

Научная статья
УДК 681.2:629.7

Методика формирования предложений в потребный вариант развития средств траекторных измерительных комплексов испытательных центров в части их номенклатурного ряда

Владимир Герасимович Найденов

Аннотация. Методика позволяет сформировать потребный вариант программных мероприятий по развитию средств траекторных измерений в части их номенклатуры и определить необходимые объёмы ассигнований на его реализацию. В качестве критерия оптимизации в задаче формирования предложений в потребный вариант развития средств траекторных измерений в части их номенклатурного ряда выбрана величина суммарной стоимости разработки перспективных средств траекторных измерений на плановом периоде. Система ограничений включает допустимое значение интервального показателя точности траекторного измерительного комплекса, позволяющего получить гарантированную оценку точности траекторного измерительного комплекса, а также допустимую дальность обнаружения летательных аппаратов и измерения средствами траекторных измерений первичных параметров. Методика может быть с успехом использована в процессе научных исследований при решении задач программно-целевого планирования развития средств траекторных измерений для траекторных измерительных комплексов испытательных центров.

Ключевые слова: траекторные измерения; измерительный комплекс; потребный вариант развития; интервальный показатель точности; априорная оценка точности

Для цитирования: Найденов В.Г. Методика формирования предложений в потребный вариант развития средств траекторных измерительных комплексов испытательных центров в части их номенклатурного ряда // Вооружение и экономика. 2026. №2(76). С. 19-29.

Original article

Methodology of Proposals Formation for the Development Required Version of Test Center Trajectory Measuring Means in Regard to Their Nomenclature Range

Vladimir G. Naidenov

Abstract. The methodology allows to formulate the required version of program activities for the trajectory measurement means development in regard to their nomenclature, and determine the necessary volumes of its implementation allocations. As an optimization criterion of proposals formation task, a required development version of the advanced means development total cost for the planning period is chosen. The system of restrictions includes the interval indicator permissible value of the trajectory accuracy measuring complex that makes it possible to obtain a guaranteed accuracy estimation of the trajectory measurement complex, and aircraft detection range and measurement of primary parameters by means of trajectory measurement as well. The methodology can be successfully used in the process of scientific research in the course of program-target planning problems solution for measurement means development at test centers.

Keywords: trajectory measurements; measuring complex; development required version; interval accuracy indicator; a priori estimate of accuracy

For citation: Naidenov V.G. Methodology of Proposals Formation for the Development Required Version of Test Center Trajectory Measuring Means in Regard to Their Nomenclature Range. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 76(2): 19-29. (In Russ.).

Известно, что траекторный измерительный комплекс (ТИК) является одной из основных составных частей экспериментально-испытательной базы испытательных центров по отработке и проведению испытаний новых или модернизированных образцов сложных технических систем (ТС).

Траекторный измерительный комплекс испытательного центра представляет собой совокупность территориально разнесенных наземных радиолокационных, радиотехнических, оптико-электронных средств и бортовых средств траекторных измерений (ТИ), устанавливаемых на летательных аппаратах (ЛА), и предназначен для получения информации о траекториях движения ЛА и их взаимном положении [1]. Выходной информацией ТИК

являются оценки вектора $\theta(t)$ параметров движения летательного аппарата для каждого момента времени t рассматриваемого участка траектории его полета следующего вида:

$$\theta(t) = [x(t) \ y(t) \ z(t) \ \dot{x}(t) \ \dot{y}(t) \ \dot{z}(t)]^T = [\theta_1(t) \ \theta_2(t)]^T,$$

где: $\theta_1(t) = [x(t) \ y(t) \ z(t)]^T$, $\theta_2(t) = [\dot{x}(t) \ \dot{y}(t) \ \dot{z}(t)]^T$ – вектор координат ЛА и вектор скорости ЛА соответственно.

Необходимо отметить, что решению задач обоснования планов развития средств траекторных измерительных комплексов испытательных центров в научной литературе уделено недостаточное внимание, хотя такая задача является актуальной и должна решаться в ходе обоснования предложений в соответствующие долгосрочные плановые документы развития средств траекторных измерений.

Известно, что потребный вариант программных мероприятий по развитию номенклатурного ряда средств траекторных измерений формируется в соответствии с потребностями обеспечения в полном объеме испытаний всех сложных технических систем на рассматриваемом плановом периоде без учета ограничений на финансирование данных мероприятий [2; 3].

В связи со сложной структурой ТИК в процессе программно-целевого планирования развития средств траекторных измерений необходимо учитывать следующие моменты:

многие средства траекторных измерений являются универсальными и могут применяться в составе различных ТИК, применяемых на разных испытательных центрах и используемых в течение программного периода для обеспечения испытаний нескольких образцов сложных технических систем;

траекторные измерительные комплексы существующих испытательных центров уже оснащены набором средств ТИ, поэтому планирование развития средств траекторных измерений должно проводиться путем дооснащения этих комплексов перспективными средствами ТИ для достижения показателей эффективности ТИК до уровня, позволяющего провести на испытательных центрах с требуемым качеством испытания всех образцов ТС в течение планового периода;

поскольку выходной информацией ТИК являются оценки вектора параметров движения ЛА, то показатель точности траекторного измерительного комплекса может выступать в качестве критерия оптимизации состава номенклатурного ряда средств ТИ или использоваться в качестве одного из ограничений в таких оптимизационных задачах;

для вычисления показателя точности траекторного измерительного комплекса необходимо использовать методику априорной оценки точности ТИК, которая позволяет установить взаимосвязь значений вероятностных характеристик точности средств ТИ со значением показателя точности траекторного измерительного комплекса;

при программно-целевом планировании развития средств траекторных измерений необходимо учитывать требования, предъявляемые к траекторным измерительным комплексам со стороны разработчиков испытываемых образцов сложных ТС или заданные руководящими документами.

На рисунке 1 приведена структура методики формирования предложений в потребный вариант развития средств траекторных измерений в части их номенклатуры. Как видно из рисунка, основными исходными данными методики являются следующие:

предложения по развитию средств траекторных измерений, полученные от заинтересованных организаций;

требования к ТИК, выдвигаемые разработчиками технических систем, планируемых к проведению испытаний в плановом периоде, а также записанных в нормативных документах;

перечень и сроки испытаний технических систем в плановом периоде и основная информация о них;

состав и дислокация средств ТИ на трассах испытательных центров, а также параметры траекторий полета ЛА, участвующих при испытаниях ТС в плановом периоде;

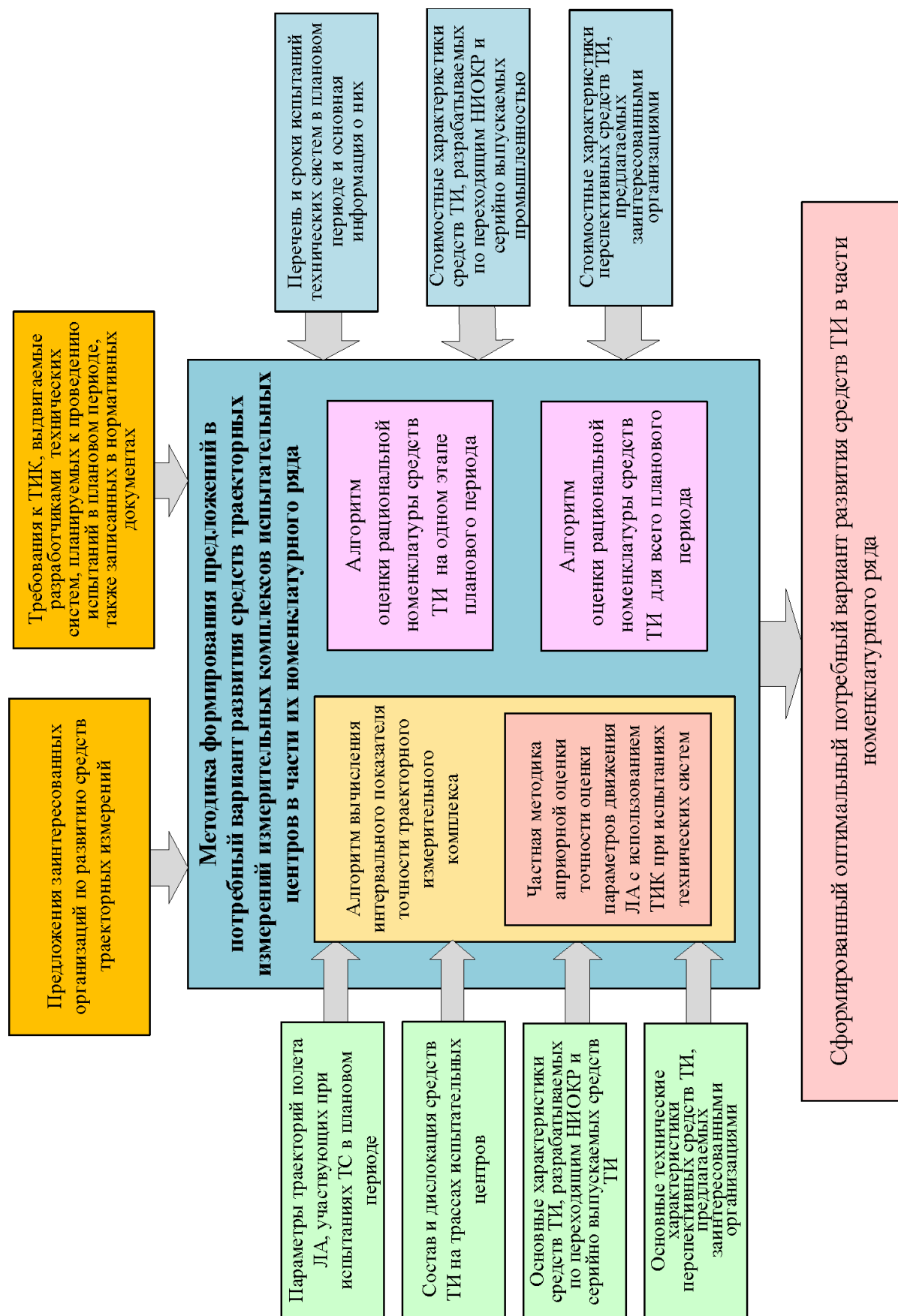


Рисунок 1 – Структура методики формирования предложений в потребный вариант развития средств ТИ в части их номенклатуры

основные технические характеристики перспективных средств ТИ, предлагаемых заинтересованными организациями, а также характеристики средств ТИ, разрабатываемых по переходящим НИОКР и серийно выпускаемых средств в программном периоде;

стоимостные характеристики перспективных средств ТИ, предлагаемых заинтересованными организациями, а также стоимостные характеристики средств ТИ, разрабатываемых по переходящим НИОКР или серийно выпускаемых промышленностью.

Составными частями методики формирования предложений в потребный вариант развития средств траекторных измерений измерительных комплексов испытательных центров в части их номенклатурного ряда являются следующие:

- алгоритм вычисления интервального показателя точности ТИК и частная методика априорной оценки точности оценки параметров движения ЛА с использованием ТИК;
- алгоритм оценки требуемой номенклатуры средств ТИ на одном этапе планирования;
- алгоритм оценки требуемой номенклатуры средств ТИ на всем плановом периоде.

Исходя из наличия в рассматриваемой задаче формирования номенклатурного ряда средств ТИК для потребного варианта программных мероприятий по развитию этих средств явно выраженной этапности планирования разработки перспективных средств ТИ по годам программного периода, очевидным становится использование для решения этой задачи математического аппарата динамического программирования [4].

В качестве критерия оптимизации в данной задаче выбрана величина уменьшения суммарной стоимости разработки перспективных средств ТИ, полученной на всех этапах планирования, начиная с первого и заканчивая I -м этапом планирования при проведении прямой прогонки, а также при обратной прогонке, начиная с I -го и заканчивая первым этапом процесса динамического программирования.

С целью учета в процессе оптимального планирования переходящих НИОКР по созданию перспективных средств траекторных измерений, а также временных промежутков на налаживание серийного производства таких средств первоначально целесообразно провести обратную прогонку процесса динамического программирования с получением условного оптимального решения задачи, а затем провести прямую прогонку для уточнения результатов решения задачи.

Основываясь на принципах динамического программирования в первую очередь необходимо выбрать способ описания оптимизируемого процесса, т.е. параметры и их количество, характеризующие состояние системы и ее фазовое пространство, а также способ деления операции планирования на отдельные этапы.

Одним из таких параметров системы может быть номенклатурный ряд разнотипных рассматриваемых средств ТИ, который обозначим блочной матрицей-строкой $X_{ТИ}$, а управлением в системе является вектор Z , характеризующий воздействие на систему, переводящее эту систему на следующий этап планирования при условии максимального улучшения критерия оптимизации. Фазовым пространством в данном случае будет множество $X_{ТИ}$ возможных типов средств ТИ.

Этапами проведения операции планирования будут календарные годы i планируемого программного периода. Для i -го шага планирования условное оптимальное уменьшение стоимости C_i применения существующих или предлагаемых к разработке перспективных средств ТИ, выбранных из блочной матрицы-строки $X_{ТИ}$ в результате воздействия вектора управления Z_i на этом шаге, может быть записано в виде $C_i = C_i(X_{ТИ}, Z_i)$.

При этом начальное значение блочной матрицы предлагаемых к планированию средств $X_{ТИ_{нач}}$ имеет следующий вид:

$$X_{ТИ_{нач}} = \left[X_{ТИ_{нов}} : X_{ТИ_{пер}} : X_{ТИ_{сер}} \right]^T,$$

где: $X_{ТИ_{нов}}$ – вектор-столбец номенклатуры перспективных новых средств ТИ, предлагаемых к разработке в течение планового периода;

$X_{ТИ_{пер}}$ – вектор-столбец номенклатуры средств ТИ, разрабатываемых по переходящим НИОКР;

$X_{ТИ_{сер}}$ – вектор-столбец номенклатуры средств ТИ, серийно производимых промышленностью в течение рассматриваемого планового периода.

Выражение, описывающее изменение состояния системы от $X_{ТИ_{i+1}}$ к $X_{ТИ_i}$ под воздействием вектора управления Z_i при обратной прогонке на i -м шаге планирования развития средств ТИ, имеет вид:

$$X_{ТИ_{i-1}} = \varphi(X_{ТИ_i}, Z_i).$$

Тогда основное функциональное уравнение операции динамического программирования при обратной прогонке может быть записано в следующем виде:

$$C_i(X_{ТИ_i}) = \min_{Z_i} \{c_i(X_{ТИ_i}, Z_i) + C_{i+1}(\varphi_i(X_{ТИ_i}, Z_i))\}, Z_i \in X_{ТИ_{нач}}, \quad (1)$$

где: $C_i(X_{ТИ_i})$ – условный оптимальный показатель эффективности операции планирования развития средств ТИ (условное оптимальное уменьшение стоимости применения существующих и разработки новых средств ТИ), полученный на этапах планирования, начиная с I -го и заканчивая i -м этапом планирования;

$c_i(X_{ТИ_i}, Z_i)$ – условная оптимальная стоимость применения существующих и разработки перспективных средств ТИ, выбранных из матрицы $X_{ТИ}$ в результате воздействия вектора управления на i -м этапе планирования;

$C_{i+1}(\varphi_i(X_{ТИ_i}, Z_i))$ – условный оптимальный показатель эффективности процесса планирования развития средств ТИ, полученный на этапах планирования начиная с I -го этапа и до $(i + 1)$ -го этапа включительно.

Выражение (1) описывает операцию динамического программирования, решающую задачу безусловной оптимизации плана развития средств траекторных измерений с точки зрения финансовых затрат. Однако в нашем случае, кроме оптимизации финансовых затрат на применение существующих и разработку перспективных образцов средств ТИ, необходимо, чтобы эти средства обеспечивали и выполнение всех требований назначения, предъявляемые к траекторным измерительным комплексам испытательных центров по обеспечению испытаний всех образцов ТС на плановом периоде.

Поэтому в рассматриваемой задаче должна иметь место система ограничений, учитывающая выполнение таких требований, предъявляемых к ТИК. Поскольку основной задачей траекторного измерительного комплекса является оценка параметров траекторий полета испытываемых ЛА с требуемой точностью, то в качестве одного из ограничений был выбран разработанный автором статьи интервальный показатель точности ТИК, позволяющий получить гарантированную оценку точности ТИК, и который учитывает как случайную, так и систематическую составляющие погрешности оценки вектора параметров движения испытываемых летательных аппаратов [5]. Такой показатель точности $Q(t)$ траекторного измерительного комплекса представляет собой значение вероятности P нахождения вектора оценки параметров движения ЛА $\hat{\theta}(t)$ в пределах заранее заданной области пространства ε малого объема и имеет следующий вид:

$$Q(t) = P(|\hat{\theta}(t) - \theta_0(t)| < \varepsilon) = P(|\Delta\hat{\theta}(t)| < \varepsilon),$$

где: $\theta_0(t)$ и $\Delta\hat{\theta}(t)$ – истинное значение вектора параметров движения ЛА и погрешность оценки этого вектора в момент времени t соответственно.

В предположении, что случайные величины оценок, например, координат ЛА $\hat{x}$, $\hat{y}$, $\hat{z}$ являются независимыми и имеют нормальный закон распределения в каноническом виде, вероятность события, заключающегося в том, что вершина случайного вектора погрешности оценки координат ЛА $\Delta\hat{\theta}_1$ попадает в рассматриваемый эллипсоид требований B , определится следующей формулой:

$$P\{\Delta\hat{\theta}_1 \subset B\} = \iiint_B \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^3 \sigma_{\hat{x}}^{\oplus} \sigma_{\hat{y}}^{\oplus} \sigma_{\hat{z}}^{\oplus}} \left\{ \exp -\frac{1}{2} \left[\frac{(x-\delta_{\hat{x}})^2}{(\sigma_{\hat{x}}^{\oplus})^2} + \frac{(y-\delta_{\hat{y}})^2}{(\sigma_{\hat{y}}^{\oplus})^2} + \frac{(z-\delta_{\hat{z}})^2}{(\sigma_{\hat{z}}^{\oplus})^2} \right] \right\} dx dy dz,$$

где: $\delta_{\hat{x}}$, $\delta_{\hat{y}}$ и $\delta_{\hat{z}}$ – систематические составляющие погрешностей оценки соответственно случайных величин $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$;

$\sigma_{\hat{x}}^{\oplus}, \sigma_{\hat{y}}^{\oplus}$ и $\sigma_{\hat{z}}^{\oplus}$ – главные среднеквадратические отклонения погрешностей соответственно случайных величин $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ в координатах эллипсоида рассеяния.

В декартовой системе координат эллипсоид с полуосями a , b и c будет ограничен слева поверхностью $z = c\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}$, а справа – поверхностью $z = -c\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}$. Проекцией этого эллипсоида на плоскость XOY является эллипс $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$. При интегрировании переменная y изменяется от $b\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$ до $-b\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$. Следовательно, вычисление значения вероятности $P\{\Delta\hat{\theta}_1 \subset B\}$ сводится к вычислению трехкратного интеграла вида:

$$P\{\Delta\hat{\theta}_1 \subset B\} = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^3 \sigma_{\hat{x}}^{\oplus} \sigma_{\hat{y}}^{\oplus} \sigma_{\hat{z}}^{\oplus}} \int_{-a}^a \left[\int_{-b\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}}^{b\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}} \left\{ \int_{-c\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}}^{c\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}} \exp \left(-\frac{1}{2} \left[\frac{(x-m_x)^2}{(\sigma_{\hat{x}}^{\oplus})^2} + \frac{(y-m_y)^2}{(\sigma_{\hat{y}}^{\oplus})^2} + \frac{(z-m_z)^2}{(\sigma_{\hat{z}}^{\oplus})^2} \right] \right) dz \right\} dy \right] dx. \quad (2)$$

В случае использования показателя точности (2) выбор рационального варианта $W_{\text{рац}}$ построения траекторного измерительного комплекса для конкретной точки траектории полета ЛА проводится по максимальному значению вероятностного интервального показателя точности в соответствии со следующим выражением:

$$W_{\text{рац}} = \underset{w \in W}{\operatorname{argmax}} P_w\{\Delta\hat{\theta}(t) \subset B\},$$

где: $P_w\{\Delta\hat{\theta}(t) \subset B\}$ – значение интервального показателя точности ТИК для w -го варианта построения траекторного измерительного комплекса.

Для вычисления выбранного показателя точности траекторного измерительного комплекса необходимо иметь значения вероятностных характеристик точности оценок параметров движения ЛА. С этой целью необходимо использовать частную методику априорной оценки точности ТИК, которая позволяет получить оценки ковариационной матрицы вектора параметров движения ЛА вдоль траектории его полета, имея значения вероятностных характеристик погрешностей измерения первичных параметров средствами ТИ с учетом выбранного метода измерения параметров движения ЛА и метода совместной статистической обработки результатов измерений средствами траекторных измерений.

В качестве методики априорной оценки точности ТИК предлагается усовершенствованная автором статьи методика, основанная на применении математического аппарата обобщенного фильтра Калмана [6; 7]. Суть данной методики заключается в том, что требуется определить для каждой k -й точки траектории полета ЛА дискретную зависимость ковариационной матрицы $\gamma_{\hat{\theta}}(k)$ вектора $\hat{\theta}$ оценки параметров движения ЛА траекторным измерительным комплексом от значений вектора $\mathcal{E}$ среднеквадратических погрешностей измерения первичных параметров средствами ТИ, то есть в построении функциональной зависимости вида:

$$\gamma_{\hat{\theta}}(k) = \varphi(\mathcal{E}, k), \quad k = \overline{1, K}.$$

Решение этой задачи будем искать в предположении, что наблюдаемый N -мерный дискретный процесс траекторных измерений $\xi(k)$ может быть описан моделью вида:

$$\xi(k) = H(k) \cdot \theta(k) + \eta(k), \quad k = \overline{1, K}, \quad (3)$$

где: $H(k)$ – матрица частных производных первичных параметров, измеряемых средствами ТИ, по оцениваемым параметрам движения ЛА;

$\eta(k)$ – N -мерный дискретный процесс шума траекторных измерений.

Динамическая модель движения ЛА в пространстве состояний для ограниченного участка траектории, а также стационарный дискретный процесс шума измерений можно описать следующими стохастическими рекуррентными уравнениями с постоянными коэффициентами:

$$\theta(k) = a \cdot \theta(k-1) + b \cdot \varepsilon(k); \quad (4)$$

$$\eta(k) = \rho \cdot \eta(k-1) + r \cdot l(k), \quad (5)$$

где: a, b – матричные коэффициенты размерностью $(M \times M)$, структура которых определяется выбранной моделью движения ЛА; ρ, r – матрицы постоянных коэффициентов; $\varepsilon(k), l(k)$ – векторные процессы белого шума, компоненты которого имеют параметры $N(0,1)$.

С учетом выражений (3), (4) и (5) модель наблюдаемого процесса $\xi(k)$ может быть представлена в виде:

$$\xi(k) = H(k) \cdot a \cdot \theta(k-1) + H(k) \cdot b \cdot \varepsilon(k) + \rho \cdot \eta(k-1) + r \cdot l(k). \quad (6)$$

Далее из формулы (5) получим выражение для процесса $\eta(k)$ шума измерений на момент времени $(k-1)$ и подставим его в выражение (6). В результате таких преобразований получим следующие выражения для частично наблюдаемого процесса:

$$\theta(k) = a \cdot \theta(k-1) + b \cdot \varepsilon(k);$$

$$\xi(k) = \rho \cdot \xi(k-1) + [H(k) \cdot a - \rho \cdot H(k-1)] \cdot \theta(k-1) + H(k) \cdot b \cdot \varepsilon(k) + r \cdot l(k).$$

Тогда в соответствии с теорией обобщенного фильтра Калмана [7; 8] ковариационной матрицы $\gamma(k)$ вектора $\hat{\theta}(k)$ оценки параметров движения ЛА определяется рекуррентным уравнением вида:

$$\begin{aligned} \gamma(k) = & [a \cdot \gamma(k-1) \cdot a^T + b \cdot b^T] \{ b \cdot b^T \cdot H^T(k) + a \cdot \gamma(k-1) \cdot [H(k) \cdot a - \rho \cdot H(k-1)]^T \} \times \\ & \times \{ H(k) \cdot b \cdot b^T \cdot H^T(k) + r \cdot r^T + [H(k) \cdot a - \rho \cdot H(k-1)] \cdot \gamma(k-1) \}^{-1} \times \\ & \times \{ b \cdot b^T \cdot H^T(k) + a \cdot \gamma(k-1) \cdot [H(k) \cdot a - \rho \cdot H(k-1)]^T \}^T. \end{aligned}$$

Для получения стационарного значения ковариационной матрицы $\gamma_{\text{ст.}}(k)$ вектора $\hat{\theta}(k)$ оценки параметров движения ЛА, то есть нахождения потенциальной точности ТИК, требуется провести решение соответствующего уравнения Риккати, алгоритм которого приведен в работе [5].

При постановке задачи формирования предложений в потребный вариант развития средств траекторных измерительных комплексов испытательных центров в части их номенклатурного ряда следует учитывать, что средства ТИ имеют различную рабочую зону измерений, например, радиотехнические и оптико-электронные средства имеют разную максимальную дальность измерения регистрируемых параметров. Поэтому необходимо в оптимизационную задачу ввести и ограничение по дальности обнаружения ЛА и измерения средствами ТИ первичных параметров с паспортной точностью.

При выбранном критерии оптимизации и наложенных ограничениях задача построения оптимального потребного варианта мероприятий по разработке средств ТИ для всех испытываемых технических систем U в формализованном виде может быть записана следующим образом:

$$X_{\text{ТИ}opt} = \underset{X_{\text{ТИ}} \subset X_{\text{ТИ}нач.}}{\operatorname{argmin}} \{C(X_{\text{ТИ}})\} \quad (7)$$

при ограничениях вида:

$$P_u\{\Delta\hat{\theta}(t) \subset B\}_{X_{\text{ТИ}}} \geq P_{u(\text{доп})}, \quad u = \overline{1, U}; \quad (8)$$

$$D_{X_{\text{ТИ}}(u)} \geq D_{\text{треб.}(u)}, \quad u = \overline{1, U}. \quad (9)$$

где: $C(X_{\text{ТИ}})$ – стоимость средств ТИ, необходимых для дооснащения испытательных центров на всем планируемом периоде и позволяющих обеспечить выполнение в полном объеме требований по обеспечению испытаний технических систем;

$P_u\{\Delta\hat{\theta}(t) \subset B\}$ – значение интервального показателя точности ТИК для u -й испытываемой технической системы;

$P_{u(\text{доп})}$ – допустимое значение интервального показателя точности ТИК при испытаниях u -й технической системы;

$D_{X_{\text{ТИ}}(u)}$ – матрица-столбец значений дальности действия рассматриваемых средств ТИ при испытаниях u -й технической системы;

$D_{\text{треб.}(u)}$ – матрица-столбец максимальных требуемых значений дальности действия средств ТИ, используемых для обеспечения испытаний u -й технической системы.

Необходимо отметить, что при формировании потребного варианта развития средств ТИ должны быть учтены сроки разработки и поставки на серийное производство всех рассматриваемых средств траекторных измерений.

Решение задачи (7) с системой ограничений (8) и (9) при обратной прогонке процесса динамического программирования проводится с использованием алгоритма определения требуемого номенклатурного ряда средств ТИ на одном рассматриваемом этапе планирования, приведенного на рисунке 2.

Так, в блоке 3 алгоритма проводится с участием лица, принимающего решение, построение вариантов построения ТИК с использованием серийно выпускаемых на плановом периоде средств ТИ. При этом проводится отбраковка средств ТИ по требуемой дальности измерения первичных параметров. Далее в блоке 5 проводится оценка вариантов построения ТИК по точности оценки параметров движения ЛА с использованием частной методики априорной оценки точности ТИК. Если среди рассмотренных вариантов построения ТИК имеют место варианты, которые удовлетворяют требованиям по точности оценки параметров движения ЛА для обеспечения испытаний конкретной ТС на рассматриваемом интервале планирования (блок 6), то выбирается вариант построения ТИК с минимальной стоимостью (блок 7).

В случае применения в составе ТИК средств ТИ, использующих для своей работы сигналы спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС или GPS, отсутствует необходимость в процессе их планирования применения методики априорной оценки точности, поскольку такие средства непосредственно оценивают значения параметров движения летательных аппаратов.

Далее по выбранному варианту проводится формирование рационального перечня серийно выпускаемых на рассматриваемом интервале планирования средств ТИ и управление передается на блок 15 алгоритма и далее идет переход процесса планирования для следующей испытываемой технической системы.

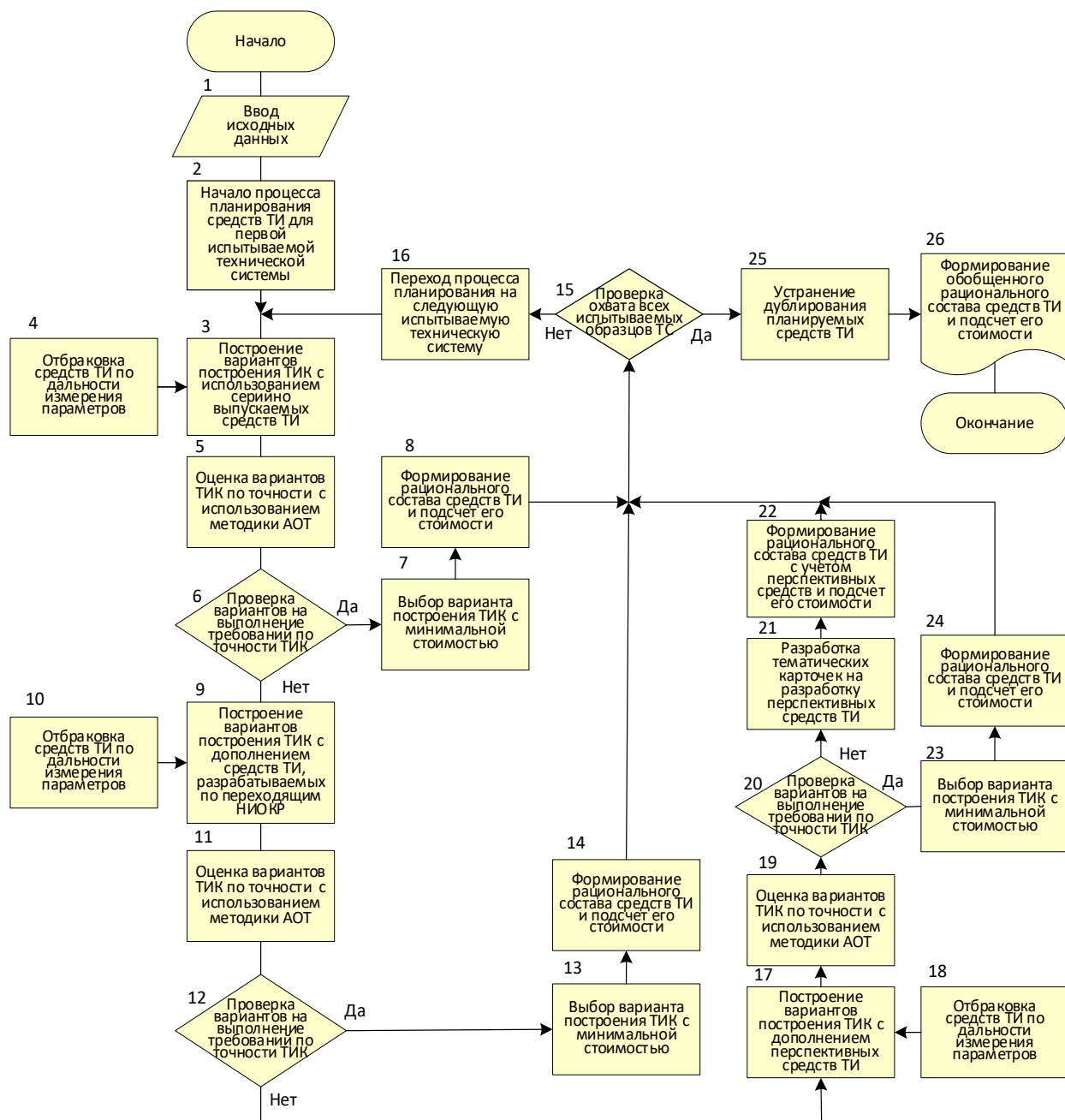


Рисунок 2 – Алгоритм определения требуемого номенклатурного ряда средств ТИ на одном рассматриваемом этапе планирования

Если в блоке 6 среди рассмотренных вариантов построения ТИК будут отсутствовать варианты, которые удовлетворяют требованиям по точности оценки параметров движения ЛА для обеспечения испытаний конкретной ТС на рассматриваемом интервале планирования, то управление передается на блок 9, в котором проводится формирование вариантов построения ТИК с дополнением средств ТИ, разрабатываемых по переходящим НИОКР и серийное производство которых будет иметь место к рассматриваемому этапу планирования.

При этом также проводится отбраковка средств ТИ, которые не удовлетворяют требованиям по дальности измерения первичных параметров, а в блоке 11 проводится оценка вариантов построения ТИК по точности оценки ими параметров движения ЛА с использованием методики априорной оценки точности. В случае наличия вариантов построения ТИК, которые удовлетворяют требованиям по точности оценки параметров движения ЛА для обеспечения испытаний конкретной ТС на рассматриваемом этапе планирования (блок 12), то выбирается тот вариант построения ТИК, который имеет минимальную стоимость (блок 13).

Если в блоке 12 алгоритма среди рассмотренных вариантов построения ТИК будут отсутствовать варианты, которые удовлетворяют требованиям по точности оценки параметров движения ЛА для обеспечения испытаний конкретной ТС на рассматриваемом этапе планирования, то далее в блоках алгоритма 17, 18, 19, 20, 23 и 24 проводятся аналогичные операции планирования развития средств ТИ, но с использованием предлагаемых к разработке перспективных средств ТИ.

В случае, если использование при планировании предлагаемых к разработке новых перспективных средств ТИ не позволяет выполнить в полном объеме требования по точности оценки параметров движения ЛА для обеспечения испытаний конкретной ТС, тогда проводится разработка и обоснование тематических карточек на создание более совершенных средств ТИ (блок 21), которые бы смогли закрыть пробелы в спектре предъявляемых требований к траекторным измерительным комплексам.

Далее в блоке 22 алгоритма проводится формирование рационального состава средств ТИ с учетом дополнительных предложений по созданию перспективных средств траекторных измерений.

В блоке 15 алгоритма проводится проверка охвата всех испытываемых технических систем на рассматриваемом этапе планирования. В случае отрицательного результата проверки происходит переход процесса планирования для следующей испытываемой технической системы. Если в процессе планирования охвачены все ТС, то в блоке 25 проводится устранение дублирования планируемых средств ТИ, а в блоке 26 – формирование обобщенного рационального состава средств ТИ для рассматриваемого этапа планирования и подсчет его стоимости.

Далее процесс планирования развития средств траекторных измерений переходит на $(i - 1)$ -й этап планового периода при обратной прогонке процесса динамического программирования. При этом должны учитываться следующие моменты: перечень испытываемых на этом этапе технических систем и предъявляемые к ТИК требования со стороны этих систем; сроки разработки и постановки на серийное производство средств ТИ, разрабатываемых по переходящим НИОКР, а также сроки снятия с эксплуатации средств ТИ, находящихся в испытательных центрах и привлекаемых для проведения испытаний технических систем.

Для получения безусловного оптимального решения задачи планирования развития средств ТИ при формировании предложений в потребный вариант развития средств траекторных измерительных комплексов испытательных центров в части их номенклатурного ряда проводится прямая прогонка процесса динамического программирования от первого до I -го этапа планирования. При этом проводится устранение дублирования предлагаемых в разработке средств ТИ из состава ранее сформированных обобщенных рациональных вариантов развития средств ТИ для рассмотренных этапов планирования, а также проводится формирование итогового оптимального номенклатурного ряда средств ТИ и подсчет его стоимости.

Таким образом, разработанная методика позволяет сформировать потребный вариант программных мероприятий по развитию средств ТИ в части их номенклатуры и определить необходимые объемы ассигнований на его реализацию с учетом средств ТИ, разрабатываемых по переходящим НИОКР, серийно выпускаемых средств ТИ в рассматриваемом программном периоде, а также новых перспективных средств траекторных измерений. Методика может быть с успехом использована в процессе научных исследований при решении

задач программно-целевого планирования развития средств траекторных измерений, используемых для обеспечения испытаний перспективных сложных технических систем.

Список источников

1. Системно-концептуальные основы методологии военно-научных исследований и решения прикладных военно-технических проблем: монография в 3 кн. Кн.3 / Под ред. Б.А. Демидова. Тверь: ОПВЭиФ, 2014. 560 с.
2. Буренок В.М., Найденов В.Г. Методы повышения эффективности применения средств и систем обеспечения испытаний вооружения, военной и специальной техники. М.: Граница, 2006. 263 с.
3. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2004. 419 с.
4. Таха Х. Введение в исследование операций. 7-е изд. М.: Вильямс, 2005. 912 с.
5. Буренок В.М., Найденов В.Г., Поляков В.И. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем. М.: Машиностроение, 2011. 336 с.
6. Ширяев А.Н. Вероятность. М.: Наука, 1980. 576 с.
7. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. М.: Связь, 1976. 496 с.
8. Липцер Р.Ш., Ширяев А.Н. Статистика случайных процессов. М.: Наука, 1974. 696 с.

Информация об авторе

В.Г. Найденов – доктор технических наук, старший научный сотрудник.