

УДК 623.6

Методологический подход к решению проблемы обоснования требований к системе инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации ВВС

А.А. Бородин^{*а},

В.Н. Самусенко^б, В.В. Лазукин^а

^аВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия

им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Россия 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а

^бВоенная академия воздушно-космической обороны

имени Г.К. Жукова

Россия 170022, Тверь, ул. Жигарева, 50

Received 10.06.2013, received in revised form 26.07.2013, accepted 30.08.2013

Представлен методологический подход к решению научной проблемы обоснования требований к системе инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации на постоянных аэродромах ВВС, представляющий собой оптимизационную задачу структурно-параметрического синтеза исследуемой системы, решение которой позволит определить оптимальные, в рамках принятых ограничений, наборы значений характеристик системы инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации.

Ключевые слова: методология, аэродром, факторное пространство, вектор, оптимизация.

К настоящему времени в ВВС возникла проблемная ситуация в практической области. С одной стороны, боевые возможности средств воздушного нападения потенциального противника непрерывно возрастают, что позволяет в динамике боевых действий усложнить обстановку до такой степени, что решение задач инженерно-аэродромного обеспечения (ИАЭО) боевых действий авиации на постоянных аэродромах ВВС становится подчас невозможным.

С другой стороны, крайне низкая защищенность базирования авиации (не более 12 %) и объектов аэродромной сети, отсутствие нормативной базы в отношении требований, обеспечивающих проектирование и строительство современных защитных укрытий на аэродромах, непрерывное снижение возможностей инженерно-аэродромных частей и подразделений, способных выполнить только около 20 % требуемого объема инженерно-технических работ по маскировке войск и имитации объектов на аэродромах, сокращение инженерно-маскировочных частей в ВВС. Кроме того, отсутствие на сегодняшний день единых нормативных требований к

функционированию подсистемы маскировки основных элементов постоянных аэродромов, неудовлетворительное состояние существующей системы скоростного восстановления аэродромов и несовершенство нормативных способов производства аэродромно-восстановительных работ, не соответствующих современным требованиям, спад промышленного производства инженерно-аэродромной техники и основных ремонтно-восстановительных материалов (РВМ) приводят не только к ухудшению качественных характеристик инженерно-аэродромного обеспечения, но и выступают фактором, ограничивающим степень реализации потенциальных боевых возможностей авиации объединений ВВС.

В этих условиях возникает проблема прагматического характера, заключающаяся в необходимости приведения характеристик системы инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации ВВС к прогнозируемым потребностям при подготовке и ведении боевых действий с учетом развития средств воздушного нападения противника и авиации ВВС РФ. Одним из возможных направлений разрешения этой проблемы является создание системы инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации ВВС на основе научно обоснованных требований к значениям ее характеристик.

Инженерно-аэродромные мероприятия по маскировке аэродромов, обеспечению живучести базирования авиации и скоростному восстановлению постоянных аэродромов государственной авиации включают: строительство зон рассредоточения; совершенствование фортификационной защиты авиационной техники; рассредоточение авиационной техники и аэродромных сооружений; разукрупнение и дублирование элементов аэродрома; увеличение прочности несущих и ограждающих конструкций сооружений; проведение инженерно-маскировочных мероприятий и мероприятий по созданию ложных позиций, внедрение в практику скоростного восстановления аэродромов перспективных способов, основанных на применении быстротвердеющих РВМ и требующих комплексного применения и соответствующего оперативно-тактического и военно-экономического обоснования. Поэтому обоснование требований к характеристикам системы ИАЭО боевых действий авиации на постоянных аэродромах ВВС целесообразно осуществлять с учетом результативности инженерно-аэродромных мероприятий и их стоимости.

Проведенный анализ состояния методологии обоснования требований к системе ИАЭО боевых действий авиации указывает на отсутствие к настоящему времени единого методологического аппарата, позволяющего с точки зрения системного подхода разрешить объективно существующие противоречия и учесть все многообразие взаимодействующих и воздействующих на систему ИАЭО значимых факторов. Это обстоятельство порождает противоречие в научном плане между объективной необходимостью разработки нового методологического аппарата и отсутствием единой методологии обоснования требований к системе ИАЭО боевых действий авиации с системных позиций.

Наличие прагматической проблемы, порожденной противоречиями в практике, и противоречия в научном плане порождают научную проблему, состоящую в разработке методологии обоснования требований к системе инженерно-аэродромного обеспечения, позволяющей обеспечить требуемый уровень потенциальных боевых возможностей авиации ВВС в ходе боевых действий при минимизации суммарных экономических затрат, связанных с созданием и функционированием этой системы за время, не превышающее располагаемое.

Разработка методологии обоснования требований к системе инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации (ИАЭО) на постоянных аэродромах ВВС состоит в разработке методов и их последовательном применении для обоснования требований к системе ИАЭО, которая должна обеспечить необходимую эффективность боевых действий авиации. Для этого нужно соответствовать необходимым требованиям некоторого векторного показателя качества $F = (F_1, F_2, \dots, F_1, \dots, F_m)$, где $F_i (i \in \overline{1, m})$ – частные показатели качества.

Значения каждого частного показателя $F_i (i \in \overline{1, m})$ определяются некоторыми факторами $(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$, описывающими параметры объекта исследований – системы инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации на постоянных аэродромах ВВС, параметры предмета исследований – взаимосвязь и взаимовлияние параметров системы инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации ВВС, а также параметры внешней по отношению к ним среды, т. е. $F_i(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$. Значения факторов выбираются с учетом реально существующих ограничений, в этом смысле существует Ω_x – область допустимых значений факторов $x = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)^T$ из n -мерного векторного пространства $E_n (\Omega_x \subseteq E_n)$. Каждый фактор x_j в области допустимых значений имеет минимальное $x_{j\min}$ и максимальное $x_{j\max}$ значения и в общем случае может иметь дискретные или непрерывные значения. Для наглядности на рис. 1 показано формирование области допустимых значений для трех факторов в трехмерном пространстве.

Каждая точка факторного пространства $x = (x_1, x_2, x_3)$ имеет вполне определенное значение каждого фактора. Так, на рис. 1 значение первого фактора равно – x_1 , второго – x_2 , третьего – x_3 .

Принцип формирования допустимых значений для любого n числа факторов в n – мерном факторном пространстве остается таким же.

При изменении вектора факторов x в области Ω_x вектор частных показателей качества $F_1(x) = F_1(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$ будет изменяться в некоторой области Ω_F m -мерного пространства

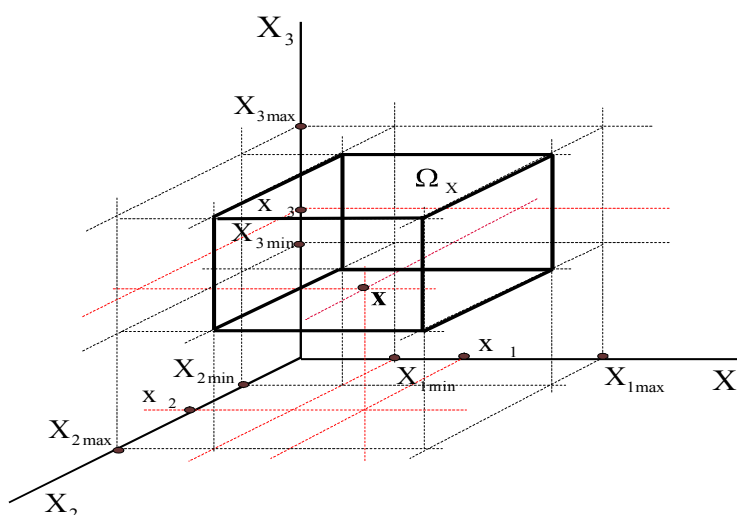


Рис. 1. Формирование области допустимых значений для $n = 3$ факторов в трехмерном пространстве $E_3 (\Omega_x \subseteq E_3)$

$E_m (\Omega_F \subseteq E_m)$ векторного показателя качества F , являющегося отображением области Ω_x допустимых значений факторов $x = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)^T$ в пространстве $E_m (\Omega_F \subseteq E_m)$ частных показателей качества $F_i(x) = F_i(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$.

Область Ω_F представляет собой область Парето, или область возможных значений частных показателей качества $F_i (i \in \overline{1, m})$. На рис. 2 для наглядности показано формирование области Ω_F для трехмерного векторного показателя качества, т. е. когда $i \in \overline{1, 3}$ при $m = 3$.

На рис. 2 векторная оценка $F^* = (F_1^*, F_2^*, F_3^*)$, являясь элементом множества Ω_F векторных оценок, соответствует возможным в данных условиях показателям $F_i(x) \forall i \in \overline{1, 3}$, рассчитанным для одних и тех же значений факторов из области $x \in \Omega_x$. Принцип формирования области Ω_F для любого числа m векторных показателей качества в m -мерном пространстве остается таким же.

Задача оптимизации со сравнением альтернативных решений $x \in \Omega_x$ по предпочтительности при помощи заданных на Ω_F скалярных показателей в виде функций $F_i(x)$ для $\forall i \in \overline{1, m}$ приводит к задаче векторной оптимизации [1, 2].

Задачи векторной оптимизации можно свести либо к задаче векторной максимизации (когда все показатели качества $F_i(x)$, необходимо увеличивать), либо к задаче векторной минимизации (когда все показатели качества $F_i(x)$ необходимо уменьшать). На практике чистые задачи векторной максимизации (минимизации) встречаются редко, при этом часть векторных показателей качества необходимо увеличивать, а часть уменьшать. В этом случае пользуются искусственным приемом, который заключается в том, что в задаче векторной максимизации (минимизации) тот векторный показатель качества $F_i(x)$, который надо уменьшить (увеличить), заменяют показателем $[-F_i(x)]$, и его уже надо увеличивать (уменьшать) [13].

Наиболее представительным является векторный показатель качества вида $F = (F_1, F_2, F_3)$, где $F_1 = C(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$ – частный показатель, характеризующий стоимость создания и функционирования системы ИАЭО боевых действий авиации; $F_2 = \Xi(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$ – частный показатель степени выполнения системой ИАЭО своего функционального назначения, характеризующий полезный целевой эффект от ее применения; $F_3 = T(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$ – частный

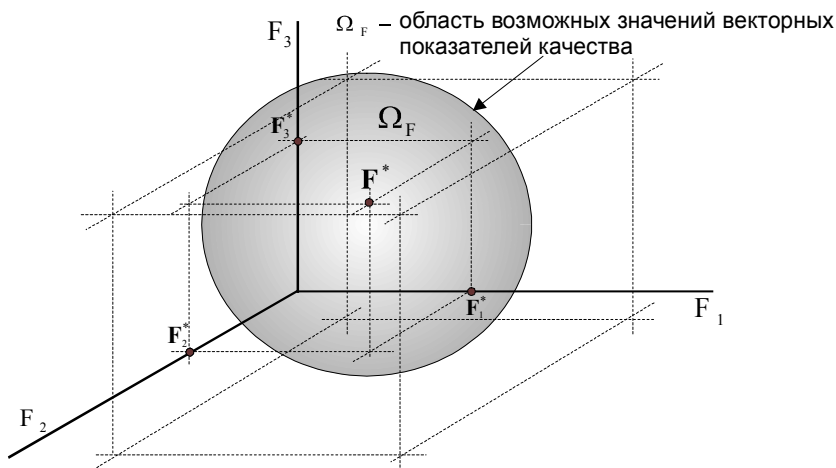


Рис. 2. Формирование области Ω_F трехмерного пространства $E_3(\Omega_F \subseteq E_3)$ для $F_i, i \in \overline{1, 3}$

показатель, отражающий временные характеристики функционирования системы инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации при достижении полезного целевого эффекта.

К настоящему времени эффективных методов решения задач векторной оптимизации не разработано. Приемлемый метод при их решении может состоять в выборе компромисса. Одной из часто применяемых схем компромисса является определение главного показателя, заключающееся в том, что из векторного показателя выделяется один показатель, называемый главным, а на остальные частные показатели накладываются ограничения.

В решаемой научной проблеме в качестве главного показателя целесообразно выбрать частный показатель $F_1 = C(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$, характеризующий стоимость создания и функционирования системы ИАЭО боевых действий авиации, поскольку априорно нельзя, даже приблизительно, определить диапазон изменения его значений. Показатели $F_2 = \Xi(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$ и $F_3 = T(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$ могут выступить в качестве показателей, на которые накладываются критерии пригодности. При этом показатель $F_2 = \Xi(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$, характеризующий полезный целевой эффект и отражающий степень выполнения системой ИАЭО всего объема задач, имеет диапазон изменения от 0 до 1. Значения показателя $F_3 = T(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$, характеризующего временные характеристики функционирования системы ИАЭО при достижении полезного целевого эффекта, могут быть заданы исходя из рассмотрения процессов ее функционирования во временной области.

Важным при разработке и постановке проблемы обоснования требований к системе ИАЭО боевых действий авиации является выбор из области Ω_x допустимых значений факторов $x = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)^T$ в n -мерном векторном пространстве E_n ($\Omega_x \subseteq E_n$) совокупности факторов (аргументов), значения которых оптимизируются в совокупности факторов, только учитываемых в рамках поставленной научной проблемы. Для этого разобьем область Ω_x допустимых значений факторов $x = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)^T$ на три непересекающиеся области так, что

$$\Omega_x = \Omega_{x_1} \cup \Omega_{x_2} \cup \Omega_{x_3} = \bigcup_{i=1}^3 \Omega_{x_i}. \quad (1)$$

В выражении (1): Ω_{x_1} – область допустимых значений оптимизируемых факторов (аргументов)

$$X_1 = (x_1, \dots, x_1)^T \in x = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)^T, \quad (2)$$

характеризующих параметры системы инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации на постоянных аэродромах ВВС;

Ω_{x_2} – область допустимых значений k учитываемых факторов

$$X_2 = (x_{1+k}, \dots, x_{1+k})^T \in x = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)^T, \quad (3)$$

характеризующих параметры средств нападения противника, форм и способов их применения по аэродромам базирования группировки авиации объединения ВВС;

Ω_{x_3} – область допустимых ($r = n - l + k$) значений учитываемых факторов

$$X_3 = (x_{1+k+1}, \dots, x_n)^T \in x = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)^T, \quad (4)$$

характеризующих параметры своих войск.

В выражениях (2 – 4) n -мерный вектор всех факторов разбивается на l -мерный вектор факторов, характеризующих параметры системы инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации, k -мерный вектор факторов, характеризующих параметры средств нападения противника, форм и способов их применения по аэродромам базирования авиации и r -мерный вектор факторов, характеризующих параметры своих войск так, что $l + k + r = n$.

В свою очередь, вектор $X_1 = (x_1, \dots, x_1)^T$ преобразуется к виду

$$X_1 = (G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6) \quad X_1 \in \Omega_{X_1}. \quad (5)$$

По существу, элементы вектора X_1 представляют собой значения возможных характеристик, а обоснование требований к системе ИАЭО боевых действий авиации ВВС – это выбор из значений всех возможных характеристик в области Ω_{X_1} таких значений X_1^* , которые, удовлетворяя требованиям по эффективности и времени функционирования в областях Ω_{X_2} и Ω_{X_3} , обладали бы минимальной стоимостью.

Формализованная математическая постановка сформулированной научной проблемы может быть представлена следующим образом.

Необходимо минимизировать целевую функцию на множестве значений оптимизируемых факторов (аргументов) $X_1(G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6) \in \Omega_{X_1}$, принадлежащих области Ω_{X_1} их допустимых значений:

$$C_\Sigma(X_1/X_2, X_3) \rightarrow \min_{X_1 \in \Omega_{X_1}} \quad (6)$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} \Theta_{\text{ИАЭО}}(X_1/X_2, X_3) &\geq \Theta_{\text{ИАЭО(тр)}} \\ T(X_1/X_2, X_3) &\leq T_{\text{расп}} \\ X_1(G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6) &\in \Omega_{X_1}, \\ X_2 &\in \Omega_{X_2}, \\ X_3 &\in \Omega_{X_3}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $C_\Sigma(X_1/X_2, X_3)$ – суммарные затраты на создание и функционирование системы ИАЭО боевых действий авиации;

$\Theta_{\text{ИАЭО}}(X_1/X_2, X_3), \Theta_{\text{ИАЭО(тр)}}$ – значения текущей и требуемой эффективности функционирования системы ИАЭО боевых действий авиации;

$T(X_1/X_2, X_3), T_{\text{расп}}$ – значения времени и располагаемого времени функционирования системы ИАЭО боевых действий авиации;

$X_1(G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6)$ – вектор факторов, характеризующих варьируемые параметры системы инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации на постоянных аэродромах ВВС;

X_2 – вектор факторов, характеризующих параметры средств нападения противника, форм и способов их применения по аэродромам базирования группировки авиации объединения ВВС;

X_3 – вектор факторов, характеризующих параметры своих войск.

$\Omega_{X_1}, \Omega_{X_2}, \Omega_{X_3}$ – области допустимых значений факторов.

Решение оптимизационной задачи вида (6, 7) направлено на сужение области Парето Ω_F , определяющей допустимые варианты построения системы ИАЭО боевых действий авиации до области эффективных (Парето-оптимальных) решений $\Omega_F^{(ЭФ)}$. Для отыскания области Парето-оптимальных решений $\Omega_F^{(ЭФ)}$ в задаче вида (6, 7) формируется множество ограничений, включающих значения требуемой эффективности и располагаемого времени функционирования системы ИАЭО. Формирование множества ограничений осуществляется следующим образом. Весь диапазон изменения значений требуемой эффективности разбивается на $i \in \overline{1, I}$ участков, каждому из которых приписывается значение требуемой эффективности $\Theta_{тр}^{(i)}$, а диапазон значений располагаемого времени на $j \in \overline{1, J}$ участков, каждому из которых приписывается значение располагаемого времени $T_{расп}^{(j)}$.

В результате имеем векторную матрицу ограничений вида

$$O_{ij} = \begin{pmatrix} o_{i1} & \dots & o_{ij} & \dots & o_{iJ} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ o_{i1} & \dots & o_{ij} & \dots & o_{iJ} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ o_{i1} & \dots & o_{ij} & \dots & o_{iJ} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Каждый элемент матрицы (8) представляет собой вектор $o_{ij} = (\Theta_{тр}^{(i)}, T_{расп}^{(j)})$.

Область Парето-оптимальных решений отыскиваются путем многократного, $i \times j$ раз, решения задачи минимизации целевой функции (6) на множестве значений аргументов $X_1(G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6) \in \Omega_X$, и множестве ограничений $o_{ij}, i \in \overline{1, I}, j \in \overline{1, J}$.

Все решения оптимизационной задачи можно свести к виду, изображенному на рис. 3 в трехмерном пространстве.

На рис. 3 треугольниками показаны решения оптимизационной задачи (6, 7) в системе координат $(\Theta_{тр}, 0, C)$ при значениях располагаемого времени $T_{расп}^{(j)}$, квадратами – в системе

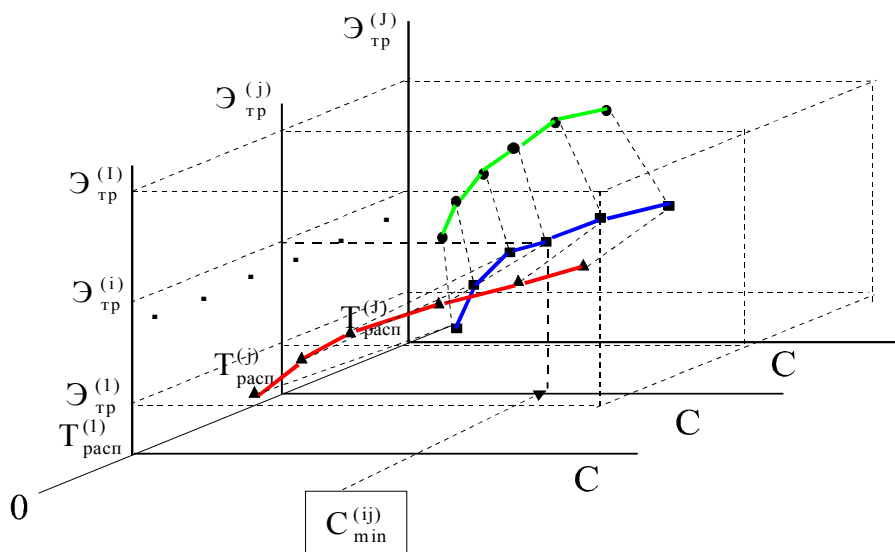


Рис. 3. Область оптимальных (по Парето) решений

координат $(\Theta_{тр}, 0, C)$ при значениях располагаемого времени $T_{расп}^{(j)}$, кружочками – в системе координат $(\Theta_{тр}, 0, C)$ при значениях располагаемого времени $T_{расп}^{(j)}$. Каждая точка в трехмерном пространстве принадлежит области $\Omega_F^{(\Theta)}$ $\in \Omega_F$, но содержит только те элементы, которые для зафиксированных значений факторов в составе векторов $X_2 \in \Omega_{X_2}$, $X_3 \in \Omega_{X_3}$, имея векторную оценку $F^{(i)}$, удовлетворяют условию $F^{(i)} = (C_{min}^{(i,j)}(X_1, X_2, X_3) \Theta(X_1, X_2, X_3) \geq \Theta_p^{(i)}, T(X_1, X_2, X_3) \leq T_{расп}^{(j)})$, при этом значения составляющих вектора $X_1(G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6)$ оптимальны в рамках принятых ограничений.

Решая задачу (6, 7) для интересующих значений факторов в составе векторов $X_2 \in \Omega_{X_2}$, $X_3 \in \Omega_{X_3}$, можно получить совокупность Парето-оптимальных поверхностей, по которым лицо, принимающее решение, может выбрать удовлетворяющее его решение по характеристикам системы ИАЭО боевых действий авиации. По своей сути задача (6, 7) представляет собой задачу структурно-параметрического синтеза системы инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации на постоянных аэродромах ВВС при известных исходных данных, характеризующих противника $X_2 \in \Omega_{X_2}$ и свои войска $X_3 \in \Omega_{X_3}$. При этом отыскиваются оптимальные, в рамках принятых ограничений, наборы значений характеристик подсистемы маскировки аэродромов (G_1, G_2) , подсистемы обеспечения живучести базирования авиации (G_3, G_4) и характеристик подсистемы скоростного восстановления аэродромов в ходе боевых действий (G_5, G_6) , составляющих основу функционирования системы инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации на постоянных аэродромах ВВС.

Таким образом, проведенное описание функционирования системы ИАЭО с детальной формализованной постановкой научной проблемы позволит перейти к формированию логической организации общего системного подхода по обоснованию требований к системе ИАЭО боевых действий авиации на постоянных аэродромах ВВС, которая предполагает следующие процедуры: выбор исходных данных по противнику и своим войскам; обоснование и выбор характеристик и показателя эффективности функционирования системы ИАЭО; выбор характеристик системы ИАЭО, подлежащих оптимизации; моделирование процессов функционирования системы ИАЭО и расчет значений показателя ее эффективности; решение оптимизационной задачи для выбранных вариантов вооруженного противоборства и выбранных ограничений с формированием областей Парето-оптимальных решений для различных исходных данных; выбор рационального варианта построения системы ИАЭО боевых действий авиации в различных условиях боевой обстановки.

Список литературы

- [1] Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: в 2 кн. Кн. 1; пер. с англ. М.: Мир, 1986. 346 с.
- [2] Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: в 2 кн. Кн. 2; пер. с англ. М.: Мир, 1986. 320 с.
- [3] Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. М.: Изд-во «Техника», 1977. 768 с.

Methodological Approach to Solving the Problem of the Background of Requirements to System of Engineering-Air Field Maintenance of Operations of Aircraft of the Air Forces

**Alexey A. Borodin^a,
Vladimir N. Samusenko^b and Victor V. Lazukin^a**

^a *VUNTs Air Force «Military and air academy
of a name of professor N.E. Zhukovskogo and Yu. A. Gagarin»
54 Starykh Bolshevikov Str., Voronezh, 394064 Russia*

^b *Military Academy of Aerospace Defense
of a name G.K. Zhukov
50 Zhigarevs Str., Tver, 170022 Russia*

In article the methodological approach to the decision of a scientific problem of a background of requirements to system of engineering-air field maintenance of operations of aircraft in constant air stations of the Air Forces, representing optimization a problem of structurally-parametrical synthesis of investigated system which decision will allow to define optimum, within the limits of the accepted restrictions, on-pine forest values of characteristics of system of engineering-air field maintenance of operations of aircraft is presented.

Keywords: methodology, airfield, quotient space, vector optimization.
