годам программного периода от начального состояния системы в конечном с учетом обеспечения не только

$$C^* = \min \sum_{t=0}^T C_t,$$

но и требуемого значения вероятности обслуживания заявок (P_i^{mp}). Принимаемые при этом решения непосредственно связаны не только с текущим состоянием системы, но и ее предшествующими состояниями и решениями (управлениями), что обуславливает эффект «последствия» процесса поэтапного перехода системы.

Эффективные общие методы точного решения задач такого типа в настоящее время, за исключением некоторых частных случаев, практически отсутствуют [7]. Успех их решения во многом определяется эвристической наполненностью конкретного алгоритма. Однако формально-эвристические методы позволяют находить только «квазиоптимальные» решения [8]. Теоретически для этих целей могут быть использованы методы последовательного анализа и отсева вариантов.

Приближенные решения позволяют находить и методы случайного поиска [9]. При этом они более формализованы по отношению к формально-эвристическим методам и в общем случае не требуют трудоемкого изучения поведения целевой функции и ограничений в различных условиях с целью формирования эвристик либо критериев отсека.

Как показали результаты вычислительных экспериментов, решение задачи в постановке (1) -(2) методом

случайного поиска Монте-Карло [9] с одновременным решением вспомогательной задачи планирования [5] и использованием имитационной модели СПР при оценке выполнения ограничения (2) требует значительных временных затрат (порядка 150 рабочих дней по одному типоразмеру СИ), что не всегда приемлемо.

Одним из путей сокращения временных затрат является определение характеристик СПР при условии заранее установленного (предписанного алгоритмом), но в общем случае не оптимального распределения заявок СИ для обслуживания в метрологических подразделениях космодрома. При таком подходе получаемые решения не носят строго оптимальный характер и характеризуются некоторой избыточностью производственных возможностей метрологических подразделений космодрома в целом, что обеспечивает гарантированное достижение цели функционирования СПР при некотором увеличении финансовых затрат на развитие. Время решения задачи в этом случае сокращается в десятки и сотни раз.

Дальнейшее сокращение временных затрат на решение данной задачи возможно путем уменьшения размерности задачи оптимизации в части количества рассматриваемых лет в программном периоде. С этой целью последовательно для первого года и последующих лет программного периода оцениваются возможности СПР по удовлетворению перспективных потребностей в обслуживании СИ при условии оптимального планирования (функционирования) СПР [5]. Размерность задачи в части рассматриваемого интервала программного периода сокращается на то количество лет, в которых тре-

бования удовлетворяются, т.е. в эти годы нет необходимости развивать СПР.

Как показали результаты вычислительных экспериментов, в этом случае для решения рассматриваемой задачи с точностью определения оптимального решения $q = 0,005$ (до одного поверочного рабочего места при возможном их количестве 20 шт.) при вероятности необходимо проведение до 60 циклов моделирования. Общее время проведения расчетов на ПЭВМ составляет около 3 часов (π – вероятность того, что при данном числе случайных проб расположение точки оптимума будет определено с точностью q , где q – объем n -мерного куба, выраженный в долях от общего объема области поиска [8]).

В целом процедура обоснования характеристик СПР не является полностью формализуемой, так как предполагает формирование, в том числе эвристическими методами, необходимых исходных данных и ограничений.

С учетом изложенного процедуру обоснования характеристик СПР в программном периоде, основанную на общих методических принципах системного подхода и программно-целевого планирования, можно представить в виде обобщенного алгоритма, приведенного на рис. 2.

На первом этапе (блок 1) путем анализа текущего состояния СПР () определяется перечень недостатков и нерешенных задач для удовлетворения существующих потребностей в метрологическом обслуживании (поверке, ремонте, замене) СИ.

На втором этапе (блок 2) на основе анализа перспектив развития образцов РКТ, потребностей в решении задач измерений и контроля на эксплуатируемой и перспективной технике, основных направлений развития и типажа СИ, для каждого месяца t -го года программного периода определяются номенклатура и количество обслуживаемых СИ (\bar{K}_t^{ms}) параметров создаваемых образцов РКТ. Исходя из основных направлений развития и рационального типажа СИ (рабочих СИ и эталонов), с учетом специфики решаемых измерительных задач на перспективных образцах РКТ, а также установленной номенклатуры СИ параметров РКТ в программном периоде в соответствии с действующими поверочными схемами, определяются номенклатура и требуемые метрологические характеристики типовых поверочных и ремонтных рабочих мест. Здесь же методами аналогии устанавливаются законы распределения времени поверки и ремонта подлежащих обслуживанию СИ.

Далее (в блоке 3) последовательно для каждого типоразмера СИ по годам программного периода (блок 4), на основании анализа условий функционирования V_t и, исходя из установленного количества подлежащих об-

служиванию СИ μ -го типоразмера, а также закрепления метрологических подразделений космодрома, формируются заявки на обслуживание СИ. Одновременно определяются требования к своевременности выполнения заявок P_i^{zp} .

На пятом этапе (блок 5) последовательно по годам программного периода осуществляется оценка возможности выполнения требований к своевременности выполнения заявок в t -м году при сохранении характеристик СПР ($t-1$) года и рациональном плане поверки и ремонта СИ, т.е. распределении СИ на обслуживание между метрологическими подразделениями. При этом решается задача планирования [9]. Для определения значений показателей эффективности функционирования СПР используется имитационная модель.

Если для заданных характеристик СПР задача формирования плана поверки и ремонта СИ \bar{P}_{tm}^* решается без привлечения сторонних организаций, то это означает, что дооснащения СПР для обслуживания СИ установленной номенклатуры (μ -го типоразмера) не требуется. В противном случае осуществляется переход к этапу формирования множества возможных вариантов характеристик СПР в t -м году (блок 7), формализация которых осуществляется с помощью построения МБ характеристик СПР.

Проверка возможности выполнения требований к своевременности СИ или при необходимости формирования возможных вариантов ее модернизации осуществляется до конца программного периода (блок 8).

На следующем этапе (блок 9) формируется обобщенный МБ характеристик СПР в программном периоде.

Максимально возможные значения количества поверочных и ремонтных рабочих мест определяются исходя из установленного для данного типоразмера СИ закрепления обслуживаемых и метрологических подразделений космодрома. При закреплении руководствуются положениями руководящих документов с учетом следующих требований:

- СИ освоенной номенклатуры должны поверяться в собственных метрологических подразделениях;
- для осваиваемой номенклатуры СИ ввод рабочих мест возможен как в собственных метрологических подразделениях космодрома, если необходимо хотя бы одно рабочее место, так и в общем для всего космодрома подразделении (базе измерительной техники);
- ремонтные рабочие места с учетом ограниченного состава и необходимости ежедневной доставки для проведения работ квалифицированного обслуживающего персонала, а также обеспечения выполнения

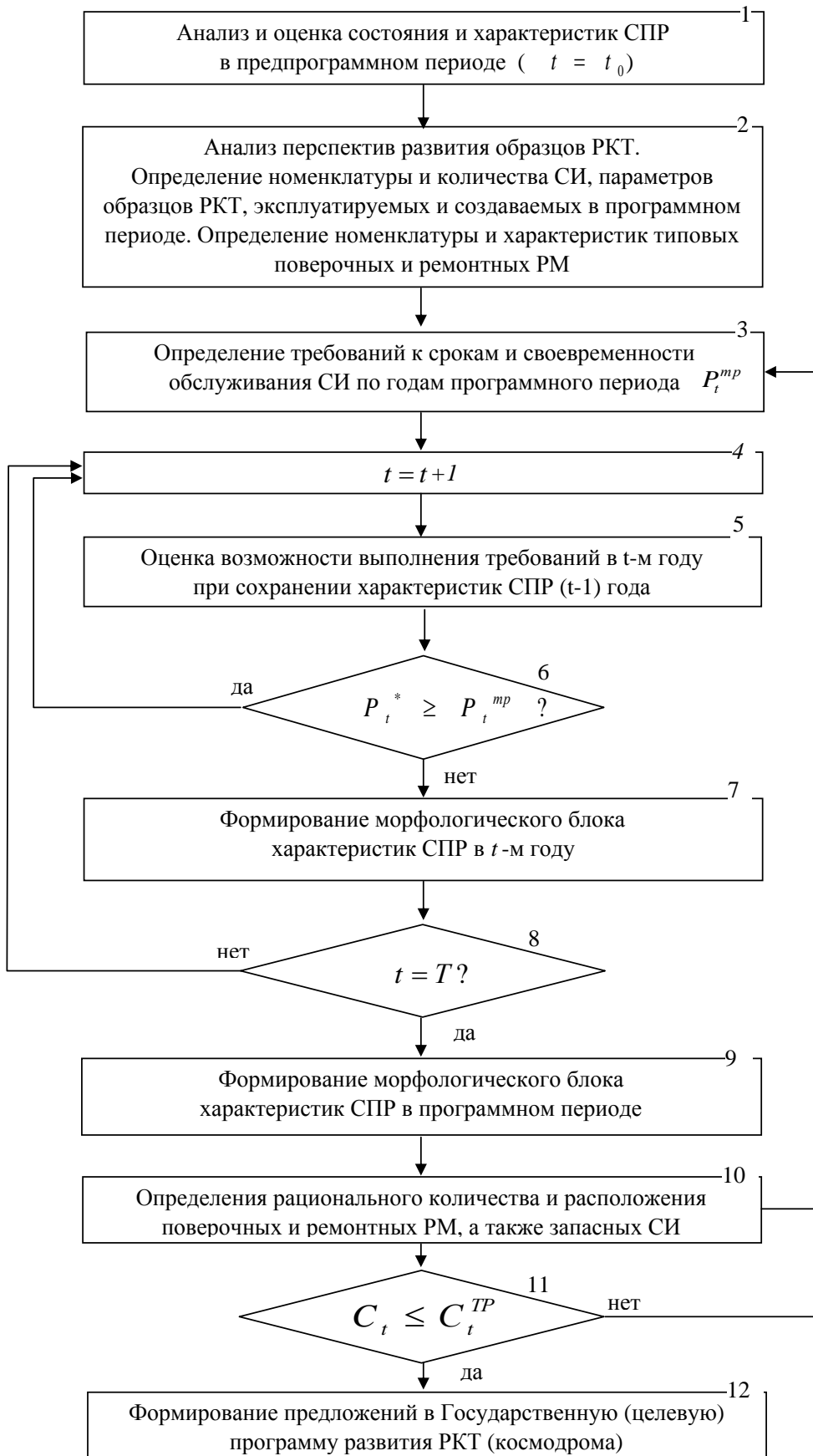


Рис. 2. Обобщенный алгоритм обоснования характеристик СПР в программном периоде

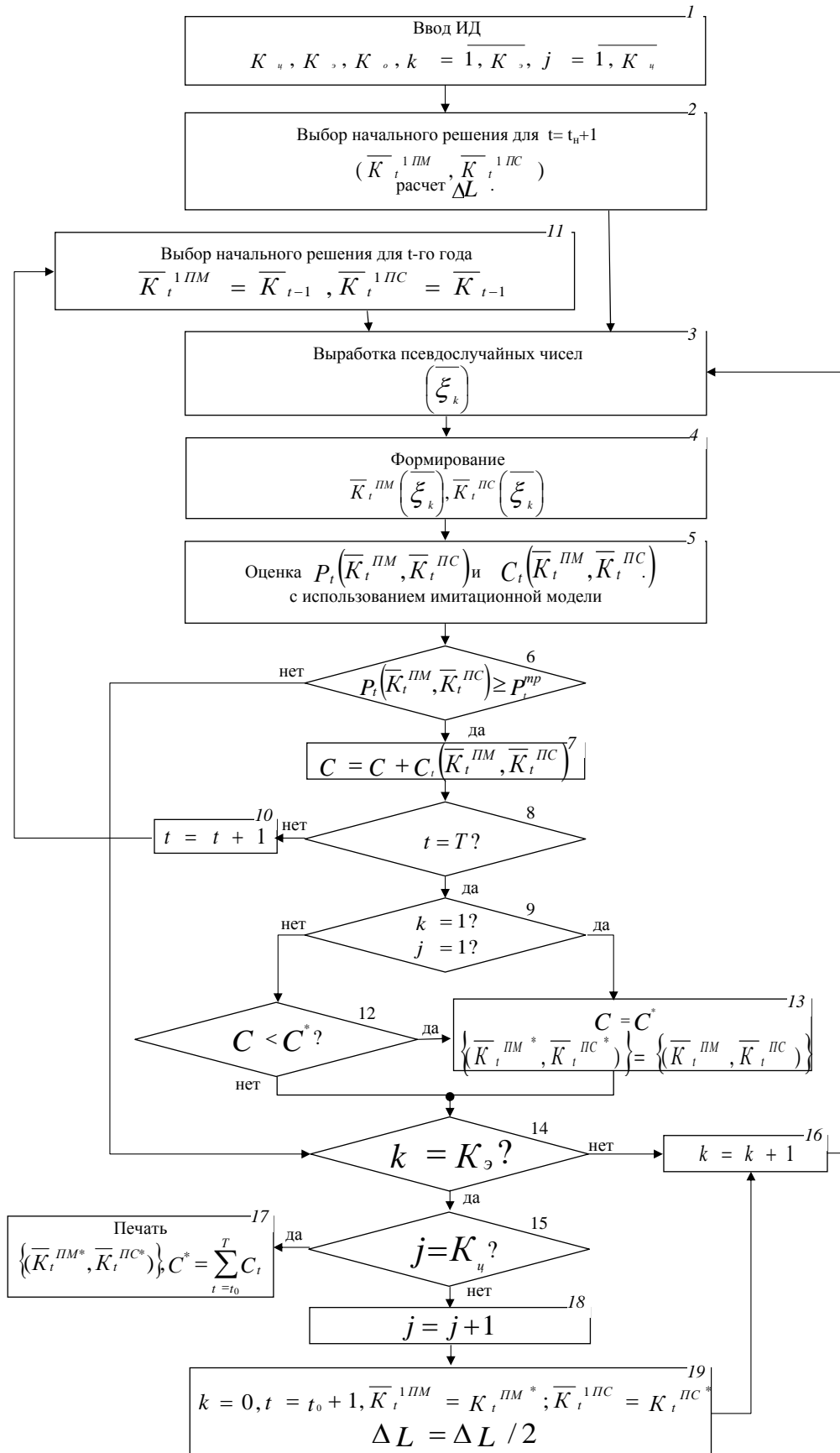


Рис. 3. Структура алгоритма определения рациональных значений характеристик СПР в программном периоде с использованием метода случайного поиска

работ в интересах всех обслуживаемых подразделений космодрома должны размещаться в БИТ.

Для обеспечения требуемого значения вероятности выполнения заявок на обслуживание СИ, как показали исследования [9], необходим запас производственных возможностей СПР [9]. Предполагая, что значение запаса производственных возможностей не может превышать 100%, в качестве максимальных значений количества дополнительных рабочих мест принимаются значения в 2 раза превышающие значения, установленные исходя из их годовой производительности.

При определении максимального количества и мест дислокации запасов СИ в МБ необходимо учитывать следующие особенности. Запасы СИ в целом в течение программного периода создают дополнительную нагрузку на СПР и при их избыточности требуют дополнительных поверочных и ремонтных рабочих мест, т.е. СПР начинает функционировать в собственных интересах, не на потребителя. Запасы должны обеспечивать замену невосстанавливаемых в условиях космодрома СИ, ремонт которых осуществляется на ремонтных рабочих местах. В связи с этим запасы СИ целесообразно размещать в предназначенном для этого подразделении, например, на базе измерительной техники. В качестве максимально возможных значений количества запасных СИ принимаются значения, в 2 раза превышающие установленные в соответствии с действующими руководящими документами.

На заключительном этапе (блок 10) из множества установленных вариантов решается задача определения рационального количества и расположения поверочных

и ремонтных рабочих мест, а также запасных СИ по годам программного периода в математической постановке (1) – (2) с использованием алгоритма случайного поиска с последовательным сужением области поиска [9].

Алгоритм построения вариантов (траекторий) развития и определения рациональных характеристик СПР на множестве возможных в программном периоде приведен на рис. 3. Для учета последствия при формировании вариантов значений характеристик СПР по годам программного периода данным алгоритмом предусмотрено присвоение в качестве минимально возможных и начальных значений характеристик СПР в t -м году программного периода значений $(t-1)$ -го года. Сужение области поиска достигается за счет поэтапного уменьшения шага допустимых значений характеристик системы, соответствующих первому году рассматриваемого периода.

Если по результатам оценки (блок 11) в течение программного периода требуемые финансовые затраты на развитие и эксплуатацию СПР не превышают возможного (выделяемого) финансирования $C_i^{тп}$ задача обоснования характеристик СПР считается законченной. В противном случае рассматривается возможность снижения требований к значению $P_i^{тп}$ в условиях выполнения ограничений $C_i \leq C_i^{тп}$.

Приведенные алгоритмы в совокупности обеспечивают обоснование характеристик СПР, оптимальных по критерию минимальных затрат финансовых средств на развитие и эксплуатацию СПР при выполнении ограничений на своевременность обслуживания СИ в программном периоде.

Литература

1. МИ 670-94. Методические указания. Определение потребности поверочных подразделений в производственных ресурсах.
2. Каминский В.Ю. Статистическое моделирование деятельности поверочных лабораторий. Измерительная техника: Ежемес. Научн.-тех.журн. – № 8. – М., 1984.
3. Инструкция о порядке формирования и использования обменного фонда войсковых средств измерений в лабораториях измерительной техники ВС РФ. Приказ МО РФ от 1.12.92 № 255.
4. Храменков В.Н., Попенков А.Я. Новый подход к планированию поверочно-аттестационных работ. Измерительная техника: Ежемес. Научн.-тех.журн. – № 1. – М., 1993.
5. Чапоргин В.С., Кулиш Н.С., Богданов Ю.В. Оптимальное планирование поверки и ремонта средств измерений параметров ракетно-космической техники космодрома. Двойные технологии. №4, 2008.
6. Одрин В. М., Картавов С. С. Морфологический анализ систем. Построение морфологических таблиц. – Киев: Наукова думка, 1977.
7. Бейко И. В., Бублик Б. Н., Зинько П. Н. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации. – Киев: В. школа. Головное изд-во, 1983.
8. Пашкеев С. Д., Миназов Р. И., Могилевский В.Д. Машинные методы оптимизации в технике связи. Под ред. С. Д. Пашкеева. – М.: Связь, 1976.
9. Растрин Л. А. Случайный поиск. – М: Знание, 1979.

Материал поступил в редакцию 06. 12. 2008г.