

В.Г. Найденов, доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
Е.В. Першин

### **Постановка задачи определения оптимального типажа средств экспериментально-испытательной базы полигона Минобороны России для испытаний образцов ПВО-ПРО**

*В статье приводится формализованная постановка задачи формирования оптимального типажа экспериментально-испытательных средств для испытания образцов противовоздушной и протиоракетной обороны видов и родов войск.*

Современные угрозы Российской Федерации военно-технического характера в воздушно-космической сфере предъявляют повышенные требования к системе Воздушно-космической обороны РФ по обеспечению безопасности государства при отражении ударов перспективных средств воздушно-космического нападения (СВКН).

Интенсивное развитие разнотипных СВКН, таких как баллистические и крылатые ракеты различной дальности действия, а также авиационные комплексы различного назначения, обуславливает необходимость комплексного применения для борьбы с ними разнородных средств поражения, основными из которых являются вооружение и военная техника противовоздушной и протиоракетной обороны (ПВО-ПРО) видов и родов Вооруженных Сил Российской Федерации.

В этих условиях важнейшими задачами развития вооружения ПВО-ПРО являются повышение их боевых возможностей за счет оснащения войск современными системами и образцами вооружения военной и специальной техники (ВВСТ), а также поддержание в боеготовом состоянии существующих систем вооружений для защиты жизненно важных интересов РФ от внешних и внутренних угроз [1].

Создание перспективных образцов ВВТ представляет собой сложный и многоэтапный процесс, в котором одним из ключевых, достаточно трудоемких и длительных этапов является их экспериментальная отработка и испытания с целью оценки соответствия реальных значений их тактико-технических характеристик и показателей боевой эффективности требованиям, определенным тактико-техническими заданиями на разработку данных образцов [2]. Испытания служат объективной основой оценивания качества образцов ВВТ и принятия соответствующих решений на всех стадиях их жизненного цикла.

В связи с этим процесс программно-целевого планирования развития средств экспериментально-испытательной базы (ЭИБ) полигонов Минобороны России должен быть максимально скоординирован с процессом создания и проведения испытаний финишных образцов ВВТ. При этом важной научной задачей является определение оптимального типажа разрабатываемых средств ЭИБ, необходимых для дооборудования испытательных полигонов, позволяющих обеспечить выполнение в полном объеме требований, предъявляемых со стороны испытываемых образцов ВВТ.

Анализ проведенных работ по разработке научно-методического аппарата формирования оптимального типажа средств ЭИБ испытательных полигонов для испытания образцов ПВО-ПРО Минобороны России [2] показал, что существующий научно-методический аппарат включает в себя обособленные частные методы формирования вариантов программных мероприятий в части формирования типажа средств ЭИБ для отдельных функциональных комплексов (ФК) полигонов без учета их взаимодействия. При этом в указанных работах выявлено следующее:

- отсутствие научно-методического аппарата обоснования оптимального типажа средств экспериментально-испытательной базы в целом для всех ФК в масштабе хотя бы одного испытательного полигона;
- формирование программных мероприятий в части средств помеховых и вычислительных комплексов в основном базируется на эвристических алгоритмах и методах экспертных оценок.

Таким образом, в настоящее время возникло объективное противоречие между потребностью в научном обосновании типажа средств экспериментально-испытательной базы полигонов Минобороны России для испытания образцов ПВО-ПРО в интересах формирования рационального варианта их развития и отсутствием соответствующего полного научно-методического аппарата по решению такой задачи.

В настоящей статье представлен методический подход к обоснованию оптимального типажа средств экспериментально-испытательной базы отдельного испытательного полигона Минобороны России для испытания образцов ПВО-ПРО, основанный на применении аппарата целочисленного математического программирования и процедурах сравнения значений требований, предъявляемых со стороны испытываемых образцов ВВТ к функциональным комплексам ЭИБ испытательных полигонов, с их возможностями.

Известно, что для проведения государственных испытаний образцов ВВТ используется испытательный комплекс Министерства обороны Российской Федерации, оборудованный средствами экспериментально-испытательной базы.

Экспериментально-испытательная база полигонов является сложной технической системой, которая позволяет создать условия проведения испытаний образцов ВВТ, адекватных их боевому применению и режимам эксплуатации, а также оценить с требуемой оперативностью и достоверностью достигнутые тактико-технические характеристики, что позволяет должностным лицам принимать обоснованные решения о возможности принятия на вооружение испытываемых образцов ВВТ.

Экспериментально-испытательная база испытательного полигона для испытания образцов ПВО-ПРО представляет собой неоднородную систему и состоит из нескольких основных функциональных комплексов, а именно – измерительного, мишенного, помехового и вычислительного комплексов, выполняющих принципиально разные функции, имеющих различные структуру и принципы построения.

Так, измерительный комплекс (ИК) предназначен для получения первоначальной статистической информации о качестве функционирования испытываемых образцов ВВТ в виде траекторных, радиотелеметрических, сигнальных и других видов измерений, а также их математической обработки. Поэтому будем рассматривать в составе измерительного комплекса полигона траекторный измерительный комплекс (ТИК), радиотелеметрический комплекс (РТК) и комплекс сигнальных измерений (КСИ).

Помеховый комплекс полигона (ПК) включает в себя наземные и бортовые средства постановки различных типов помех и предназначен для создания на испытательном полигоне фоновой обстановки, адекватной условиям боевого применения испытываемых образцов ВВТ.

Мишенный комплекс полигона (МК) включает с себя воздушные, баллистические, наземные, морские и другие виды мишеней, предназначенных для создания на испытательном полигоне целевой обстановки, адекватной условиям боевого применения испытываемых образцов ВВТ.

Вычислительный комплекс (ВК) предназначен для получения оценок реальных значений тактико-технических характеристик и показателей боевой эффективности испытываемых образцов ВВТ.

При постановке задачи определения оптимального типажа средств ЭИБ испытательного полигона Минобороны РФ для испытания образцов ПВО-ПРО необходимо сформировать ряд исходных данных.

Так, предлагаемые к разработке средства ЭИБ, необходимые для дооснащения полигона представим в виде составного вектора  $S_N$  вида:

$$S_N = [S_{ТИК} : S_{РТК} : S_{КСИ} : S_{ПК} : S_{МК} : S_{ВК}],$$

где  $S_{ТИК}$ ,  $S_{РТК}$ ,  $S_{КСИ}$ ,  $S_{ПК}$ ,  $S_{МК}$ ,  $S_{ВК}$  – составные векторы, характеризующие набор средств траекторных, радиотелеметрических, сигнальных измерений, средств помеховых, мишенных и вычислительных средств, необходимых для дооснащения полигона для испытания образцов ПВО-ПРО с целью оценки выполнения всех требований, предъявляемых соответственно к ТИК, РТК, КСИ, ПК, МК и ВК со стороны испытываемых систем вооружения. Данные составные векторы могут быть представлены в следующем виде:

$$S_{ТИК} = [S_{n=1_{ТИК}} : \dots : S_{n=N_{ТИК}}], S_{РТК} = [S_{n=1_{РТК}} : \dots : S_{n=N_{РТК}}], S_{КСИ} = [S_{n=1_{КСИ}} : \dots : S_{n=N_{КСИ}}],$$

$$S_{ПК} = [S_{n=1_{ПК}} : \dots : S_{n=N_{ПК}}], S_{МК} = [S_{n=1_{МК}} : \dots : S_{n=N_{МК}}], S_{ВК} = [S_{n=1_{ВК}} : \dots : S_{n=N_{ВК}}].$$

Значения технических характеристик (возможностей) средств функциональных комплексов ЭИБ могут быть представлены в виде следующих составных векторов:

$$V_{ТИК} = [V_{n=1_{ТИК}} : \dots : V_{n=N_{ТИК}}], V_{РТК} = [V_{n=1_{РТК}} : \dots : V_{n=N_{РТК}}], V_{КСИ} = [V_{n=1_{КСИ}} : \dots : V_{n=N_{КСИ}}],$$

$$V_{ПК} = [V_{n=1_{ПК}} : \dots : V_{n=N_{ПК}}], V_{МК} = [V_{n=1_{МК}} : \dots : V_{n=N_{МК}}], V_{ВК} = [V_{n=1_{ВК}} : \dots : V_{n=N_{ВК}}].$$

где значения технических характеристик средств траекторных, радиотелеметрических, сигнальных измерений, средств помеховых, мишенных и вычислительных средств, которые имеют индекс 1, представлены следующими составными векторами:

$$V_{n=1_{ТИК}} = [v_{i=1} : \dots : v_{i=F_{S_{ТИК}}}], V_{n=1_{РТК}} = [v_{i=1} : \dots : v_{i=F_{S_{РТК}}}], V_{n=1_{КСИ}} = [v_{i=1} : \dots : v_{i=F_{S_{КСИ}}}],$$

$$V_{n=1_{ПК}} = [v_{i=1} : \dots : v_{i=F_{S_{ПК}}}], V_{n=1_{МК}} = [v_{i=1} : \dots : v_{i=F_{S_{МК}}}], V_{n=1_{ВК}} = [v_{i=1} : \dots : v_{i=F_{S_{ВК}}}],$$

где  $F_{S_{ТИК}}$ ,  $F_{S_{РТК}}$ ,  $F_{S_{КСИ}}$ ,  $F_{S_{МК}}$ ,  $F_{S_{ПК}}$ ,  $F_{S_{ВК}}$  – количество технических характеристик соответственно траекторных, радиотелеметрических, сигнальных измерений, средств помеховых, мишенных и вычислительных комплексов, которые предлагаются для разработки.

Значения требований, предъявляемых к разрабатываемым средствам функциональных комплексов со стороны испытываемых образцов вооружения, могут быть представлены в виде следующих составных векторов:

$$T_{ТИК} = [T_{n=1_{ТИК}} : \dots : T_{n=N_{ТИК}}], T_{РТК} = [T_{n=1_{РТК}} : \dots : T_{n=N_{РТК}}], T_{КСИ} = [T_{n=1_{КСИ}} : \dots : T_{n=N_{КСИ}}],$$

$$T_{ПК} = [T_{n=1_{ПК}} : \dots : T_{n=N_{ПК}}], T_{МК} = [T_{n=1_{МК}} : \dots : T_{n=N_{МК}}], T_{ВК} = [T_{n=1_{ВК}} : \dots : T_{n=N_{ВК}}],$$

где требования к средствам траекторных, радиотелеметрических, сигнальных измерений, средствам помеховых, мишенных и вычислительных средств, которые имеют индекс 1, могут быть представлены следующими составными векторами:

$$T_{n=1_{ТИК}} = [t_{i=1} : \dots : t_{i=F_{S_{ТИК}}}], T_{n=1_{РТК}} = [t_{i=1} : \dots : t_{i=F_{S_{РТК}}}], T_{n=1_{КСИ}} = [t_{i=1} : \dots : t_{i=F_{S_{КСИ}}}],$$

$$T_{n=1_{ПК}} = [t_{i=1} : \dots : t_{i=F_{S_{ПК}}}], T_{n=1_{МК}} = [t_{i=1} : \dots : t_{i=F_{S_{МК}}}], T_{n=1_{ВК}} = [t_{i=1} : \dots : t_{i=F_{S_{ВК}}}],$$

В качестве критерия оптимизации выберем суммарные затраты на разработку и изготовление новых средств ЭИБ, поставляемых на испытательный полигон. При этом для каждого  $n$ -го средства ЭИБ будем считать известной стоимость его разработки и изготовления  $C_{n_s}$ , где  $n_s = \overline{1, N}$ .

Постановка задачи определения оптимального типажа средств ЭИБ испытательного полигона для испытания образцов ПВО-ПРО может быть осуществлена с использованием следующего функционала:

$$C_{opt}(\mathbf{S}_N) = \underset{\mathbf{S}_N \in \Omega}{\operatorname{Argmin}} \left\{ \sum_{n_{S_{ТИК}}=1}^{N_{S_{ТИК}}} C_{n_{S_{ТИК}}}(S_{n_{ТИК}}) \cdot k_{n_{ТИК}} + \sum_{n_{S_{РТК}}=1}^{N_{S_{РТК}}} C_{n_{S_{РТК}}}(S_{n_{РТК}}) \cdot k_{n_{РТК}} + \sum_{n_{S_{КСИ}}=1}^{N_{S_{КСИ}}} C_{n_{S_{КСИ}}}(S_{n_{КСИ}}) \cdot k_{n_{КСИ}} + \right. \\ \left. + \sum_{n_{S_{ПК}}=1}^{N_{S_{ПК}}} C_{n_{S_{ПК}}}(S_{n_{ПК}}) \cdot k_{n_{ПК}} + \sum_{n_{S_{МК}}=1}^{N_{S_{МК}}} C_{n_{S_{МК}}}(S_{n_{МК}}) \cdot k_{n_{МК}} + \sum_{n_{S_{БК}}=1}^{N_{S_{БК}}} C_{n_{S_{БК}}}(S_{n_{БК}}) \cdot k_{n_{БК}} \right\} \quad (1)$$

где  $\Omega$  – область изменения вектора  $\mathbf{S}_N$ ;

$k_{n_{ТИК}}, k_{n_{РТК}}, k_{n_{КСИ}}, k_{n_{ПК}}, k_{n_{МК}}, k_{n_{БК}}$  – необходимое количество соответственно средств траекторных, радиотелеметрических, сигнальных измерений, а также средств помеховых, мишенных и вычислительных комплексов  $n$ -го типа, позволяющее в полном объеме выполнить требования, предъявляемые к функциональным комплексам полигона со стороны испытываемых образцов ВВТ.

При этом имеет место следующая система ограничений:

$$\begin{aligned} v_{in}(S_{ТИК}) &\geq t_{in}(S_{ТИК}), \text{ при } i = \overline{1, F_{S_{ТИК}}}, n = \overline{1, N_{S_{ТИК}}}, \\ v_{in}(S_{РТК}) &\geq t_{in}(S_{РТК}), \text{ при } i = \overline{1, F_{S_{РТК}}}, n = \overline{1, N_{S_{РТК}}}, \\ v_{in}(S_{КСИ}) &\geq t_{in}(S_{КСИ}), \text{ при } i = \overline{1, F_{S_{КСИ}}}, n = \overline{1, N_{S_{КСИ}}}, \\ v_{in}(S_{ПК}) &\geq t_{in}(S_{ПК}), \text{ при } i = \overline{1, F_{S_{ПК}}}, n = \overline{1, N_{S_{ПК}}}, \\ v_{in}(S_{МК}) &\geq t_{in}(S_{МК}), \text{ при } i = \overline{1, F_{S_{МК}}}, n = \overline{1, N_{S_{МК}}}, \\ v_{in}(S_{БК}) &\geq t_{in}(S_{БК}), \text{ при } i = \overline{1, F_{S_{БК}}}, n = \overline{1, N_{S_{БК}}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $i$ -порядковый номер технической характеристики средства ЭИБ или порядковый номер требования, предъявляемого к этой характеристике;

$n$ -порядковый номер типа рассматриваемых средств функциональных комплексов экспериментально-испытательной базы полигона.

Система ограничений (2) предполагает выполнение всеми функциональными комплексами полигона требований, предъявляемых к ним со стороны испытываемых систем вооружения.

Задача (1) с системой ограничений (2) представляет собой сложную линейную целочисленную задачу математического программирования, для решения которой может быть использован один из алгоритмов неполного перебора метода ветвей и границ.

Областью определения функционала (1) является набор компонентов составного вектора  $\mathbf{S}_N = [S_{ТИК} : S_{РТК} : S_{КСИ} : S_{ПК} : S_{МК} : S_{БК}]$ . Однако кроме этих компонент в области определения задачи существуют переменные  $k_{n_{ТИК}}, k_{n_{РТК}}, k_{n_{КСИ}}, k_{n_{ПК}}, k_{n_{МК}}, k_{n_{БК}}$  ( $n = \overline{1, N}$ ), которые, как было отмечено выше, обозначают необходимое количество соответственно средств траекторных, радиотелеметрических, сигнальных измерений, а также средств помеховых, мишенных и вычислительных комплексов, позволяющее в полном объеме выполнить требования, предъявляемые к функциональным комплексам полигона со стороны испытываемых образцов ВВТ.

Необходимое для дооснащения полигона количество соответственно средств траекторных, радиотелеметрических, сигнальных измерений, а также средств помеховых, мишенных и вычислительных комплексов, позволяющее в полном объеме выполнить требования, определяется с использованием специальных методик априорной оценки показателей качества рассматриваемых на полигоне функциональных комплексов.

Так, для траекторного измерительного комплекса [3], оснащенного наземными радиотехническими оптико-электронными измерительными средствами, а также бортовыми траекторными измерителями, использующими навигационные поля спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS, в качестве показателя его качества можно использовать апробированный в работе [4] обобщенный показатель точности  $Q(k)$  траекторно-измерительного комплекса следующего вида:

$$Q(k) = P\{\Delta\hat{\theta}(k) \subset B\} \geq P_d,$$

где  $\Delta\hat{\theta}(k)$  – погрешность оценки составляющих вектора  $\hat{\theta}(k)$  параметров движения летательных аппаратов (ЛА) в дискретный момент времени  $t=k$ ;

$B$  – заданная доверительная область требований к точности ТИК;

$P_d$  – значение доверительной вероятности попадания вектора погрешности оценки составляющих вектора  $\hat{\theta}(k)$  параметров движения ЛА в заданную доверительную область  $B$  требований к точности ТИК.

Показатель  $Q(k)$  точности ТИК представляет собой обобщенную интервальную гарантированную оценку точности ТИК по полученному вектору  $\hat{\theta}(k)$  параметров движения ЛА.

Тогда первое неравенство в системе ограничений (2) может быть заменено на неравенство вида  $P_{S_{тик}}\{\Delta\hat{\theta}(k) \subset B\} \geq P_d$ , которое должно выполняться для всех рассматриваемых траекторий полета ЛА.

Для радиотелеметрического комплекса полигона методика априорной оценки показателей качества данного комплекса сводится к оценке возможности покрытия всех рассматриваемых траекторий полета ЛА зонами видимости используемых средств радиотелеизмерений, а также сравнению значений технических характеристик применяемых средств РТК с требованиями, предъявляемыми со стороны испытываемых образцов ВВТ. К основным техническим характеристикам средств РТК относятся информативность средств, количество высокочастотных, среднечастотных, низкочастотных и сигнальных каналов передачи информации и литеры частот радиоканалов.

Методика априорной оценки показателей качества помехового комплекса полигона сводится к оценке полноты оснащения средствами постановки помех испытательных трасс и мишеней позиций полигона, а также сравнению значений технических характеристик применяемых средств ПК с требованиями, предъявляемыми со стороны испытываемых образцов ВВТ. К основным техническим характеристикам средств ПК относятся виды активных и пассивных помех, диапазоны частот и мощности излучаемых сигналов.

Для мишенного комплекса полигона методика априорной оценки показателей качества данного комплекса сводится к оценке полноты оснащения мишенями испытательных трасс полигона, а также сравнению значений имитационных признаков применяемых средств МК с требованиями, предъявляемыми со стороны испытываемых образцов ВВТ. К основным имитационным признакам средств МК относятся диапазоны высот полета, скоростей и изменения ускорений воздушных и других мишеней, а также значения их эффективной отражающей поверхности в различных диапазонах волн.

Методика априорной оценки показателей качества вычислительного комплекса полигона позволяет с использованием данных об объемах полученной в процессе испытаний информации, значений технических характеристик используемых вычислительных средств, общесистемного и специального программного обеспечения, а также значений параметров вспомогательных средств оценить возможности используемого на полигоне ВК. При этом к основным техническим характеристикам ВК относятся время первичной обработки измерительной информации, экспресс-обработки и полной обработки траекторной, радиотелеметрической и сигнальной информации, а также время оценки тактико-технических характеристик и показателей боевой эффективности испытываемых образцов ВВТ.

При решении задачи (1) необходимо также учитывать средства ЭИБ, которые уже имеются на испытательных полигонах и по своим эксплуатационным характеристикам могут использоваться для обеспечения испытаний перспективных образцов ВВТ.

Таким образом, решению задачи (1) с применением дополнительного набора методик оценки показателей качества функциональных комплексов испытательного полигона для испытания образцов ПВО-ПРО позволит определить оптимальный типаж перспективных средств ЭИБ рассматриваемого испытательного полигона Минобороны РФ, который может использоваться при формировании программных документов по развитию испытательной базы Минобороны РФ.

#### **Список использованных источников**

1. Буренок В.М. Технологии, вооружение, войны. – СПб: ВАТТ, 2011.
2. Буренок В.М., Найденов В.Г., Поляков В.И. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем. – М.: Машиностроение, 2011.
3. Жданюк В.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. – М.: Советское радио, 1978.
4. Найденов В.Г., Першин Е.В. Результаты исследования интервального показателя точности траекторного измерительного комплекса // Вооружение и экономика. – 2017. – № 3.