

УДК 004:629.734

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ НА РАННИХ СТАДИЯХ И ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА

Горбунов А.А., Припадчев А.Д., Кондров Я.В., Магдин А.Г.
*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург,
e-mail: gorbynovaleks@mail.ru*

В представленной статье предложена методика определения точных значений исследуемых параметров на ранних стадиях и этапах проектирования магистрального воздушного судна (ВС). Традиционный процесс проектирования ВС предполагает проведение декомпозиции на конструктивные элементы и функциональные блоки, что позволяет решать задачи малой размерности для несуществующего объекта на ранних стадиях проектирования. Проектирование ВС и его составных элементов необходимо вести в контексте комплексного многопараметрического подхода с применением синергетических методов, реализованных посредством программного обеспечения. Под синергетическими методами в контексте работы понимается объединение аэродинамических явлений и результатов численных моделирований, характеристик жесткости и прочности конструкции с обликowymi параметрами, и т.д. для ВС и его элементов. А под машинной обработкой понимается способность исследовать и устанавливать связи между параметрами, снижать размерность и генерировать новый вариант проектной альтернативы. Создание прикладного программного обеспечения, реализующего в себе многопараметрический подход и единственность решения на этапах предварительного и эскизного проектирования, позволит совершенствовать процесс проектирования ВС, а представленная методика позволит обеспечить связь с валидационным базисом (эталонными решениями).

Ключевые слова: воздушное судно, выбор параметров, поиск рациональных решений, этапы проектирования, проектная альтернатива

CHOICE OF PARAMETERS AND SEARCH OF RATIONAL SOLUTIONS AT EARLY PHASE AND STAGES OF DESIGNING A MAIN AIRCRAFT

Gorbunov A.A., Pripadchev A.D., Kondrov Ya.V., Magdin A.G.
*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Orenburg State University»,
Orenburg, e-mail: gorbynovaleks@mail.ru*

In the presented article, a methodology for determining the exact values of the studied parameters at the early stages and design stages of a main aircraft is proposed. The traditional aircraft design process involves decomposition into structural elements and functional units, which allows us to solve small-dimensional problems for a non-existent object in the early stages of design. The design of the aircraft and its components must be carried out in the context of an integrated multi-parameter approach and the application of synergetic methods implemented through software. Synergetic methods in the context of the work are understood as the combination of aerodynamic phenomena and the results of numerical simulations, characteristics of rigidity and strength of a structure with facing parameters, etc. for the sun and its elements. And under the machined understood – the ability to explore and establish links between the parameters to reduce the dimension and generate a new version of the design alternatives. Creation of application software that implements a multi-parameter approach and uniqueness of the solution at the stages of preliminary and preliminary design, will improve the design process of aircraft, and the presented methodology will allow for communication with the validation basis (reference solutions).

Keywords: aircraft, the choice of parameters, the search of rational solutions, design stages, the project alternative

Согласно классической методике на этапе предварительного проектирования ВС используются весовые формулы. В основе таких формул, как правило, используются упрощенные математические модели, основанные на описании физических объектов и процессов с учетом статистических параметров области существования проектируемого или подлежащего оптимизации ВС [1, 2].

При таком подходе необходимо анализировать большое число статистических данных, выделяя при этом доверительную область величин параметров. Выявить наиболее значимые параметры неавтоматизированным способом практически невозможно. Для проведения анализа рационально

разработать прикладное ПО, позволяющее анализировать данные в заданных ограничениях и формировать на их основе, с учетом выбранных критериев эффективности, новые проектные альтернативы.

Также необходимо обеспечить ПО возможностью параллельного учета как новых технических решений, так и результаты НИР и ОКР. Результат работы такого ПО – сужение области возможных решений в заданных ограничениях, на основе которой возможно сформировать облик ВС и его элементов в первом приближении в виде эскиза (рис. 1) [3].

Представление ВС виде взаимосвязанных элементов различной степени

сложности и детализации на подсистемы, агрегаты, функциональные блоки, конструктивные элементы и детали обеспечивает выявление связей и определение структуры процесса проектирования. В основе принципа выделения в структуре ВС различных элементов лежит принцип декомпозиции, позволяющий выявить отдельные уровни связанности геометрических параметров элемента с его физическими свойствами [4, 5]. На рис. 2 представлены стадии и этапы проектирования, на которых возможно осуществить выбор оптимального вектора проектных решений, формализовать новые технические решения и провести валидацию полученных проектных альтернатив.

Для установления новых зависимостей между проектными переменными и методами проектирования необходимо при-

менять синергетические методы, позволяющие осуществлять анализ и синтез данных на некоторой модели, базирующейся на статистической информации и результатах НИР и ОКР. Резюмируя вышесказанное, для совместного проектирования элементов ВС необходимы:

- многопараметрический подход к анализу и синтезу варианта проектного решения;
- модель, объединяющая различные методики и методы проектирования;
- формализованный процесс, позволяющий реализовывать единственность решения для отдельных элементов ВС на этапах предварительного и эскизного проектирования;
- система автоматизированного проектирования, позволяющая реализовывать процесс автоматизированного синтеза проектных и конструкторских параметров в единой информационной среде.

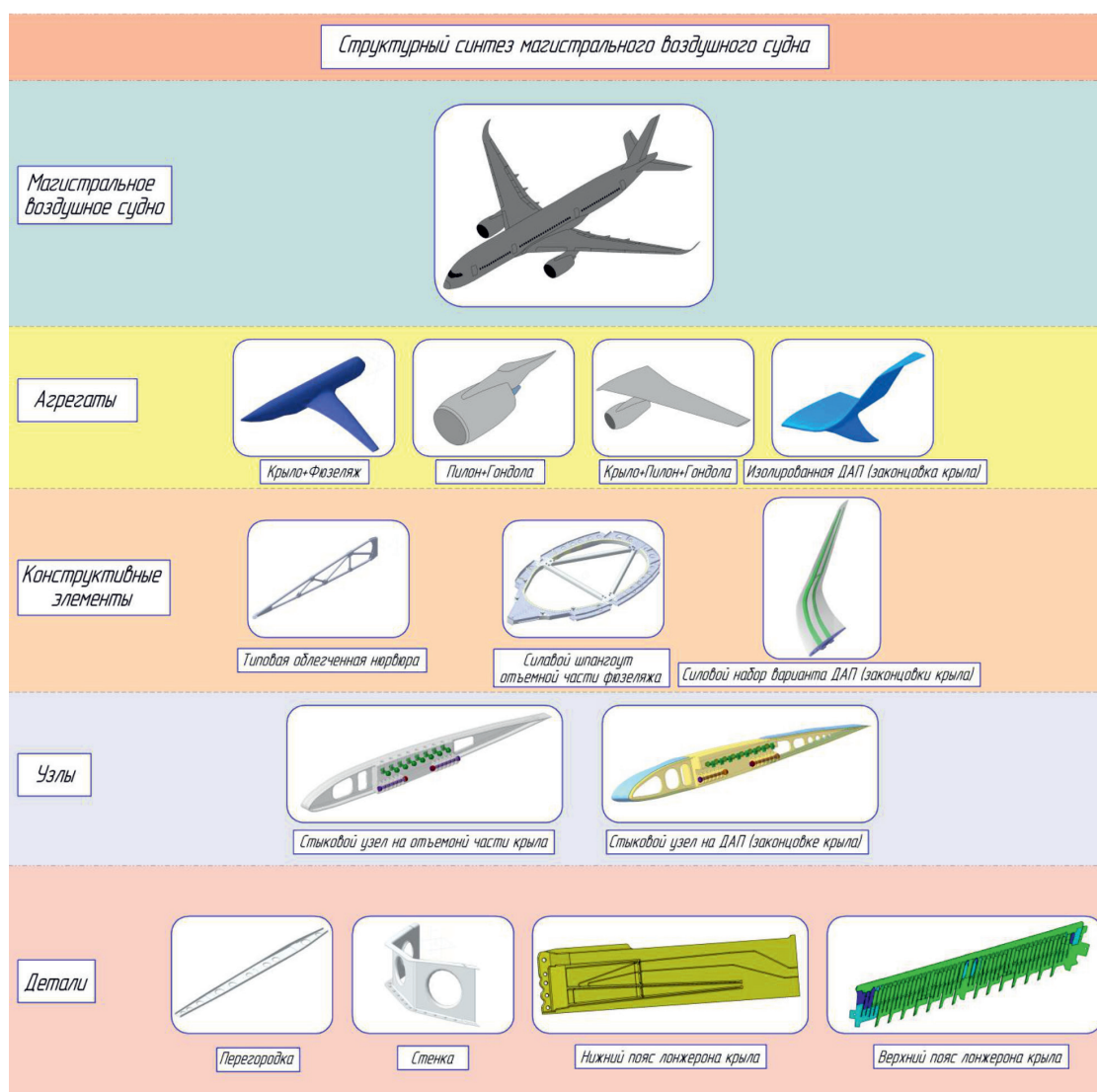


Рис. 1. Блочно-иерархическая структура синтеза элементов магистрального ВС

Цель исследования: разработка научно-методического обеспечения, включающего методики, модели, прогнозирование, совершенствующие принципы проектирования магистрального ВС, обеспечивающие повышение точности и снижение временных затрат на ранних стадиях и этапах проектирования.

Материалы и методы исследования

В связи с тем, что одним из факторов инновационного развития является переход к технологиям проектирования на основе применения средств вычислительной техники и большого объема математического моделирования, в том числе и имитационного моделирования, процесс проектирования магистрального ВС и его элементов на этапах предварительного и эскизного проектирования необходимо вести в контексте комплексного многопараметрического подхода к варианту проектной альтернативы и применением синергетических методов с машинной обработкой, т.е. ПО.

Под синергетическими методами в контексте работы понимается объединение аэродинамических явлений и результатов численных моделирования, характеристик жесткости и прочности конструкции

с обликowymi параметрами, и т.д. для ВС и его элементов.

Предлагаемый подход позволит:

1. Реализовывать единственность решения для отдельных элементов ВС, на этапах предварительного и эскизного проектирования.

2. Осуществлять многопараметрический подход к анализу и синтезу варианта проектного решения.

Формализовать многопараметрический подход к анализу и выбору состава проектно-конструкторских параметров возможно путем представления магистрального ВС в целом и его составных элементов в частности в виде набора формальных моделей (статистической, имитационной, аэродинамической и т.д.). Объединяющим фактором для совокупности моделей является набор параметров в заданной области существования и заданными ограничениями, а сочетание параметров позволяет получать проектное решение с заданным набором характеристик.

Математический аппарат процесса предварительного и эскизного проектирования для составных элементов ВС формируется на основе концептуальной модели в соответствии с блочно-иерархической структурой синтеза элементов магистрального ВС (рис. 1). На рис. 3 представлена структурная схема концептуальной модели выбора проектных альтернатив ВС [3].

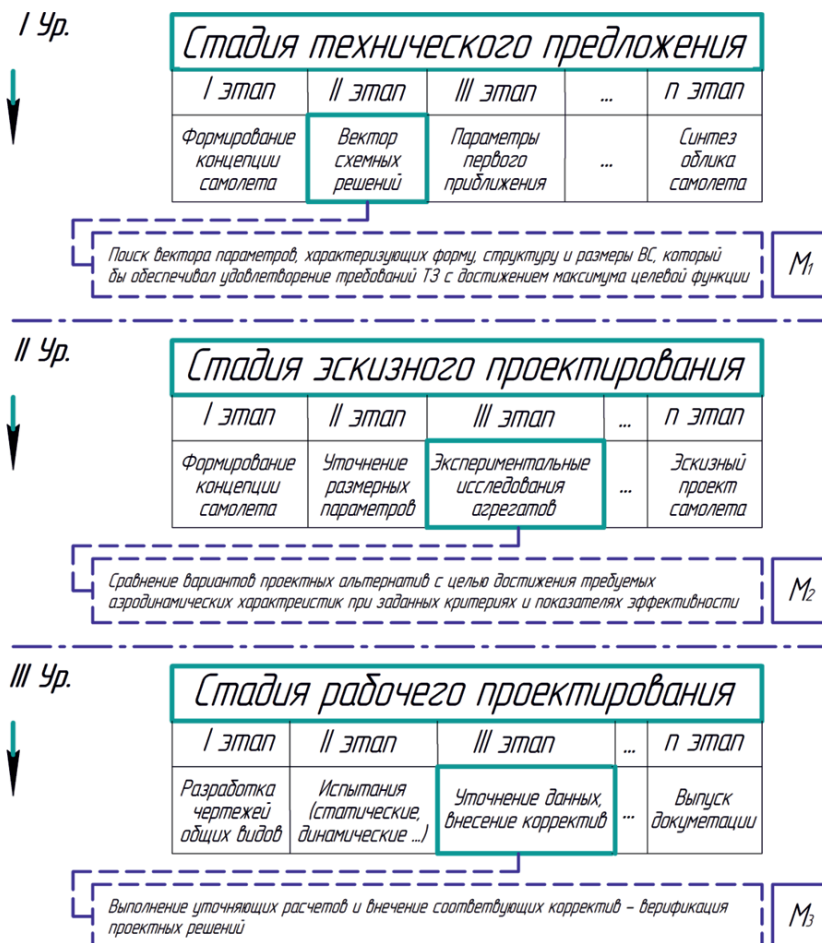


Рис. 2. Укрупненный процесс проектирования ВС



Рис. 3. Структура концептуальной модели

(матрица 17*18)																	
17	18																
9.43	4.73	25.01	0.23	122.64	25.94	2.81	34.01	7.01	1.48	5.33	68000	12000	0.78	554	9.24	0.034	21.99
9.46	4.35	25.01	0.22	122.95	25.62	2.79	34.11	7.01	1.61	5.11	68000	12000	0.78	553	10.31	0.031	23.23
11.37	4.77	25.15	0.24	113.35	18.21	2.81	35.91	6.26	1.31	2.31	72303	12500	0.82	638	11.93	0.027	24.99
9.07	3.97	25.35	0.25	74.53	14.72	2.71	26.01	5.41	1.36	5.28	38790	11900	0.83	520	11.99	0.017	25.05
8.01	3.43	25.59	0.25	103.01	19.95	2.73	28.72	6.21	1.81	5.29	51800	11900	0.82	503	13.81	0.023	26.88
8.67	3.91	27.22	0.18	90.46	21.51	2.64	28.01	5.51	1.41	6.33	45880	12200	0.78	507	4.18	0.076	14.79
9.49	4.23	30.55	0.32	184.17	23.65	2.91	41.81	8.51	2.01	4.51	108000	12200	0.81	586	14.49	0.022	27.54
10.97	3.91	29.34	0.22	112.31	20.51	2.81	35.11	6.31	1.61	10.21	54930	12500	0.82	489	4.95	0.064	16.11
7.84	3.61	26.24	0.23	51.21	14.44	1	20.04	4.01	1.11	4.21	21100	11200	0.78	412	15.64	0.021	28.61
9.18	4.37	21.33	0.27	31.24	6.42	1	16.94	3.28	0.75	1.53	11839	13700	0.75	379	5.91	0.054	17.57
7.51	3.77	31.41	0.29	49.13	10.15	1	19.21	3.81	1.01	1.21	17960	13700	0.85	365	9.23	0.034	21.98
5.91	3.17	33.81	0.23	95.17	20.51	1	23.71	6.69	2.11	1.91	33800	13700	0.88	355	3.09	0.103	12.71
6.73	5.34	27.55	0.22	28.95	7.82	1	13.96	2.61	1.11	2.11	9752	15500	0.81	336	5.04	0.063	16.25
8.37	2.34	26.37	0.19	28.71	8.41	1	15.51	2.84	1.21	2.11	9752	15500	0.84	339	2.43	0.131	11.28
9.09	2.93	27.21	0.22	48.51	10.62	1	21.01	3.85	1.31	2.91	18416	13700	0.78	379	2.84	0.112	12.21
8.46	2.98	27.21	0.18	45.41	10.12	1	19.61	3.61	1.21	2.91	21863	12500	0.82	481	2.82	0.113	12.16
8.65	4.77	36.55	0.17	94.81	18.21	1	28.65	6.26	1.31	2.31	41957	15500	0.89	442	10.87	0.029	23.86
6.3																	
1	2	4	6	14	18												
1	18																
0	0																

Рис. 4. Структура построчного файла «sled»

Рассмотрим определение точных значений исследуемых параметров для элементов магистрального воздушного судна в программе «Многомерный анализ параметров магистральных ВС с построением регрессионных моделей». Исходными данными будут:

- построчный файл, построчная структура которого представлена на рис. 4;

- ограничениями по параметрам исследования будут максимальные значения параметров в столбиках матрицы исследования в файле, например, для первого столбика, соответствующего наблюдаемому параметру «Удлинение крыла, λ » минимальное значение параметра равно 5,91, а максимальное 11,37, для параметра «Скорость полета, М» минимальное значение параметра равно 0,75, а максимальное 0,89 и т.д.

Для проведения прогноза необходимо в файле задать требуемые значения для базовых параметров

(табл. 1) в пределах заданных ограничений. Задавать базовые параметры возможно по всем строчкам наблюдения одновременно или по одной из строк матрицы исследования.

В случае если базовые параметры заданы вне диапазона ограничений, это приведет к снижению точности прогноза или вовсе неправильному результату счета, так как полиномиальная модель построена в диапазоне ограничений. Расширить область ограничений возможно внесением в исходную матрицу файла большее количество строчек наблюдения.

В табл. 2 представлены сгруппированные прогнозируемые значения параметров для первой строчки наблюдения исходной матрицы (рис. 3). Проведенный прогноз по шести базовым параметрам позволил с высокой степенью точности определить значения параметров, средняя ошибка прогноза составила 4,72%.

Таблица 1

Базовые параметры выборки среднемагистральных ВС

Номер	Название параметра	Значение
1	Удлинение крыла, λ	9,7
2	Сужение крыла, η	4,73
4	Относительная толщина профиля крыла, \bar{c}	0,23
6	Площадь крыла, занятая фюзеляжем, $S_{к.п.ф.}$	25,94
14	Скорость полета, M	0,8
18	Аэродинамическое качество, K	21,99

Таблица 2

Прогнозируемые значения первой строчки наблюдения исходной матрицы

Обозначение параметра	Исходное значение параметров	Прогнозируемое значение параметра
1	2	3
1. Удлинение крыла, λ	9,43	9,7
2. Сужение крыла, η	4,73	4,72
3. Угол стреловидности, χ	25,01	26,6564
4. Относительная толщина профиля крыла, \bar{c}	0,23	0,23
5. Площадь крыла, S_k	122,64	128,9297
6. Площадь крыла, занятая фюзеляжем, $S_{к.п.ф.}$	25,94	25,94
7. Площадь крыла под пилонами двигателя, $S_{к.п.д.}$	2,81	3,3707
8. Размах крыла, l	34,01	36,9754
9. Корневая хорда крыла, b_0	7,01	7,3501
10. Концевая хорда крыла, b_k	1,48	1,554
11. Поперечный угол крыла при виде спереди, ϕ	5,33	5,8946
12. Взлетная масса, m_0	68000	72464,0547
13. Крейсерская высота полета, H	12000	12381,0723
14. Скорость полета, M	0,78	0,8
15. Удельная нагрузка на крыло, p_0	554	588,4413
16. Эффективное удлинение крыла, $\lambda_{эф.}$	9,24	9,2432
17. Угол отвала поляры, A	0,034	0,0299
18. Аэродинамическое качество, K	21,99	21,99

Результаты исследования и их обсуждение

С применением разработанного прикладного ПО последовательно проведен прогноз на выборки среднемагистральных ВС. В первом варианте счета в качестве варьируемой величины выбираем параметр № 1 «Удлинение крыла, λ », изменяя величину параметра от исходного значения, представленного в табл. 2, в большую или меньшую сторону, табл. 3, получаем прогнозируемые значения для остальных 17 исследуемых параметров.

Таблица 3

Значения величин варьируемых параметров

Параметр	Значение				
(1. Удлинение крыла, λ)	9	9,2	9,43	9,6	9,8

Геометрическое решение оптимизационной задачи на прогнозируемых параметрах представлено в виде поверхности отклика (рис. 5).

Во втором варианте счета в качестве варьируемой величины выбираем параметр № 2 «Сужение крыла, η », изменяя величину параметра от исходного значения, в большую или меньшую сторону, табл. 4, получаем прогнозируемые значения для остальных 17 исследуемых параметров.

Таблица 4

Значения величин варьируемых параметров

Параметр	Значение				
(2. Сужение крыла, η)	4,3	4,5	4,73	4,9	5,1

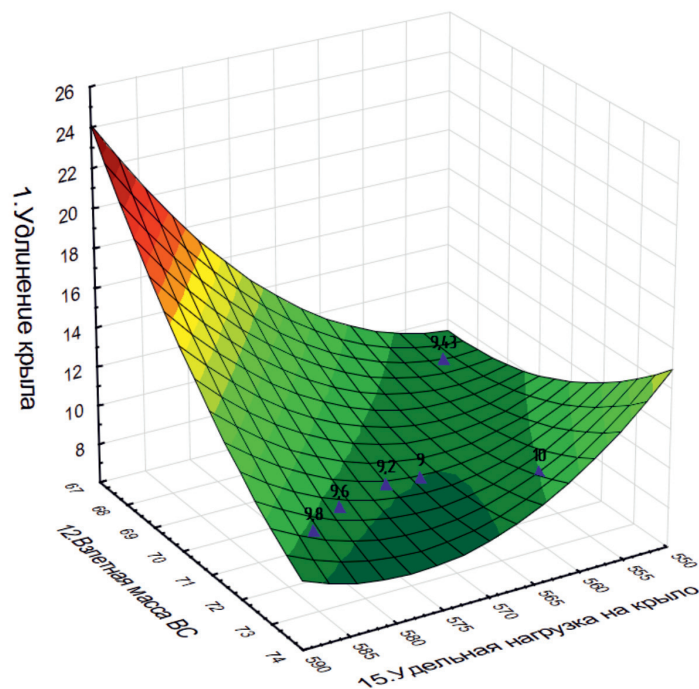


Рис. 5. Прогнозируемые значения для параметра № 1 « λ »

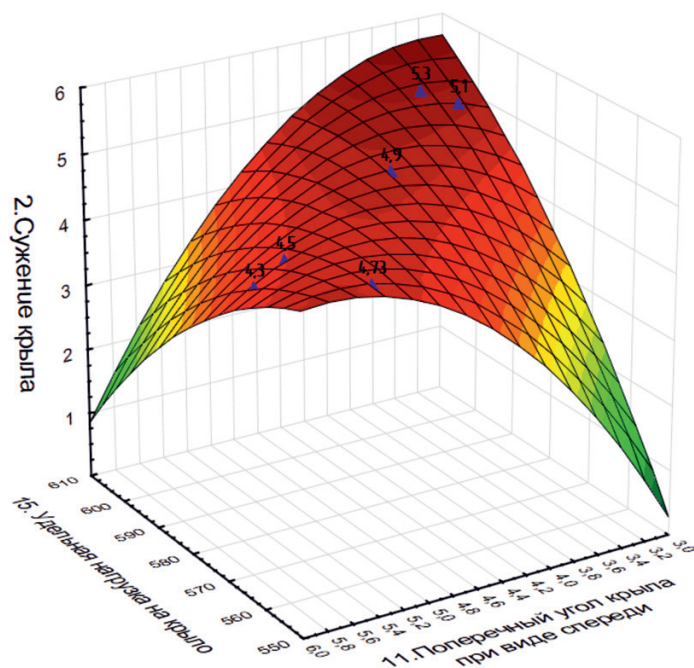


Рис. 6. Прогнозируемые значения для параметра № 2 « η »

Геометрическое решение оптимизационной задачи на прогнозируемых параметрах представлено в виде поверхности отклика (рис. 6).

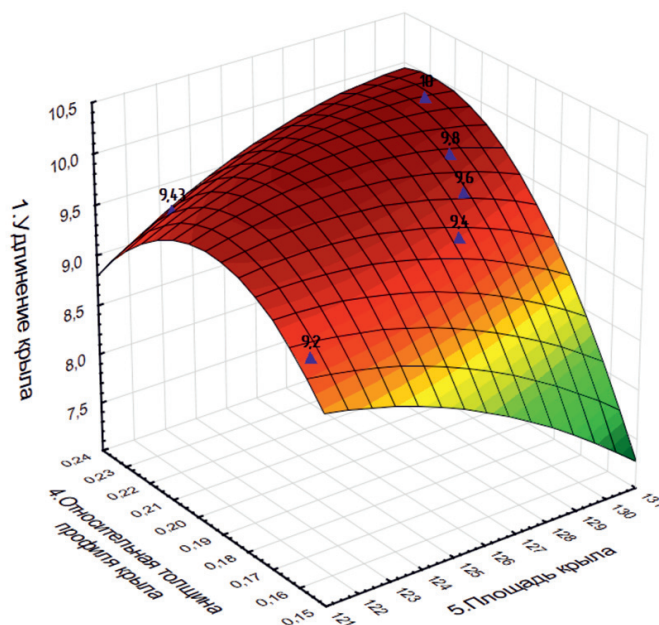
В третьем варианте счета в качестве варьируемой величины выбираем сочета-

ние параметров № 1 «Удлинение крыла, λ » и № 4 «Относительная толщина профиля крыла, \bar{c} », изменяя величину параметров от исходного значения, табл. 5, получаем прогнозируемые значения для остальных 16 исследуемых параметров.

Таблица 5

Значения величин варьируемых параметров

Параметр	Значение				
(1. Удлинение крыла, λ)	9,2	9,4	9,43	9,6	9,8
(4. Относительная толщина профиля крыла, \bar{c})	0,16	0,18	0,23	0,19	0,2

Рис. 7. Прогнозируемые значения для параметра № 4 « \bar{c} »

Геометрическое решение оптимизационной задачи на прогнозируемых параметрах представлено в виде поверхности отклика (рис. 7).

Заключение

Представлена методика определения точных значений исследуемых параметров с применением разработанного прикладного ПО на примере элементов магистрального ВС и решены оптимизационные задачи по определению рациональных параметров элементов при заданных критериях эффективности и ограничениях. Результаты приняты в АО Государственная корпорация «Ростех», «РТ-Техприемка».

Работа выполнена в рамках стипендии Президента РФ № СП-3606.2018.1 от 29.12.2017 г., для молодых ученых и аспирантов на выполнение научного исследования

по теме «Методология автоматизированного синтеза проектных и конструкторских параметров транспортной техники нового поколения».

Список литературы

1. Арепьев А.Н. Определение параметров самолета и его частей: учеб. пособие. М.: Издательство МАИ, 2012. 476 с.
2. Международная энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. А.Г. Братухин. М.: ОАО «НИЦ АСК», 2015. 608 с.
3. Горбунов А.А., Припадчев А.Д., Чепасов В.И. Идентификация базовых параметров крыла воздушного судна // СТИН. 2017. № 18. С. 36–40.
4. Бурнаев Е.В., Зайцев А.А. Суррогатное моделирование разноточных данных в случае выборки большого размера // Информационные процессы. 2015. Т. 15. № 1. С. 97–109.
5. Барковский А.Ф., Савельевских Е.П., Стрелец Д.Ю., Корнев А.В. и др. Реализация концепции «Виртуальный самолет-двигатель» при решении связанных и мультидисциплинарных задач // Научно-технический отчет № НТО-СКТ-01SU-12А. М.: ОАК «ОКБ Сухого», 2012. 827 с.