

УДК 621.4, 629.7

Методика формирования конструктивно-технологических решений в процессе создания авиационных двигателей

А.В. Буданцев, И.В. Завалишин, А.А. Харин

Аннотация:

В статье описана методика формирования конструктивно-технологических решений в процессе создания деталей авиационных двигателей. Так же представлена разработанная имитационная математическая модель производственной системы, включающая элементы, свойства и параметры решения (конструктивные, технологические, стоимостные) и их взаимосвязи.

Ключевые слова:

конструктивно-технологические решения, производственная система, имитационная математическая модель.

Авиационный газотурбинный двигатель (ГТД) является сложной технической системой, процессы подготовка производства которого являются основой обеспечения качества. Применяемые в настоящее время системы технологического проектирования, не позволяют осуществлять прямой перевод конструкторской информации о деталях турбины ГТД в работоспособный технологический процесс. Такие системы корректней называть системами автоматизированного формирования технологической документации.

Необходимо провести разработку и внедрение методики, способной обеспечить автоматизацию технологического проектирования, сбор, поиск и хранение информации о деталях ГТД за счет использование конструктивной и технологической информации о деталях и их элементах совместно в информационном и материальном слоях при помощи конструктивно-технологических решений.

Группы стадий жизненного цикла ГТД «проектирование» и «производство» характеризуются тем, что взаимодействия всех объектов, к которым относятся изделие и его элементы, оборудование, инструмент, приспособления, исполнители и исполнительные

системы, системы проектирования и управления, осуществляются в более сложной системе, называемой производственной системой [1]. Структура составляющих производственную систему технологических сред, разрабатываемая для моделирования процессов технической подготовки производства представлена на рисунке 1.

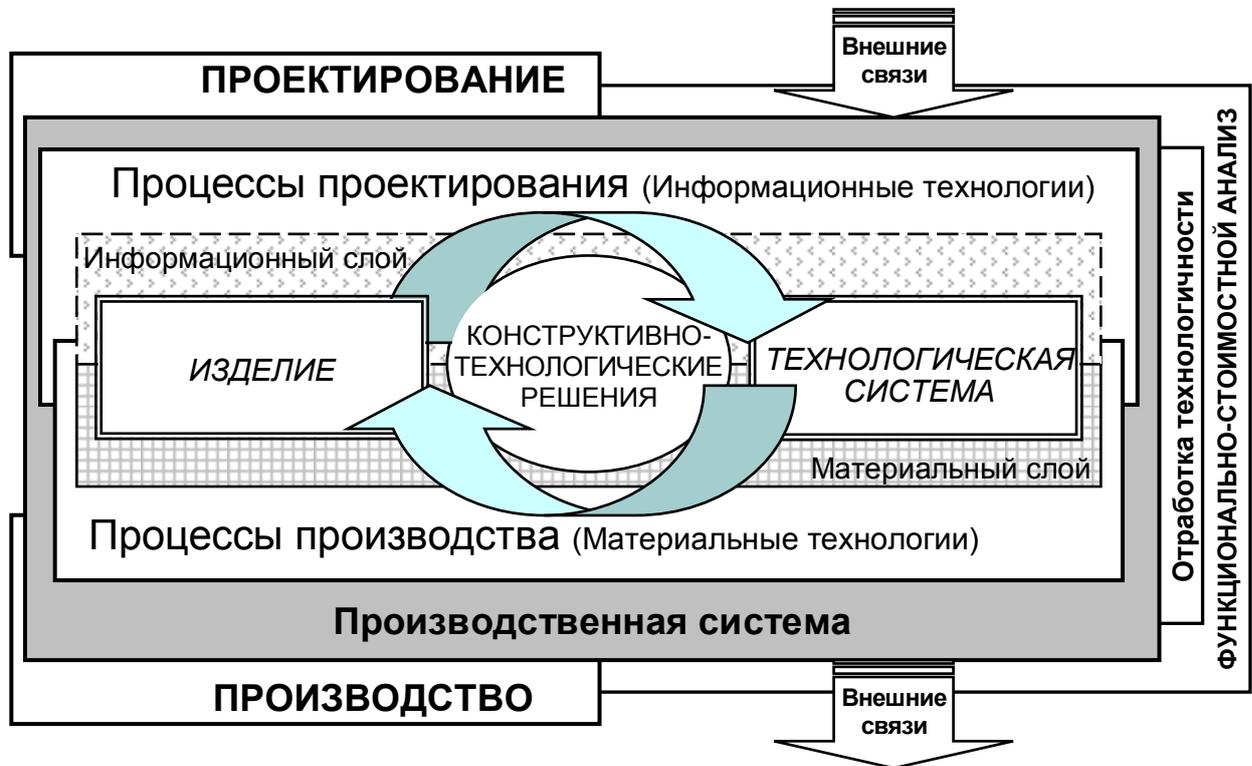


Рисунок 1 - Структура производственной системы газотурбинных двигателей

Производственная система включает: технологическую среду изделия; технологическую среду технологических систем: основного производства, вспомогательного производства и обслуживающего производства; технологическую среду взаимодействия изделий и технологических систем; технологическую среду систем проектирования и управления.

Для разнообразных технологических сред, составляющих производственную систему, введем единое представление содержания технологии. Под технологией будем понимать науку о методах и средствах реализации различных явлений, включающих объекты и процессы.

Объект в системе моделирования может рассматриваться в пространстве без учета времени. В отличие от объектов процессы рассматриваются в пространстве, содержащем взаимодействующие объекты обязательно во времени. Объекты адекватно представляются простыми иерархическими структурами, для описания процессов применяются более

сложные математические модели.

Элементами технологической среды системы проектирования являются структурные элементы производственной системы, их свойства и параметры. Основным отличием при этом является то, что в системах проектирования структурные элементы из сред изделий и технологических систем представлены не материально, а своими информационными моделями.

Основой предложенной методики является формализованное представление производственной системы, дополненное процедурно-алгоритмической средой, предоставляющей алгоритм работы с данными, необходимый для достижения информационного единства групп стадий и этапов жизненного цикла изделия.

В результате проведенного анализа конструкций лопаток турбин современных газотурбинных двигателей и существующих технологических процессов их изготовления были получены описания элементов технологической структуры детали, их свойств и параметров. При формировании технологических процессов изготовления сложнофасонных деталей типа «лопатка турбины» в качестве структурных элементов предложено использовать конструктивно-технологические решения. Конструктивно-технологические решения представляют собой взаимосвязанную совокупность технологических решений (операций, процессов, технологического оснащения), примененных для изготовления определенных элементов технологической структуры детали.

Для формирования конструктивно-технологического решения разработана имитационная математическая модель производственной системы, включающая элементы, свойства и параметры решения (конструкторские, технологические, стоимостные) и их взаимосвязи. Имитационная модель производственной системы (рис. 2) имеет следующую математическую структуру [2]:

$$S(\Pi) = (S(A), S(P), \rho, S(T)), \quad (1)$$

где: $S(A)$ - модели деталей турбины;

$S(P)$ - модель технологической системы;

ρ - процедуры имитационного моделирования;

$S(T)$ - модель конструктивно-технологических решений.



Рисунок 2 - Структура имитационной модели производственной системы

Объекты моделирования задаются типовыми математическими структурами $S(A)$, $S(P)$, $S(T)$:

$$S(A) = \{ A, F^A, N^A, R^A \}, \quad (2)$$

$$S(P) = \{ P, F^P, N^P, R^P \}, \quad (3)$$

$$S(T) = \{ T, F^T, N^T, R^T \}, \quad (4)$$

где: A, P, T - базовые множества элементов моделей;
 F^A, F^P, F^T - базовые множества свойств (контуров) элементов моделей;
 N^A, N^P, N^T - базовые множества параметров элементов и свойств (контуров) элементов моделей;
 R^A, R^P, R^T - множества отношений между элементами, свойствами (контурами) и параметрами.

Структура математических моделей деталей турбины $S(A)$ включает A - множество структурных элементов деталей и делится на конструктивную структуру (конструктивное членение) и технологическую структуру (технологическое членение с учетом начальных и

конечных состояний изделия); F^A - множество конструктивно-технологических свойств деталей и их элементов, в поле которых описываются состояния; делится условно на конструктивные и технологические свойства; N^A - множество параметров структурных элементов детали (и детали в целом) и их конструктивно-технологических свойств; R^A - множество отношений между элементами, свойствами и параметрами деталей турбины.

Структура математической модели технологической системы $S(P)$ имеет аналогичную структуру и включает в себя все ресурсы, которые «потребляет» или утилизирует предприятие: оборудование, инструмент, приспособления, материалы, полуфабрикаты, кадры, энергия, отходы производства.

Модель конструктивно-технологических решений $S(T)$: состоит из элементов T , их свойств F^T , параметров N^T элементов и свойств, отношений N^T параметров, отношений свойств. Здесь T - множество технологических процессов и их элементов, представленных в форме конструктивно-технологических решений.

$$F^T = \{ F_1^T, \dots, F_i^T, \dots, F_n^T \} \quad (2.5)$$

$$F_i^T = \{ f_1^i, \dots, f_j^i, \dots, f_m^i \} \quad (2.6)$$

F^T , F_i^T , f_j^i – контуры (свойства) структурных элементов конструктивно-технологических решений, представляемые как логические переменные, принимающие определенное значение при сопоставлении с характеризуемыми ими элементами $t_j^i \in T_i$, $T_i \in T$. Контуры F^T , F_i^T , являются составными; f_j^i – элементарными. Составные контуры F^T , F_i^T при сопоставлении с элементами определяются через совокупность характеризующих их свойств следующего структурного уровня, в то время, как элементарные контуры f_j^i являются параметрически определяемыми.

Для соответствия требованиям технического задания на проектирование определяется набор функциональных контуров, каждый из которых характеризуется множеством параметров постоянных или переменных.

Состав и последовательность конструктивно-технологических решений формируется в соответствии с технологической структурой изделия, модель которой представляет собой набор начальных и конечных состояний элементов изделия и технологических операторов (действий и оснащения), с помощью которых осуществляется перевод элемента из одного состояния в другое. Действия по переводу изделия A из текущего состояния в последующее обозначим τ , а технологическое оснащение, которое выполняет действия (ведомость

технологического оснащения) – π .

Базовые множества элементов моделей (2), (3), (4) имеют иерархическую структуру: элементы A, A_i, a_j^i модели $S(A)$ соответствуют элементам технологической структуры деталей турбины; элементы P, P_i, p_j^i модели $S(P)$ определяют совокупность действий τ по переводу детали A из текущего состояния A_i в последующее A_{i+1} и технологического оснащения π , которое выполняет действия (ведомость технологического оснащения); элементы T, T_i, t_j^i модели $S(T)$ соответствуют конструктивно-технологическим решениям разного уровня детализации.

Последовательность элементов конструктивно-технологического решения определяется технологической структурой детали (рис. 3) и особенностями производства. Действие τ_i описывается начальным $(F_H, N_H)A_i$ и конечным $(F_K, N_K)A_{i+1}$ состояниями конструктивно-технологических свойств и параметров изделия и технологической системы. Для упорядоченного множества действий (τ_i) определяется последовательность и режимы выполнения. Ведомость технологического оснащения задается неупорядоченным множеством $\{\pi_i\}$. Поэтому F^T в модели (4) можно определить как множество свойств технологического процесса в целом и его структурных элементов τ и π . Технологический оператор T представляет собой взаимосвязанную совокупность действий и оснащения, которые определяют технологический процесс и его элементы:

$$T = \tau \cup \pi. \quad (2.12)$$

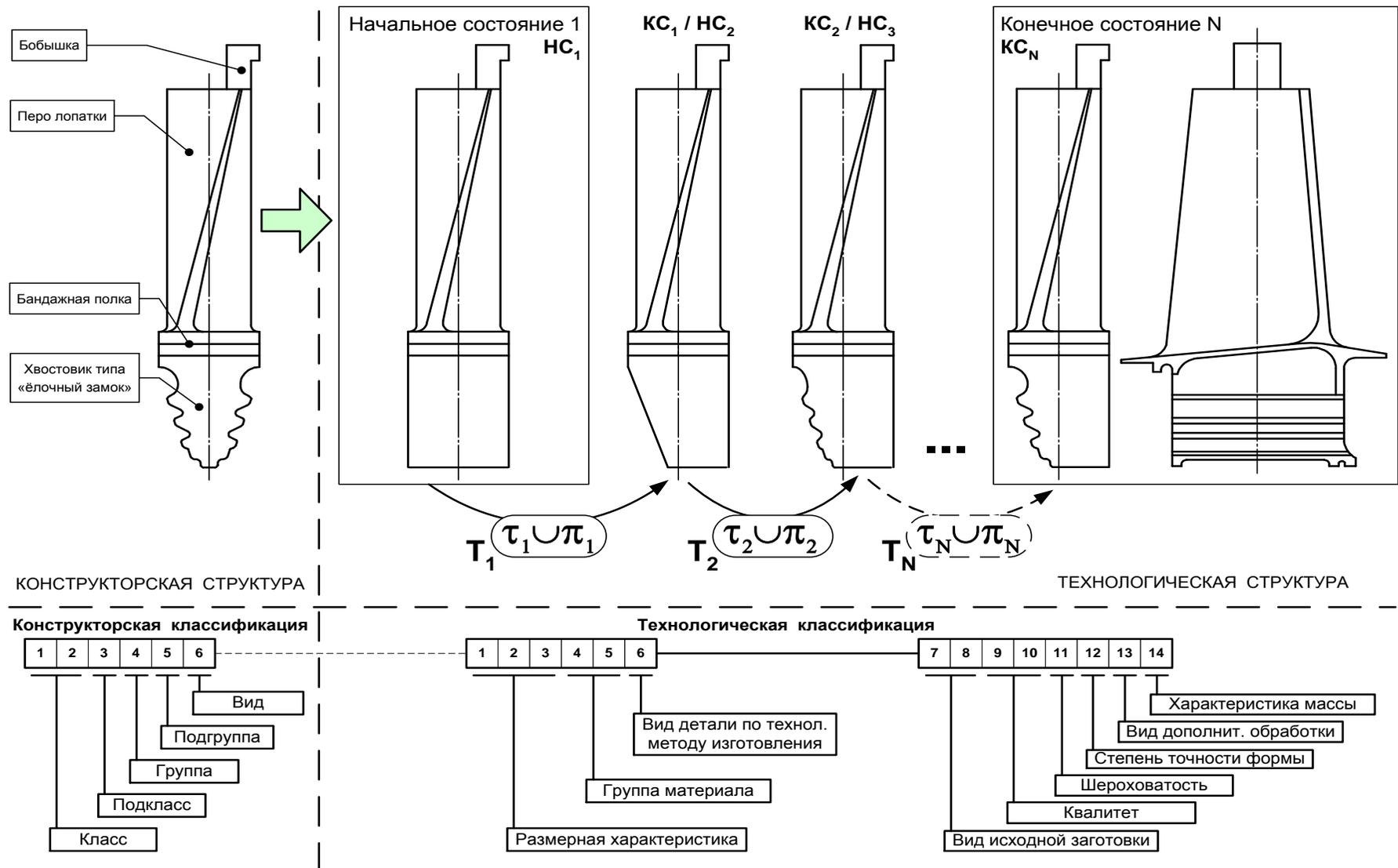
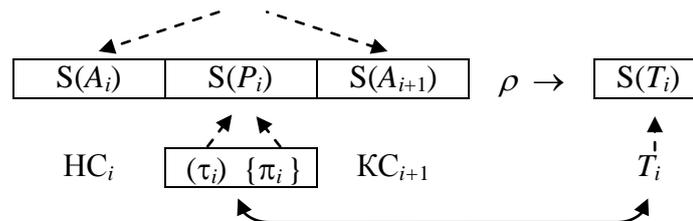


Рисунок 3 Элементы конструкторской и технологической структур детали «лопатка турбины»

Основанием для выделения элементов технологической структуры детали и формирования технологических операторов являются: смена метода обработки, смена элементов технологической системы (технологического оснащения), изменение технологических баз детали.

Модель конструктивно-технологических решений формируется в результате взаимодействия моделей состояний детали турбины (2.2) и моделей соответствующих элементов технологической системы (2.3) (технологических операторов) при помощи процедур имитационного моделирования [3]:

$$S(A) \rho S(P) \rightarrow S(T). \quad (2.13)$$



Начальные $S(A_i)$ и конечные состояния $S(A_{i+1})$ могут представляться и описываться различными способами: геометрическими математическими моделями, операционными эскизами, мультимедийными объектами.

Разработан метод формирования технологической структуры деталей турбины, в соответствии с которым элементы технологической структуры детали определяются начальными и конечными состояниями и входят в состав конструктивно-технологического решения. В качестве элементов структуры приняты не элементарные поверхности, формирующие конструктивный облик детали, а группы поверхностей, объединенных единством технологических операторов. Элементами технологической структуры (2.13) являются описания формы деталей, получаемой при выполнении операций и переходов. Рис. 2.5 подробно иллюстрирует описанную структуру комплексного конструктивно-технологического решения.

С созданием методики формирования конструктивно-технологических решений на производственных предприятиях стало возможно формирование единого информационного пространства для обмена конструктивно-технологической информацией в электронном виде.

Типовой модуль конструктивно-технологического решения, состоит из трех частей: описания начального и конечного состояний детали, определяемых технологической структурой детали, и технологического оператора, содержащего описание действий и соответствующего технологического оснащения, применяемого при переводе детали из текущего состояния в последующее.

Описание каждого состояния детали типовое, оно состоит двух частей:

- постоянной части – описания общих свойств детали в целом;
- переменной части, характеризующей каждый элемент технологической структуры детали в отдельности.

Помимо текстовых и числовых полей в записи, описывающей состояние детали, имеется принятое в работе единое для всех конструктивно-технологических решений описание геометрической формы твердотельной моделью. Этот формат описания геометрической формы состояний является универсальным, емким и информативным, позволяет максимально приблизить объект, находящийся в информационном слое к реальному объекту по геометрическим, а также физико-механическим свойствам (объем, плотность, масса, марка материала). Кроме этого он позволяет проводить различные операции булевой алгебры твердотельными моделями любых деталей. Эти особенности твердотельных моделей позволяют подробнее и точнее описывать не только элементы технологической структуры детали (состояния), но и технологические операторы.

По общим свойствам детали проводится поиск конструктивно-технологических решений-аналогов, а по свойствам элементов технологической структуры – доработка и сравнение вариантов технологических процессов. Учет количества элементов технологической структуры детали в общих свойствах детали (на основании принятых правил разбиения) позволяет ограничивать диапазон поиска решений по количеству операций, переходов при поиске решений-аналогов.

В описании состояний допускается информационная избыточность, так как большинство действий с данными проводит вычислительная техника, обладающая практически неограниченными возможностями по быстродействию и памяти. Эта избыточность позволяет повысить адекватность и точность имитационной модели производственной системы, а также обеспечить возможность поиска решений при увеличении числа условий.

Технологический оператор объединяет информацию о действиях и оснащении, необходимых для перевода детали из текущего состояния в последующее. Описание действия состоит из наименования операции, содержания перехода, режимов обработки, а также управляющих программ для оборудования с ЧПУ (в том числе контрольного). Оснащение описывается наименованием оборудования, наименованием инструмента, наименованием используемого приспособления. Технологический оператор также характеризуется определенной геометрической информацией – твердотельной моделью удаляемого материала, являющейся аналогом операционного эскиза.

Библиографический список

1. Завалишин И.В. Применение технологического макетирования для сокращения трудоемкости технологической подготовки производства сложнофасонных деталей в авиаракетостроении // Общероссийская научно-техническая конференция "Третьи уткинские чтения": Материалы конференции. - СПб., 2007. - 171 с.

2. Силуянова М.В., Завалишин И.В. Особенности проведения функционально-стоимостного анализа для повышения конкурентоспособности газотурбинных двигателей // Вестник СГАУ, №3, 2007. - С. 125-131.

3. Завалишин И.В., Потапов А.Ю., Силуянова М.В. Анализ конструктивно-технологических решений в процессе создания газотурбинных двигателей // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». - 2008. - №5. - С. 51-57.

Сведения об авторах

Буданцев Александр Валерьевич, инженер, аспирант Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, e-mail:rassiec@mail.ru

Завалишин Игорь Владимирович, доцент Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, к.т.н., e-mail:rassiec@mail.ru

Харин Александр Александрович, ректор Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, д.т.н., e-mail:info@itbu.ru