

В.Г. Найденов, доктор технических наук
А.В. Бочкарев

Подход к математической формализации задач обоснования требований к воздушным мишеням и оценки показателей степени адекватности имитации ими летательных объектов при испытаниях сложных систем вооружения

В статье предложен новый подход к формализации задач обоснования требований к воздушным мишеням и оценки показателей степени адекватности имитации ими летательных объектов при испытаниях сложных систем вооружения, основанный на использовании математического аппарата функционального анализа. Это позволяет при решении задач такого типа представлять значения требований к мишеням и показателей их качества в виде точек в многомерных функциональных пространствах с метриками, значения которых могут характеризовать показатели степени сходства мишеней и целей. Данный подход может быть успешно применен для совершенствования научно-методического аппарата программно-целевого планирования развития средств мишенных комплексов полигонов, предназначенных для испытаний сложных систем вооружения.

При испытаниях сложных систем вооружения, как правило, требуется создавать на полигонах специальную мишенную обстановку, которая позволяла бы оценивать тактико-технические характеристики (ТТХ) таких систем в условиях, адекватных условиям их боевого применения.

Для создания на полигонах адекватной мишенной обстановки при испытаниях сложных систем вооружения необходимо иметь методический аппарат обоснования требований к воздушным мишеням, а также оценки показателей степени адекватности (сходства) имитации такими мишенями различных летательных объектов (целей).

В научно-технической литературе освещению такого методического аппарата уделено очень ограниченное внимание.

Как правило, требования к тактико-техническим характеристикам воздушных мишеней задаются графически в прямоугольной системе координат, исходя из характеристик средств воздушного нападения противника, в виде областей, в которых показаны изменения высот полета мишеней в зависимости от дальности или от скорости их полета. Имеют

место и другие графические зависимости, связанные с изменениями перегрузок, действующих на мишени вдоль траекторий их полета, или с изменениями величины эффективной отражающей поверхности мишеней при их движении, а также используются другие графические изображения требований к мишеням в виде различных графиков и зон.

Однако задание в таком виде требований к тактико-техническим характеристикам воздушных мишеней носит графический и рамочный характер и не позволяет предъявлять требования к ТТХ мишеней, имитирующих конкретные траектории полета целей и, вообще, такой подход не позволяет провести понятную математическую формализацию процесса обоснования требований, которые предъявляются к мишеням.

Кроме того, в научно-технической литературе недостаточно полно рассмотрены вопросы, связанные с получением оценок показателей степени адекватности (сходства) имитации мишенями различных типов целей. Как правило, такие показатели носят точечный характер и строятся в виде отношений между значениями требований к мишеням и соот-

ветствующими показателями качества мишеней. При этом такие показатели строятся для граничных значений областей требований, предъявляемых к мишеням [1].

В данной статье предлагается новый подход к математической формализации задач обоснования требований к воздушным мишеням и оценки показателей степени сходства имитации ими целей при испытаниях сложных систем вооружения, основанный на применении математического аппарата функционального анализа, позволяющего при решении задач такого типа представлять значения требований к мишеням, а также показателей их качества в виде точек в многомерных функциональных пространствах с метриками, значения которых могут характеризовать показатели сходства мишеней и целей.

Известно, что основными показателями качества воздушных мишеней являются следующие [1,2]:

- показатель точности имитации воздушными мишенями параметров траекторий полета целей;
- показатель выполнения воздушными мишенями требований по допустимым перегрузкам на траекториях их полета;
- показатель точности имитации воздушными мишенями значений эффективной отражающей поверхности целей вдоль траекторий их полета по направлению к информационным средствам испытываемых систем вооружения.

Поскольку имитация целей воздушными мишенями происходит во времени и в ограниченной области пространства, то рассмотренные показатели качества воздушных мишеней можно рассматривать как набор непрерывных функций, заданных на временном интервале $[0, T]$.

С использованием математического аппарата функционального анализа возможно записать в компактной форме требования к воздушным мишеням, вытекающих из ТТХ имитируемых целей.

Так, в евклидовом пространстве вида L_2 можно рассматривать многомерную функцию $K_u(t)$ с интегрированным квадратом, описывающую изменение координат полета цели и имеющую следующую структуру:

$$K_u(t) = [x_u(t), y_u(t), z_u(t)]^T,$$

где $\int_0^T K_u^2(t) dt \leq \infty$;

$x_u(t), y_u(t), z_u(t)$ – функции изменения на временном интервале $[0, T]$ координат цели соответственно по осям X, Y, Z полигонной системы координат.

Для составляющих вектора скорости полета цели в пространстве L_2 можно рассматривать многомерную функцию $S_u(t)$ с интегрируемым квадратом на интервале $[0, T]$ следующего вида:

$$S_u(t) = [\dot{x}_u(t), \dot{y}_u(t), \dot{z}_u(t)]^T,$$

где $\dot{x}_u(t), \dot{y}_u(t), \dot{z}_u(t)$ – функции изменения составляющих вектора скорости цели по траектории полета на временном интервале $[0, T]$ по осям X, Y, Z полигонной системы координат.

Многомерная функция $G_u(t)$, описывающая в пространстве вида L_2 изменение на промежутке времени $[0, T]$ перегрузок, действующих на цель, может быть записана в следующем виде:

$$G_u(t) = [g_{x_u}(t), g_{y_u}(t), g_{z_u}(t)]^T,$$

где $g_{x_u}(t), g_{y_u}(t), g_{z_u}(t)$ – функции изменения перегрузок, действующих на цель в процессе ее полета на временном интервале $[0, T]$, соответственно по осям X, Y, Z полигонной системы координат.

Кроме того, необходимо рассматривать в пространстве L_2 и функцию, описывающую изменение во времени величины эффективной отражающей поверхности цели $\sigma_u(t)$ в направлении на информационные средства испытываемой системы вооружения.

Аналогичный набор функций в пространстве, характеризующих показатели качества мишеней, имитирующих соответствующую

щие цели, на временном интервале $[0, T]$ включает:

- многомерную функцию $K_m(t)$, характеризующую изменение во времени координат полета мишени на том же временном интервале $[0, T]$;
- многомерную функцию $S_m(t)$, характеризующую изменение составляющих вектора скорости мишени на временном интервале $[0, T]$ по осям X, Y, Z полигонной системы координат;
- многомерную функцию $G_m(t)$, описывающую в пространстве вида L_2 изменение на промежутке времени $[0, T]$ значений перегрузок, действующих на мишень по осям X, Y, Z полигонной системы координат;
- функцию $\sigma_u(t)$ в пространстве L_2 , описывающую изменение во времени величины эффективной отражающей поверхности мишени в направлении на информационные средства испытываемой системы вооружения.

Учитывая, что при испытаниях конкретной системы вооружения набор функций, описывающих ТТХ целей, будет хотя и конечным, но достаточно большим и при этом проекции элементарных функций на плоскости XOZ, XOY, ZOY полигонной системы координат могут даже пересекаться, то и усложняется математическая формализация задачи обоснования требований к мишеням.

Для преодоления отмеченных трудностей при проведении математической формализации задачи обоснования требований к воздушным мишеням целесообразно применить математический аппарат функционального анализа [3, 4, 5].

В этом случае имеется возможность провести разложение реализаций функций, характеризующих ТТХ целей в многомерном евклидовом пространстве вида L_2 , по системе линейно независимых ортогональных базисных функций и представить их в виде со-

вокупности точек, образующих область требований к воздушным мишеням.

Такой системой базисных функций в пространстве вида L_2 , например, может быть линейно независимая ортогональная система тригонометрических базисов вида

$$\left\{ 1, \cos \frac{\pi kt}{T}, \sin \frac{\pi kt}{T} \right\}, \text{ где } k=1, 2, 3, \dots$$

Такое разложение функций представляет собой не что иное, как разложение в бесконечный ряд Фурье.

Так, ряд Фурье, например, для функции $\varphi(t)$ в пределах временного интервала $[0, T]$ запишется в следующем виде:

$$\varphi(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos \frac{\pi kt}{T} + b_k \sin \frac{\pi kt}{T} \right),$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \varphi(t) dt \quad (1)$$

$$a_k = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \varphi(t) \cos \frac{\pi kt}{T} dt, \quad k=1, 2, 3, \dots; \quad (2)$$

$$b_k = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \varphi(t) \sin \frac{\pi kt}{T} dt, \quad k=1, 2, 3, \dots; \quad (3)$$

Ограничив длину ряда Фурье до члена $k=M$, при котором он с достаточной степенью точности описывает функцию $\varphi(t)$ на временном интервале $\left[-\frac{T}{2}; \frac{T}{2}\right]$, можно вычислить коэффициенты, стоящие при базисных функциях $\left\{ 1, \cos \frac{\pi kt}{T}, \sin \frac{\pi kt}{T} \right\}$, где $k=1, 2, \dots, M$.

Поскольку эта система базисных функций является ортогональной, то найденные коэффициенты и будут координатами функции $\varphi(t)$ в системе базисных функций

$$\left\{ 1, \cos \frac{\pi kt}{T}, \sin \frac{\pi kt}{T} \right\}, \text{ при } k=1, 2, \dots, M.$$

Таким образом, возможно функцию $\varphi(t)$ представить в виде точки в функциональном

пространстве в приведенной системе базисных функций.

На рисунке 1 приведено изображение области требований к мишеням в пятимерном пространстве L_2 с линейно независимым и

ортогональным тригонометрическим базисом для функций $f_1(t), f_2(t), f_3(t), f_4(t), f_5(t)$, описывающих в одной из плоскостей пять возможных траекторий полета целей на временном отрезке $[0, T]$.

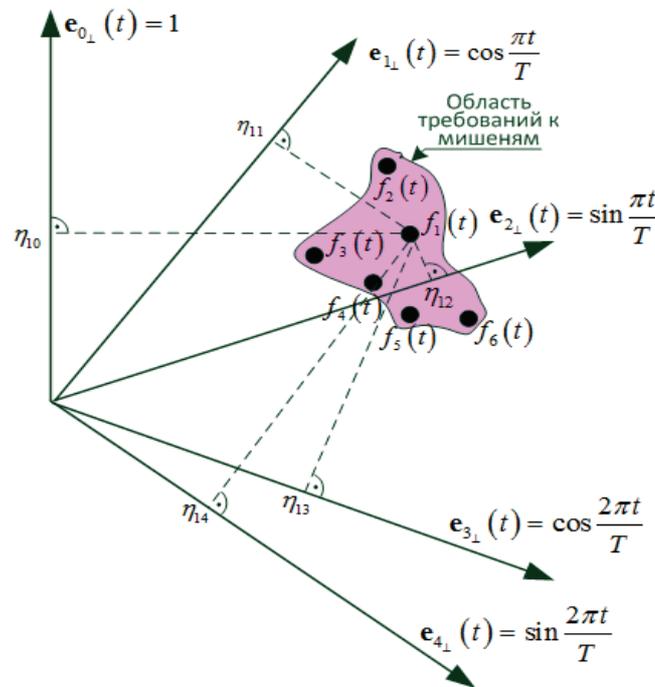


Рисунок 1 – Графическое изображение области требований к мишеням в пятимерном пространстве с ортогональным тригонометрическим базисом для функций, содержащих два члена ряда Фурье

На рисунке 1 символами $\eta_{10}, \eta_{11}, \eta_{12}, \eta_{13}, \eta_{14}$ обозначены проекции функции $f_1(t)$ на рассматриваемую ортогональную систему тригонометрических базисных функций.

Необходимо отметить, что, если координаты конкретной траектории полета цели на временном интервале $[0, T]$ описываются тремя функциями $x_u(t), y_u(t), z_u(t)$, то в функциональном пространстве будут представлены три различные точки, принадлежащие этим функциям.

Предположим, что цели в зоне активных действий испытываемой системы вооружения на интервале времени $[0, T]$ могут летать по ограниченному количеству траекторий P , тогда в функциональном пространстве вида L_2 будет наблюдаться три группы точек по P

штук в каждой. При этом каждая группа точек будет представлять собой область требований к воздушным мишеням по одной из координат траекторий полета мишеней. Тогда можно рассматривать три множества $A_i (i=1,2,3)$, определяющие требования к координатам полета мишеней, имитирующих соответствующие цели.

Аналогичным образом могут быть построены множества точек, определяющих требования к другим показателям качества применяемых мишеней, таким как параметры движения целей по составляющим вектора скорости, допустимые значения перегрузок, действующих на мишени на траекториях их полета, а также точности имитации значений эффективной отражающей поверхности целей.

Однако представление траекторий полета целей или мишеней в таком тригонометрическом базисе является затруднительным, поскольку для нахождения координат раскладываемых функций необходимо проводить достаточно громоздкие интегральные вычисления. Кроме того, при повышении точности разложения функции в ряд Фурье путем добавления новых членов ряда происходит удвоенное увеличение размерности системы базисных функций.

Необходимо отметить, что в некоторых случаях бывает удобнее проецировать функции, характеризующие требования к мишеням либо показатели качества мишеней, с неортогональной системой базисных функций в вычисленную заранее ортогональную систему базисных функций.

Так известно, что функции, описывающие изменения во времени значений параметров движения и перегрузок, действующих на цели и мишени, могут быть получены с использованием дискретных данных, получаемых с использованием средств траекторных и радиотелеметрических измерений.

Для получения непрерывных функций по соответствующим дискретным значениям на интервале времени $[0, T]$ может применяться метод аппроксимации этих данных с использованием непрерывных полиномов следующего вида [6]:

$$\psi(t) = \sum_{n=0}^N \alpha_n t^n \quad (1)$$

где α_n – коэффициенты полинома;

t – непрерывная ось времени;

N – степень аппроксимирующего полинома.

Функции вида (4) могут рассматриваться в пространстве вида L_2 как функции с интегрируемым квадратом и с линейно независимой, но неортогональной системой базисных функций вида: $\mathbf{e}_0=1, \mathbf{e}_1=t, \mathbf{e}_2=t^2, \dots, \mathbf{e}_N=t^N$.

Для функций вида (4) представляет сложность отыскание значений ее координат в функциональном пространстве вида L_2 , что

затрудняет проводить сравнение требований, предъявляемых к мишеням, с показателями качества таких мишеней.

Для вычисления координат функций вида $\psi(t)$ в пространстве вида L_2 необходимо провести преобразование неортогональной системы базисных функций в ортогональную систему с использованием, например, процедуры ортогонализации Грама-Шмидта [5].

Так, имея функцию в системе линейно независимых, но неортогональных базисных функций $\{t^n\}$ при $n=0,1,2,\dots$ необходимо получить координаты этой функции в линейно независимой и ортогональной системе базисных функций $\{\mathbf{e}_{n_i}(t)\}$ при $n=0,1,2,\dots$.

Согласно процедуре Грама-Шмидта ортогональные базисные функции $\{\mathbf{e}_{n_i}(t)\}$ могут быть получены с использованием следующих выражений:

$$\mathbf{e}_{0_i}(t) = \mathbf{e}_0(t); \quad (5)$$

$$\mathbf{e}_{n_i}(t) = \mathbf{e}_n(t) \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_{n_i} \mathbf{e}_{i_i}(t); \quad (6)$$

$$\text{где } \lambda_{n_i} = \frac{(\mathbf{e}_n(t), \mathbf{e}_{i_i}(t))}{\|\mathbf{e}_{i_i}(t)\|^2} \quad (7)$$

В выражении (7) соотношение $(\mathbf{e}_n(t), \mathbf{e}_{i_i}(t))$ представляет собой скалярное произведение n -ой базисной функции из неортогональной системы на i -тую базисную функцию искомого ортогонального системы, а выражение $\|\mathbf{e}_{i_i}(t)\|^2$ – квадрат нормы базисной функции $\mathbf{e}_{i_i}(t)$.

Как правило, функции, характеризующие показатели качества мишеней и требования к ним, могут быть достаточно точно описаны полиномами третьей степени вида

$$\psi_3(t) = \sum_{n=0}^3 \alpha_n t^n.$$

Определим для этого случая значения соответствующей системы ортогональных базисных функций.

Так, имеем исходную систему неортогональных базисных функций вида $\{1, t, t^2, t^3\}$. При этом пусть первая базисная функция бу-

дет соответствовать элементу с номером 0, вторая базисная функция будет соответствовать номеру 1 и т. д.

Тогда нулевая базисная функция $e_{0_1}(t)$ из новой ортогональной системы определяется как $e_{0_1}(t)=1$.

$$e_{1_1}(t) = t + \lambda_{10} e_{0_1}(t) = t - \frac{(t, 1)}{\|1\|^2} = t - \frac{\int_0^T t dt}{\int_0^T dt} = t - \frac{T}{2}.$$

Вторая базисная функция $e_{2_1}(t)$ для интервала времени $[0, T]$ может быть найдена по формуле:

$$e_{2_1}(t) = t^2 + \lambda_{21} e_{1_1}(t) + \lambda_{20} e_{0_1}(t) = t^2 - \frac{\left(t^2, t - \frac{T}{2}\right)}{\left\|t - \frac{T}{2}\right\|^2} \left(t - \frac{T}{2}\right) - \frac{(t^2, 1)}{\|1\|^2} = t^2 - T \cdot t + \frac{3T^3 - 4T}{6}.$$

Третья базисная функция $e_{3_1}(t)$ для интервала времени $[0, T]$ находится следующим образом:

$$e_{3_1}(t) = t^3 + \lambda_{32} e_{2_1}(t) + \lambda_{31} e_{1_1}(t) + \lambda_{30} e_{0_1}(t) = t^3 + \lambda_{32} \left(t^2 - T \cdot t + \frac{3T^3 - 4T}{6}\right) + \lambda_{31} \left(t - \frac{T}{2}\right) + \lambda_{30},$$

где $\lambda_{32} = -\frac{(t^3, e_{2_1}(t))}{\|e_{2_1}(t)\|^2};$

$$\lambda_{31} = -\frac{(t^3, e_{1_1}(t))}{\|e_{1_1}(t)\|^2};$$

$$\lambda_{30} = -\frac{(t, e_{0_1}(t))}{\|e_{0_1}(t)\|^2}.$$

Подставляя в последние три формулы выражения для найденных значений базисных функций $e_{2_1}(t)$, $e_{1_1}(t)$ и $e_{0_1}(t)$, получим следующие выражения для коэффициентов λ_{32} , λ_{31} и λ_{30} :

$$\lambda_{32} = -\frac{\int_0^T \left(t^5 - T \cdot t^4 + \frac{3T^3 - 4T}{6} t^3\right) dt}{\int_0^T \left(t^2 - T \cdot t + \frac{3T^3 - 4T}{6} t\right)^2 dt} = -\frac{45T^7 - 15T^6 - 60T^5}{90T^7 + 60T^6 - 108T^5 - 80T^4 + 160T^3};$$

$$\lambda_{31} = -\frac{\int_0^T \left(t^4 - \frac{T}{2} t^3\right) dt}{\int_0^T \left(t - \frac{T}{2}\right)^2 dt} = -\frac{9T^2}{10}; \quad \lambda_{30} = -\frac{\int_0^T (t^3) dt}{\int_0^T dt} = -\frac{T^3}{4}.$$

После нахождения системы базисных функций $\{e_{0_1}(t), e_{1_1}(t), e_{2_1}(t), e_{3_1}(t)\}$ в пространстве L_2 можно найти координаты

ξ_n ($n=0,1,2,3$) функции $\psi_3(t)$ на интервале времени $[0, T]$ в новой системе базисов с использованием следующей известной формулы:

$$\xi_n = \frac{\left(\sum_{n=0}^3 \alpha_n t^n, \mathbf{e}_{n_1}(t) \right)}{\|\mathbf{e}_{n_1}(t)\|^2} = \frac{(\alpha_0, \mathbf{e}_{n_1}(t)) + (\alpha_1 t, \mathbf{e}_{n_1}(t)) + (\alpha_2 t^2, \mathbf{e}_{n_1}(t)) + (\alpha_3 t^3, \mathbf{e}_{n_1}(t))}{\|\mathbf{e}_{n_1}(t)\|^2},$$

где $n=0,1,2,3$.

Используя универсальный математический пакет Maple, были получены конкретные выражения для вычисления координат ξ_n ($n=0,1,2,3$). Подставляя в данные выражения значения коэффициентов полиномов (функций), аппроксимирующих траектории полета целей и мишеней, а также значение предела интегрирования T , можно вычислить координаты рассматриваемых функций в найденной системе ортогональных базисных функций. Это позволит удобно проводить сравнение характеристик мишеней и имитируемых ими целей.

При увеличении степени аппроксимирующего полинома будет возрастать и размерность системы базисных функций и соответственно количество координат проецируемых в этой системе функций, которые описывают

характеристики целей и показателей качества имитирующих их мишеней.

Таким образом, с использованием математического аппарата функционального анализа можно оценить координаты функций, описывающих характеристики целей и показателей качества имитирующих их мишеней в линейно независимой ортогональной системе базисных функций, и тем самым формализовать задачу нахождения областей требований к мишеням и областей возможностей мишеней по имитации соответствующих целей.

На рисунке 2 показано графическое изображение области требований к мишеням и областей возможностей мишеней двух типов в ортогональной системе базисных функций для случая аппроксимации функций, описывающих характеристики целей и показатели качества имитирующих их мишеней, полиномом второй степени.

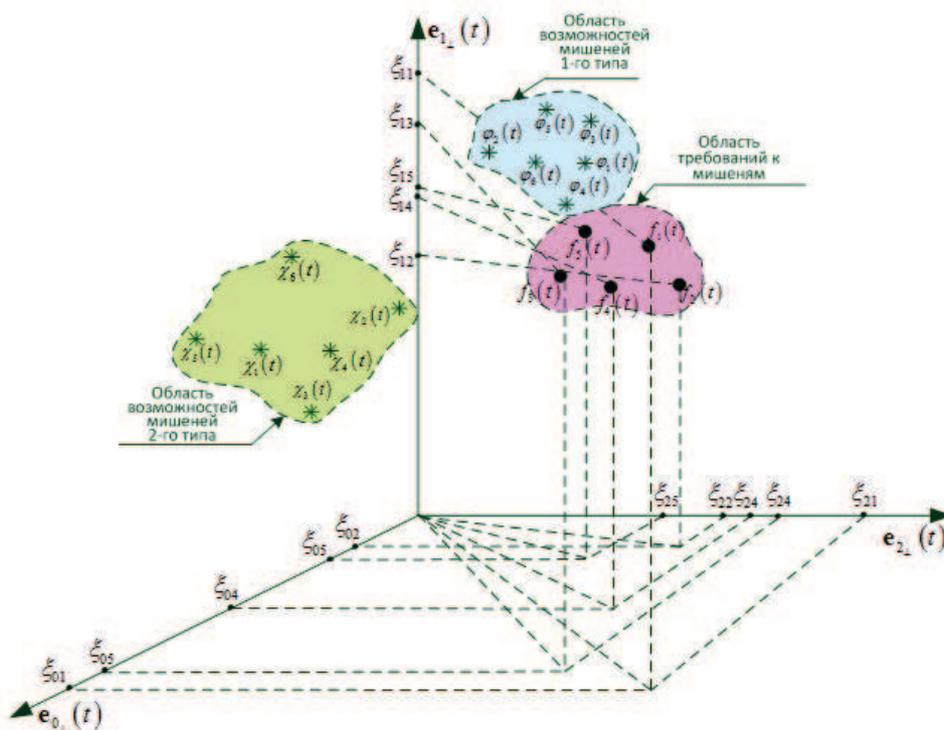


Рисунок 2 – Графическое изображение области требований к мишеням и областей возможностей мишеней двух типов в ортогональной системе базисных функций

Из рисунка 2 видно, что область возможностей мишеней 1-го типа лежит ближе к области требований к мишеням, чем область возможностей мишеней 2-го типа. Это означает то, что мишени 1-го типа будут в лучшей степени имитировать конкретную цель противника. Однако для проведения таких сравнительных операций необходимо иметь конкретные значения показателей, характеризующих степень адекватности (сходства) имитации мишенями конкретной цели противника.

В качестве таких показателей степени сходства имитации воздушной мишенью конкретной цели можно использовать метрику пространства L_2 для рассмотренных ранее непрерывных функций с интегрируемым квадратом, определенных на временном отрезке $[0, T]$, следующего вида:

$$d_K[K_u(t), K_M(t)] = \left\{ \int_0^T [K_u(t) - K_M(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}};$$

$$d_S[S_u(t), S_M(t)] = \left\{ \int_0^T [S_u(t) - S_M(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}}; \quad (8)$$

$$d_G[G_u(t), G_M(t)] = \left\{ \int_0^T [G_u(t) - G_M(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}};$$

$$d_\sigma[\sigma_u(t), \sigma_M(t)] = \left\{ \int_0^T [\sigma_u(t) - \sigma_M(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}},$$

где $d_K[K_u(t), K_M(t)]$ – векторный показатель степени сходства имитации цели мишенью по осям координат X, Y, Z вдоль траектории полета цели;

$d_S[S_u(t), S_M(t)]$ – векторный показатель степени сходства имитации цели мишенью по составляющим вектора скорости вдоль траектории полета цели;

$d_G[G_u(t), G_M(t)]$ – векторный показатель степени сходства имитации цели мишенью по значениям перегрузок, действующих на цель, по осям X, Y, Z полигонной системы координат вдоль траектории полета цели;

$d_\sigma[\sigma_u(t), \sigma_M(t)]$ – показатель степени адекватности имитации цели мишенью по эффективной отражающей поверхности вдоль траектории полета цели по направлению на информационное средство испытываемой системы вооружения.

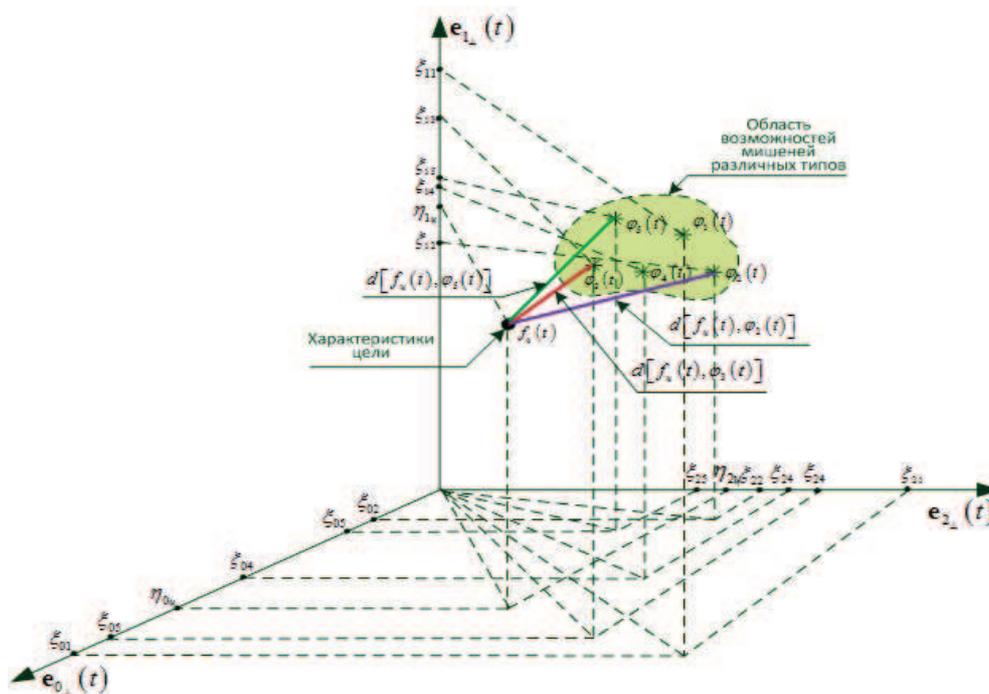


Рисунок 3 – Графическое изображение показателей степени адекватности имитации мишенями трех типов одной цели в ортогональной системе базисных функций

Первые три показателя, определяемые выражениями (8), представляют собой площади между проекциями рассматриваемых функций на плоскости XOZ, XOY, ZOY полигонной системы координат и удовлетворяют трем известным аксиомам метрики (аксиомам тождества, симметрии и треугольника).

Практическое использование рассмотренных показателей степени сходства имитации воздушной мишенью конкретной цели, описываемых выражениями (8), не позволяет получить достоверной оценки различия между характеристиками целей и мишеней. Это связано с тем, что можно вычислить на временном интервале $[0, T]$ площади между проекциями соответствующих рассматриваемых функций на плоскости XOZ, XOY, ZOY полигонной системы координат, однако нет возможности оценить площадь между этими функциями по кратчайшему расстоянию между точками этих функций в пространстве.

Задачу оценки показателей степени сходства имитации воздушными мишенями

$$\Theta = d_x[f_u(t), \varphi_2(t)] + d_y[f_u(t), \varphi_2(t)] + d_z[f_u(t), \varphi_2(t)],$$

где $d_x[f_u(t), \varphi_2(t)]$ и $d_z[f_u(t), \varphi_2(t)]$ – метрики между функциями $f_u(t)$ и $\varphi_2(t)$ соответственно по координатам u и z .

В случае N -мерной ортогональной системы базисных функций метрика $d^N[f_u(t), \varphi_2(t)]$ между функциями $f_u(t)$ и $\varphi_2(t)$ оценивается по следующей формуле:

$$d^N[f_u(t), \varphi_2(t)] = \left[\sum_{n=1}^N (\eta_{u_n} - \xi_{m_n})^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

где η_{u_n} ($n = \overline{1 \dots N}$) – координаты функции $f_u(t)$, описывающей траекторию полета цели в N -мерной ортогональной системе базисных функций;

ξ_{m_n} ($n = \overline{1 \dots N}$) – координаты функции $\varphi_2(t)$, описывающей траекторию полета мишени 2-го типа в N -мерной ортогональной системе базисных функций.

Отсюда видно, что, используя математический аппарат функционального анализа, мож-

конкретной цели достаточно легко можно решить путем разложения функций, описывающих показатели качества мишеней и характеристики цели в линейно независимой и ортогональной системе базисных функций. Так, на рисунке 3 показано в трехмерном пространстве графическое изображение показателей степени адекватности имитации мишенями трех типов одной цели в ортогональной системе базисных функций.

Так, например, показатель Θ_x степени адекватности имитации мишенью 2-го типа траектории полета цели по координате x будет определяться соответствующей метрикой $d_x[f_u(t), \varphi_2(t)]$ пространства L_2 , т. е.

$$\Theta_x = d_x[f_u(t), \varphi_2(t)],$$

где $f_u(t)$ и $\varphi_2(t)$ – функции, описывающие на временном отрезке изменение координат траекторий полета соответственно цели и мишени 2-го типа.

Тогда обобщенный скалярный показатель Θ степени адекватности имитации мишенью траектории полета цели запишется в виде:

но достаточно прозрачно формализовать задачу оценки показателей степени адекватности (сходства) имитации мишенями соответствующих целей противника и рассчитать их значения.

Таким образом, в статье предложен новый подход к формализации задач обоснования требований к воздушным мишеням и оценки показателей степени адекватности имитации ими летательных объектов при испытаниях сложных систем вооружения, основанный на использовании математического аппарата функционального анализа, позволяющего при решении задач такого типа представлять значения требований к мишеням и показателей их качества в виде точек в многомерных функциональных пространствах с метриками, значения которых могут характеризовать показатели степени сходства мишеней и целей.

Приведенный в статье подход может быть успешно применен для совершенствования

научно-методического аппарата программно-целевого планирования развития средств миссионных комплексов полигонов, предназна-

ченных для испытаний сложных систем вооружения.

Список использованных источников

1. Буренок В.М., Найденов В.Г. Методы повышения эффективности применения средств и систем обеспечения испытаний вооружения, военной с специальной техники. – М.: Граница, 2006. – 264 с.
2. Гальцов Е.М. Методология обоснования задач испытаний и перспектив развития полигонного испытательного комплекса Министерства обороны Российской Федерации / Е.М. Гальцов, В.Н. Минаев, А.Т. Тунгуспаев. – М.: ФГУП «ВИМИ», 2007. – 258 с.
3. Пугачев В.С. Лекции по функциональному анализу. – М.: МАИ, 1996. – 744 с.
4. Федоров В.М. Лекции по функциональному анализу. – М.: Издательство механико-математического факультета МГУ, 2004. – 96 с.
5. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. 7-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 572 с.
6. Жданюк Б.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. – М.: Советское радио, 1978. – 384 с.