

УДК 658.051.012

Д.В. БОЖКО, О.К. ПОГУДИНА*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБОСНОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОЕКТОВ**

Приводится описание информационной системы обоснования характеристик проекта, с использованием тактико-технических требований заказчика, характеристик продукции. Информационная система основана на методе структурирования функции качества (QFD) и использована для обоснования выбора параметров технологической системы с учетом точностных характеристик изделия. Разработанная система позволяет сократить сроки на принятие решений по обоснованию характеристик высокотехнологичных проектов. Адекватность работы информационной системы подтверждены результатом расчета моделей факторных экспериментов.

Ключевые слова: *метод структурирования функции качества, тактико-технические требования (ТТТ), характеристики элементов продукта, параметры технологической системы.*

Введение

Анализ тенденций развития современного промышленного производства показывает, что проблемы обеспечения качества и конкурентоспособности машиностроительной продукции невозможно решить без применения современных информационных систем. На современном этапе развития информационных технологий одной из основных проблем, является автоматизация существующих методов системного анализа и решение задачи информационной поддержки процессов, протекающих в ходе жизненного цикла продукта, особенно процессов проектирования и технологической подготовки производства. Существует большое разнообразие отечественных [1] и зарубежных [2] работ, посвященных обоснованию характеристик высокотехнологичных проектов. Но их применение на практике недостаточно распространено из-за ряда причин: во-первых, показатели качества достаточно разнообразны и противоречивы между собой, во-вторых, показатели качества, как правило, не достаточно упорядочены или упорядочены иерархически. Таким образом, для реализации перечисленных выше задач необходимо разработать информационную систему, которая позволит учитывать требования заказчика, согласовывать их с количественными и качественными характеристиками продукта и параметрами проекта.

1. Структура информационной системы обоснования характеристик

Процесс проектирования информационной системы предполагает построение развернутой и точной

архитектуры, покрывающей большинство необходимых аспектов для последующей реализации программного обеспечения. В настоящее время наиболее распространенной и обоснованной является обобщенная технология проектирования, основанная на визуальном представлении компонентов и классов. Для проектирования информационной системы был использован инструмент case-проектирования Model Maker tools [3].

Объектом для автоматизации является модель выбора технологии создания сложной технической системы, разработанная в работе [4]. Модель включает четыре специальных таблицы: планирование продукта, планирование параметров процессов, планирование этапов проекта, планирование процессов контроля. Кроме этого, для заполнения промежуточных таблиц: обоснования весовых коэффициентов требований проекта, рассмотрение характеристик аналогов продукта, а также параметров технологических процессов были применены методики, рассмотренные в работе [1]. На рис. 1 изображена структура информационной системы анализа требований проектов на языке UML.

В качестве основных подсистем были выделены следующие: TRequirements; TRelationshipRF; TFeature; TRelationshipF; TRelationshipFTP; TTechnologicalParameters; TRelationshipTP; TRelationshipTPST; TRelationshipSTP; TRelationshipSTR; TDecisionMaking.

Подсистема «Требования» (TRequirements) предназначена для построения таблицы GridReq1, которая служит для оценки весовых коэффициентов ТТТ. Подсистема «Характеристика» (TFeature) в методе QFD работы [4] обозначена как система анализа технической конкуренции и необходима для

сравнения значений характеристик разрабатываемой продукции с характеристиками аналогов. Элементы корреляционной матрицы подсистемы «Взаимосвязь характеристик» (TRelationshipF), заполняются значением положительной или отрицательной корреляционной связи между соответствующими характеристиками элементов продукта. Подсистема «Взаимосвязь характеристик продукта и параметров технологической системы» (TRelationshipFTP) производит расчет весовых коэффициентов параметров технологической системы. Обзор параметров технологических процессов, с помощью которых могут быть получены характеристики продукта, рассмотренные в TFeature, осуществляет подсистема TTechnological Parameters. Подсистема «Взаимосвязь технологических параметров и этапов» (TRelationshipTPST) служит для оценки весовых коэффициентов для каждого из этапов проекта. Подсистемы «Взаимосвязь технологических параметров» (TRelationshipTP) и «Взаимосвязь этапов проекта» TRelationshipSTP аналогичны по построению подсистеме TRelationshipF. Подсистема TRelationshipSTR показывает связь этапов проекта и ТТТ продукта, таким образом, демонстрирует, на каких этапах будет проконтролировано получение результата проекта. Полученные весовые коэффициенты требований в этой подсистеме являются результатом применения методики, и после сравнения в подсистеме TDecisionMaking с весовыми коэффициентами, полученными в первой таблице, служат рекоменда-

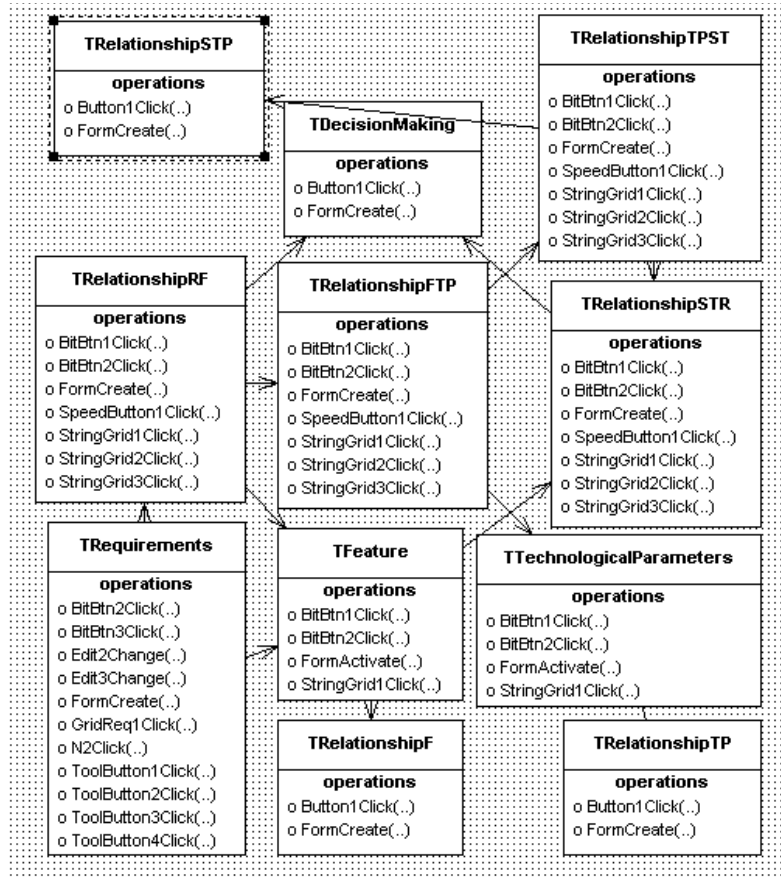


Рис. 1. Структура информационной системы

циями пользователю для дальнейшей работы над параметрами проекта.

2. Использование информационной системы для проектов создания крупногабаритных деталей листоштамповочного производства

В качестве примера рассмотрим методику выбора наиболее эффективного технологического процесса изготовления приемопередающих антенн, которые используются в спутниковой связи, радиоастрономии и других сферах техники СВЧ.

К основным требованиям (эксплуатационным характеристикам) таких антенн относятся: диаграмма направленности, коэффициент усиления, чувствительность и разрешающая способность, а также другие параметры (рис. 2), которые в значительной мере зависят от точности изготовления отражающей поверхности зеркала.

Вследствие производственных погрешностей реальная форма зеркала будет отличаться от расчетной на величину отклонения профиля поверхности (ОПП). То



Рис. 2. Эксплуатационные характеристики антенн

QFD-Step2						
Количество характеристик: 5 проекта проект создания антенн						
Требования:		Характеристики:				
Требования	Абсолютный	отклонение	г волнистость	высота микро	среднеквадр	смещени
диаграмма на	5	1	0	0	2	1
коэффициент	6,25	5	2	0	2	0
чувствительн	3,2	0	0	3	3	0
разрешающая	6,666666666	0	4	0	4	0
<hr/>						
Абсолютное	36,25	39,166666666	9,6	58,766666666	18	
Относительн	22,41	24,21	5,93	36,32	11,13	
<hr/>						
Единицы Изм	мм	дл.волны	мм	мм	%	
Требуемое зн	0,36	0,027	0,0005	0,1	10	
<input type="button" value="Применить"/> <input type="button" value="Next Step >"/>						

Рис. 3. Характеристики антенны

есть реальный профиль будет характеризоваться отклонением профиля δ_n , волнистостью I_n и высотой микронеровностей R_z , которые в совокупности составляют среднеквадратичное отклонение профиля σ_n (рис. 3) При этом также увеличиваются базовые погрешности за счет смещения точки фокуса относительно точки облучения [5].

Соответствующие исследования свидетельствуют, что, например, для заданных потерь коэффициента усиления $\Delta K = 1$ Дб необходимо выдержать профиль с величиной отклонения не более $\sigma_n = 0,36$ мм, что для параболических антенн диаметром более 2 м является сложной задачей. Истинная диаграмма направленности (ДН) будет также существенно отличаться от расчетной, поскольку для больших антенн неровности поверхности зеркала величиной $\sigma_n = 0,027\lambda$ (λ – длина волны) ухудшают поляризационное разрешение в осевом направлении на 21 Дб. Величина фазовой ошибки также зависит от погрешностей ОПП, причем потери электромагнитной энергии могут составлять от 10% до 50% при изменении отклонения профиля σ_n от 0,01 до 0,02 мм.

В общем случае точность изготовления зеркал антенн принято оценивать величиной $\varepsilon = \frac{\sigma_n}{D}$

(D – диаметр антенны), при этом для антенн сантиметрового и миллиметрового диапазона достижимая величина ε составляет $(6...22) \cdot 10^{-4}$ и $(60...100) \cdot 10^{-4}$ соответственно.

Из приведенных данных следует, что выбор наиболее оптимальной технологии является важной задачей в проектах технологической подготовки, при которой должна быть обеспечена адекватная зависимость между показателями техпроцесса и отмеченными эксплуатационными характеристиками антенн.

Наиболее распространенной технологией формообразования зеркал антенн, наряду с литьем из полиуретана и выклейкой из стеклопластиков, является точная штамповка из листовых заготовок алюминиевых сплавов. В работе [5] изложена методика выбора оптимального варианта изготовления таких деталей по критериям соответствия эксплуатационных требований и факторов технологической системы.

Однако в этой работе не рассмотрены точностные характеристики технологической системы как основного фактора, обеспечивающего качества изделий.

Рассмотрим точностные характеристики возможных вариантов технологии при изготовлении антенны, характеристика которой представлена в табл. 1. Исходя из рассмотрения логической матрицы решений [5], установлено, что типовыми технологическими вариантами для указанной детали являются: штамповка взрывом в гидробассейне, электрогидравлическая штамповка и ротационная вытяжка.

При сравнении техпроцессов в разработанной информационной системе с учетом точностных характеристик получили, что штамповка взрывом в гидробассейне, также является наилучшим вариантом при создании антенн с заданными характеристиками (рис. 4).

Таблица 1

Точностные характеристики технологии изготовления рефлектора радиоантенны

Наименование изделия	Материал, толщина	Диаметр антенны, мм	Глубина зеркала (максимальная) мм	Профиль зеркала	Фокусное расстояние мм	Заданное отклонение профиля, мм	Высота микронеровностей, мкм
Рефлектор радиоантенны	АМЦ – М, t = 2мм	1920	281	Парабола $Y = \frac{X^2}{4F}$	F = 420	0,1	1,25

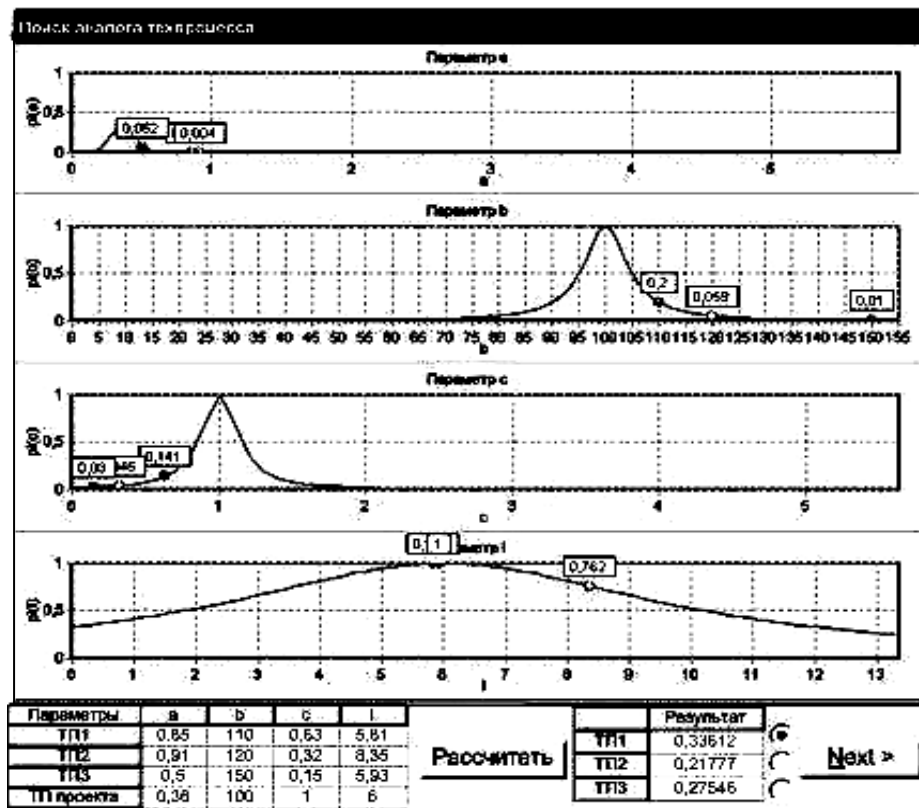


Рис. 4. Поиск аналога техпроцесса по заданным характеристикам изделия

3. Использование факторных экспериментов для анализа проектов изготовления крупногабаритных деталей листоштамповочного производства

На основе анализа статистических данных относительно точностных показателей каждого техпроцесса, было проведено их моделирование на основе факторных экспериментов [6].

В табл. 2 приведены исходные данные для проведения этих экспериментов. Для каждого техпроцесса были составлены матрицы планирования экспериментов, при этом в качестве параметра оптимизации использовалось среднее квадратичное отклонение профиля поверхности σ_p (последний столбец табл. 2). В качестве факторов были приняты: отклонение профиля δ_n (X_1), волнистость l_n (X_2), высота микронеровностей R_z (X_3). Вначале рассчитывалась дисперсия воспроизводимости, а затем определялся критерий Кохрена (для уровня значимости $q = 5\%$). В табл. 3 приведены эти значения. Поскольку расчетные значения данного критерия меньше критических, то гипотеза однородности дисперсий принимается.

Уравнение регрессии для каждого техпроцесса в кодовых значениях факторов имеет вид:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + B_{123}X_1X_2X_3. \quad (1)$$

Коэффициенты регрессии для уравнения (1) находились из соотношения:

$$B_j = \frac{\sum_{v=1}^N X_{j,v} \cdot \bar{Y}_v}{N}, \quad (2)$$

где B_j – коэффициенты регрессии; $X_{j,v}$ – номер фактора в плане матрицы; \bar{Y}_v – среднее арифметическое значение параметра оптимизации по m опытам, N – общее число точек в плане матрицы ($N = 8$).

В табл. 4 приведены значения полученных коэффициентов регрессии для рассматриваемых техпроцессов.

Значимость коэффициентов регрессии определялась с помощью критерия Стьюдента:

$$t_j = |B_j| / s(B_j), \quad (3)$$

где t_j – критерий Стьюдента; $|B_j|$ – рассчитанные коэффициенты регрессии; $s(B_j)$ – среднее квадратическое отклонение дисперсий коэффициента регрессии

В табл. 5 приведен результаты определения значимости коэффициентов регрессии (при уровне значимости $q = 5\%$). Поскольку для условий экспериментов критическое значение критерия Стьюдента равно $t_{кр} = 2,119$ [6], то значимыми будут те коэффициенты, которые превышают критическое значение, т.е. уравнения регрессии для рассматриваемых техпроцессов будут иметь вид (в кодированных значениях факторов):

$$Y_1 = 5,66 - 0,04X_1 + 0,057X_2; \quad (4)$$

Таблица 2

Статистические данные точностных показателей техпроцессов

Погрешности (факторы техпроцесса) Вид технологического процесса	Отклонение профиля δ_n , мм		Волнистость I_n , мкм		Высота микронеровностей R_z , мкм		Средне-квадратичное отклонение (ОШП) $\sigma_{п, мкм}$
	Наибольшее отклонение	Наименьшее отклонение	Наибольшее отклонение	Наименьшее отклонение	Наибольшее отклонение	Наименьшее отклонение	
Штамповка взрывом в гидробассейне	1,5	0,85	120	110	1,25	0,63	5,81
Электрогидравлическая штамповка	1,6	0,91	135	120	2,5	0,32	8,35
Ротационная штамповка	0,7	0,5	160	150	2,5	0,15	5,93

Таблица 3

Результаты расчета критерия Кохрена

Вид техпроцесса	Расчетное значение критерия Кохрена	Табличное (критическое) значение критерия Кохрена
Штамповка взрывом в гидробассейне	0,479	0,5157
Электрогидравлическая штамповка	0,262	0,5157
Ротационная вытяжка	0,256	0,5157

Таблица 4

Результаты расчета коэффициентов регрессии

Вид техпроцесса	B_0	B_1	B_2	B_3	B_{12}	B_{13}	B_{23}	B_{123}
Штамповка взрывом в гидробассейне	5,66	-0,04	0,01	0,0025	0,0575	0,0275	-0,0275	0,028
Электрогидравлическая штамповка	8,35	-0,0017	0,015	0,0142	0,0267	-0,242	-0,0108	-0,0075
Ротационная штамповка	5,91	0,0167	0,0083	0,0083	-0,0083	-0,013	0,0067	0,0067

Таблица 5

Результаты расчета критерия Стьюдента

Вид техпроцесса	Критерий Стьюдента, t_j							
	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7
Штамповка взрывом в гидробассейне	202	2,29	2,32	0,089	2,05	0,98	0,98	0,08
Электрогидравлическая штамповка	750	0,149	1,34	1,27	2,39	2,17	0,97	0,67
Ротационная штамповка	963	2,71	1,35	1,35	1,35	2,17	1,086	1,086

$$Y_2 = 8,35 - 0,026X_1X_2 - 0,024X_1X_3; \quad (5)$$

$$Y_3 = 5,91 + 0,167X_1 - 0,013X_1X_3. \quad (6)$$

Здесь Y_1 , Y_2 , Y_3 относятся соответственно к штамповке взрывом, электрогидравлической штамповке и ротационной вытяжке.

Адекватность полученных моделей проверялась по критерию Фишера (табл. 6).

Поскольку расчетные значения не превышают критических величин критерия Фишера, то гипотеза адекватности всех моделей принимается.

После преобразования формул (4...6) получаем уравнения регрессии с действительными значениями факторов:

$$\sigma_{n1} = 4,2 - 0,12 \delta_n + 0,011I_n; \quad (7)$$

$$\sigma_{n2} = 74,99 - 1,31 \delta_n - 0,48I_n - 3,33R_z + 0,0103 \delta_n I_n - 0,064 \delta_n R_z; \quad (8)$$

$$\sigma_{n3} = 5,72 + 0,31 \delta_n + 0,067R_z - 0,113 \delta_n R_z \quad (9)$$

Здесь σ_{n1} , σ_{n2} , σ_{n3} относятся соответственно к штамповке взрывом, электрогидравлической штамповке и к ротационной вытяжке.

Таблица 6

Проверка адекватности полученных моделей

Вид техпроцесса	Расчетное значение критерия Фишера	Табличное значение критерия Фишера для условий эксперимента
Штамповка взрывом в гидробассейне	2,34	2,85
Электрогидравлическая штамповка	0,97	2,85
Ротационная вытяжка	1,57	2,85

Анализ полученных уравнений показывает, что точность штамповки взрывом определяется двумя факторами, а именно отклонением профиля и волнистостью, в тоже время высота микронеровностей не есть значимым параметром, т.е. исходная шероховатость заготовки остается неизменной или уменьшается.

Для двух других процессов в силу их технологических особенностей точность изделий описывается более сложной зависимостью, т.е. имеет место взаимное влияние факторов. При электрогидравлической штамповке, где формование идет за счет местных электрических разрядов, возможно неравномерное распределение усилий, что снижает и соответствующие показателем точности. Ротационная вытяжка предусматривает постепенное формирова-

ние контура роликом на жестком пуансоне, что предопределяет сложное напряженно-деформированное состояние в зоне контакта. Этим можно объяснить наличие в уравнениях совместного влияния факторов.

В заключение с использованием полученных уравнений, оценим точность изделий для рассматриваемых техпроцессов.

Для этого в уравнения (7...9) подставим основные значения факторов и рассчитаем величину отклонения профиля зеркала антенны.

Как следует из данных табл. 7, наибольшую точность обеспечивает штамповка взрывом, что согласуется с результатами логической матрицы решений [5] и результатом работы разработанной информационной системы.

Таблица 7

Оценка точности изготовления поверхности

Вид техпроцесса	Основные значения факторов			Расчетное отклонение профиля поверхности σ_n , мкм
	δ_n , мм	I_n , мкм	R_z , мкм	
Штамповка взрывом	1,175	115	0,94	5,325
Электрогидравлическая штамповка	1,255	127,5	1,41	9,213
Ротационная вытяжка	0,6	155	1,32	5,89

Выводы

В данной работе представлена архитектура информационной системы обоснования характеристик проекта создания высокотехнологичных деталей. Продемонстрирована работоспособность информационной системы для проектов создания крупногабаритных деталей листоштамповочного производства. В качестве примера был рассмотрен выбор наиболее эффективного технологического процесса изготовления приемопередающих антенн.

При сравнении техпроцессов в разработанной информационной системе с учетом точностных характеристик был выбран техпроцесс «штамповка взрывом в гидробассейне». После этого результат выбора был проверен на адекватность с использованием факторных экспериментов. Результаты расчета оказались идентичными, что позволяет использо-

вать разработанную информационную систему на практике, при выборе параметров проекта создания высокотехнологичных деталей.

Литература

1. Гиссин В.И. Управление качеством продукции / В.И. Гиссин. – Ростов на Дону: Феникс, 2000 – 256 с.
2. Москалева Л.И. Системы управления качеством продукции. Зарубежный опыт / Л.И. Москалева – М.: ВНИИКИ, 1992. – 68 с.
3. Иванова Г.С. Технология программирования / Г.С. Иванова - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 320 с.
4. Божко Д.В. Модель формирования структуры технологической подготовки производства в проектах создания наукоемкой техники / Д.В.Божко, Е.А.Дружинин, О.К.Погудина // Открытые инфор-

мационные и компьютерные интегрированные технологии. — 2007. — № 36. — С. 135-138.

5. Божко В.П. Вибір технологічних рішень за критеріями адекватності факторів техпроцесу і технічних вимог до виробів на прикладі крупногабаритних листових деталей складної форми / В.П. Божко,

Д.В. Божко // Вісті академії інженерних наук України. — 2000. — № 4. — С. 3-70.

6. РДМУ 109 – 77. Методические указания. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 64 с.

Поступила в редакцию 2.09.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. Ілюшко Віктор Михайлович, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков.

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОБҐРУНТУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЄКТІВ

Д.В. Божко, О.К. Погудина

Приводиться опис інформаційної системи обґрунтування характеристик проекту, з використанням тактико-технічних вимог замовника, характеристик продукції. Інформаційна система заснована на методі структування функції якості (QFD) і використана для обґрунтування вибору параметрів технологічної системи з урахуванням точностних характеристик виробу. Розроблена система дозволяє скоротити терміни на прийняття рішень по обґрунтуванню характеристик високотехнологічних проєктів. Адекватність роботи інформаційної системи підтверджені результатом розрахунку моделей факторних експериментів.

Ключові слова: метод структування функції якості (QFD), тактико-технічні вимоги, характеристики елементів продукту, параметри технологічної системи.

INFORMATION SYSTEM OF SUBSTANTIATION HI-TECH PROJECTS CHARACTERISTICS

D.V. Bozhko, O.K. Pogudina

The description of information system of a substantiation project characteristics, with use of customer technical requirements, characteristics of production is resulted. The information system is based on a method of Quality function deployment (QFD) and used for a substantiation of choice parameters of technological system with the account exact products characteristics. The developed system allows to reduce terms to decision-making on a substantiation characteristics of hi-tech projects. Information system are working adequacy, they are confirmed with result of calculation models of factorial experiments.

Key words: method of Quality function deployment (QFD), technical requirements, characteristics of a product, parameters of technological system.

Божко Дмитрій Валерьевич – аспірант самолетостроительного факультета Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Погудина Ольга Константиновна – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры информационных технологий проектирования летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: ok_gabchak@ukr.net.