

Буренок В.М.

*Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор.*

Найденов В.Г.

Доктор технических наук.

Щукин А.Н.

Кандидат технических наук.

Методический подход к программно-целевому планированию развития средств траекторных измерений испытательных полигонов для долгосрочных программных документов

Предложен методический подход к программно-целевому планированию развития средств траекторных измерений испытательных полигонов для долгосрочных программных документов, основанный на методах динамического программирования и позволяющий проводить построение оптимальных вариантов развития таких средств по обобщенным технико-экономическим критериям.

Программно-целевое планирование – это процесс обоснования, формирования и утверждения плановых документов, осуществляемый органами исполнительной власти и направленный на скоординированное по целям, ресурсам, времени и техническим направлениям развитие объекта планирования, обеспечивающее решение этим объектом возложенных на него задач [1].

Задача программно-целевого планирования развития средств траекторных измерений (ТИ), входящих составной частью в средства экспериментально-испытательной базы (ЭИБ) полигонов, является актуальной и возникает периодически при обосновании предложений в соответствующие долгосрочные программные документы.

Анализ литературы, касающейся вопросов обоснования необходимой номенклатуры средств траекторных измерений для обеспечения испытаний образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), показал, что имеющиеся методики практически не увязаны с планами испытаний образцов ВВСТ, не учитывают условия проведения испытаний образцов вооружения на полигонах, носят в большей части описательный характер, а также не могут быть использованы в общем цикле программно-целевого планирования развития системы вооружения.

В данной статье рассмотрен методический подход к программно-целевому планированию развития средств траекторных из-

мерений, который лишен отмеченных недостатков.

Как правило, первым этапом решения задачи программно-целевого планирования развития средств траекторных измерений является первичная обработка научно-исследовательскими организациями заявок (тематических карточек) на разработку новых средств траекторных измерений, которая может быть проведена с использованием алгоритма кластеризации средств ТИ [2] по их тактико-техническим и эксплуатационным характеристикам.

Применение такого алгоритма позволяет устранить дублирование в разработках средств траекторных измерений, провести первоначальную отбраковку лишних тематических карточек и снизить необоснованные финансовые затраты при реализации процесса планирования.

В результате первичной обработки заявок на разработку новых и модернизацию существующих средств траекторных измерений может быть получен первичный номенклатурный ряд средств ТИ, который используется на последующих этапах решения задачи программно-целевого планирования их развития.

При формировании рационального номенклатурного ряда средств ТИ для обеспечения испытаний образцов ВВСТ необходимо определить обобщенный критерий эффективности траекторных измерительных комплексов (ИК), применяемых на испытательных полигонах.

Известно, что основным критерием эффективности отдельных средств траекторных измерений является точность оценки ими первичных измеряемых параметров, к числу которых можно отнести наклонную дальность до объекта, азимут, угол места и радикальную скорость объекта, направляющие косинусы на сопровождаемый объект и другие параметры.

Поскольку отдельно стоящие средства траекторных измерений не могут обеспечить требуемую точность оценки параметров движения летательного аппарата (ЛА) на всей траектории их полета, то на испытательных полигонах используется совокупность средств ТИ, представляющая собой траекторные измерительные комплексы, которые характеризуются численными показателями точности.

В качестве такого показателя точности траекторного ИК целесообразно использо-

$$\bar{\sigma}_{\hat{\theta}}(t) = \left[\sigma_{\dot{x}}(t) \mid \sigma_{\dot{y}}(t) \mid \sigma_{\dot{z}}(t) \mid \sigma_{\ddot{x}}(t) \mid \sigma_{\ddot{y}}(t) \mid \sigma_{\ddot{z}}(t) \mid \sigma_{\ddot{x}}(t) \mid \sigma_{\ddot{y}}(t) \mid \sigma_{\ddot{z}}(t) \right].$$

Элементами этого вектора являются среднеквадратические отклонения погрешностей оценки текущих координат ЛА $(\sigma_{\dot{x}}(t), \sigma_{\dot{y}}(t), \sigma_{\dot{z}}(t))$, составляющих вектора скорости $(\sigma_{\ddot{x}}(t), \sigma_{\ddot{y}}(t), \sigma_{\ddot{z}}(t))$ и составляющих вектора ускорения ЛА $(\sigma_{\ddot{x}}(t), \sigma_{\ddot{y}}(t), \sigma_{\ddot{z}}(t))$.

Тогда решение о выполнении траекторным ИК предъявляемых к нему требований может быть принято при исполнении следующего условия:

$$P(\bar{\sigma}_{\hat{\theta}} \in \varepsilon(\hat{\theta})) \geq P_0.$$

При решении задач программно-целевого планирования развития средств ТИ достаточно в качестве области $\varepsilon(\hat{\theta})$ выбрать шестимерный прямоугольный параллелепипед

$$P(\bar{\sigma}_{\hat{\theta}} \in R_6) = \prod_{w=0}^1 \left[\Phi \left(\frac{\beta_{x^{(w)}}}{\sigma_{\dot{x}^{(w)}}} \right) - \Phi \left(\frac{\alpha_{x^{(w)}}}{\sigma_{\dot{x}^{(w)}}} \right) \right] \cdot \left[\Phi \left(\frac{\beta_{y^{(w)}}}{\sigma_{\dot{y}^{(w)}}} \right) - \Phi \left(\frac{\alpha_{y^{(w)}}}{\sigma_{\dot{y}^{(w)}}} \right) \right] \cdot \left[\Phi \left(\frac{\beta_{z^{(w)}}}{\sigma_{\dot{z}^{(w)}}} \right) - \Phi \left(\frac{\alpha_{z^{(w)}}}{\sigma_{\dot{z}^{(w)}}} \right) \right]$$

где w - знак производной;

- $\alpha_{x^{(w)}}, \alpha_{y^{(w)}}, \alpha_{z^{(w)}}$ - нижние границы области требований к точности траекторных

измерений соответственно по координатам при $w=0$ и по составляющим вектора скорости при $w=1$;

вать вероятность попадания вектора погрешности оценки параметров движения ЛА $(\bar{\sigma}_{\hat{\theta}})$ в заданную многомерную область $\varepsilon(\hat{\theta})$, т.е. $P(\bar{\sigma}_{\hat{\theta}} \in \varepsilon(\hat{\theta}))$ [3, 5]. При этом размеры области $\varepsilon(\hat{\theta})$ должны задаваться разработчиками новых образцов ВВСТ, которые должны быть подвергнуты испытаниям на полигонах.

Кроме того, необходимо получить от разработчиков финальных образцов ВВСТ допустимое значение доверительной вероятности события (P_0) , состоящего в попадании вектора $\bar{\sigma}_{\hat{\theta}}$ в область $\varepsilon(\hat{\theta})$.

Текущее значение вектора погрешности оценки параметров движения ЛА траекторным ИК можно записать в виде:

пед R_6 , поскольку требования к точности оценки траекторным ИК составляющих вектора ускорения ЛА разработчиками образцов ВВСТ, как правило, не предъявляются.

В случае нормального закона распределения вектора $\hat{\theta}$ с независимыми компонентами, при отсутствии систематических ошибок в оценке вектора параметров движения ЛА, а также при наличии доверительной области $\varepsilon(\hat{\theta})$, представляющей собой шестимерный параллелепипед (R_6) со сторонами, параллельными главным осям рассеивания, вероятность попадания вершины вектора $\hat{\theta}$ в эту область выражается через функцию Лапласа [3]:



- $\beta_{x^{(w)}}, \beta_{y^{(w)}}, \beta_{z^{(w)}}$ - верхние границы области требований к точности траекторных измерений соответственно по координатам при $w=0$ и по составляющим вектора скорости при $w=1$;

- $\sigma_{x^{(w)}}, \sigma_{y^{(w)}}, \sigma_{z^{(w)}}$ - среднеквадратические отклонения погрешностей оценки соответственно координат ЛА при $w=0$ и составляющих вектора скорости при $w=1$;

- $\Phi(z)$ - функция Лапласа.

Для вычисления значений вероятности $P(\bar{\sigma}_{\hat{\theta}} \in \varepsilon(\hat{\theta}))$ при решении задачи программно-целевого планирования развития средств ТИ может использоваться программно-алгоритмический комплекс априорной оценки точности траекторных измерительных комплексов, описанный в работе [3].

Таким образом, задача программно-целевого планирования развития средств ТИ для долгосрочных программных документов заключается в оптимальном распределении первичного номенклатурного ряда средств ТИ по годам начала разработки этих средств при наличии или отсутствия финансовых ограничений на их разработку, а также с учетом возможности траекторных измерительных комплексов испытательных полигонов выполнить требования по точности оценки параметров движения испытываемых ЛА или ЛА, используемых при обеспечении испытаний новых образцов ВВСТ.

Суть методического подхода к решению задачи обоснования плана развития средств траекторных измерений испытательных полигонов для долгосрочных программных документов состоит в следующем. Предполагается, что практически все средства траекторных измерений, находящиеся на существующих испытательных полигонах, выработали свой технических ресурс и морально устарели. Поэтому в рассматриваемой задаче программно-целевого планирования развития средств ТИ считается, что показатель точности рассматриваемых траекторных измерительных комплексов будет определяться техническими характеристиками только разрабатываемых в настоящее время и планируемых к разработке средств ТИ.

Исходя из наличия в рассматриваемой задаче явно выраженной этапности планирования создания новых или модернизации существующих средств траекторных измерений по календарным годам, очевидным становится использование для решения этой задачи математического аппарата динамического программирования.

Основываясь на принципах динамического программирования, в первую очередь, необходимо выбрать способ описания оптимизируемого процесса, т. е. параметры, характеризующие состояние системы, определить фазовое пространство и способ деления операции на этапы.

Таким параметром может быть номенклатурный ряд разнотипных средств ТИ, обозначенный вектором \bar{S} , а управлением в системе является вектор \bar{C} , характеризующий стоимость различных ОКР по созданию средств, входящих в вектор \bar{S} .

Фазовое пространство системы представляет множество значений вектора системы \bar{S} .

Этапами проведения операций будут календарные годы i долгосрочного планового документа, количество которых равно I , т.е. $i \in \overline{1, \dots, I}$.

В качестве выигрыша от операции планирования примем значение вероятности попадания вектора погрешности оценки параметров движения ЛА ($\bar{\sigma}_{\hat{\theta}}$) в заданную многомерную область $\varepsilon(\hat{\theta})$, т.е. значение $P(\bar{\sigma}_{\hat{\theta}} \in \varepsilon(\hat{\theta}))$. Для i -ого шага планирования эту вероятность обозначим через p_i . При этом значение этой вероятности зависит от состояния системы \bar{S}_i в начале этого шага и управления \bar{C}_i , а выражение для p_i может быть записано в виде

$$p_i = p_i(\bar{S}_i, \bar{C}_i).$$

Выражение, описывающее изменение состояния системы от \bar{S}_i к \bar{S}'_i под воздействием управления \bar{C}_i на i -ом шаге имеет вид

$$\bar{S}'_i = \varphi_i(\bar{S}_i, \bar{C}_i).$$

Тогда основное рекуррентное функциональное уравнение операции динамического



программирования будет иметь следующий вид:

$$P_i(\bar{S}_i) = \max_{\bar{S}_i \in \bar{S}} \left\{ p_i(\bar{S}_i, \bar{C}_i) \cdot P_{i-1}(\varphi_i(\bar{S}_i, \bar{C}_i)) \right\}, \quad (1)$$

где $P_i(\bar{S}_i)$ - условный оптимальный выигрыш (значение вероятности попадания вектора $\bar{\sigma}_\theta$ погрешности оценки параметров движения ЛА в заданную многомерную область $\varepsilon(\hat{\theta})$), полученный на всех этапах планирования от первого и до i -ого этапа включительно;

- $p_i(\bar{S}_i, \bar{C}_i)$ - выигрыш на данном i -ом этапе планирования;

- $P_{i-1}(\varphi_i(\bar{S}_i, \bar{C}_i))$ - условный оптимальный выигрыш, полученный на всех предыдущих этапах, включая $(i-1)$ этап;

Как видно из выражения (1) имеет место многомерная задача математического динамического программирования с мультиплексным критерием.

Известно [4], что в процессе обоснования перспектив развития средств экспериментально-испытательной базы для полигонов МО РФ формируются следующие три основных варианта построения долгосрочного программного документа. К ним относятся потребный, минимально необходимый и критический варианты развития средств экспериментально-испытательной базы. В соответствии с этими вариантами рассмотрим такие же варианты и при планировании развития траекторных измерительных средств, которые являются составной частью средств ЭИБ. Каждый из этих вариантов имеет содержательный характер и необходим в качестве рекомендаций для последующего принятия решения.

Начальным этапом разработки предложений в программные документы является определение **потребного варианта** развития средств траекторных измерений (формирования потребного номенклатурного ряда средств ТИ), то есть варианта, при реализации которого будет в полном объеме обеспечена совокупность всесторонних оценок параметров движения всех ЛА, участвующих в проведении испытаний образцов ВВСТ, на всем рассматриваемом плановом периоде.

Минимально необходимый вариант развития средств траекторных измерений предполагает формирование такого номенклатурного ряда средств ТИ, который позволяет при ограничениях на выделенные финансы ($C_{опр}$) обеспечить измерительными комплексами полигоны, которые в максимальной степени могут обеспечить выполнение требований по точности оценки параметров движения привлекаемых к испытаниям летательных аппаратов при испытаниях новых приоритетных образцов ВВСТ.

Критический вариант – это тот вариант, при реализации которого обеспечивается только поддержание в работоспособном состоянии имеющейся на полигонах средств траекторных измерений за счет проведения их среднего и капитального ремонта. Поэтому при формировании критического варианта не рассматривается задача планирования развития новых средств траекторных измерений, а рассматриваются только мероприятия по ремонту средств траекторных измерений.

Исходными данными для решения задачи обоснования плана развития средств траекторных измерений для долгосрочных программных документов являются следующие:

- плановый период, разграниченный на этапы планирования (календарные годы) $i \in \bar{i}, \dots, I$;

- три возможных типовых измерительных эксперимента (T_1, T_2, T_3) , имитирующих три класса траекторных измерительных комплексов испытательных полигонов, отличающихся друг от друга соответствующими размерами зон измерений (D_1, D_2, D_3) , причем $D_1 > D_2 > D_3$;

- требования по точности оценки параметров движения ЛА, определяющие размер области R_θ соответственно для трех возможных типовых измерительных экспериментов и для всех этапов планирования, задаваемые векторами $\Delta \hat{\theta}_{1_{mp(i)}}, \Delta \hat{\theta}_{2_{mp(i)}}, \Delta \hat{\theta}_{3_{mp(i)}}$.

При этом расстояния между границами требований области R_θ по каждой оси могут задаваться в виде учетверенного или шестикратного значения среднеквадратических отклонений погрешностей оценки координат.



нат ЛА и составляющих вектора скорости, которые задаются разработчиками систем вооружения;

- P_{0i} ($i = \overline{1, \dots, I}$) - значения доверительных вероятностей для всех этапов планирования и для всех типов измерительных экспериментов, когда выполняется следующее условие: $\bar{\sigma}_{\hat{\theta}} \in \varepsilon(\hat{\theta})$;

- исходный вектор средств траекторных измерений $\bar{S}_{исх}$, полученный в результате работы алгоритма кластеризации средств ТИ (первичной обработки заявок на проведение ОКР по разработке средств ТИ), используемый на последующих этапах решения задачи программно-целевого планирования развития таких средств;

- вектор разнотипных средств траекторных измерений $\bar{S}_{пер}$, разработка которых в рамках ОКР была начата в предыдущем плановом периоде, и которые являются переходящими работами.

Исходный вектор средств траекторных измерений ($\bar{S}_{исх}$), используемый на последующих этапах долгосрочного планирования развития таких средств, может быть представлен в виде следующего составного вектора:

$$\bar{S}_{исх} = [\bar{S}_{\lambda=1} \mid \bar{S}_{\lambda=2} \mid \bar{S}_{\lambda=3}],$$

где $\bar{S}_{\lambda=1} = [S_{11} \dots S_{1n}]$ - вектор средств ТИ, имеющих дальность действия не более D_1 (как правило, это радиолокационные и фазометрические средства траекторных измерений);

- $\bar{S}_{\lambda=2} = [S_{21} \dots S_{2m}]$ - вектор средств ТИ, имеющих дальность действия не более D_2 (как правило, это оптико-электронные средства траекторных измерений средней дальности действия);

- $\bar{S}_{\lambda=3} = [S_{31} \dots S_{3k}]$ - вектор средств ТИ, имеющих дальность действия не более D_3 (как правило, это оптико-электронные средства траекторных измерений малой дальности действия).

С вектором состояния системы $\bar{S}_{исх}$ связан составной вектор $\bar{C}_{исх}$ стоимости планируемых к разработке разнотипных средств

ТИ, который можно записать в следующем виде:

$$\bar{C}_{исх} = [\bar{C}_{\lambda=1} \mid \bar{C}_{\lambda=2} \mid \bar{C}_{\lambda=3}],$$

где $\bar{C}_{\lambda=1} = [C_{11} \dots C_{1n}]$ - вектор стоимости разнотипных средств ТИ, имеющих дальность действия не более D_1 ;

- $\bar{C}_{\lambda=2} = [C_{21} \dots C_{2m}]$ - вектор стоимости разнотипных средств ТИ, имеющих дальность действия не более D_2 ;

- $\bar{C}_{\lambda=3} = [C_{31} \dots C_{3k}]$ - вектор стоимости разнотипных средств ТИ, имеющих дальность действия не более D_3 .

Для решения задачи программно-целевого планирования развития средств ТИ необходимо определить основные параметры типовых измерительных экспериментов.

Так, типовой измерительный эксперимент T_1 представляет собой траекторный измерительный комплекс, состоящий из трех РЛС ТИ или фазометрических средств ТИ, расположенных на местности в вершинах равностороннего треугольника со стороной B_1 , равной $1,2 \cdot D_1$.

Типовые измерительные эксперименты T_2 и T_3 представляет собой траекторные измерительные комплексы, состоящие соответственно из трех оптикоэлектронных средств ТИ средней и малой дальности, расположенных на местности в вершинах равносторонних треугольников со сторонами, соответственно равными $B_2 = 1,2 \cdot D_2$ и $B_3 = 1,2 \cdot D_3$.

Каждому планируемому к разработке средству траекторных измерений $S_{\lambda\delta}$, входящему в составной исходный вектор $\bar{S}_{исх}$ приписывается временной интервал $J_{\lambda\delta}$ (в годах) его разработки и серийного производства, после окончания которого это средство может появиться на испытательных полигонах. При этом заданы значения финансовых затрат на разработку каждого $S_{\lambda\delta}$ средства по годам $C_{i(\lambda\delta)}$, где $i_{\lambda\delta} \in (1, \dots, J_{\lambda\delta})$.

Поскольку планируемые опытно-конструкторские работы по созданию новых средств ТИ дают эффект только после вне-

дрения серийных образцов этих средств на полигонах, то для обоснования плана развития средств траекторных измерений целесообразнее воспользоваться рекуррентным функциональным уравнением операции динамического программирования для обратной прогонки.

Тогда для формирования номенклатурного ряда средств ТИ для потребного варианта развития таких средств основное рекуррентное функциональное уравнение операции динамического программирования для обратной прогонки будет иметь следующий вид:

$$P_i(\bar{S}_i) = \max_{\bar{S}_i \in \bar{S}_{\text{всх}}} \left\{ p_i(\bar{S}_i, \bar{C}_i) \cdot P_{i+1} \left(\varphi_i \left(\bar{S}_{\text{ocm}(i+1)} \right) \right) \right\},$$

где $\bar{S}_{\text{ocm}(i+1)}$ - остаток номенклатуры средств траекторных измерений от проведенных операций планирования на конец $i+1$ -го этапа планирования;

- $P_i(\bar{S}_i)$ - условный оптимальный выигрыш (значение вероятности попадания вектора погрешности оценки параметров движения ЛА ($\bar{\sigma}_{\hat{\theta}}$) в заданную многомерную область $\varepsilon(\hat{\theta})$), полученный на всех этапах управления, включая от i -го до I -го этапа планирования;

- $P_{i+1} \left(\varphi_i \left(\bar{S}_{\text{ocm}(i+1)} \right) \right)$ - условный оптимальный выигрыш, полученный на всех этапах, включая от $(i+1)$ до I -го этапа планирования.

При этом на каждом i -ом этапе планирования решается следующая целочисленная задача математического программирования без ограничений на финансирование проводимых опытно-конструкторских работ:

$$\begin{aligned} \bar{S}_i &= \left[\bar{S}_{\lambda=1(i)} \mid \bar{S}_{\lambda=2(i)} \mid \bar{S}_{\lambda=3(i)} \right] = \\ &= \underset{\bar{S}_i \in \bar{S}_{\text{ocm}(i+1)}}{\text{Arg max}} p_i \left\{ C_i, \bar{S}_{\text{ocm}(i+1)} \right\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Задача (2) решается при ограничениях вида $p_i(\bar{\sigma}_{\hat{\theta}} \in R_n) \geq P_{0i}$ для всех типов измерительных экспериментов, имеющих место на i -м этапе планирования.

В выражении (2) вектор $\bar{S}_{\text{ocm}(i+1)}$ обозначает набор средств ТИ, оставшийся после распределения на $i+1$ -ом этапе планирования.

В связи с наличием финансовых ограничений на разработку новых средств траекторных измерений при формировании номенклатурного ряда средств ТИ для минимально необходимого варианта их развития на первой фазе планирования необходимо провести распределение ассигнований на разработку тех средств ТИ, которые обеспечили бы в полном объеме испытания на полигонах приоритетных образцов ВВСТ. Вторая фаза планирования развития средств ТИ связана с распределением оставшихся финансовых ресурсов на создание новых средств ТИ для обеспечения испытаний других видов образцов ВВСТ.

Основное функциональное уравнение операции динамического программирования при формировании номенклатурного ряда средств ТИ для минимально необходимого варианта их развития для обратной прогонки будет иметь следующий вид:

$$P_i(\bar{S}_i) = \max_{\bar{S}_i \in \bar{S}_{\text{всх}}} \left\{ p_i(\bar{S}_i, \bar{C}_i) \times \right. \\ \left. \times P_{i+1} \left(\varphi_i \left(C_{\text{ocp}} - \sum_{i=i_N}^{i+1} \sum_{k=1}^{K_i} C_i \right) \right) \right\},$$

где $P_i(\bar{S}_i)$ - условный оптимальный выигрыш, полученный на всех этапах управления, включая от этапа $i=i_N$ до текущего этапа планирования;

K_i - количество средств ТИ k -го типа, распределенных на i -м этапе планирования.

При этом для каждого этапа (от $i=i_N$ до $i=i_1$), где планируется проведение испытаний приоритетных образцов ВВСТ, решается задача целочисленного программирования вида

$$\begin{aligned} \bar{S}_i &= \left[\bar{S}_{\lambda=1(i)} \mid \bar{S}_{\lambda=2(i)} \mid \bar{S}_{\lambda=3(i)} \right] = \\ &= \underset{\bar{S}_i \in \bar{S}_{\text{ocm}(i+1)}}{\text{Arg max}} p_i \left(\bar{S}_{\text{ocm}(i+1)}, \bar{C}_i \right) \end{aligned} \quad (3)$$

для всех планируемых типов измерительных экспериментов на полигонах и при ограничениях: $p_i(\bar{\sigma}_{\hat{\theta}} \in R_n) \geq P_{0i}$.

В выражении (3) вектор $\bar{S}_{\text{ocm}(1)}$ обозначает набор средств ТИ, оставшихся от предыдущего этапа распределения средств, на котором планируется испытание приоритетного образца ВВСТ.



Если после окончания первой фазы процесса планирования средств траекторных измерений, которые необходимы для обеспечения испытаний приоритетных образцов ВВСТ, имеется остаток ассигнований, то он последовательно распределяется на этапы планирования с $i = i_{n-1}$ в направлении первого этапа планирования до полного исчерпания.

Алгоритмы решения задачи обоснования плана развития средств траекторных измерений испытательных полигонов для долгосрочных программных документов

Обобщенный алгоритм построения потребного варианта развития средств траекторных измерений для долгосрочных плановых документов приведен на рисунке 1.

Основными исходными данными для работы данного алгоритма являются следующие:

- этапы планирования развития средств траекторных измерений в долгосрочном плановом документе ($i = 1, \dots, I$);
- типы измерительных экспериментов (T_1, T_2, T_3), имеющих место на всех этапах планирования развития средств ТИ;

- размеры зон R_n допустимых погрешностей оценки параметров движения ЛА и значения доверительной вероятности P_{0i} для всех этапов планирования развития средств траекторных измерений и всех имеющих место типов измерительных экспериментов (T_1, T_2, T_3);

- вектор переходящих ОКР ($\bar{S}_{пер}$) на планируемый период развития разнотипных средств ТИ и вектор их стоимости ($\bar{C}_{пер}$);

- исходный вектор средств ТИ ($\bar{S}_{исх}$), полученный в результате работы алгоритма устранения дублирования таких средств [2], и соответствующий вектор их стоимости ($\bar{C}_{исх}$).

Согласно приведенному алгоритму планирование начинается с последнего I -го этапа (последнего календарного года).

В блоке 2 алгоритма текущее значение вектора номенклатурного ряда средств ТИ (\bar{S}_i) принимается равным вектору $\bar{S}_{пер}$. Далее для такого значения вектора вычисляется вероятность попадания вектора σ_{δ} в допустимую область точности R_n



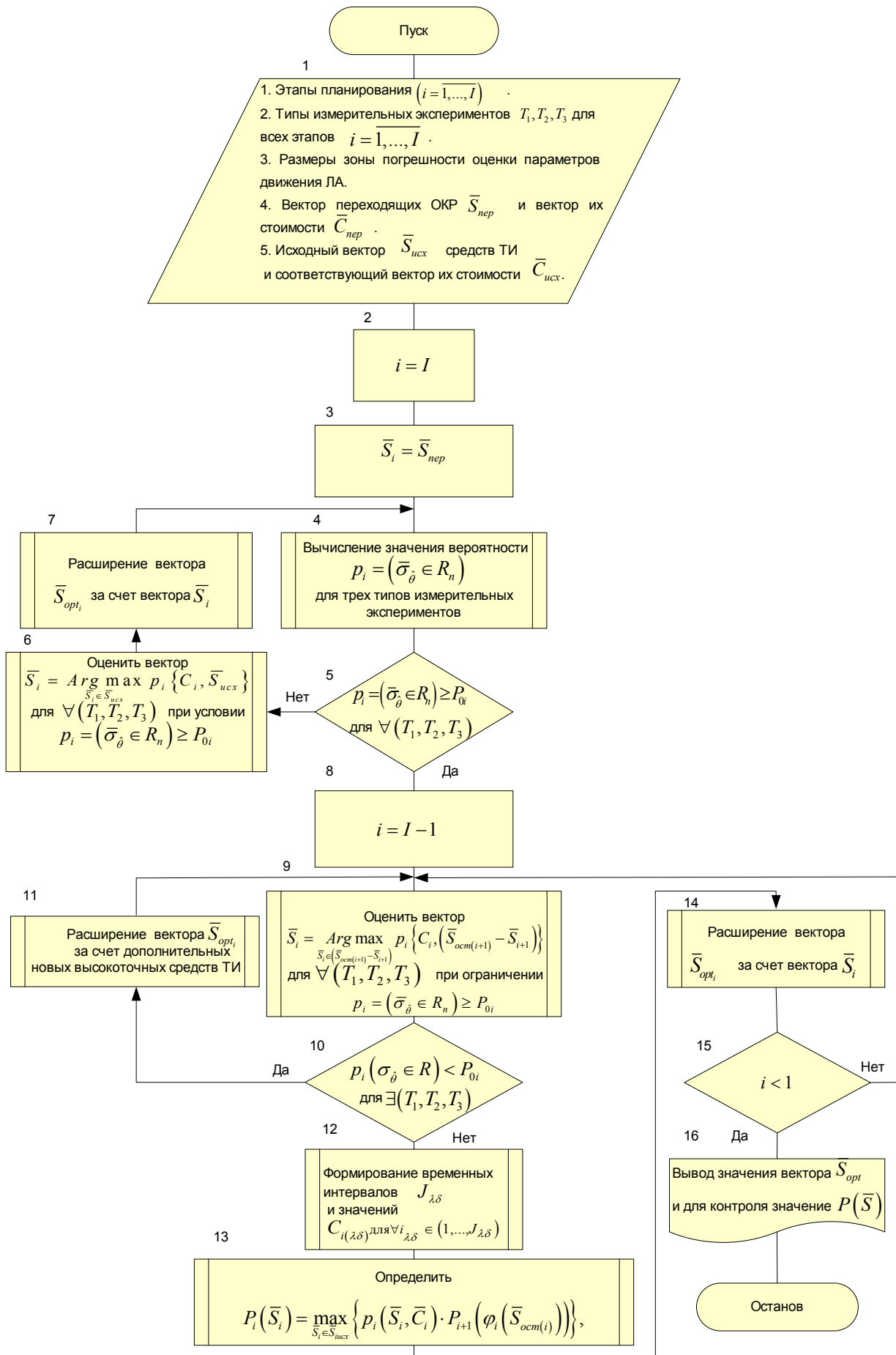


Рисунок 1 – Обобщенный алгоритм построения условно оптимального потребного варианта развития средств траекторных измерений для долгосрочных плановых документов



Затем в блоке 5 проверяется выполнение условия $p_i(\bar{\sigma}_\theta \in R_n) \geq P_{0i}$ для всех имеющих место типов измерительных экспериментов. В случае отрицательного решения в блоке 6 решается оптимизационная задача по оценке набора средств ТИ (\bar{S}_i), который бы совместно со средствами ТИ (\bar{S}_{nep}) (блок 7) позволили выполнить требования по точности оценки вектора параметров движения ЛА для всех типов измерительных экспериментов, планируемых на последний год планового периода.

В случае положительного решения в блоке 5 алгоритма начинается последовательный процесс оценки значений векторов (\bar{S}_i) для интервалов планирования $i = \overline{1, \dots, I-1}$. При этом решается задача целочисленного программирования вида

$$\begin{aligned} \bar{S}_i &= [\bar{S}_{\lambda=1(i)} \mid \bar{S}_{\lambda=2(i)} \mid \bar{S}_{\lambda=3(i)}] = \\ &= \underset{\bar{S}_i \in \bar{S}_{ocm(i+1)}}{\text{Arg max}} p_i \{C_i, \bar{S}_{ocm(i+1)}\} \end{aligned}$$

для всех планируемых типов измерительных экспериментов и при ограничениях: $p_i(\sigma_\theta \in R_{n_i}) \geq P_{0i}$.

В случае невыполнения условия блока 10 хотя бы для одного типа измерительного эксперимента формирование оптимального набора средств ТИ проводится за счет дополнительных высокоточных средств траекторных измерений, на которые разрабатываются соответствующие тематические карточки (блок 11 алгоритма).

При этом на каждом i -ом этапе планирования в блоке 12 алгоритма проводится формирование временных интервалов разработки и серийного производства спланированных средств ТИ и откладывание их в направлении первого этапа планового периода. Кроме того, фиксируются спланированные стоимости на разработку этих средств ТИ на каждый календарный год в рамках рассматриваемых временных интервалов разработки и серийного производства спланированных средств ТИ.

Далее в блоке 13 проводится вычисление условного оптимального выигрыша $P_i(\bar{S}_i)$, т.е. значения вероятности попадания векто-

ра $\bar{\sigma}_\theta$ погрешности оценки параметров движения ЛА в заданную многомерную область $\varepsilon(\hat{\theta})$.

Кроме того, на каждом i -м этапе планирования определяется значение вектора \bar{S}_{opt_i} , определяющего оптимальный номенклатурный ряд средств ТИ на i -м этапе планирования. Значение вектора \bar{S}_{opt_i} находится путем расширения вектора $\bar{S}_{opt_{i+1}}$ за счет полученного на данном этапе вычислений вектора \bar{S}_i .

В случае, если в процессе планирования все средства, входящие в вектор \bar{S}_{ucx} будут распределены или в составе этого вектора останутся средства, не позволяющие выполнять требования по точности оценки параметров движения ЛА для всех типов измерительных экспериментов, то вектор \bar{S}_{ucx} восстанавливается заново. При этом распределение средств ТИ на последующих этапах будет проводиться из восстановленного значения вектора \bar{S}_{ucx} . Этап повторного распределения вектора \bar{S}_{ucx} запоминается в алгоритме.

Выходной информацией обобщенного алгоритма обратной прогонки является вектор \bar{S}_{opt} , обозначающий условно оптимальный потребный вариант развития средств траекторных измерений для долгосрочных плановых документов.

При работе алгоритма прямой прогонки планирования средств ТИ проводится сокращение размерности вектора \bar{S}_{opt} , обозначающего условно оптимальный потребный вариант развития средств траекторных измерений с использованием следующей процедуры. Находится тот этап планирования средств ТИ, где формирование вектора \bar{S}_i проводилось из восстановленного заново вектора \bar{S}_{ucx} , а также определяется номер этапа, где впервые средства ТИ, входящие в этот вектор, были распределены (например, этап $(i+c)$). В этом случае из вектора \bar{S}_{i+c} изымаются средства ТИ, которые повторно



вошли в вектор \bar{S}_i . Такая процедура проводится и для всех остальных этапов планирования, где формирование текущего вектора \bar{S}_i проводилось из восстановленного заново вектора $\bar{S}_{исх}$. Применение этой процедуры позволяет сократить размерность вектора \bar{S}_{opt} .

Кроме того, алгоритм предусматривает для каждого этапа планирования (от $i=1$ до I -го) вычисление значения вектора \bar{C}_i ($i = \overline{1, \dots, I}$), определяющего выделяемые финансовые ресурсы на разработку спланированных на соответствующие календарные годы разнотипных средств ТИ.

Обобщенный алгоритм построения минимально необходимого варианта развития средств траекторных измерений для долгосрочных плановых документов приведен на рисунке 2.

По сравнению с алгоритмом построения потребного варианта развития средств траекторных измерений дополнительными исходными данными для работы данного алгоритма являются следующие:

- моменты времени t_n, \dots, t_N начала испытаний приоритетных образцов ВВСТ, совпадающими с этапами (i_n, \dots, i_N) планирования средств ТИ;

- значение финансовых ограничений на проведение ОКР ($C_{окр}$).

Согласно приведенному алгоритму планирование начинается с последнего i_N -го этапа (календарного года) когда планируется начало испытаний приоритетного образца ВВСТ.

В блоке 3 алгоритма текущее значение вектора номенклатурного ряда средств ТИ (\bar{S}_i) принимается равным вектору $\bar{S}_{пер}$. Далее для такого значения вектора вычисляется вероятность попадания вектора σ_{δ} в допустимую область точности R_n для планируемых типов измерительных экспериментов.

Затем в блоке 5 проверяется выполнение условия $p_i(\bar{\sigma}_{\delta} \in R_n) \geq P_{0i}$ для всех планируемых типов измерительных экспериментов.

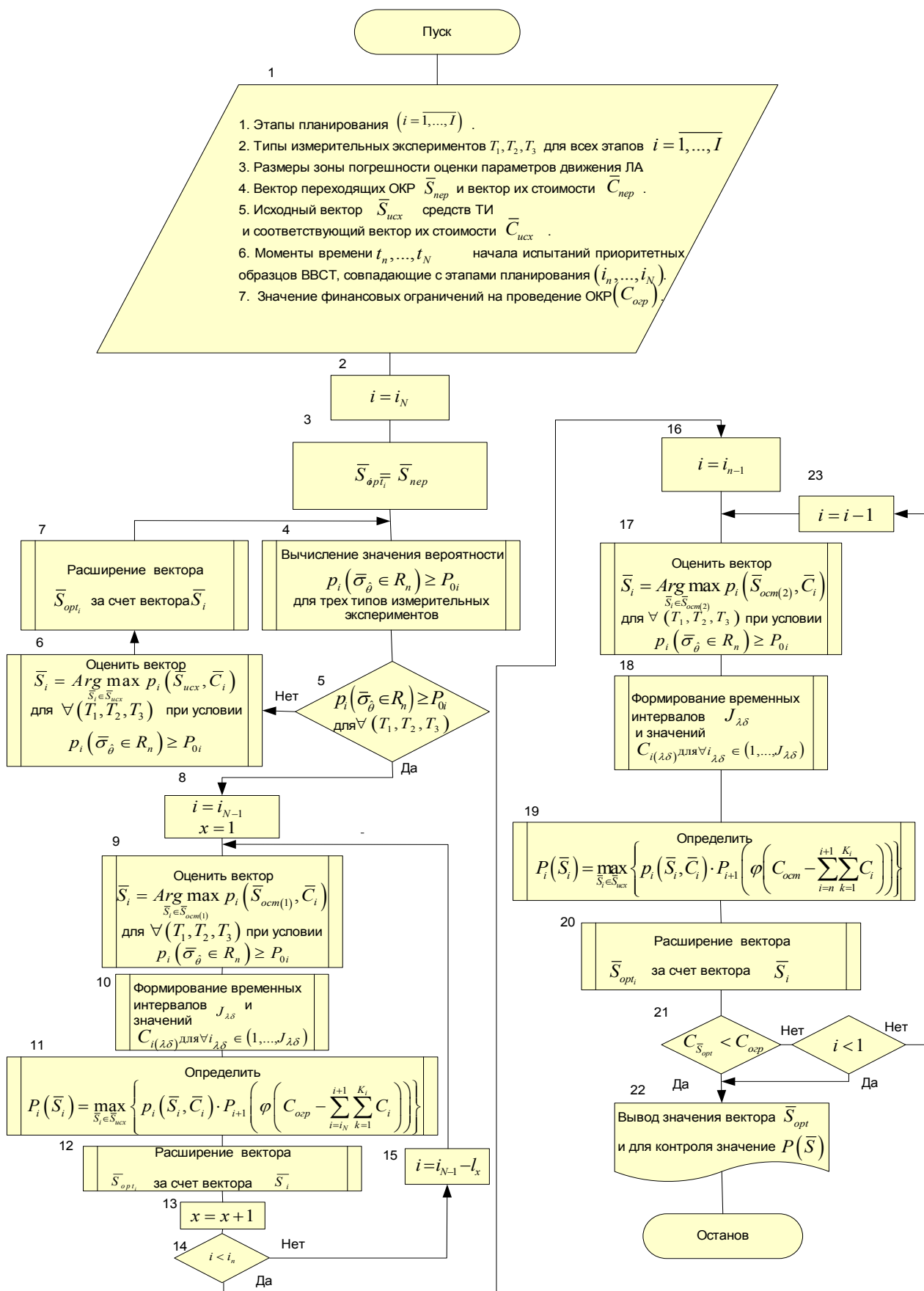


Рисунок 2 – Обобщенный алгоритм построения условно оптимального минимально необходимого варианта развития средств траекторных измерений для долгосрочных плановых документов

ВООРУЖЕНИЕ И ЭКОНОМИКА №2(10) 2010 Г.



В случае отрицательного решения в блоке 5 алгоритма решается оптимизационная задача по оценке набора средств ТИ (\bar{S}_i), который бы совместно с переходящими средствами ТИ (вектор $\bar{S}_{пер}$) позволили выполнить требования по точности оценки вектора параметров движения ЛА для всех типов измерительных экспериментов, планируемых при испытаниях приоритетного образца ВВСТ (см. блок 7).

В случае положительного решения в блоке 5 алгоритма начинается последовательный процесс оценки значений векторов (\bar{S}_i) для интервалов планирования от $i = i_{N-1}$ до $i = i_n$, для которых планируется проведение испытаний приоритетных образцов ВВСТ (блоки 8...14). При этом для каждого i -го этапа решается задача целочисленного программирования вида

$$\begin{aligned} \bar{S}_i &= [\bar{S}_{\lambda=1(i)} \mid \bar{S}_{\lambda=2(i)} \mid \bar{S}_{\lambda=3(i)}] = \\ &= \underset{S_i \in \bar{S}_{ocm(i+1)}}{\text{Arg max}} p_i(\bar{S}_{ocm(i+1)}, \bar{C}_i) \end{aligned}$$

для всех планируемых типов измерительных экспериментов и при ограничениях: $p_i(\bar{\sigma}_{\hat{\theta}} \in R_{n_i}) \geq P_{0i}$.

При этом на каждом i -ом этапе планирования в блоке 10 алгоритма проводится формирование временных интервалов разработки и серийного производства спланированных средств ТИ и откладывание их в направлении первого этапа планового периода. Кроме того, фиксируются спланированные стоимости на разработку этих средств ТИ на каждый календарный год в рамках рассматриваемых временных интервалов разработки и серийного производства спланированных средств ТИ.

В блоке 11 алгоритма для каждого цикла вычислений проводится оценка условного оптимального выигрыша $P_i(\bar{S}_i)$, т.е. значения вероятности попадания вектора $\bar{\sigma}_{\hat{\theta}}$ погрешности оценки параметров движения ЛА в заданную многомерную область точности $\varepsilon(\hat{\theta})$.

Кроме того, в каждом цикле вычислений определяется значение вектора \bar{S}_{opt_i} , описы-

вающего оптимальный номенклатурный ряд средств ТИ на i -м этапе планирования. Значение вектора \bar{S}_{opt_i} находится путем расширения вектора $\bar{S}_{opt_{i+1}}$ за счет полученного на данном этапе вычислений вектора \bar{S}_i .

В случае, если после окончания процесса планирования развития средств траекторных измерений для обеспечения испытаний приоритетных образцов ВВСТ имеется остаток ассигнований, то он продолжает последовательно распределяться на этапы планирования с $i = i_{n-1}$ в направлении первого этапа планирования (блоки 16...21).

Этот последовательный процесс распределения средств ТИ по календарным годам будет продолжаться до тех пор, пока не закончатся выделенные финансовые средства (положительное решение в блоке 21) или процесс планирования не пройдет для первого этапа планирования (положительное решение в блоке 22).

В процессе реализации такого алгоритма возможен случай полного распределения компонент вектора \bar{S}_{ucx} до момента окончания финансовых ресурсов. В этом случае, как и в предыдущем алгоритме, вектор \bar{S}_{ucx} восстанавливается заново. При этом распределение средств ТИ на последующих этапах будет проводиться из восстановленного значения вектора \bar{S}_{ucx} . Этап повторного распределения вектора \bar{S}_{ucx} запоминается в алгоритме.

Выходной информацией обобщенного алгоритма обратной прогонки является вектор \bar{S}_{opt} , обозначающий условно оптимальный минимально необходимый вариант развития средств траекторных измерений для долгосрочных плановых документов.

При работе алгоритма прямой прогонки планирования средств ТИ проводится сокращения размерности вектора \bar{S}_{opt} , обозначающего условно оптимальный минимально необходимый вариант развития средств траекторных измерений в случае, если имело место восстановление значения вектора \bar{S}_{ucx} .

Такое сокращение размерности вектора \bar{S}_{opt} уже было описано в алгоритме, показанном на рисунке 1.

Таким образом, с использованием двух разработанных алгоритмов возможно провести программно-целевое планирование развития средств траекторных измерений для долгосрочных программных документов как для случая формирования потребного варианта развития средств траекторных измерений, так и при формировании минимально необходимого варианта развития таких средств обеспечения испытаний образцов ВВСТ.

В целом, разработанный методический подход и обобщенные алгоритмы позволяют решить проблемную задачу программно-целевого планирования развития средств траекторных измерений для долгосрочных программных документов.

Распространение рассмотренного методического подхода на все оставшиеся функциональные комплексы экспериментально-испытательной базы полигонов и разработка методики сбалансированного развития этих комплексов позволят решить научную проблему, состоящую в создании общей методологии программно-целевого планирования развития средств ЭИБ. При этом появится возможность включить экспериментально-испытательную базу полигонов в

общий методический цикл программно-целевого планирования развития системы вооружения, обеспечив централизацию управления процессом планирования развития средств ЭИБ и взаимную увязку мероприятий, направленных на развитие как образцов ВВСТ, так и средств обеспечения испытаний.

Список использованных источников:

1. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. – М.: Издательский дом «Граница», 2005.
2. Найденов В.Г. Алгоритм кластеризации средств траекторных измерений в задачах программно-целевого развития средств обеспечения испытаний. М.: Электронный журнал «Вооружение и экономика», №4, 2008 (http://www.mil.ru/files/v_i_e_04_2008.pdf).
3. Буренок В.М., Найденов В.Г. Методы повышения эффективности применения средств и систем обеспечения испытаний вооружения, военной и специальной техники. – М.: Издательский дом «Граница», 2006.
4. Буренок В.М. Программно-целевое планирование развития экспериментально-испытательной базы полигонов Министерства обороны Российской Федерации. – М.: Журнал «Военная мысль», № 5, 2006.
5. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных. Под ред. Агаджанова П. А., Дулевича В. Е., Коростелева А. А. – М.: Издательство «Советское радио», 1969.

