

УДК 519.7:623-9

С.С. Федин, Н.А. Зубрецькая

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Киев

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА МЕТОДОМ МНОГОМЕРНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ

В статье на основе использования метода многомерной линейной пространственной экстраполяции разработана математическая модель для восстановления значений основных тактико-технических характеристик летательного аппарата на примере истребителя пятого поколения ПАК ФА (Т-50).

Ключевые слова: восстановление, тактико-технические характеристики, истребитель, проектирование, модель, пространственная экстраполяция.

Введение

При проектировании сложных технических объектов задача обеспечения качества нового изделия может быть решена на основе восстановления значений основных технических характеристик проектируемого образца по априорной информации о характеристиках аналогичных изделий с использованием метода многомерной пространственной экстраполяции [1].

Такой метод позволяет получать оценки значений векторного поля экстраполируемого (прогнозируемого) показателя, которые определяются в виде вектора решений Y по отдельным векторам наблюдений X , представляющим собой конечное множество точек в многомерном пространстве ситуаций. Компоненты вектора X характеризуют параметры наблюдаемых ситуаций (значения характеристик изделий-аналогов), а компоненты вектора Y – прогнозные параметры проектируемого изделия.

Рассмотрим решение задачи обеспечения качества образца новой техники на примере восстановления значений основных тактико-технических характеристик (ТТХ) разрабатываемого образца истребителя пятого поколения ПАК ФА по информации многомерного пространства исходных данных о ТТХ изделий-аналогов.

Актуальность исследования и постановка проблемы. Предполагается, что использование метода многомерной пространственной экстраполяции позволит с достаточной для инженерных расчетов степенью достоверности на стадии эскизного и технического проектирования получить оценку ТТХ летательного аппарата на примере истребителя пятого поколения ПАК ФА (изделие Т-50) в сравнении с изделиями-аналогами – истребителями F-35A, Су-35 и F-22A «Рэптор».

В настоящее время известна неполная информация о предполагаемых значениях ТТХ Т-50. Так

в работе [2] отмечается, что значения ТТХ ПАК ФА пока не рассекречены, но исходя из отдельных сведений, опубликованных в открытых источниках информации [3, 4], предположительно, истребитель сможет развивать максимальную скорость до 2600 км/ч и совершать перелеты на расстояние до 5500 км.

Целью исследования является разработка экстраполяционной модели для восстановления значений основных ТТХ изделия на примере истребителя пятого поколения ПАК ФА.

Данное исследование направлено также на решение проблемы комплексной сравнительной оценки качества перспективных технических объектов и изделий-аналогов по критерию стоимость/эффективность.

Формализация задачи пространственной экстраполяции

Задача пространственной экстраполяции состоит в оценке значений вектора Y_{n+1} с учетом информации о векторе X_{n+1} и сводится к определению вида неизвестной функции F аргумента X по конечному числу наблюдений n с целью восстановления прогнозных значений Y [1, 5].

Для двумерного случая при решении такой задачи вводятся два обучающих вектора – линейные параметризованные пространства: пространство ситуаций X , задаваемое параметрами x_1 и x_2 , и пространство решений Y , определяемое параметрами y_1 и y_2 (рис. 1).

Через точки X_1 и X_2 проводится прямая линия (рис. 1), характеризующая подпространство проектных ситуаций $\{X'\}$, а через точки Y_1 и Y_2 – линия, характеризующая подпространство решений $\{Y'\}$, которые определяются по формулам

$$\{X'\} = X_1 + \lambda(X_2 - X_1),$$

$$\{Y'\} = Y_1 + \mu(Y_2 - Y_1),$$

где λ и μ – коэффициенты пропорциональности [1].

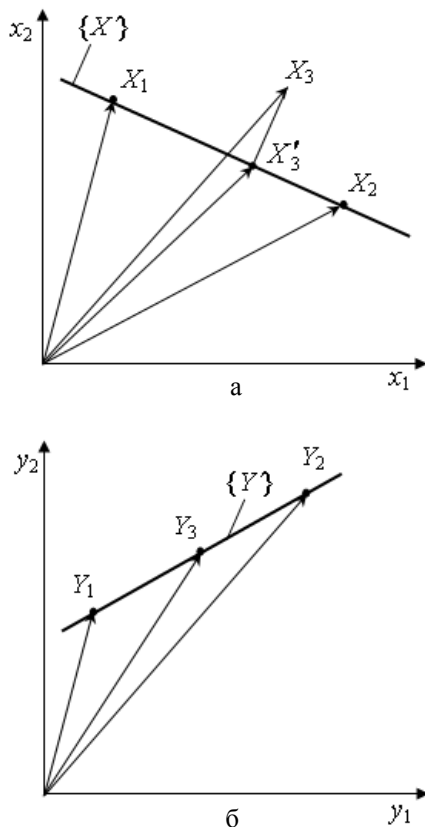


Рис. 1. Многомерная линейная экстраполяция по двум обучающим векторам на плоскости:
 а – пространство ситуаций;
 б – пространство решений

С учетом гипотезы о линейности преобразования $\{X'\} \rightarrow \{Y'\}$ вводится функция близости вида

$$\Phi(X, X') = \|X - X'\|^2, \quad (1)$$

где $\|\cdot\|$ – оператор нормы вектора, $\{X\}$ – новая проектная ситуация, $\{X'\} = X_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i (X_{i+1} - X_1)$, $i =$

$= 1, 2, \dots, k, \dots, n$ – мерное пространство проектных ситуаций.

В случае двух проектных ситуаций значение параметра λ и вектора Y_3 , характеризующего новый прототип изделия, может быть найдено после минимизации функции $\Phi(X, X')$ по формуле

$$Y_3 = Y_1 + \lambda(Y_2 - Y_1), \quad (2)$$

где $\lambda = \mu$ [1].

Вектор Y_3 является оптимальным в новой проектной ситуации X'_3 .

Зависимость (2) позволяет достаточно надежно решить задачу восстановления функции в условиях информационной недостаточности пространств малой размерности.

Так, например, для случая, характеризующего три проектные ситуации, данная задача может быть решена на основе информации о первых двух проектных ситуациях.

При этом, как показано в работе [1], погрешность экстраполяции может быть значительно уменьшена на основе зависимости

$$Y_4 = Y_1 + \lambda_1(Y_2 - Y_1) + \lambda_2(Y_3 - Y_1), \quad (3)$$

т.к. зависимость (3) позволяет учесть более полную информацию о трех проектных ситуациях.

Построение экстраполяционной модели для восстановления значений ТТХ истребителя ПАК ФА

На первом этапе создания экстраполяционной модели в результате анализа источников научно-технической информации, выбраны основные ТТХ истребителя ПАК ФА и трех его аналогов: F-35A, Су-35 и F-22A «Рэптор» [6-10].

В табл. 1 представлены ТТХ изделий-аналогов F_1, F_2, F_3 и исходные (предполагаемые) F_4 значения ТТХ для истребителя Т-50.

Таблица 1

Значения ТТХ истребителя Т-50 и изделий-аналогов

ТТХ	F_1 (fighter)	F-35A (F_1)	Су-35 (F_2)	F-22A (F_3)	Т-50 (F_4)
X_1 – масса пустого самолета, кг		13300	18400	19700	17500
X_2 – нормальная взлетная масса, кг		20100	25300	29300	29000
X_3 – максимальная взлетная масса, кг		32000	34000	38000	34500
X_4 – практический потолок, м		18300	18500	19800	20000
X_5 – максимальная скорость, км/ч		1900	2500	2410	2600
X_6 – крейсерская скорость, М		0,90	1,10	1,58	1,78
X_7 – длина самолета, м		15,67	21,90	18,92	19,40
X_8 – площадь крыла, м ²		42,80	62,04	78,00	82,00

Поскольку каждый летательный аппарат в данном случае описывается восьмимерным вектором, то задача заключается в восстановлении значений ТТХ четвертого объекта – изделия Т-50 (по характеристикам трех изделий-аналогов) в восьмимерном пространстве решений.

Проведенные предварительные исследования и моделирование ТТХ истребителя Т-50 по характеристикам изделий-аналогов Су-35 и F-22А показали существенные значения относительной погрешности по некоторым ТТХ.

В связи с этим восстановление значений ТТХ истребителя ПАК ФА осуществляли на основе зависимости (3) по трем изделиям-аналогам F-35А, Су-35 и F-22А.

В этом случае подпространство известных ситуаций включает объекты F_1, F_2, F_3 , а квадратичная функция близости (1) новой ситуации F_4 к подпространству $\{X'\}$ зависит от параметров λ_1 и λ_2 . Покоординатное представление подпространства ситуаций на основе данных (табл. 1) имеет вид

$$\{X'\} = \begin{pmatrix} (13300 + 5100\lambda_1 + 6400\lambda_2), \\ (20100 + 5200\lambda_1 + 9200\lambda_2), \\ (32000 + 2000\lambda_1 + 6000\lambda_2), \\ (18300 + 200\lambda_1 + 1500\lambda_2), \\ (1900 + 600\lambda_1 + 510\lambda_2), \\ (0,9 + 0,2\lambda_1 + 0,68\lambda_2), \\ (15,67 + 6,23\lambda_1 + 3,25\lambda_2), \\ (42,8 + 19,24\lambda_1 + 35,2\lambda_2) \end{pmatrix} \quad (4)$$

Функция близости $\Phi(F_4 - X') = \|F_4 - X'\|^2$ с учетом априорных данных (табл. 1) и (4) имеет вид

$$\begin{aligned} \Phi(F_4 - X') = & (-4200 + 5100\lambda_1 + 6400\lambda_2)^2 + \\ & + (-8900 + 5200\lambda_1 + 9200\lambda_2)^2 + \\ & + (-3480 + 2000\lambda_1 + 6000\lambda_2)^2 + \\ & + (-1700 + 200\lambda_1 + 1500\lambda_2)^2 + \\ & + (-700 + 600\lambda_1 + 510\lambda_2)^2 + \\ & + (-1,1 + 0,2\lambda_1 + 0,68\lambda_2)^2 + \\ & + (-3,73 + 6,23\lambda_1 + 3,25\lambda_2)^2 + \\ & + (-39,2 + 19,24\lambda_1 + 35,2\lambda_2)^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Для определения параметров λ_1 и λ_2 функции близости (5) реализована процедура её минимизации на основе решения системы двух уравнений в частных производных с использованием универсальной системы математического моделирования MathCAD (рис. 2).

Используя полученные значения $\lambda_1=0,051$ и $\lambda_2=0,779$ зависимости (3), определены искоемые экстраполированные значения каждой из восьми ТТХ истребителя Т-50 (F'_4), а также выполнена оценка относительной погрешности результата многомерной пространственной экстраполяции δ , % по каждой ТТХ для F_4 и F'_4 (табл. 2).

Анализ результатов моделирования (табл. 2) показывает, что величина относительной погрешности экстраполяционной модели по восьми ТТХ находится в диапазоне от 5,1% до 19,7%, что свидетельствует о допустимом результате восстановления значений основных ТТХ истребителя ПАК ФА.

Таблица 2

Известные и полученные на основе экстраполяционной модели ТТХ истребителя Т-50

ТТХ	Восстановленные на основе модели (F'_4)	Исходные(F_4)	$\delta = \frac{ F'_4 - F_4 }{F_4} 100, (\%)$
X_1 – масса пустого самолета, кг	18546	17500	5,9
X_2 – нормальная взлетная масса, кг	27532	29000	5,1
X_3 – максимальная взлетная масса, кг	36776	34500	5,1
X_4 – практический потолок, м	19479	20000	2,6
X_5 – максимальная скорость, км/ч	2086	2600	19,7
X_6 – крейсерская скорость, М	1,44	1,78	19,1
X_7 – длина самолета, м	18,52	19,40	4,5
X_8 – площадь крыла, м ²	71,20	82,00	13,2

$$\frac{\partial}{\partial \lambda_1} \Phi(\lambda_1, \lambda_2) \rightarrow -150841555.3318 + 114900818.0610 \cdot \lambda_1 + 186173395.2630 \cdot \lambda_2$$

$$\frac{\partial}{\partial \lambda_2} \Phi(\lambda_1, \lambda_2) \rightarrow -265096785.4210 + 186173395.2630 \cdot \lambda_1 + 328222700.1298 \cdot \lambda_2$$

$$\lambda_1 := 1 \quad \lambda_2 := 1$$

Given

$$-150841555.3318 + 114900818.0610 \cdot \lambda_1 + 186173395.2630 \cdot \lambda_2 = 0$$

$$-265096785.4210 + 186173395.2630 \cdot \lambda_1 + 328222700.1298 \cdot \lambda_2 = 0$$

$$\text{Find}(\lambda_1, \lambda_2) = \begin{pmatrix} 0.051 \\ 0.779 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Расчет параметров λ_1 и λ_2 с использованием системы MathCAD

Выводы

1. На основе метода многомерной пространственной экстраполяции разработана математическая модель для восстановления значений ТТХ летательного аппарата на примере истребителя пятого поколения ПАК ФА при сравнении его характеристик с изделиями-аналогами.

2. Установлено, что минимальное и максимальное значения относительной погрешности модели, равные соответственно 5,1 и 19,7%, свидетельствуют о допустимом результате восстановления ТТХ истребителя ПАК ФА в условиях априорной неопределенности информации. Это позволяет рекомендовать использование метода пространственной экстраполяции для восстановления значений ТТХ летательных аппаратов на стадии их эскизного и технического проектирования.

Список литературы

1. Растрюгин Л.А. Экстраполяционные методы проектирования и управления. / Л.А. Растрюгин, Ю.П. Пономарев. – М.: Машиностроение, 1986. – 120 с.
2. Предварительный анализ истребителя Т-50 (ПАК-ФА): [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://alternathistory.livejournal.com/287308.html>.

3. ПАК-ФА Сухой Т-50: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://warfare.be/db/lang/rus/catid/255/linkid/2280/>.

4. Анализ Т-50: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://paralay.com/pakfasu.html>.

5. Зубрецька Н.А. Прогнозирование показателей качества проектируемых изделий методом многомерной пространственной экстраполяции / Н.А. Зубрецька, С.С. Федін // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2012. – № 33. – С. 68–72.

6. Фомин А.В. Пятое поколение у них и у нас / А.В. Фомин – М.: ООО «Аэромедиа», 2010. – 60 с.

7. Ending F-22A Production: Costs and Industrial Base Implications of Alternative Options: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monographs/2010/RAND_MG797.pdf.

8. Многоцелевой истребитель ПАК ФА / Т-50 (Россия): [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://warfiles.ru/show-65014-mnogocelovoy-istrebitel-pak-fa-t-50-rossiya.html>.

9. Су-35 (Су-27БМ) - многоцелевой истребитель: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://army.lv/ru/su-35/harakteristiki/482/555>.

10. Су-35: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Су-35>

Поступила в редколлегию 11.02.2015

Рецензент: д-р. техн. наук, проф. В.П. Квасников, Национальный авиационный университет, Киев.

ВІДНОВЛЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА МЕТОДОМ БАГАТОВИМІРНОЇ ПРОСТОРОВОЇ ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ

С.С. Федін, Н.А. Зубрецька

У статті на основі використання методу багатовимірної лінійної просторової екстраполяції розроблено математичну модель для відновлення значень основних тактико-технічних характеристик літального апарату на прикладі винищувача п'ятого покоління ПАК ФА (Т-50).

Ключові слова: відновлення, тактико-технічні характеристики, винищувач, проектування, модель, просторова екстраполяція.

RESTORES OF THE TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE AIRCRAFT OF METHODS OF MULTIVARIATE SPATIAL EXTRAPOLATION

S.S. Fedin, N.A. Zubretskya

On the basis of the method of multidimensional linear spatial extrapolation of a mathematical model for the restoration of the values of the main performance characteristics of the aircraft on the example of a fifth generation fighter PAK FA (T-50).

Keywords: recovery, performance characteristics, fighter, design, model, spatial extrapolation.