

УДК 629.7.036.001 (075.8)

## ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

© 2007 М. В. Силуянова, И. В. Завалишин

«МАТИ» - Российский государственный технологический университет  
им. К.Э. Циолковского, г. Москва

В статье представлена методология повышения конкурентоспособности газотурбинных двигателей за счет обеспечения сбалансированных соотношений качественных и стоимостных показателей методом функционально-стоимостного анализа производственных стадий жизненного цикла в современных технических и экономических условиях.

Повышение конкурентоспособности газотурбинных двигателей на внутренних и внешних рынках путем достижения методом функционально-стоимостного анализа (ФСА) сбалансированных соотношений качественных и стоимостных показателей в современных технических и экономических условиях невозможно без разработки и освоения новых технологических процессов проектирования, производства и эксплуатации, позволяющих обеспечить требуемые функциональные свойства и эффективные технико-экономические показатели на всех стадиях жизненного цикла.

Эффективность создаваемых авиационных газотурбинных двигателей предопределяется качеством проектирования. Проектируемые объекты будут превосходить по своим характеристикам лучшие образцы только тогда, когда в процессе проектирования применяются прогрессивные методы и используются результаты научных исследований, передовой опыт, изобретения и открытия.

Высокое качество проектирования должно обеспечиваться в приемлемые сроки, иначе заложенные в проекте научно-технологические идеи и технические решения морально устаревают еще до начала эксплуатации создаваемых изделий. Поэтому повышение качества проектных работ и сокращение сроков конструирования и технологического проектирования являются важнейшими факторами создания конкурентоспособных газотурбинных двигателей.

Объективным препятствием повышению качества проектирования и сокращению сроков выполнения проектных работ, а значит и повышению конкурентоспособности, является несоответствие между сложностью современных газотурбинных двигателей и применяемыми методами и средствами проектирования. В современных условиях решение этой проблемы может быть обеспечено только на основе применения новых информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла сложных технических систем.

В определении места и роли систем функционально-стоимостного анализа в жизненном цикле (ЖЦ) изделия на различных предприятиях наблюдаются существенные различия. Само понятие функционально-стоимостного анализа со временем меняло свое значение. Предлагается определять ФСА как процесс комплексной оценки и всестороннего анализа функций и параметров изделия на всех стадиях жизненного цикла. Это позволяет все противоречия, касающиеся конструктивно-технологических, эксплуатационных и стоимостных свойств изделия, разрешить еще в информационном слое.

Главной проблемой создания полноценной системы ФСА является отсутствие методологического единства и единых форматов данных для представления комплексных конструктивно-технологических решений. Методологическое единство основано на формализованном представлении пространства проектирования и требует применения типо-

вых форм представления данных и знаний об объектах и процессах их создания и эксплуатации. В настоящее время компании-разработчики программно-методических средств берутся в основном за создание узкоспециализированных объектно-ориентированных систем, а так как единых стандартов на форму представления данных и знаний об изделии пока нет, то стадии жизненного цикла стыкуются плохо [1].

Причина информационной и методологической разрозненности проблемно-ориентированных систем кроется и в инерционности их развития по сравнению с программно-аппаратными средствами. Требуется повышать рациональность представления каждого структурного элемента комплексной системы для того, чтобы ее создание смогло завершиться хотя бы в сроки, соизмеримые со сроками смены поколений технического обеспечения автоматизированных систем и критических технологий.

Конкурентоспособность авиационного газотурбинного двигателя принимается как неформальная многофакторная оценка сбалансированного соотношения свойств, показателей качества и суммарных ресурсов на всех стадиях жизненного цикла, обеспечивающего преимущества по сравнению с аналогами в определенном сегменте рынка в заданном объеме выпуска и интервале времени.

Для получения конкурентоспособных проектных решений необходимо управлять процессом разрешения противоречий методами функционально-стоимостного анализа. Управление требованиями, предъявляемыми к сложным техническим системам, и управление программой их реализации выполняется на основе комплексной оценки вариантов решений.

Основными принципами формирования взаимосвязанной совокупности методик формулирования и решения задач, методов и средств автоматизации проектирования авиационной техники, обеспечивающими требуемый уровень конкурентоспособности проектных решений, являются: принцип системного единства, принцип комплексности и принцип информационного единства.

Принцип системного единства состоит в том, что на всех стадиях и этапах жизненного цикла изделий и систем их проектирования, производства и эксплуатации функционирование и развитие систем информационной поддержки обеспечивается в едином пространстве взаимосвязанных и взаимодействующих автоматизированных систем.

Принцип комплексности заключается в том, что обеспечивается взаимосвязь всех видов проектирования структурных элементов и всего объекта в целом для всех стадий и этапов жизненного цикла сложных технических систем.

Методологическое единство автоматизированных систем является основой для создания эффективно функционирующего виртуального предприятия на основе современных CALS-технологий. Это актуально не только для аэрокосмических предприятий, но и любых организаций, занимающихся созданием наукоемкого высокотехнологичного продукта, претендующего на статус конкурентоспособного.

В настоящее время в большом количестве различных САД-систем (САПР) сложилась математическая модель представления конструкции изделия. В системах технологической подготовки производства САМ-системах (АСТПП) формируются модели технологических процессов и средств технологического оснащения. Актуальными для обеспечения информационного единства являются задачи передачи данных из САД-систем в САМ-системы и другие системы автоматизации проектирования и производства, еще более сложными являются задачи согласования и гармонизации внутренних моделей и языков, которые успешнее всего решаются методами создания комплексных САД/САМ-систем на основе общих баз данных.

Методология повышения конкурентоспособности объединяет методики декомпозиции и структурирования проектов сложных технических систем, распараллеливания проектных работ по стадиям и этапам жизненного цикла, имитационное моделирование изделий, технологических систем и конструктивно-технологических решений с сохране-

нием целостности объектов моделирования, позволяющие получать рациональные варианты решений со сбалансированными функциональными, конструктивными, технологическими и стоимостными (техничко-экономическими характеристиками) [2].

Для функционально-стоимостного анализа сложных технических систем на всех стадиях жизненного цикла и их исследования методами математического моделирования в соответствии с предлагаемой методологией газотурбинный двигатель, средства и процессы его производства и эксплуатации представляются в виде взаимосвязанных типовых математических моделей.

$$S(D) = (B, R^B, Y(t), r), \quad (1)$$

где  $B$  – группа базовых множеств элементов (объектов), свойств (контуров) и параметров сложной технической системы (газотурбинного двигателя);  $R^B$  – группа отношений, определяемых на базовых множествах;  $Y(t)$  – возмущающие воздействия и ограничения, как функции от времени (ресурс, цикл и другие показатели);  $r$  – процедурно-алгоритмическая среда.

$$B = \{G, F, N\}, \quad (2)$$

$$G = \{A, P, T\}, \text{ где } T \subset A \cup P, \quad (3)$$

$$F = \{F^A, F^P, F^T\},$$

$$N = \{N^A, N^P, N^T\},$$

$$R^B = \{(G, G), (G, F), (G, N), (F, F), (F, N), (N, N)\}, \quad (4)$$

где  $G$  – группа базовых множеств элементов сложной технической системы (газотурбинного двигателя), включающая  $A$  – базовое множество элементов исходного объекта (изделия),  $P$  – базовое множество элементов технологической системы (порождающей среды),  $T$  – базовое множество элементов конструктивно-технологических решений;  $F$  – объединяет  $F^A, F^P, F^T$  – базовые множества свойств (контуров) элементов сложной технической системы;  $N$  – включает  $N^A, N^P, N^T$  –

базовые множества параметров элементов  $A, P, T$  сложной технической системы и свойств (контуров) этих элементов  $F^A, F^P, F^T$ .

Понятие контур является абстрактным и используется для представления совокупности свойств определенного назначения. По назначению при функционально-стоимостном анализе свойства подразделяются на четыре взаимозависимые группы:

$$L = \{F, K, T, S\}, \quad (5)$$

$F^F$  – функциональные,  $F^K$  – конструктивные,  $F^T$  – технологические,  $F^S$  – стоимостные (техничко-экономические).

На основании выше изложенного, каждое из множеств свойств объектов  $F^A, F^P, F^T$  делится по уровню назначения на подмножества:

$$F = F^{GL} = \overbrace{\{F^{AF}, F^{AK}, F^{AT}, F^{AS}\}}^{F^A} \overbrace{\{F^{PF}, F^{PK}, F^{PT}, F^{PS}\}}^{F^P} \overbrace{\{F^{TF}, F^{TK}, F^{TT}, F^{TS}\}}^{F^T}.$$

Аналогично, каждое из множеств параметров объектов  $N^A, N^P, N^T$  подразделяется на подмножества:

$$N = N^{GL} = \overbrace{\{N^{AF}, N^{AK}, N^{AT}, N^{AS}\}}^{N^A} \overbrace{\{N^{PF}, N^{PK}, N^{PT}, N^{PS}\}}^{N^P} \overbrace{\{N^{TF}, N^{TK}, N^{TT}, N^{TS}\}}^{N^T}.$$

С учетом выше изложенного формулу (2) можно записать в виде:

$$B = \{G, F^{GL}, N^{GL}\}. \quad (6)$$

Пространство проектирования сложных технических объектов, укрупнено представленное в терминах взаимосвязанных свойств (контуров) и параметров  $\{(F^F, N^F), (F^K, N^K), (F^T, N^T), (F^S, N^S)\}$ , методологически и организационно подразделяется на четыре сопряженных подпространства, в которых по специализированным методикам проектирования выполняются обособленные проектные работы.

Проектирование в подпространстве  $((F^F, N^F), (F^K, N^K))$  обеспечивает функциональное совершенство. Подпространство  $((F^K, N^K), (F^T, N^T))$  определяет реализуемость изделия в технологической системе. Проектирование в подпространстве  $((F^T, N^T), (F^S, N^S))$  дает возможность оценить и обеспечить технологичность конструкции изделия.

В подпространстве  $((F^F, N^F), (F^S, N^S))$  выполняется согласование результатов оценки функционального совершенства, реализуемости и технологичности изделия, и определяется конкурентоспособность комплексных проектных решений.

Методика функционально-стоимостного анализа обеспечивает последовательное установление и уточнение оценок вариантов проектных решений (интервалов, границы которых сближаются) при переходе от начальных стадий и этапов жизненного цикла к последующим для всего ЖЦ на основе имитационного моделирования изделий, технологических систем и процессов их создания

и эксплуатации, что способствует повышению эффективности и конкурентоспособности.

### Список литературы

1. Силуянова М. В. Комплексная оценка проектных решений для сложных технических систем // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». - 2007. - №5.
2. Силуянова М. В. Применение функционально-стоимостного анализа для обеспечения принципа комплексности при проектировании сложных машиностроительных объектов // Журнал «Технология машиностроения». - 2007. - №6.

## FEATURES OF THE COST-FUNCTION ANALYSIS IN THE PROCESS OF GAS-TURBINE ENGINES COMPETITIVE STRENGTH HEIGHTENING

© 2007 M. V. Silujanova, I. V. Zavalishin

“МАТИ” – Russian State technological university n.a. K.E. Tsiolkovsky

The article reviews the methodology of gas-turbine engines competitive strength heightening in modern technical and economic conditions by providing the balanced ratio of qualitative and cost indexes with the use of the cost-function analysis of manufacturing stages of the life cycle.