

УДК 004.8:629.7

С. Г. СЕЛИВАНОВ, С. Н. ПОЕЗЖАЛОВА

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫСОКИХ И КРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

В статье предложена функциональная модель по проектированию и созданию авиационных двигателей нового поколения в рамках автоматизированной системы научных исследований высоких и критических технологий авиадвигателестроения, позволяющая алгоритмизировать действия по выполнению НИР для обеспечения НИОКР средствами инновационного проектирования авиационных двигателей. Представлены результаты анализа данных патентной статистики по самолетам-истребителям отечественной и зарубежной авиации. Сформированы единые технологии авиационных двигателей нового поколения, а также обозначены основные задачи для бизнес-планирования инновационных проектов. *Функциональная модель; смена поколений двигателей самолетов-истребителей; высокие, критические, узловые и единые технологии; база данных; патентная статистика; ядро решений; системный анализ; граф развития единых технологий; инновационный проект*

Методы организации разработки технологических процессов (рис. 1) в настоящее время унифицированы в Единой системе технологической документации и в Единой системе технологической подготовки производства. В соответствии с этими системами в приведенной на рис. 1 схеме взаимосвязей этапов и стадий разработки конструкторской (ЕСКД) и технологической документации (ЕСТД) предусмотрена стадия разработки «предварительного проекта технологической документации». Для разработки предварительных комплектов технологической документации на основании требований названных систем можно построить функциональную модель «Автоматизированной системы научных исследований высоких и критических технологий», которая разработана в целях технологического обеспечения создания авиационных двигателей нового поколения (рис. 2). Предложенная функциональная модель, построенная в среде BPWin 4.1 (IDEF0), содержит 4 блока задач и 10 автоматизированных систем (программных продуктов), необходимых для автоматизации решения данных задач. Предложенная модель, являющаяся базой для технологического обеспечения работ (в виде единых, базовых, узловых, высоких и критических технологий, а также комплектов перспективных и директивных технологических процессов) по проектированию и созданию авиационных двигателей нового поколения, позво-

ляет показать последовательность действий по выполнению НИР для обеспечения НИОКР средствами инновационного проектирования авиационных двигателей.

В функциональную модель (рис. 2) входят 4 блока задач:

1) анализ технического уровня авиационных двигателей, результатом которого является постановка задач по обеспечению конкурентоспособности изделий;

2) анализ патентной информации, результатом которого являются выводы и обоснования по применению высоких и критических технологий в ходе НИОКР авиационных двигателей нового поколения;

3) формирование единых технологий авиационных двигателей нового поколения для системотехнической разработки инновационных проектов;

4) разработка узловых и базовых инновационных технологий, включающая в себя не только подготовку комплектов технологической документации инновационных проектов, но и построение календарных план-графиков, разработку бизнес-планов, которые необходимы для оценки инвестиций в создание авиационных двигателей нового поколения. Рассмотрим более подробно каждый из названных блоков задач, входящих в функциональную модель разработки предварительного комплекта технологической документации.



Рис. 1. Схема взаимосвязей разработки конструкторской и технологической документации по ЕСКД и ЕСТД

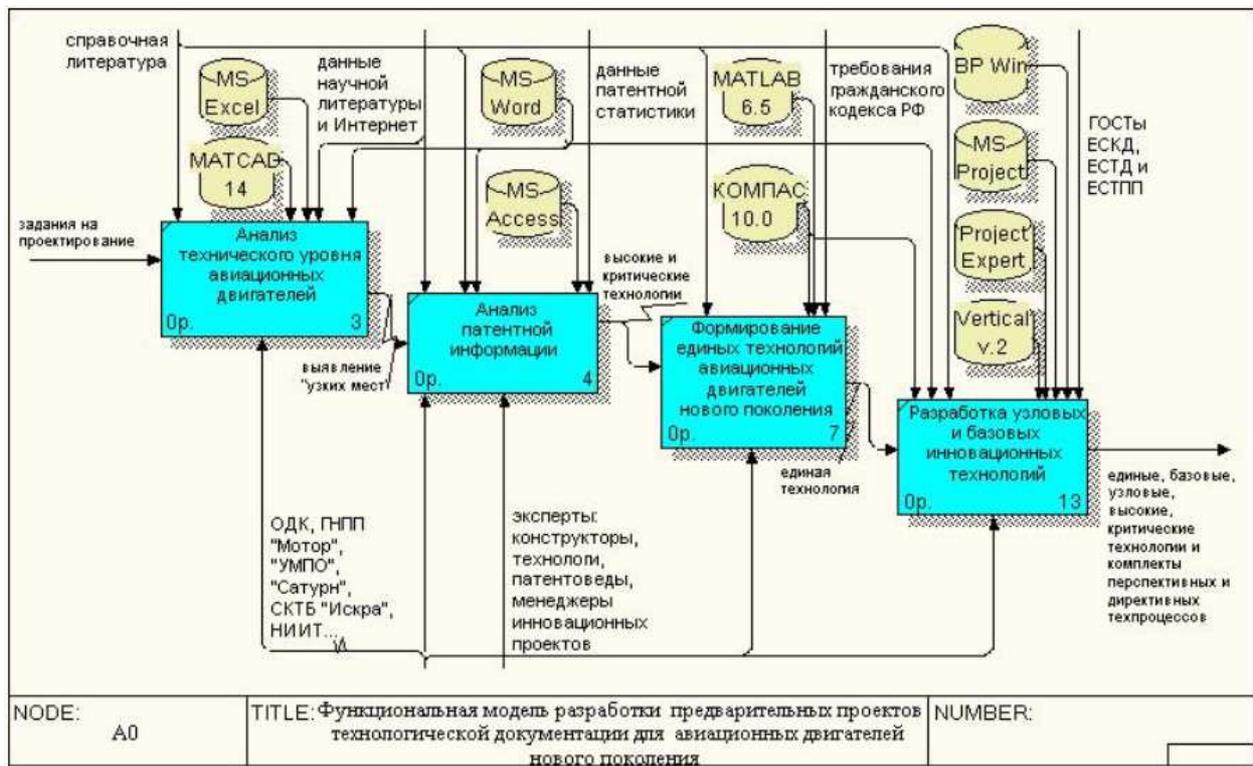


Рис. 2. Функциональная модель разработки предварительных проектов технологической документации для создания авиационных двигателей нового поколения

Анализ технического уровня авиационных двигателей.

Для анализа технического (научно-технического) уровня в качестве главного показателя, определяющего совершенство двигателя, рассмотрим тягу двигателя (кг), помимо этого, основными показателями для математического

моделирования могут рассматриваться и другие показатели: удельный расход топлива, удельный вес двигателя и прочие.

Аналитический обзор двигателей самолетов-истребителей позволяет получить закономерности (рис. 3) изменения главных параметров их технического или научно-технического уров-

ней. Полученные по статистическим данным  $S$ -образные закономерности подчиняются уравнениям регрессии (1–4):

– двигатели дозвуковых самолетов-истребителей:

$$P(t) = 930 \cdot \arctg(t - 1948) + 1900, \quad (1)$$

$$R^2 = 0,7957;$$

– двигатели сверхзвуковых истребителей-перехватчиков:

$$P(t) = 5700 \cdot \arctg(t - 1957) + 9800, \quad (2)$$

$$R^2 = 0,7076;$$

– двигатели самолетов-истребителей вертикального взлета и посадки:

$$P(t) = 3900 \cdot \arctg(t - 1985) + 11650, \quad (3)$$

$$R^2 = 0,9515;$$

– двигатели многофункциональных высокоманевренных истребителей (истребителей-бомбардировщиков):

$$P(t) = 4000 \cdot \arctg(t - 1965) + 8450, \quad (4)$$

$$R^2 = 0,8780;$$

где  $P$  – тяга двигателя, кг.

Из рис. 3 можно сделать вывод о том, что авиационные двигатели для многофункциональных высокоманевренных самолетов-истребителей (истребителей-бомбардировщиков) в настоящее время утрачивают свои конкурентные преимущества в сравнении с лучшими зарубежными аналогами. Отставание по тяге составляет приблизительно 4 тс, что является «узким местом». Таким образом, в инновационной деятельности одной из главных задач создания авиационного двигателя пятого поколения должно быть повышение тяги при тех же или меньших массо-габаритных параметрах.

Для решения данной задачи перейдем к блоку № 2 функциональной модели (рис. 2), где произведем отбор патентных документов, направленных на улучшение тяговых характеристик реактивных двигателей.

#### *Анализ патентной информации*

К авиационному двигателю предъявляют весьма жесткие технические требования не только по тяге или мощности, но и по возможностям использования в альтернативных технологиях, например, в технологиях двойного назначения или в инновационных технологиях, для создания новых летательных аппаратов, тактико-технические характеристики которых должны превосходить показатели лучших зарубежных аналогов. По этой причине приоритетными техническими требованиями к рассматри-

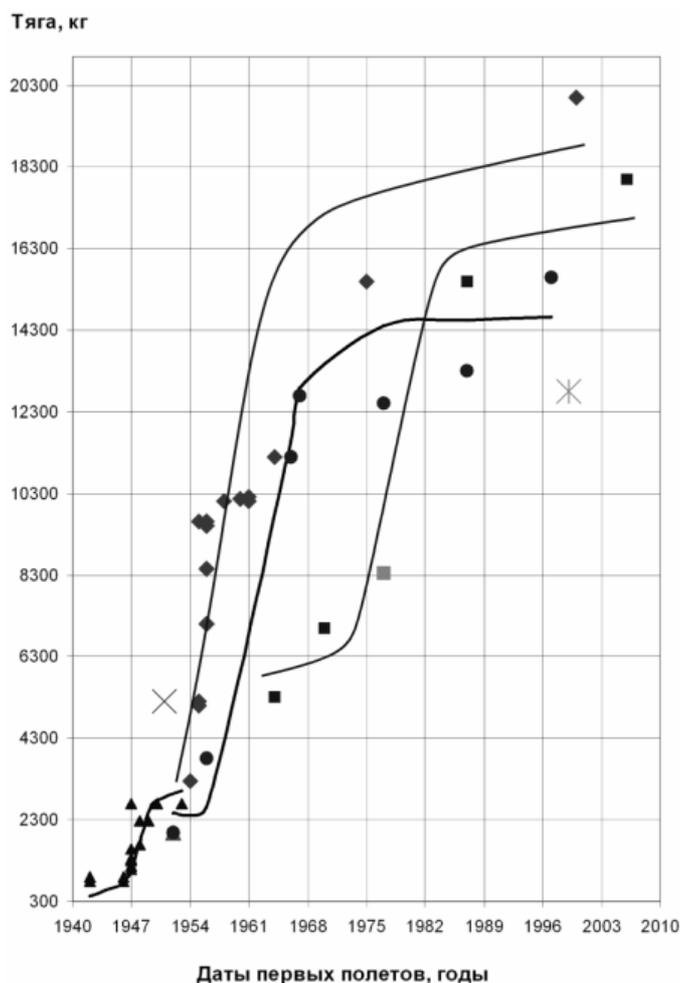
ваемым изделиям относят не только тягу, но и удельные параметры, ресурс, надежность. Для удовлетворения таких требований создать современный авиационный двигатель без применения методов науки, новейших конструкционных материалов и высоких (критических) технологий не представляется возможным [1].

В рассматриваемом блоке (рис. 2) проводится обзор патентных документов, а именно – изобретений, полезных моделей и промышленных образцов, размещенных в базе данных Роспатента для определения высоких и критических технологий в области создания новейшей авиационной техники. Сбор материала проводится по каждому узлу газотурбинного двигателя, т. е. рассматриваются патентные документы по вентилятору, компрессору, камере сгорания, турбине, форсажной камере и реактивному соплу. Акцент делается на параметры, улучшающие технические возможности реактивных двигателей – тягу (кг), степень сжатия компрессора, а также температуру газа перед турбиной (°К).

В процессе поиска информации по перспективным современным двигателям кроме работающих патентов, можно выделить отдельные разработки и конструкторские идеи, которые в дальнейшем могут сыграть основную роль в создании новой техники, функционирующей на основе принципиально иных способов – это, например, атомный газотурбинный и интеллектуальный двигатели, а также пульсирующий воздушно-реактивный двигатель для беспилотных летательных аппаратов.

По результатам обзора патентной информации можно построить базу данных по узловым технологиям для выполнения дальнейших работ по обеспечению технологической готовности к созданию авиационных двигателей нового поколения (рис. 4).

«Кликнув» по кнопке, соответствующей какому-либо узлу авиационного двигателя, можно открыть окно, отражающее список патентных документов с их подробным описанием, иллюстрациями и таблицами. На рис. 5 приведен пример патентных документов по камере сгорания авиационного двигателя. Таким образом, с помощью разработанной базы данных представляется возможным определить приоритетный перечень высоких и критических технологий создания реактивных двигателей нового поколения.



- ▲ Двигатели дозвуковых самолетов-истребителей
- ▲ Двигатель AM-5 (особая точка)
- ◆ Двигатели сверхзвуковых истребителей-перехватчиков
- × Двигатель AL-5 - снят с испытаний вследствие низкой надежности (особая точка)
- Двигатели самолетов-истребителей вертикального взлета и посадки
- Двигатели многофункциональных высокоманевренных истребителей (истребителей-бомбардировщиков)
- Двигатель РД-33 (МиГ-29) - без многофункциональных модификаций (особая точка)
- \* Двигатель AL-31Ф-3 (особая точка)

**Рис. 3.** Закономерности смены поколений авиационных реактивных двигателей самолетов-истребителей

Анализируя данные патентной статистики по высокоманевренным истребителям и многоцелевым ударным самолетам зарубежной военной авиации, можно сделать вывод, что они характеризуются высоким уровнем температуры газа перед турбиной 1850...1950°K, малой величиной степени двухконтурности и существенно улучшенными массово-габаритными показателями. Двигатели имеют отношение тяги к массе  $R_{\Phi}/M_{\text{дв}} = 9...10$ , высокую лобовую тягу, минимальное число деталей, существенно улучшенные эксплуатационные характеристики

(ресурс составляет 50...100% ресурса планера, надежность на 60...80% выше, трудоемкость технического обслуживания в 2...3 раза меньше, стоимость жизненного цикла примерно в 1,3 раза меньше по сравнению с теми же параметрами двигателей 4-го поколения, которые находятся в эксплуатации). Они обеспечивают крейсерский полет со сверхзвуковой скоростью на нефорсированном режиме, высокую маневренность и высокие взлетно-посадочные характеристики, а также низкий уровень заметности и высокую боевую живучесть.

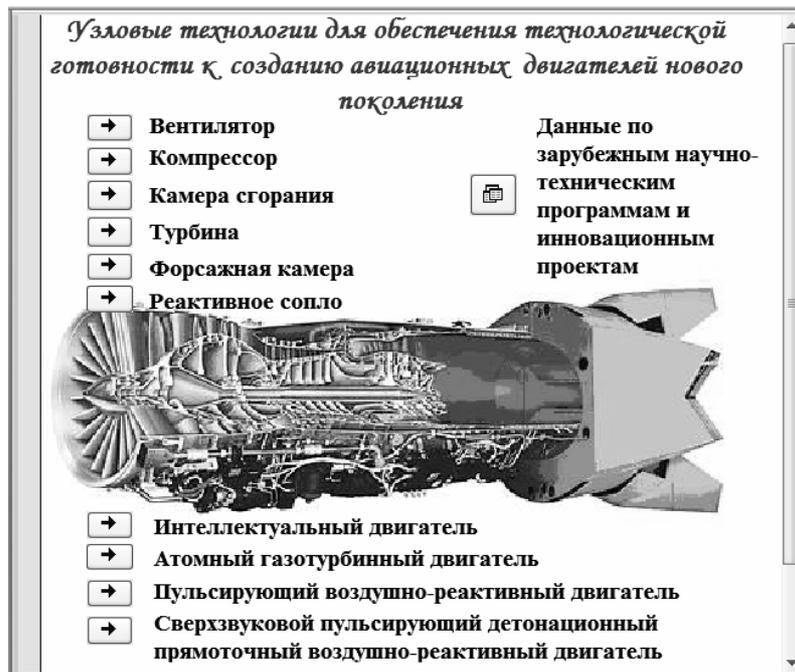


Рис. 4. Окно электронной базы данных по узловым технологиям авиационных двигателей в системе MS Access

Кроме сказанного, электронная база данных (рис. 4) позволяет получить данные для:

- улучшения аэродинамических характеристик и повышения нагруженности лопаточных машин;
- применения управления пограничным слоем путем его сдува и отсоса;
- уменьшения уровня эмиссии камеры сгорания с обедненной зоной горения или с каталитическим горением, стабилизации процесса горения применением воздействия электрическим полем, подачи топлива через микроламинатные и микроволновые плазменные форсунки;
- снижения уровня шума на взлете;
- улучшения характеристик на крейсерских режимах;
- применения конструкционных материалов с «памятью формы» и т. д.

Анализ тенденций развития авиационных двигателей по электронной базе данных показал, что происходит постоянный рост качества, выражающийся в улучшении экономичности, снижении уровней шума и эмиссии вредных веществ, повышении надежности и увеличении ресурса вплоть до значений ресурса планера летательного аппарата [2].

После проведенной работы по сбору перспективных материалов, данных о современных разработках и конструкторских замыслах по созданию двигателя нового поколения, необходимо отсортировать «малоперспективные» технологии, и сформировать «ядро решений» в виде массива наилучших технологических пред-

ложений, что осуществляется в следующем блоке функциональной модели (рис. 2).

*Формирование единых технологий<sup>1</sup> авиационных двигателей нового поколения*

Для разработки единых технологий авиадвигателестроения, создания и постановки на производство двигателей нового поколения в данной работе предложено применять методы математического моделирования и структурной оптимизации единой технологии, в частности, предложен метод определения «ядра решений» для структурной оптимизации единых технологий создания газотурбинного двигателя на основании данных патентной статистики, известных как в нашей стране, так и за рубежом промышленных образцов и полезных моделей.

<sup>1</sup> Гражданский кодекс Российской Федерации (Часть 4, №230-ФЗ, Раздел VII) обеспечивает правовую охрану результатов интеллектуального труда в следующих областях инновационной деятельности: создания произведений науки, изобретений, полезных моделей, промышленных образцов, секретов производства (ноу-хау), программ для ЭВМ, баз данных, топологий интегральных микросхем, селекционных достижений, а также *единых технологий* как результатов научно-технической деятельности, которые включают в том или ином сочетании изобретения, полезные модели, промышленные образцы, программы для ЭВМ или другие результаты интеллектуальной деятельности, служащие практической деятельности.

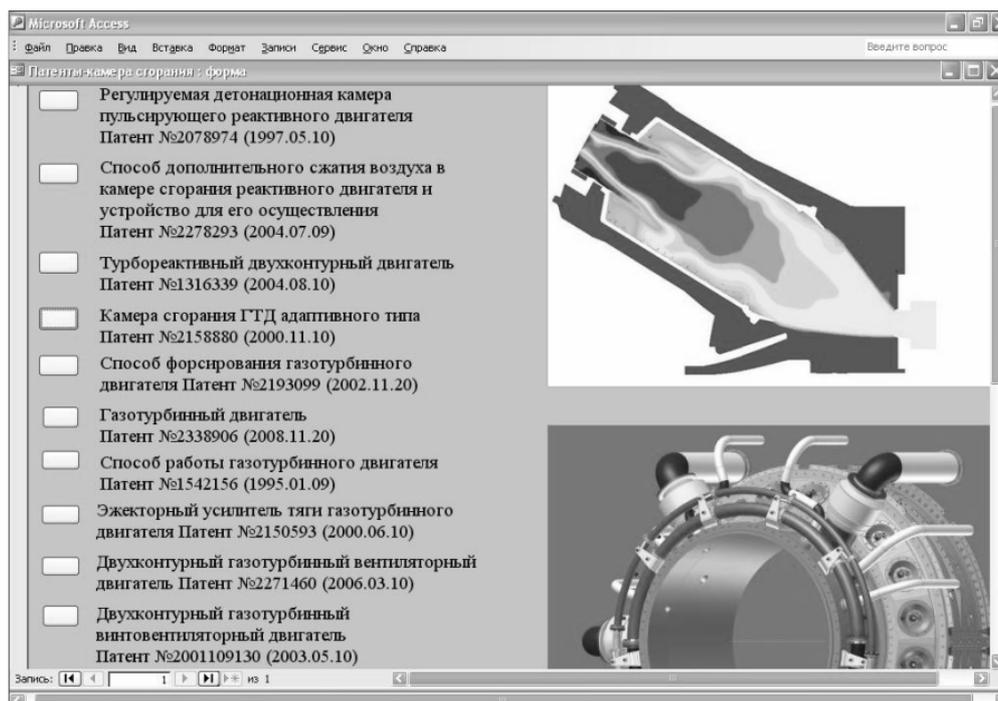


Рис. 5. Окно базы данных по камере сгорания газотурбинного двигателя

Основными средствами математического моделирования в данном исследовании рассматриваются методы искусственного интеллекта: экспертные системы; нейронные сети; методы нечеткой логики; генетические алгоритмы. Основой предложенного в данной публикации метода рассматривается применение комбинированной модели на основе применения экспертных систем и метода нечеткой логики, которые реализованы в системе MATLAB 6.5. Эти методы позволяют выполнять системный анализ разработанной в данном исследовании электронной базы данных по узловым технологиям [3].

Для решения задачи анализа данных патентной статистики по узловым технологиям газотурбинного двигателя (рис. 2) применен пакет «Fuzzy Logic» системы MATLAB 6.5. С его помощью можно осуществлять поиск «ядра решений», которое опирается на результаты экспертных оценок, заключающихся в отборе наилучших технических предложений по узловым технологиям в целях создания реактивных двигателей нового поколения.

В пространственной форме совокупность имеющихся в электронной базе данных узловых технологий (рис. 4) можно представить в виде поверхности (рис. 6), где по осям отложены оценки по данным патентной статистики (тяги, степени сжатия компрессора, температуры на турбине), а по вертикальной оси ординат – точка варианта технологии.

Как видно из рис. 6, в нижней области находятся малоперспективные технологии создания реактивных двигателей. В верхней области – располагаются «высокие технологии», реализующие наиболее прогрессивные и оригинальные инновационные решения. В промежутке между этими областями имеют место промежуточные технологии.

На рис. 6 условно показана одна из S-образных кривых развития узловых технологий (в частности, вентилятора авиационного двигателя), а поверхность, таким образом, представляет собой множество вариантов развития узловых технологий, из которых можно выделить «ядро решений» для разработки единой технологии двигателя нового поколения.

После ввода в систему MATLAB 6.5 данных по экспертной оценке патентных документов (оценки их значимости для увеличения тяги, степени сжатия компрессора, температуры на турбине) поверхность развития несколько модифицируется, рис. 7.

Для системного анализа полученного «ядра решений» из области «высоких технологий» (рис. 6, 7) на следующем шаге рекомендуется строить структурные модели в виде многовариантных сетевых графов [1, 3, 4] развития единых технологий нового поколения авиационных двигателей, на которых обобщены только точки высоких узловых технологий, отобранные на предыдущем шаге анализа с использованием метода нечеткой логики.

Многовариантный граф развития единых технологий является ядром возможных как конструкторских, так и проектно-технологических решений (в виде проектных, перспективных и директивных технологических процессов) для структурной оптимизации единых технологий. Многокритериальная структурная оптимизация технологий на сетевых графах может быть осуществлена с помощью теории статистических решений и теории игр, динамического программирования, использования искусственных нейронных сетей и других методов системного анализа технологий [4, 5].

По результатам такого анализа на основании данных патентной статистики можно выделить перечень наиболее перспективных технологий для обеспечения новых конструкторских решений создания авиационного двигателя нового поколения, разработки предварительного комплекта технологической документации и проектирования директивных технологических процессов.

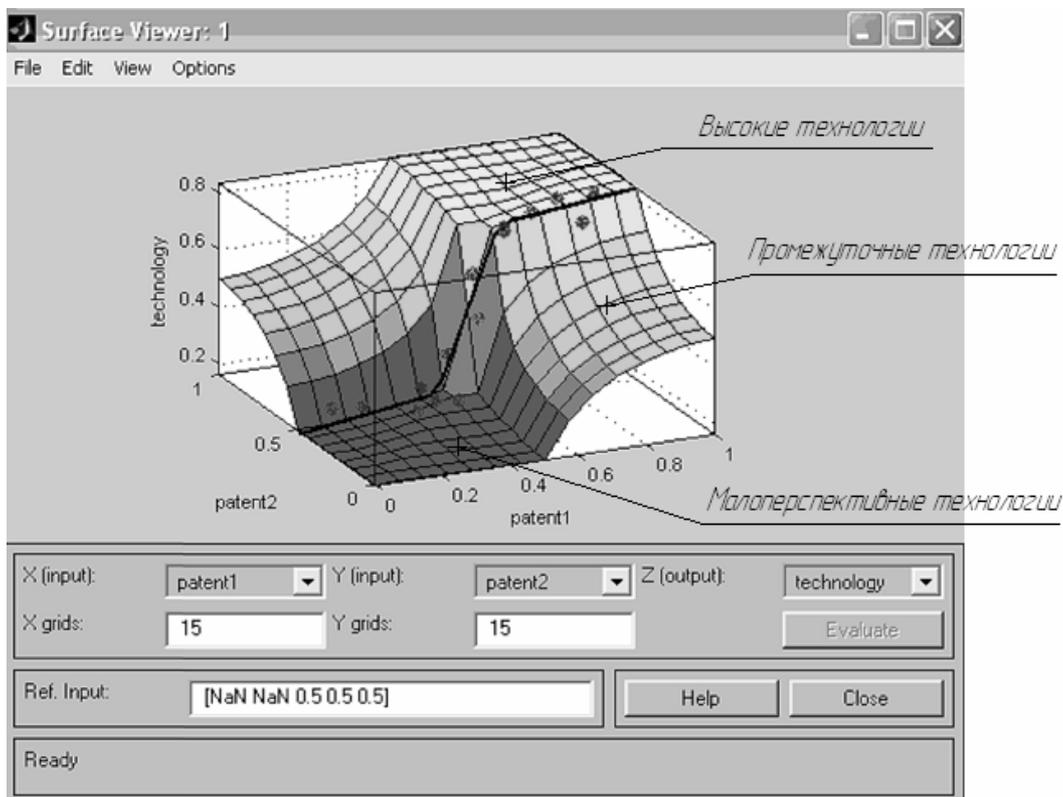
Четвертый блок функциональной модели (рис. 2) предназначен для разработки предвари-

тельного комплекта технологической документации в ходе инновационного проектирования реактивных двигателей нового поколения.

*Разработка узловых и базовых инновационных технологий*

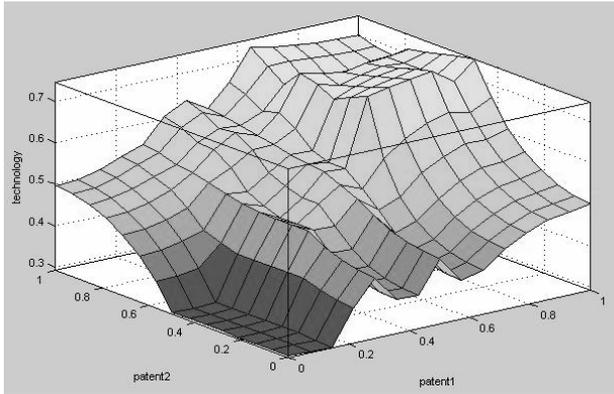
Создание современного авиационного двигателя – это комплексный процесс, базирующийся на передовых достижениях многих отраслей науки и техники и вместе с тем дорогостоящий процесс, который проходит в условиях жесткой конкуренции на мировом рынке авиационной техники. В связи с этим основой для создания конкурентоспособной продукции является продуманный, хорошо спланированный процесс инновационной деятельности для разработки узловых и базовых инновационных технологий.

В данной работе с использованием программных продуктов, таких как Microsoft Project, Project Expert и других (рис. 2), можно разрабатывать инновационные проекты проектных, перспективных и директивных технологических процессов.



● – эмпирические точки, характеризующие патенты по узлу газотурбинного двигателя (пример)

**Рис. 6.** Теоретическая поверхность развития единых технологий авиационных двигателей



**Рис. 7.** Поверхность развития единых технологий авиационных двигателей по результатам экспертной оценки данных патентной статистики

Рассмотрим процесс разработки таких технологий (из числа отобранных на предыдущей стадии высоких технологий) на примере инновационного технологического проекта изготовления деталей камеры сгорания для авиационного двигателя нового поколения.

Календарный план-график (диаграмма Ганта), построенный в среде Microsoft Project, представлен на рис. 8. Определять нормы времени на выполнение этапов (задач) календарного плана

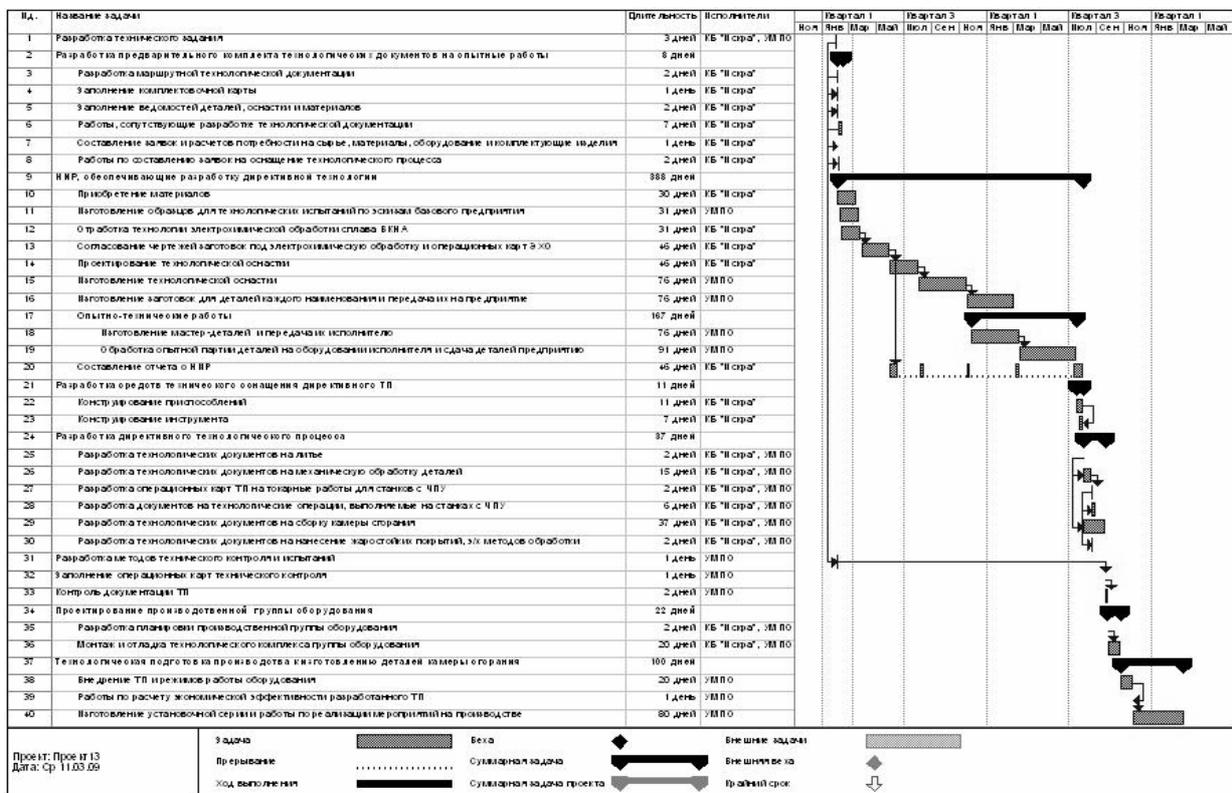
можно с помощью сформированной в рассматриваемой функциональной модели электронной базы данных для нормирования времени работ программ и проектов технического перевооружения авиадвигателестроительного производства, ее фрагмент приведен на рис. 9.

Календарный план-график (график Гантта) является основой для бизнес-планирования инновационных проектов в системе Project Expert.

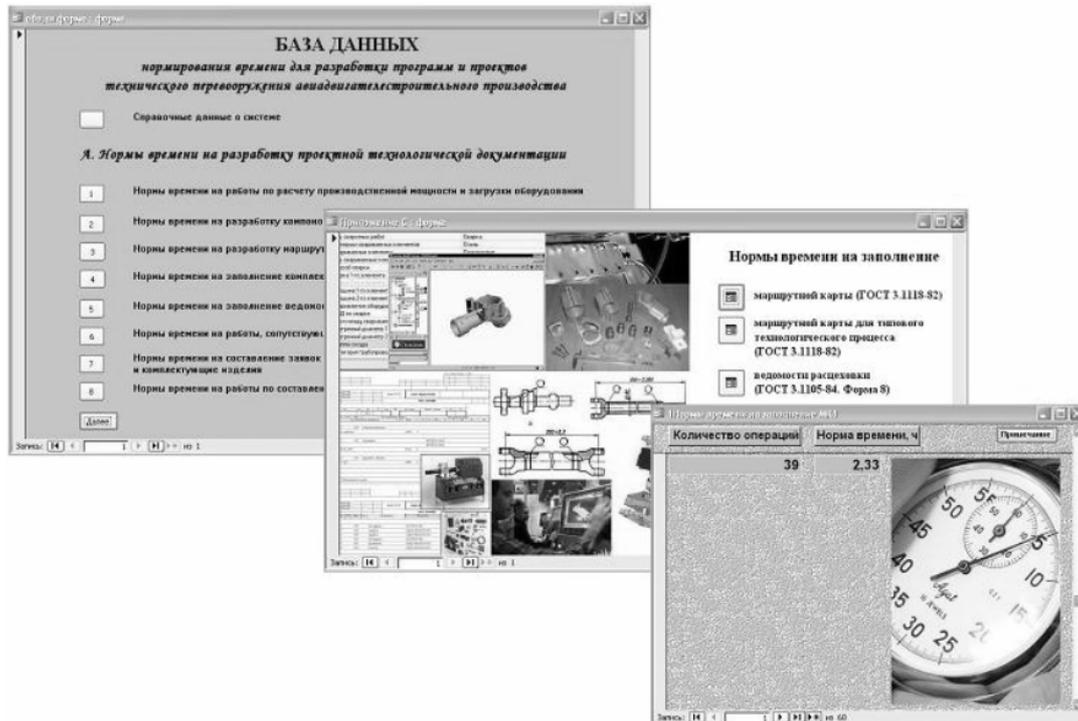
### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях инновационной рыночной экономики главным двигателем ее развития является конкуренция. Конкурентоспособность, в конечном счете, – это способность национальных предпринимателей создавать, производить и продавать товары, ценовые и неценовые качества которых более привлекательны, чем у аналогичных зарубежных товаров.

В начале XXI в. почти ни у кого не осталось сомнений, что конкурентоспособность определяется способностью предприятий к инновациям, т. е. постоянному совершенствованию продукции, технологий и менеджмента.



**Рис. 8.** Календарный план-график инновационного проекта разработки перспективного технологического процесса изготовления детали камеры сгорания газотурбинного двигателя «Сегмент»



**Рис. 9.** Нормы времени на разработку маршрутной технологической документации детали камеры сгорания типа «Сегмент»

В данной статье с позиций системного подхода предпринята попытка теоретического обобщения научных закономерностей, зависимостей, математических моделей, методов и технологий, используемых в прикладной инновационной деятельности. В статье показаны методы автоматизации инновационного проектирования для управления проектами технологического обеспечения процесса создания конкурентоспособных авиационных двигателей.

Автоматизация проектирования на основе решения различных технико-технологических задач инновационной деятельности в части технологического обеспечения процессов создания и постановки на производство техники новых поколений позволяет существенно повысить технический уровень проектных разработок и их экономическую эффективность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селиванов С. Г., Гузаиров М. Б., Кутин А. А. Инноватика. Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2008. 721 с.
2. Скибин В. А. Работы ведущих авиадвигательностроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор). М.: ЦИАМ, 2004. 424 с.
3. Селиванов С. Г., Поезжалова С. Н. Метод математического моделирования и структурной оптимизации единых технологий в инновационных проектах // Вестник УГАТУ. 2009. Т. 12, № 2(30). С. 107–116.

4. Селиванов С. Г. Технологическая инноватика. М.: Наука, 2004. 283 с.

5. Селиванов С. Г., Иванова М. В. Теоретические основы реконструкции машиностроительного производства. Уфа : Гилем, 2001. 312 с.

#### ОБ АВТОРАХ



**Селиванов Сергей Григорьевич**  
проф. каф. технол. машиностр  
Дипл. инж. по автоматиз. и компл  
механиз. машиностр. (УАИ, 1970)  
Д-р техн. наук по технол. маши  
ностр. (Мосстанкин, 1991). Иссл. в  
обл. технол. подг., реконстр., орга  
низ. пр-ва.



**Поезжалова Светлана Николаевна**,  
дипл. бакалавр техн. и технол.  
(УГАТУ, 2007). Иссл. в обл.  
высоких и критических техноло  
гий машиностроения.