МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**С.В. Фалалеев**

# Современные проблемы создания двигателей летательных аппаратов

Электронное учебное пособие

С А М А Р А

2012

УДК: 621.431.75(075)
ББК: 39.55

Автор: Фалалеев Сергей Викторинович

Рецензент: д-р техн.наук, проф. В.Н. Матвеев

Редакторская обработка О.А. Швецова
Компьютерная верстка О.А. Швецова

**Фалалеев, С.В. Современные проблемы создания двигателей летательных аппаратов** [Электронный ресурс]: электрон. учебное пособие /С.В.Фалалеев; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П.Королева (Нац. исслед. ун-т) – Электрон. тестовые и граф. дан. (5,15 Мбайт) - Самара, 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: ПК Pentium; Windows 98 или выше.

Рассмотрены основные приоритеты, задачи, пути развития научных направлений, создания новых технологий в свете решения современных проблем создания двигателей летательных аппаратов. Учебное пособие предназначено для подготовки магистров по направлениям 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов».

Подготовлено на кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов СГАУ.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

1. Прогноз развития науки и технологий в авиационном двигателестроении 5

2. Разработка критических технологий для авиационных двигателей нового поколения 53

3. Направления исследований зарубежных авиадвигателестроительных компаний по созданию новых технологий 75

4. Управление проектами 91

## Введение

В данном учебном пособии представлено методическое обеспечение курса «Современные проблемы создания двигателей летательных аппаратов».

Цель дисциплины "Современные проблемы создания двигателей летательных аппаратов (ДЛА)" - подготовка магистров, владеющих общими и специальными знаниями, умениями и компетенциями, необходимыми при создании современных авиационных двигателей и энергетических установок.

Основные задачи дисциплины: прогнозирование тенденций развития современного авиадвигателестроения; освоение технологии управления проектами; освоение методологии создания и сопровождения PDM-модели двигателя; формирование способности осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по направлению исследований, выбирать средства и методы решения задач; формирование способности разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты сложных изделий с использованием средств автоматизированного проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий.

# 1 ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ В АВИАЦИОННОМ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

## Термодинамика

Развитие направления термодинамики двигателей летательных аппаратов всех типов и промышленных газотурбинных установок (ГТУ) на основе авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) происходит в соответствии со следующими приоритетами:

- обеспечение высокой экономичности, адаптивности и эксплуатационных характеристик двигателей (топливная экономичность, устойчивая работа во всем диапазоне эксплуатации, в том числе при тепловой неравномерности потока на входе, надежный земной и высотный запуск, высокие динамические характеристики, обеспечение приемлемых характеристик двигателей в условиях обледенения и других климатических условиях, высокой адаптивности управления, освоение применения альтернативных топлив);

- габаритно-массовые характеристики (снижение удельного веса, объема и габаритных размеров авиационных двигателей, повышение эффективности интеграции силовой установки и планера);

- экологические характеристики (уменьшение вредных выбросов в атмосферу путем повышения топливной экономичности, снижение шума в источнике путем выбора рациональных параметров и конструктивно-схемных решений двигателей);

- эффективность боевого применения (обеспечение многорежимности за счёт адаптивности конструкции, малой заметности, высоких динамических характеристик, боевой живучести, возможности короткого/вертикального взлета и посадки, обеспечение эксплуатации всех типов беспилотных летательных аппаратов – микро, мини, ударных, разведывательных, включая высотные, обеспечение гиперзвукового полета);

- обеспечение полетов в атмосфере гиперзвуковых пилотируемых магистральных самолетов и многоразовых космических транспортных систем (параллакс, всеазимутальность при выведении и спуске с орбиты) при соблюдении экологических требований;

- обеспечение высокой экономичности и адаптивности к условиям эксплуатации промышленных ГТУ на базе авиационных двигателей, их экологических характеристик, удовлетворяющих перспективным требованиям международных стандартов (уменьшение вредных выбросов в атмосферу путем повышения топливной экономичности, применения экологически чистых технологий сжигания топлива, снижение шума).

В настоящее время двигатели летательных аппаратов достигли высокого уровня совершенства. На примере двигателей для магистральных и региональных самолетов гражданской авиации (ГА) следует отметить, что уровень крейсерского удельного расхода топлива двигателей магистральных самолетов, в значительной степени определяющий топливную эффективность ЛА, составляет 0,52…0,63 кг/кгс·ч (в зависимости от размерности двигателя) и улучшение этого показателя происходит с годами все медленнее. Традиционные способы снижения удельного расхода топлива путем повышения эффективности термодинамического цикла (суммарной степени повышения давления в цикле и температуры газа перед турбиной, коэффициентов полезного действия узлов и снижения потерь полного давления во входных и выходных устройствах) и повышения степени двухконтурности могут обеспечить относительно небольшие улучшения экономичности, но приводят к увеличению диаметральных размеров, осложнению проблем обеспечения требуемых ресурсов основных деталей, приемлемого теплового состояния деталей «горячей» части и т.д. В рамках традиционных подходов к

повышению эффективности авиационных двигателей еще имеется некоторый резерв, связанный с совершенствованием основных узлов (газовая динамика, устойчивость, эффективность охлаждения), с расширением использования композиционных материалов в лопаточных машинах, камерах сгорании, элементах мотогондолы, что позволяет несколько снизить удельный вес и тем самым повысить топливную эффективность ЛА, а также с применением «электрифицированных» двигателей, у которых отсутствует отбор воздуха на кондиционирование кабины. Однако следует констатировать, что дальнейшее улучшение авиационных двигателей в рамках традиционных компоновок связано с все возрастающими трудностями.

Следует ожидать в перспективе в области двигателей для магистральных и региональных самолетов ГА достижения индикаторов, указанных в таблице 1.1.

При сохранении магистрального направления на разумное (с учетом проблем обеспечения все возрастающих требований к ресурсам конструкций и эмиссии вредных веществ) на повышение параметров цикла и степени двухконтурности прогнозируется все большее внимание к исследованиям силовых установок (СУ) нетрадиционных конструктивно-компоновочных схем: турбовинтовентиляторные двигатели («открытый ротор») с биротативными винтовентиляторами (ВВ); двигатели сложных термодинамических циклов (с промежуточным охлаждением воздуха при сжатии и регенерации тепла в процессе расширения газа в турбине, с детонационным горением), в которых ключевую роль играют легкие компактные теплообменники охладители и рекуператоры; распределенные СУ (привод нескольких вентиляторов-движителей от одного генератора мощности), глубоко интегрированные с элементами планера и позволяющие повышать степень двухконтурности без увеличения диаметральных размеров СУ; гибридные силовые установки, привод вентиляторов которых осуществляется одновременно от турбин и электродвигателей. Переход к таким компоновкам, с одной стороны, может потенциально обеспечить существенное улучшение технико-экономических характеристик ЛА, а, с другой стороны, сопряжен с заметными рисками в связи с ограниченным опытом создания таких силовых установок. Переход к таким конфигурациям на практике является ключевой точкой ветвления на пути развития авиации.

Таблица 1.1- Индикаторы развития двигателей для самолетов ГА

| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Наработка на выключение в полете - не менее, тыс. ч | 200 | 300 | 500 |
| Ресурсы основных деталей «гор»/»хол» частей, тыс. п. циклов | 20 / 40 | 22 / 45 | 30 / 60 |
| Снижение кр. уд. расхода топлива и $CO_2$, % к двигателям 2010г. | 10 – 15 | 15 - 20 | 20 - 30 |
| Снижение шума по сравнению с нормой Гл. 4, EPN dB | 15 | > 20 | > 40 |
| Снижение эмиссии NOx, % к Нормам 2008г., | 30 - 45 | 40 - 60 | 60 - 80 |
| Снижение удельной массы, % к двигателям 2010г. | 0 | 0 | 10 |

Необходимо отметить, что повышение экономичности перспективных СУ, аэродинамического качества и весового совершенства ЛА приводит к значительному уменьшению взлетного веса и потребной тяги двигателей. При этом важной особенностью

перспективных двигателей региональных и магистральных самолетов является уменьшение размерности их газогенераторов в 3 – 6 раз по сравнению с семейством ПД 9-18. Указанный факт означает, что для двигателей магистральных и региональных самолетов актуальной может стать проблема применения высокоэффективных осецентробежных и центробежных компрессоров.

Для сверхзвуковых деловых самолетов (СДС) потребуется создание двигателей с широким изменением степени двухконтурности в процессе полета (таблица 1.2), что будет достигаться сначала применением отдельных регулируемых элементов двигателей (смесителя, сопла), а затем, в более отдаленной перспективе, специализированных двигателей изменяемого рабочего процесса (ДИП) в сочетании с высокоэффективными средствами снижения шума в источнике.

В области СУ винтокрылых летательных аппаратов основное внимание будет сосредоточено на формировании двигателей и трансмиссией скоростных вертолетов и конвертируемых летательных аппаратов (таблица 1.3).

Прогнозируются три ключевых направления, обеспечивающих «прорывное» улучшение показателей вертолетных двигателей: широкое комплексное применение перспективных композитных материалов различных типов, обеспечивающее, в частности, радикальное (на 200…300 К) повышение температуры газа в двигателях с неохлаждаемой горячей частью (т.н. «неметаллический двигатель»); отказ от использования в двигателе механического привода агрегатов через коробку передач и переход на использование электроприводных агрегатов, питающихся от встроенного высокооборотного генератора (т.н. «электрический двигатель»); применение в двигателе роторных опор нетрадиционного типа (неметаллические композитные, газовые, электромагнитные), не требующих масляного охлаждения, исключение из конструкции двигателя масляной системы (т.н. «сухой двигатель»).

Таблица 1.2 - Индикаторы развития двигателей для СДС

| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Уровень шума (суммарный относительно главы 3), EPNdB | -10 | -10…20 | -20…30 |
| Уровень эмиссии NOx на крейсерском режиме | на современном уровне | EINOx<10г/кг | EINOx<5г/кг, |
| Топливная эффективность (пасс.км/кг топлива) | ~4 | ~12 | ~14…18 |

Таблица 1.3 - Индикаторы развития двигателей для вертолетов

| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Наработка на выключение в полете - не менее, тыс. ч | 40 | 60 | 90 |
| Ресурсы основных деталей «гор»/»хол» частей, тыс. п. циклов | 6 / 12 | 9 / 18 | 12 / 24 |
| Снижение уд. расхода топлива и $CO_2$, % к двигателям 2010г. | 10 – 15 | 15 - 20 | 20 - 25 |
| Снижение удельной массы, % к двигателям 2010г. | 5 – 10 | 15 – 20 | 25 – 30 |

На более отдаленную перспективу рассматриваются СУ вертолетов с электрическим приводом несущего и вспомогательного винтов (т.н. «электрический вертолет»). Двигатель предполагается использовать в качестве газотурбинного привода электрического генератора. Кроме того, исследуются интегральные силовые установки (ИСУ), в которых ТРДД с регулируемым вентилятором, несущий винт и тракт выхлопной системы двигателя объединены в единую структуру. При этом остаются актуальными вопросы «прорывного» снижение расхода топлива и массы двигателя, применяемого в таких силовых установках. Должны получить развитие авиационные поршневые двигатели применительно к ЛА малой авиации и беспилотным летательным аппаратам (таблица 1.4).

Характерными особенностями перспективных вспомогательных ГТД являются: опоры на газодинамических или электромагнитных подшипниках; безредукторный привод электрогенератора – электростартёра; высокооборотный электрогенератор на постоянных магнитах с обеспечением возможности работы в стартерном режиме для запуска двигателя (таблица 1.5). Существенное улучшение топливной экономичности и экологических показателей (по выбросам в атмосферу вредных веществ и по шуму) будет получено при переходе на гибридные ВСУ с использованием технологий, основанных на применении топливных элементов. Перспективным направлением является создание интегрированного энергоузла (ИЭУ), который объединяет в одном агрегате ВГТД, систему запуска, систему аварийного энергообеспечения и систему кондиционирования самолета.

Таблица 1.4 - Индикаторы развития авиационных поршневых двигателей

| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Снижение удельной массы, % к двигателям 2010г. | 5 – 10 | 10 – 15 | 20 – 25 |
| Снижение уд. расхода топлива, % к двигателям 2010г. | 0 | 10 - 15 | 15 - 20 |
| Назначенный ресурс, не менее моточасов | 2000 | 3000 | 4000 |

Таблица 1.5 - Индикаторы развития авиационных ВГТД

| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** Гибридные ВСУ на ТЭ |
|---|---|---|---|
| Ресурсы основных деталей «гор»/»хол» частей, тыс. п. циклов | 15 / 30 | 20 / 40 | 25 / 50 |
| Снижение уд. расхода топлива и $CO_2$, % к двигателям 2010г. | 10 – 15 | 20 - 30 | 50 - 70 |
| Снижение удельной массы, % к двигателям 2010г. | 5 – 10 | 30 – 35 | 40 – 80 |

В области военной авиации основные качественные изменения с точки зрения термодинамики и теплообмена связаны с созданием турбин и камер сгорания, работоспособных при температурах газа перед турбиной на уровне 2100...2400К, требующем применения новых материалов с высокоэффективных систем охлаждения (таблица 1.6). Важной задачей останется создание выходных устройств со сниженными показателями инфракрасного излучения. Будут разрабатываться новые двигатели для

беспилотных летательных аппаратов различного назначения (краткоресурсных, ударных, высотных и др.), характеризуемые кардинально разными подходами к обеспечению высокой технико-экономической эффективности.

Наряду с существующими типами двигателей авиационных ракет (РДТТ, ПВРД, ИПВРД) для перспективного высокоскоростного (гиперзвукового) авиационного вооружения потребуется совершенствование рабочего процесса в ГПВРД и обеспечение приемлемого теплового состояния конструкции ГПВРД, в том числе с использованием хладоресурса углеводородного эндотермического топлива. Гиперзвуковые двигатели и комбинированные силовые установки также рассматриваются применительно к перспективным многоразовым космическим транспортным системам с диапазоном работы до М = 6…14.

Таблица 1.6 - Индикаторы развития двигателей для ФА

| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Снижение удельной массы, % | 25 | 30 | 50 |
| Увеличение удельной тяги, % | 10 | 15 | 20 |
| Снижение уд. расхода топлива, % | 10 | 10 - 15 | 20 |
| Увеличение межремонтного ресурса основных деталей, % | 75 | 100 | до 0,5-1 ресурса планера |
| Повышение боевой живучести, % | 15 | 25 | 50 |

Для существующих типов двигателей авиационных ракет (РДТТ, ПВРД, ИПВРД) потребуется обеспечить работоспособность и регулируемость (для ПВРД на твердом топливе) данных типов двигателей в более широком диапазоне полетных чисел Маха. Для создания перспективного высокоскоростного (гиперзвукового) авиационного вооружения потребуется отработка рабочего процесса в прямоточных детонационных пульсирующих двигателях (ПуДД), ГПВРД и ГРПД в интеграции с ГЛА с обеспечением приемлемого теплового состояния их конструкций, в том числе с использованием хладоресурса углеводородного эндотермического топлива и новых композиционных материалов.

Для перспективных ракет с ПВРД ожидается увеличение дальности полета: в период до 2015 г. на 30%, до 2020 г. на 50%, 2030 г. на 100%.

Высокоскоростные перевозки пассажиров и грузов в течение 2-4 часов в любую точку планеты и обеспечение выведения экипажей и грузов на околоземную орбиту потребуют разработки комбинированных силовых установок (КСУ) работоспособных в широком диапазоне полетных чисел Маха и режимных параметров. Основой таких комбинированных силовых установок будут прямоточные ВРД. Индикаторы развития демонстраторов высокоскоростных прямоточных ВРД, предназначенных для ЛА военного и гражданского назначения представлены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 - Индикаторы развития демонстраторов высокоскоростных прямоточных ВРД (полетные числа Маха)

| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| СУ ЛА военного назначения | 3…4 - 6…7 | 7…8 - 10…12 | >10…12 |
| СУ ЛА гражданского назначения | - | 4…7 | >6…8 |

В области промышленных ГТУ прогнозируется повышение внимания к исследованиям нетрадиционных конструктивно-компоновочных схем, базирующихся на цикле с промежуточным охлаждением воздуха при сжатии и регенерации тепла в процессе расширения газа в турбине. Разработка экологически чистых ГТУ позволит создать высокоэффективные, конкурентоспособные дизельным двигателям газотурбинные установки (таблица 1.8).

Таблица 1.8 - Индикаторы развития двигателей ГТУ (простой цикл)

| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Уровень к.п.д. ГТУ мощностью более 15 МВт, % | 40 | 41 - 42 | 43 - 45 |
| Уровень к.п.д. ГТУ мощностью менее 15 МВт, % | 35 - 36 | 37 - 38 | 39 - 40 |
| Эмиссия $NO_x$, не более ppm | 25 | 20 | 15 |
| Эмиссия CO, не более ppm | 40 | 30 | 20 |

Указанные выше приоритетные направления развития термодинамики во многом зависят от ряда внешних факторов, из которых можно указать основные:

- темпы экономического развития мировой и российской экономики, роста объемов перевозок и расширения бизнес-контактов. В частности, это может повлиять на интерес к созданию компоновок больших пассажирских и транспортных самолетов в схеме «летающее крыло» и других компоновок интегральных схем, сверхзвуковой деловой авиации и соответствующих силовых установок;
- рост стоимости и доступность авиационного керосина. Осложнение ситуации в этой области может стимулировать интерес к практическому применению винтовых и винтовентиляторных двигателей, альтернативных видов топлива;
- принятие законодательных актов в области авиационного транспорта, ужесточение экологических требований, в частности по шуму на местности, нормирование требований по допустимому уровню звукового удара от сверхзвуковых ЛА. Эти факторы могут повлиять на развитие, в частности, двигателей сверхзвуковой гражданской авиации.

Развитие авиационной термодинамики и теплообмена, направленное на формирование принципиально новых СУ летательных аппаратов окажет влияние на многие индикаторы развития авиации. Среди основных следует указать повышение экономических показателей (топливная эффективность), экологических показателей (шум на местности и эмиссия р), боевая эффективность военной авиации. Количественные изменения соответствующих индикаторов будут различными для разных технических решений и могут быть уточнены при формировании конкретных направлений исследований.

Основные задачи и пути развития направления «Термодинамика и теплообмен» приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 - Развитие направления «Термодинамика»

| **Направления исследований** | **Ключевые технологии и основные результаты** | | |
|---|---|---|---|
| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
| - Повышение топливной экономичности двигателей для магистральных самолетов гражданской авиации | - Высокоэффективные термодинамические схемы перспективных двигателей для магистральных самолетов<br>- Модельные теплообменники охладители и регенераторы, образцы перспективных систем охлаждения горячей части двигателя | - Облик ТРДД со сверхвысокой степенью духконтурности<br>- Облик ТВВД («открытый ротор»)<br>- Облики двигателей со сложными термодинамическими циклами для самолетов и винтокрылых ЛА<br>- Облики распределенных СУ для ЛА разного назначения<br>- Облик гибридного ТРДД<br>- Экспериментальные узлы, элементы и системы перспективных двигателей и СУ | - Двигатель (СУ) -демонстратор с высокими топливной экономичностью и экологическими характеристиками |
| - Обеспечение высокой адаптивности управления и устойчивой работы двигателей во всем диапазоне эксплуатации, в том числе при тепловой неравномерности потока на входе | - Система ликвидации неустойчивости в компрессоре | - Адаптивная система управления, интегрированная с бортовой математической моделью ТРДД(Ф), для повышения параметров рабочего процесса и безусловного обеспечения устойчивости в эксплуатационных условиях | - Новые органы диагностики и управления АД, обеспечивающие работу двигателя с минимально допустимыми запасами устойчивости |
| - Обеспечение надежного земного и высотного запуска | - Способы и средства ускорения запуска перспективных авиационных двигателей разного назначения | - Распределенная электрическая система запуска перспективных ТРДД | - Система запуска авиационных двигателей на новых физических принципах |
| - Обеспечение приемлемых характеристик двигателей в условиях обледенения и других климатических условиях | - Способ борьбы с барьерным льдом путём сдува водяной плёнки | - Адаптивное управление двигателем для низкой чувствительности к обледенению | - Высокоэффективная ПОС нового поколения; обеспечение пониженной чувствительности двигателя к обледенению путём применения новых высокоэффективных средств защиты ото льда, града, дождя, ледяных кристаллов, и др. |
| - Снижение удельного веса, объема и габаритных размеров двигателей ГА | Многодисциплинарно оптимизированные традиционные компоновки двигателей | Компоновки двигателей (СУ) с повышенной удельной тягой и широким применением композиционных материалов | |

Продолжение таблицы 1.9

| | | | |
|---|---|---|---|
| - Повышение эффективности интеграции силовой установки и планера | - Регулируемый вектор тяги<br>- Компоновка мотогондолы, пилона и крыла с минимальным шумом | Энергетические способы повышения подъемной силы на взлетно-посадочных режимах и больших углах атаки использования энергетики отклоняемых струй двигателей | - Двигатель с низкой чувствительностью к входной неравномерности<br>- Компоновки СУ и планера с общими конструктивными элементами |
| - Уменьшение вредных выбросов в атмосферу путем повышения топливной экономичности двигателей | - Облик ТРДД с низким расходом топлива и нормируемыми индексами эмиссии вредных веществ | - | |
| - Снижение шума в источнике путем выбора рациональных параметров и конструктивно-схемных решений двигателей | - Облик ТРДД с редукторным приводом вентилятора | - Интегральные компоновки двигателей новых схем, обеспечивающие экранирование шума СУ | |
| - Освоение применения альтернативных топлив | - Требования к теплофизическим и эксплуатационным свойствам, научно-технические основы применения авиационного бензина в обеспечение эксплуатации малой авиации<br><br>- Научно-технические основы применения альтернативных синтетических жидких углеводородных топлив (СЖТ) из ненефтяного сырья (природного газа, угля, биомассы) для авиационных ГТД в обеспечение надежной эксплуатации современных и перспективных ЛА различного назначения. | Научно-технические основы применения эксергетических возможностей альтернативных топлив типа АСКТ, СПГ, водорода в силовых установках нового поколения для самолетов гражданской и транспортной авиации | |
| - Развитие силовых установок для сверхзвуковой гражданской авиации | - Компоновки СУ для СДС на базе газогенераторов существующих ТРДД<br>- Модельные образцы узлов и элементов СУ | - Облик ТРДДсм с широким регулированием проточной части (смеситель, сопло и др.)<br>- экспериментальные узлы СУ | - Двигатель изменяемого рабочего (ДИП) -демонстратор для СПС |

Продолжение таблицы 1.9

| | | | |
|---|---|---|---|
| - Развитие силовых установок для скоростных вертолетов и других винтокрылых ЛА | - Облики ГТД и пропульсивной СУ для ПСВ<br>- экспериментальный 2-ступенчатый центробежный компрессор<br>- модели элементов и узлов перспективного ГТД и пропульсивной СУ | - Облик СУ электрического вертолета<br>- Обоснование рациональных типов, схем и параметров традиционных и гибридных силовых установок для перспективных вертолетов различных весовых категорий на основе многокритериальной оптимизации | - Демонстраторы двигателей перспективных винтокрылых ЛА |
| - Развитие силовых установок для летательных аппаратов малой авиации | - Демонстратор миниатюрного авиационного поршневого двигателя с золотниковым газораспределением | - Демонстратор ГТД для ЛА малой авиации<br>- Облик гибридной СУ для ЛА малой авиации | - Демонстратор гибридной СУ для ЛА малой авиации |
| - Обеспечение возможности короткого/вертикального взлета и посадки | - Компоновка СУ СКВП | - Высокоэффективные адаптивные органы управления СУ на взлетно-посадочных режимах<br>- Экспериментальные узлы и системы СУ СКВП | - Демонстратор СУ СКВП |
| - Обеспечение многорежимности двигателей ФА за счёт адаптивности конструкции | -Требования к СУ перспективных ЛА военного назначения (с учётом максимальной унификации двигателей).<br>- Способы поддержания требуемой тяги по мере выработки ресурса и ее контроля в процессе эксплуатации двигателя.<br>-Рекомендации по развитию двигателя по тягово-экономическим и ресурсным показателям с учетом требований взаимозаменяемости на ЛА. | - Технические задания и предварительная проработка основных узлов и элементов перспективных двигателей.<br>-Технические требования к конструкционным материалам и покрытиям.<br>- Полноразмерные модели узлов перспективного двигателя ФА | Экспериментальный газогенератор и двигатель-демонстратор. |

Продолжение таблицы 1.9

| | | | |
|---|---|---|---|
| - Обеспечение боевой живучести и малой заметности двигателей ВА | -Схемно-технические решения, повышающие маскирующие свойства силовой установки.<br>-Методика обеспечения высокого уровня живучести при разработке технических заданий на изготовление основных узлов и элементов перспективных двигателей. | - Технический облик перспективного двигателя с учетом интеграции системы «входное устройство-двигатель - выходное устройство-средства снижения заметности».<br>- Методы улучшения маскирующих свойств двигателя в системе ЛА.<br>- Технические требования к конструкционным материалам с повышенной стойкостью к внешним воздействиям и покрытиям снижающим заметность. | Отработка методов снижения заметности и повышения живучести на экспериментальном газогенераторе и двигателе-демонстраторе. |
| - Обеспечение высоких динамических характеристик двигателей | Методы ускоренного запуска двигателей. | Адаптивные законы управления силовой установкой в системе летательного аппарата. | Отработка адаптивных законов управления на экспериментальном газогенераторе и двигателе-демонстраторе |
| - Обеспечение эксплуатации всех типов БЛА – микро, мини, ударных, разведывательных, включая высотные | - Облики СУ для микро и мини БЛА<br>- Компоновка СУ ударного БЛА<br>- Компоновка ТРДД для высотного БЛА<br>- Модельные узлы СУ для высотного БЛА | - Демонстраторы СУ для микро и мини БЛА<br>- Двигатель-демонстратор для ударного БЛА<br>- Проект ТРДД для высотного БЛА<br>- Экспериментальные узлы СУ для высотного БЛА | - Демонстратор ТРДД для высотного БЛА<br>- Гибридная СУ с ТЭ для высотного БЛА |
| - Обеспечение гиперзвукового полета высокоскоростного авиационного вооружения (СУ на твердых, жидких, газообразных и специальных топливах) | Демонстраторы прямоточных ВРД различных конфигураций и размерности, интегрированные с экспериментальными ГЛА, работающие в диапазоне полетных чисел Маха Мп 3…4<Мп<6…7<br>Демонстратор интегрального ПВРД на жидком топливе для универсальной тактической крылатой ракеты | Демонстраторы прямоточных ВРД различных конфигураций и размерности, интегрированные с экспериментальными ГЛА, работающие в диапазоне полетных чисел Маха Мп 7…8<Мп<10…12<br>Демонстраторы комбинированных и интегральных ПВРД на твёрдых топливах для тактических крылатых ракет нового поколения развития | Демонстраторы прямоточных ВРД различных конфигураций и размерности, интегрированные с экспериментальными ГЛА, работающие в диапазоне полетных чисел Маха Мп Мп>10…12<br>Демонстратор высокоскоростного ПВРД на твердом топливе для перспективной ракеты |
| - Обеспечение высокой эффективности СУ военно-транспортной авиации | Адаптация двигателя в рамках семейства<br>ПД 9 -18<br>Компоновка СУ для ВС тяжелого/сверхтяжелого класса | - Модельные и экспериментальные узлы и элементы СУ для ВС тяжелого/сверхтяжелого класса | - Облик перспективной СУ для самолетов ВТА<br><br>- Двигатель-демонстратор для ВС тяжелого/сверхтяжелого класса |

Продолжение таблицы 1.9

| | | | |
|---|---|---|---|
| - Обеспечение высокой эффективности СУ самолетов ДА | - Облик двигателя для ПАК ДА | - Полноразмерные модели узлов СУ для ПАК ДА | - Двигатель-демонстратор для ПАК ДА |
| - Обеспечение создания комбинированных силовых установок для перспективных многоразовых космических транспортных систем горизонтального старта и посадки | Облик демонстратора КСУ для ГМС;<br>Облик демонстратора КСУ для МКТС | Модельные и экспериментальные узлы КСУ для ГМС и КСУ для МКТС | Демонстраторы ключевых технологий создания КСУ для ГМС и КСУ для МКТС |
| - Повышение топливной экономичности газотурбинных установок<br>- Разработка и создание высокоэффективных экологически чистых газотурбинных установок малой мощности (менее 1МВт) | -Высокоэффективные термодинамические схемы перспективных ГТУ различного назначения (для энергетики в составе ПГУ, для механического привода и пр.)<br>-Технологии создания высокооборотных электрогенераторов и электронных силовых систем выпрямления и стабилизации напряжения | -Технологии создания безмасляных опор роторов ГТУ<br>-Технологии расчета, проектирования и изготовления компактных высокоэффективных теплообменников систем регенерации тепла | -Технологии создания высокоэффективных комбинированных ГТУ на водородном горючем с использованием топливных элементов (к.п.д. не менее 80%)<br>-Технологии разработки гибкого регулируемого цикла комбинированной газо-паротурбинной установки |
| - Повышение точности и информативности экспериментальных исследований<br>- Разработка новых методов и средств экспериментальных исследований<br>- Модернизация экспериментальных стендов и установок<br>- Приближение экспериментальных результатов к натурным условиям,<br>- Создание новых стендов и установок | - Модернизация стендов для исследований авиационных двигателей в высотно-скоростных, климатических условиях и условиях обледенения<br>- Модернизация стендов для испытаний узлов, систем и агрегатов<br>- Модернизация стендов для испытаний высокоскоростных прямоточных ВРД и их моделей<br>- Модернизированные АИИС и АСУ ТП стендов;<br>- новый стенд для отработки измерений высоких температур (2000-3000К) | - Создание комбинированного эталонного открытого стенда для испытаний ТРДД сверхвысокой степени двухконтурности и ТВВД, распределенных СУ, испытаний двигателей при попадании на вход посторонних предметов, кусков льда и птиц в условиях взлета и посадки, испытаний по ИК заметности и боевой живучести<br>- Модернизация стенда для испытаний ПВРД<br>- Модернизация стенда для испытаний полноразмерных ГПВРД в интеграции с ГЛА | - Завершение модернизации стенда для испытаний полноразмерных ГПВРД в интеграции с ГЛА.<br>- Создание гиперзвуковых летающих лабораторий (ГЛЛ) для испытаний демонстраторов высокоскоростных ВРД в условиях активного полета |

## Газовая динамика

В таблице 1.10 указаны основные задачи и пути развития направления «Газовая динамика» в обеспечении создания перспективных двигателей летательных аппаратов всех типов и промышленных ГТУ в соответствии со следующими приоритетами:

- обеспечение высокой степени достоверности моделирования сложных газодинамических, электрофизических и магнитогазодинамических процессов (моделирование нестационарных турбулентных течений в лопаточных машинах, каналах и элементах камеры сгорания, моделирование высокотемпературных течений в камерах сгорания, турбинах и соплах, прямые методы численного моделирования);
- совершенные методы многопараметрической многодисциплинарной оптимизации и проектирования элементов газотурбинных двигателей и силовых установок (эволюционные алгоритмы оптимизации лопаточных машин и сопел, флаттер лопаток турбомашин, газодинамические подшипники роторов, уплотнения с подвижными элементами);
- управление нестационарными процессами в элементах двигателя (агрессивные переходные каналы, потеря устойчивости в компрессорах, синтетические струи, барьерный и коронный разряд, надроторные устройства разных типов);
- улучшение акустических характеристик двигателя (нестационарное взаимодействие венцов, ударно-волновые структуры вентилятора, звукопоглощающие конструкции и шумоглушащие сопла, шум камеры сгорания);
- повышение эффективности и безопасности эксплуатации (легкое регулируемое сопло для двигателей коммерческих самолетов с управлением вектором тяги и реверсированием, конструкции, интегрированные с элементами планера, легкое регулируемое всеракурсное сопло для маневренной авиации, эффективные пространственные воздухозаборные устройства).

Современные двигатели летательных аппаратов находятся на высоком уровне газодинамического совершенства. В рамках традиционных подходов к повышению эффективности авиационных двигателей имеется некоторый резерв, связанный с совершенствованием основных узлов. Для его реализации необходимо развитие имеющихся представлений и способов моделирования газодинамических, физико-химических и акустических процессов, создание новых методов и средств, адекватно описывающих сложные нестационарные процессы в лопаточных машинах и внутренних каналах.

Для сверхзвуковых административных самолетов потребуется создание эффективных воздухозаборных устройств, способствующих снижению общего сопротивления аппарата, а также регулируемых сопел с возможностью управления вектором тяги для компенсации отклоняющих воздействий. В более отдаленной перспективе возможно применение двигателей с детонационным горением и магнитогазодинамических средств снижения сопротивления и управления процессами в двигателях.

Таблица 1.10 - Развитие направления «Газодинамика»

| **Направление исследований** | **Ключевые технологии** | | |
|---|---|---|---|
| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
| Эффективное моделирование газодинамических процессов в элементах двигателей<br>Оптимизация газодинамических характеристик элементов двигателя и силовых установок,<br>Оптимальное профилирование лопаточных машин | - Высокоэффективная реализация численных методов для определения аэродинамических, акустических и прочностных характеристик лопаточных венцов<br>- Оптимальные стратегии поиска наилучших конфигураций в рамках эволюционных алгоритмов<br>- Совершенные численные методы проектирования и оптимизации элементов тракта двигателей для гражданской и военной авиации<br>-Облик эффективных воздухозаборных и выхлопных устройств для различных семейств ЛА гражданской и военной авиации | - Малошумный высокоэффективный вентилятор и КНД со стреловидными и наклонными лопатками статора и ротора<br>- Вентилятор с ультранизкой окружной скоростью на периферии с для редукторного двигателя<br>- Открытый ротор<br>- Эффективная высоконагруженная турбина<br>- Эффектвное воздухозаборное устройство для СПС и фронтовой авиации<br>- Эффективное регулируемое сопло для двигателей ГА с возможностью отклонения и реверсирования тяги<br>-Эффективное регулируемое всеракурсное сопло для маневренной авиации<br>- Улучшение нефункциональных характеристик двигателей ГА и ФА<br>- Аэродинамическая и акустическая интеграция силовой установки и летательного аппарата | - Прямое численное моделирование газодинамических процессов в элементах двигателя и силовых установок<br>- Новый облик элементов двигателей |
| Достоверное моделирование явлений флаттера<br>Создание газодинамических опор<br>Создание высокоэффективных уплотнений с подвижными элементами | - Эффективные численные методы для определения аэродинамической устойчивости (флаттера) лопаток ГТД, уплотнительных устройств, защитных экранов в газодинамическом тракте.<br>- Эффективные математические модели для расчета рабочих характеристик подшипников, в том числе на нестационарных и переходных режимах (газодинамических лепестковых, газостатических, магнитных и гибридных)<br>- Эффективные модели и методов многодисциплинарного исследования уплотнений с гибкими элементами | - Безфлаттерные лопатки вентиляторов, компрессоров и турбин.<br>- Методики проектирования роторов ГТД с опорами скольжения на газовой смазке;<br>- Технологии изготовления газодинамических подшипников для роторов различного назначения;<br>- Методики проектирования и изготовления пальчиковых уплотнений.<br>- Метод и измерения вибраций рабочих лопаток компрессоров бесконтактными средствами | - Новые схемы и конструкции турбомашин<br>- Новые схемы опор и уплотнений |

Продолжение таблицы 1.10

| | | | |
|---|---|---|---|
| Нестационарные процессы в элементах тракта двигателя<br>Нестационарные процессы в лопаточных машинах<br>Способы и средства снижения потерь и увеличения запасов газодинамической устойчивости | - Численные методы для исследования нестационарных и отрывных процессов в каналах, компрессорах и турбинах.<br>- Методы диагностики нестационарных процессов в лопаточных машинах<br>- Активные методы управления течением в каналах, компрессорах и турбинах (MEMS-технологии, барьерный и коронный разряды, СВЧ-плазма).<br>- Активные методы повышения запасов газодинамической устойчивости (ГДУ). | - Сверхагрессивные переходные каналы ГТД с системой управления потоком<br>- Комплексные системы повышения запасов ГДУ<br>- Комплексные системы повышения нагруженности лопаточных машин<br>- Специализированная аппаратура для измерения нестационарных давлений. | - Прямое численное моделирование нестационарных и отрывных течений в элементах ГТД<br>- Новые методы управления течением в каналах и лопаточных машинах повышения запасов ГДУ. |
| Турбулентные течения в элементах ГТД<br>Совершенствование моделирования турбулентности<br>Методы прямого численного моделирования. | - Эффективные расчетные методы высокого порядка аппроксимации для моделирования процессов в элементах газотурбинных силовых установок<br>- Новые модели турбулентности для описания высокотемпературных и высокоскоростных потоков<br>- Новые модели турбулентности для закрученных струйных течений<br>- LES методы для моделирования течений в элементах силовых установок<br>- Применение DNS методов для моделирования тонких физических экспериментов | - Развитие вычислительной базы<br>- Применение DNS методов для анализа турбулентных течений в элементах силовых установок<br>- Создание средств регистрации нестационарных параметров высокотемпературных потоков, в том числе многофазных и реагирующих<br>- Эффективные методы решения сопряженной задачи теплового и напряженного состояния элементов ГТД<br>- Методы матмоделирования течений при высоких гиперзвуковых скоростях | - Программно-аппаратные комплексы для сквозного инженерного моделирования течения в двигателе методами LES ил DNS<br>- Новые методы матмоделирования газодинамики, повышающие достоверность описания процессов в элементах СУ, в том числе для высокоскоростных и реагирующих нестационарных потоков<br>- Газодинамика рабочих процессов в детонационном ВРД<br>- Математические модели и методы для виртуализации испытаний элементов двигателя |

Продолжение таблицы 1.10

| | | | |
|---|---|---|---|
| Моделирование двухфазных течений<br>Моделирование сепарации и попадания частиц на вход в двигатель,<br>Моделирование процессов обледенения элементов двигателя. | - Модели двухфазных течений с учетом взаимного влияния фаз<br>- Модели распада и роста частиц, прилипания частиц к поверхности<br>- Модели роста отложений на поверхности<br>- Модели соударения твердых и жидких частиц с поверхностью<br>- Модели воздействия климатических условий на элементы двигателя (включая ледяные кристаллы, смешанную фазу, крупные переохлаждённые капли, град, дождь, попадание кусков льда и т.д.).<br>- Создание стендовой базы для исследования многофазных течений и климатического воздействия на элементы ГТД | - Достоверное описание роста и стряхивания отложений<br>- Верифицированные модели атмосферных климатических воздействий на двигатель в условиях стенда.<br>- Новые средства защиты от попадания посторонних предметов и обледенения элементов двигателя<br>- Высокоинформативные трехмерные и планарные оптических методов (Tomo PIV, PLIF) для измерения характеристик течения в двухфазных потоках. | - Методы моделирования многофазных течений на основе DNS<br>- Совершенные методы защиты двигателя от климатических воздействий<br>- Новые конструктивные решения для защиты от ППП |
| Электрофизические и магнитогазодинаимческие эффекты при течении газа с заряженными частицами<br>Управление течениями с помощью электрофизических, плазмодинамических, лазерооптических и магнитогазодинаимческих методов<br>Создание средств электростатической диагностики | - Кинетические и физико-математические модели для описания течений высокотемпературного термически неравновесного реагирующего ионизованного газа и формирования кластерной (пылевой) плазмы.<br>- Модели для описании образований заряженных частиц при повреждении или разрушении элементов СУ<br>- Физико- математические модели взаимодействия локального энергоподвода (плазма, разряд,) с газовым потоком<br>- Теоретические основы и алгоритмы мультиантенной электростатической диагностики двигателей с возможностью определения места возникновения неисправности. | - Эффективные методы управления обтеканием высокоскоростного летательного аппарата и течением в тракте многорежимного воздушно-реактивного двигателя<br>- Диагностическая система состояния двигателя и его элементов<br>- Контрольно-диагностическая система стендовых испытаний ГТД и его элементов | - Облик высокоскоростного летательного аппарата  с использование средств управления обтеканием и течением в двигателе<br>- Новые методы контроля состояния двигателя и определения его ресурса<br>- Новые модели и мтеоды описания электрофизических и магнитогазодинамических эффектов |

Продолжение таблицы 1.10

| | | | |
|---|---|---|---|
| Обеспечение снижения генерации шума<br>Обеспечение повышения эффективности шумоглушащих конструкций<br>Определение источников шума | - Оптимизация конфигурации шевронных сопел<br>- Модель генерации шума при взаимодействия венцов и от ударно-волновых структур<br>- Моделирования шума струй на основе LES-методов<br>- Определение характеристик ЗПК на основе прямого решения уравнений газовой динамики<br>- Метод оптимизации конструкции ЗПК<br>- Модель шума турбины<br>- Модель шума камеры сгорания | - Звукопоглощающие конструкций нового поколения на основе сотовых, гомогенных, реактивных ЗПК и их комбинаций<br>- Снижение шума вентилятора ТРДД с помощью глушителей шума<br>- Активные методы управления шумом вентилятора и компрессора<br>- Активные методы управления шумом камеры сгорания<br>- Методы снижения шума турбины<br>- Новые конструктивные решения для снижения шума струи | - Новые концепции комплексного снижения шума ГТД<br>- Малошумное конструирование элементов ГТД (снижение шума в источнике)<br>- Новые звукопоглощающие конструкции и покрытия. |
| Повышение точности и информативности экспериментальных исследований<br>Разработка новых методов и средств экспериментальных исследований<br>Модернизация экспериментальных стендов и установок<br>Приближение экспериментальных результатов к натурным условиям,<br>Создание новых стендов и установок | - Модернизация стенда для испытаний компрессоров и установок для исследований ступеней компрессоров, вентиляторов, малоразмерных компрессоров и групп ступеней<br>- Модернизация стендов для испытаний турбин<br>- Модернизация стендов для испытаний камер сгорания<br>- Модернизация стендов для исследования характеристик сопел.<br>- модернизация установки для исследований стационарных и нестационарных течений в каналах авиационных двигателей;<br>- Модернизированные АИИС и АСУ ТП действующих стендов; | - Модернизация стенда для испытаний компрессоров;<br>- Модернизация стенда для испытаний ПВРД;<br>- модернизация установки для исследований процессов электризации и свойств турбулентных паровоздушных струй;<br>- модернизация установки для исследования турбулентных струй<br>- новый высокотемпературный стенд для испытаний перспективных камер сгорания<br>- стенд для испытаний вентиляторов и роторов с открытыми винтами | - модернизация компрессорных стендов<br>- модернизация стендов для испытаний камер сгорания |
| Необходимые исследования в смежных областях | - Доступность высокопроизводительных настольных систем параллельных вычислений<br>- Создание теоретических основ новых вычислительных методов для решения задач газодинамики и акустики<br>- Повышение разрешающей способности средств регистрации параметров потоков и акустического излучения<br>- Элементная базы для широкого внедрения бесконтактных методов измерений | - Беспроводные быстродействующие микродатчики для регистрации параметров нестационарных потоков, параметров колебаний механических систем<br>- Широкая доступность супервычислительных систем по надежным защищенным каналам связи<br>- Разработка новых средств исследования быстропротекающих процессов | - Принципиально новые средства измерения<br>- «Квантовые» вычислительные системы |

## Горение

В таблице 1.11 указаны основные задачи и пути развития направления «Горение» в обеспечении создания перспективных двигателей летательных аппаратов всех типов и промышленных ГТУ в соответствии со следующими приоритетами:

- создание методов и средств повышения эффективности процессов смешения и горения (распад и коагуляция капель, испарение капель, образование и распад жидких пленок);
- создание физико-химических и математических моделей и методов расчёта основных характеристик процессов в камерах сгорания разных типов (прямое численное моделирование, модели химической кинетики);
- обеспечение снижения эмиссии вредных веществ за счет применения средств интенсификации процессов горения (модели горения при наличии интенсифицирующих воздействий – разряд, лазерная накачка, плазма);
- обеспечение создания низкоэмиссионных камер сгорания, использующих технологии сжигания обедненных смесей (акустическая неустойчивость, виброгорение, гомогенизация смеси).

Камеры сгорания газотурбинных двигателей основаны на принципе стабилизации пламени в закрученных потоках. Однако закрутка потока сама может порождать различные виды неустойчивости горения, а также влиять на общий уровень акустического излучения двигателя. Сжигание бедных предварительно перемешанных смесей в настоящее время рассматривается в качестве основного метода уменьшения эмиссии загрязняющих веществ, особенно эмиссии NOx. Преимущества такого подхода - повышенная интенсивность горения, меньшая длина зоны горения и более высокая полнота сгорания. Тем не менее, преимущества бедного горения могут сопровождаться проблемами устойчивости. Горение в предварительно перемешанных смесях более подвержено развитию статической и динамической неустойчивости из-за недостатка естественных механизмов торможения. В частности, оно более чувствительно к акустическому возбуждению по сравнению с диффузионным горением В этих условиях периодические флуктуации тепловыделения могут приводить к возникновению акустических резонансов, т.е возникает самоподдерживающаяся термоакустическая неустойчивость. Большое разнообразие проявлений термоакустической неустойчивости остается основным препятствием в создании камер сгорания, использующих бедные предварительно перемешанные смеси.

Течение за кольцевым завихрителем типичной авиационной камеры сгорания содержит центральную рециркуляционную зону (ЦРЗ), окруженную вращающимся сдвиговым слоем. Такие течения сами по себе являются неустойчивыми и подвержены влиянию акустического воздействия и без горения. Существующая асимметрия ЦРЗ наиболее ярок проявляется в наличии прецессирующего вихревого ядра. В камерах сгорания ГТД проблема еще усугубляется взаимодействием горения, акустических колебаний, генерирующихся в двигателе и аэродинамикой вихревого потока.

Научившись управлять процессами развития газодинамической неустойчивости, можно значительно улучшить эксплуатационные характеристик камер сгорания авиационных двигателей и ГТУ.

Важную роль в организации процессов горения имеет качество подготовки топливовоздушных смесей. Создание устройств, обеспечивающих необходимое распределение топливовоздущшной смеси для топлив различного фракционного состава является одной из первоочередных задач.

Еще одно направление, позволяющее значительно поднять эффективность сжигания топлив - их обогащение нанопорошками твердых высокоэнергетических добавок.

Актуальность создания высокоскоростных летательных аппаратов ставит перед исследователями целый ряд принципиально новых задач, связанных не только с аэродинамикой таких аппаратов, но и с особенностями организации рабочего процесса в камерах сгорания двигателей таких аппаратов. Диссоциация молекул воздуха, а при больших гиперзвуковых скоростях – и их ионизация – приводят к развитию других кинетических схем сгорания топлив, которые в настоящее время мало изучены.

Таблица 1.11 - Развитие направления «Горение»

| **Направление исследований** | **Ключевые технологии** | | |
|---|---|---|---|
| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
| Создание методов и средств повышения эффективности процессов смешения и горения.<br>Создание методов и алгоритмов моделирования процессов образования топливовоздушной смеси.<br>Создание физико-химических и математических моделей и методов расчёта основных характеристик процессов в камерах сгорания разных типов | - Модели испарения, распада и коагуляции капель<br>- Модели образования и эволюции жидких пленок<br>- Модели высокотемпературных многофазных течений<br>- Модели смешения газообразных топлив и воздуха<br>- Облик распыливающих устройств для работы на топливах как обычной, так и повышенной вязкости (керосин, дизель, биодизель)<br>- Влияние механизмов распада топлива и физических свойств жидкости на характеристики распыла<br>- Численное моделирование пространственных нестационарных реагирующих течений в авиационных камерах сгорания<br>- Разработка методологических основ создания интегрированных с другими элементами двигателя камер сгорания | - Конструкция распыливающих устройств для работы на топливах разного фракционного состава<br>- Способ организации рабочего процесса в основной камере сгорания при малых коэффициентах избытка воздуха и высоких температурах газов (околостехиометрическое горение с Т более 2000 К)<br>- Способ организации рабочего процесса в форсажной камере сгорания (ФКС) для двигателя с малой двухконтурностью<br>- Моделирование физико-химических процессов в камерах сгорания и использованием LES-технологий<br>- Демонстратор интегрированной камеры сгорания<br>- Высокоточные оптические методы и средства измерения температуры газа и поверхностей элементов ГТД (в т.ч. из неметаллических материалов)<br>- Методы и средства измерений высокой (до 2400 К) температуры газа с использованием перспективных неметаллических материалов<br>- Высокотемпературные (до 2000°С) термокраски для измерения температур поверхностей из неметаллических (керамических, монокристаллических) конструкционных материалов. | - Новые схемы высокоэффективного сжигания топлива.<br>- Новые конструкции камер сгорания газотурбинных силовых установок.<br>- Новые алгоритмы и методы численного моделирования высокотемпературных реагирующих потоков с использованием высокопроизводительных вычислительных технологий. |

Продолжение таблицы 1.11

| | | | |
|---|---|---|---|
| Снижения эмиссии вредных веществ<br>Интенсификация процессов горения<br>Источники энергоэффективной интенсификации горения<br>Сжигания топлив с включением металлических и неметаллических высокоэнергетичных нанокомпонентов | - Кинетические механизмы разветвленных цепных реакций с участием возбужденных молекул, атомов и радикалов и для различных условиях: нормальное горение, воспламенение, воздействие разряда и резонансного лазерного излучения.<br>- Модели прогностического уровня образования экологически опасных компонентов и эволюции их состава в камерах сгорания и газодинамическом тракте реактивных двигателей различного назначения<br>- Модели высокого уровня достоверности для воспламенения и горения углеводородных, синтетических и металлизированных топлив, включая керосин, для гиперзвуковых ЛА<br>- Модели для комплексного описания физико-химических и газодинамических процессов при различных методах интенсификации горения<br>-Модели для расчета характеристик детонационной камеры сгорания.<br>- Модели для описания течения высокотемпературного термически неравновесного реагирующего ионизованного газа.<br>- Модели процессов горения и образования экологически опасных компонентов (NOx, CO, CnHm) в камерах сгорания ГТД с диффузионном и гомогенным режимом горения при инициировании энергетически разветвленных цепных реакций электрическим разрядом.<br>- Кинетические и физико-математические модели воспламенения и горения комбинированных углеводородных топлив с включением металлических и неметаллических высокоэнергетичных нанокомпонентов. | - Новые схемы сжигания топлива с использованием методов интенсификации горения электрическим разрядом, промотированием активными радикалами, предварительной обработки топлива (технология низкотемпературного реформинга топлива), в т.ч. для детонационных камер сгорания.<br>- Комплексная математическая модель камеры сгорания и системы охлаждения гиперзвукового двигателя на углеводородных топливах (включая керосин) с учетом теплового баланса охлаждаемого двигателя<br>- Специализированные источники (лазеры, специально-организованный электрический разряд) для селективного возбуждения молекул в реагирующих газовых потоках для условий в камерах сгорания реактивных двигателей.<br>- Методы комплексной диагностики неравновесных физико-химических процессов горения при инициировании энергетически разветвленных цепных реакций возбужденными молекулами, атомами и радикалами.<br>- Схемы сжигания комбинированных углеводородных топлив с включением металлических и неметаллических высокоэнергетичных нанокомпонентов<br>- Камера сгорания для больших гиперзвуковых скоростей полета | - Новые методы интенсификации горения<br>- Детальные кинетические схемы сгорания топлива в различных условиях, интегрированные с высокоуровневыми газодинаимическими моделями<br>- Организация принципиально новых схем сжигания топлива, в том числе с включением наночастиц<br>- Новые методы снижения эмиссии сажевых частиц |

Продолжение таблицы 1.11

| | | | |
|---|---|---|---|
| Обеспечение создания низкоэмиссионных камер сгорания, использующих технологии сжигания обедненных смесей<br>Обеспечение подавления нежелательных нестационарных процессов в камерах сгорания различных типов. | - Модель влияния характеристик рабочего процесса, равномерности распределения концентраций топлива, скоростей газа, параметров зоны обратных токов по сечению камеры сгорания на высокочастотную неустойчивость<br>- Методы расчетного и экспериментального моделирования нестационарных процессов в камерах сгорания различных типов.<br>- Модели влияния массоподвода на характеристики неустойчивости в гомогенных камерах | - Средства диагностики виброгорения в камерах различных типов<br>- Устройства активного массо- и энергоподвода в зону реакции<br>- Средства управления и активного подавления режимов виброгорения в камерах различных типов | - Новые схемы активного управления нестационарными процессами в камерах сгорания ГТУ |
| Необходимые исследования в смежных областях | - Доступность высокопроизводительных настольных систем параллельных вычислений<br>- Создание теоретических основ новых вычислительных методов для решения задач физико-химической кинетики<br>- Новые высокоточные методы регистрации параметров и фазового нестационарных многофазных высокотемпературных и реагирующих потоков<br>- Элементная базы для широкого внедрения бесконтактных методов измерений<br>- Новые высокоточные методы измерения состава и температуры газа, распределения кластеров и аэрозольных частиц по размеру и заряду их состава и структуры | - Беспроводные быстродействующие микродатчики для регистрации параметров нестационарных многофазных высокотемпературных и реагирующих потоков<br>- Широкая доступность супервычислительных систем по надежным защищенным каналам связи<br>- Разработка новых средств исследования быстропротекающих высокотемпературных процессов | - Принципиально новые средства измерения фракционного и химического состава газа<br>- Принципиально новые технологии создания вычислительных систем |

## Прочность

Приоритетами развития прочности деталей силовых установок ЛА и ГТУ, как научного направления, являются:

- разработка научных основ и на их базе нормативных документов для системы квалификации материалов. Создание банков данных по характеристикам конструкционной прочности сплавов для основных и ответственных деталей двигателей;
- разработка технологий обеспечения прочностной надежности для создания конкурентоспособных авиационных двигателей;
- разработка технологий многокритериальной многопараметрической оптимизации и виртуальных испытаний, интеграция расчетных и экспериментальных методов обеспечения прочностной надежности;
- разработка технологий обеспечения прочностной надежности при оптимизации новых конструктивно-технологических решений для перспективных авиационных двигателей;
- разработка научных основ для формирования нормативной технической базы по обеспечению прочностной надежности авиационных двигателей;
- разработка технологий обеспечения и подтверждения прочностной надежности и ресурса для создания новых конкурентоспособных газотурбинных установок различного назначения;
- разработка технологий расчетно-экспериментальных методов обеспечения и подтверждения прочностной надежности агрегатов трансмиссий перспективных вертолетов;
- развитие экспериментальной базы и создания комплекса лабораторий для проведения прочностных и вибрационных исследований, а также для проведения сертификационных испытаний.

В настоящее время зарубежные двигателестроительные компании имеют собственные программы, включающие дополнительные требования к перспективным двигателям, сформулированные на основе анализа ожидаемых требований рынка и тенденций развития двигателестроения. Так, двигатели для ближнесреднемагистральных самолетов, сертификация которых ожидается в 2013 – 2015 гг. должны обеспечивать по сравнению с существующими двигателями на 10 - 15 % более высокую экономичность, наработку на выключение в полете более 200 000 часов с момента начала эксплуатации, наработку без съема с крыла более 12 500 часов, ресурс основных (критических по последствиям разрушения) деталей горячей части - более 20 000 циклов, холодной части - более 40 000 циклов, диспетчерскую надежность более 99,96 %, существенное снижение трудоемкости технического обслуживания. Эксплуатироваться эти двигатели должны «по надежности» (RCM-reliability centered maintenance), а сертификация их должна осуществляться в соответствии с существенно более жесткими, чем действующие в настоящее время, нормами летной годности.

Для снижения риска разработок новых двигателей, уменьшения затрат времени и средств на создание двигателей новые технологии могут быть использованы в ОКР лишь при доведении этих технологий до VI уровня готовности (по шкале, предложенной НАСА и широко используемой в настоящее время в авиадвигателестроении).

Отечественное авиадвигателестроение в настоящее время существенно отстает от конкурентов в части разработки и внедрения новых критических технологий, что неизбежно повышает риск проведения ОКР (в частности, по созданию двигателя для перспективного ближнесреднемагистрального самолета и по созданию двигателя для перспективного комплекса фронтовой авиации).

В перечень этих технологий входят как технологии создания деталей и узлов (легкой широкохордной титановой лопатки вентилятора, малоступенчатой ТНД с лопатками из γ-алюминида титана, блисков и сварных роторов вентиляторов и

компрессоров, рабочих лопаток высокотемпературных турбин и др.), так и ряд технологий, направленных на обеспечение высоких прочностной надежности и ресурса, выполнение современных сертификационных требований (технологии предотвращения разрушения деталей двигателей от многоцикловой усталости, подтверждения конкурентоспособного ресурса основных деталей с учетом современных требований международных норм летной годности, высокочувствительного неразрушающего контроля в заготовках и готовых изделиях с вероятностной оценкой выявляемости дефектов, обеспечению безотказности при разрушении деталей ротора вентилятора).

С учетом прогнозов развития авиации и результатов анализа зарубежных исследований в области прочности, для создания перспективных, конкурентоспособных авиадвигателей гражданского и военного применения, обладающих высокой прочностной надежностью необходима концентрация исследований направленных на разработку и совершенствование следующих приоритетных технологий:

- проведение исследований и создание банка данных по конструкционной прочности материалов.
- разработка углепластиковой лопатки вентилятора (закапотированного или открытого ротора).
- разработка углепластикового корпуса вентилятора.
- разработка легких корпусов для локализации фрагментов лопаток.
- разработка титановых блисков вентиляторов и компрессоров с использованием разнородных материалов.
- получение деталей из гранулируемых никелевых сплавов, в том числе деталей с градиентом свойств материала (включая использование изотермической деформации заготовок).
- получение центробежного колеса закрытого типа с использованием гранульной технологии.
- конструктивно-технологические методы повышения ресурса дисков и блисков.
- создание малоразмерных лопаток турбин с высокоэффективным охлаждением.
- создание высокотемпературных лопаток турбин большого ресурса.
- высокоэффективные, в т.ч. наноструктуированные теплозащитные покрытия для деталей турбины и камеры сгорания.
- эрозионностойкие, в т.ч. наноструктуированные, покрытия для лопаток вентиляторов и компрессоров (вставных лопаток и лопаток блисков).
- создание высоконадежных подшипников качения, в том числе с применением новых материалов.
- технология создания роторных опор с высокой несущей способностью, не требующих масляной смазки (газовые подшипники, магнитные подшипники, керамические подшипники).
- подтверждение прочности и ресурса критических по последствиям разрушения деталей с учетом сложного напряженно-деформированного состояния.
- подтверждение прочности и ресурса деталей двигателя из новых моно- и поликристаллических сплавов с учетом совместного действия различных повреждающих факторов.
- фрактодиагностика, фрактографическое реконструирование и расчетное прогнозирование кинетики трещин мало- и многоцикловой усталости в титановых и никелевых сплавах.
- методы учета накопленной повреждаемости и определения остаточного ресурса в эксплуатации.
- стохастическая оценка прочности, долговечности и живучести.
- метод «допустимых повреждений» для оценки прочностной надежности при многоцикловой усталости.

- прогнозирование аэроупругих явлений на основе анализа аэродинамического взаимодействия конструкции и газового потока.

- расчетные методы моделирования поведения двигателя в экстремальных условиях (разрушение детали, заброс птицы и т.д.).

- конструктивные решения, обеспечивающие снижение критичности дефектов.

- прогнозирование вибронапряжений при вынужденных колебаниях.

- новые методы и средства диагностики колебаний.

- уменьшение съема двигателей из-за повреждений попадающими в газовоздушный тракт посторонними предметами.

- создание деталей (элементов узлов крепления, блингов КВД, валов низкого давления, лопаток вентилятора) из материала Ti-SiC (волокно).

- создание деталей (элементов жаровой трубы, лопаток турбин, смесителя и др.) из армированных волокнами керамических композиционных материалов.

- создание усиленных волокном рабочих колес турбомашин.

- создание деталей роторов и корпусов из пожаробезопасных алюминидов титана.

- создание лопаток турбин из новых высокотемпературных силицидов тугоплавких металлов.

- использование нано-материалов и нанотехнологий.

- применение в двигателях интеллектуальных материалов, в т.ч. материалов с памятью формы.

Основные задачи и пути развития направления «Прочность» приведены в таблице № 1.12.

Таблица 1.12 - Развитие направления «Прочность»

| **Направления исследований** | **Ключевые технологии** | | |
|---|---|---|---|
| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
| Разработка научных основ и на их базе нормативных документов для системы квалификации материалов. Создание банка данных по характеристикам конструкционной прочности сплавов для основных и ответственных деталей двигателей | Нормативная техническая база для проведения исследований конструкционной прочности и специальной квалификации материалов авиационных двигателей. | Структуры комплекса банков данных характеристик конструкционной прочности сплавов. | |
| | Методы проведения сертификационных испытаний образцов для исследования характеристик конструкционной прочности сплавов.<br>Методы верификации испытаний образцов | Банк данных по конструкционной прочности сплавов для двигателей. | |
| Разработка технологий обеспечения прочностной надежности для создания конкурентоспособных авиационных двигателей | - Верифицированные методы подтверждения ресурса, в том числе с учетом начальных дефектов (производственных, эксплуатационных) на основе данных о конструкционной прочности сплавов. | Методы учета накопленной повреждаемости и определения остаточного ресурса в эксплуатации | Экспериментально-обоснованные рекомендации по конструктивно-технологическим решениям, обеспечивающим повышение долговечности и прочностной надежности основных деталей двигателей. |
| | Методы количественной оценки наличия дефектов в деталях и вероятности обнаружения этих дефектов | Методы оптимизации конструкций основных деталей двигателей. | |
| | Методы подтверждения ресурса с учетом истории нагружения и совместного действия различных повреждающих факторов. | Методов подтверждения ресурса с учетом сложного напряженно-деформированного состояния. | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Банк данных по сопротивлению материалов и деталей многоцикловой усталости в широком диапазоне долговечностей, температур, частот и форм колебаний, асимметрии циклов нагружения, концентраторов напряжений. | Методы прогнозирования автоколебаний лопаток турбомашин. | Рекомендации по предотвращению разрушений деталей двигателей от многоцикловой усталости, в том числе в результате повреждения деталей попадающими в тракт двигателя посторонними предметами. |
| | Методы прогнозирования вибронапряжений при вынужденных колебаниях | Новые технологий диагностики вибрационного состояния двигателей. | |
| | Банк данных по влиянию на сопротивления многоцикловой усталости дополнительных повреждающих факторов, в том числе возможных повреждений деталей попадающими в тракт двигателя посторонними предметами. | | |
| | Методы оценки прочности и долговечности перспективных сплавов в условиях неизотермического воздействия высоких температур. | Критерии прочности и моделей долговечности для проектирования деталей двигателей из новых поли- и монокристаллических сплавов, интерметаллидов титана и никеля, силицидов тугоплавких металлов, в том числе деталей с теплозащитными покрытиями. | Рекомендации по конструктивно-технологическим решениям для деталей и узлов горячей части двигателя. |
| | Методы оптимизации конструкции деталей и узлов горячей части двигателя | | |
| | Методов математического моделирования поведения двигателя, его узлов и деталей при экстремальных условиях эксплуатации (дефектах и разрушениях деталей). | Экспериментально обоснованные рекомендации по снижению критичности попадания в двигатель посторонних предметов. | Экспериментально обоснованные рекомендации по снижению критичности дефектов деталей роторов. |
| | Экспериментально обоснованных рекомендаций по снижению критичности последствий обрыва лопатки вентилятора. | Рекомендации по предотвращению опасных последствий при разрушении, смещении, рассоединении валов. | |
| | Рекомендации по снижению критичности дефектов узлов крепления двигателя. | Рекомендации по снижению критичности дефектов опор роторов двигателей. | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Разработка технологий многокритериальной многопараметрической оптимизации и виртуальных испытаний, интеграция расчетных и экспериментальных методов обеспечения прочностной надежности | Методы многокритериальной многопараметрической оптимизации для обеспечения высокой прочностной надежности деталей двигателей. | Рекомендации по выбору силовой схемы двигателя. | Экспериментально-обоснованные рекомендации по повышению эффективности уплотнений радиальных зазоров |
| | Методы виртуальных статических испытаний корпусов и роторов. | | |
| Разработка технологий обеспечения прочностной надежности при оптимизации новых конструктивно-технологических решений для перспективных авиационных двигателей | Методы расчетного прогнозирования и электронно-микроскопического фрактографического реконструирования кинетики усталостных трещин в деталях авиадвигателей с учетом локальных механизмов разрушения, действующих на фронте трещин в эксплуатационных условиях. | Рекомендации по учету влияния различных факторов (частота нагружения, форма цикла нагружения, кристаллографическая текстура и т.д.) на кинетику усталостных трещин. | |
| | Комплекс оборудования и методы исследования влияния кристаллографической текстуры на кинетику усталостных трещин, включающего сканирующий электронный микроскоп с приставками для микроанализа и анализа дифракции обратно рассеянных электронов, соответствующее программное обеспечение. | Методы фрактодиагностики, определения остаточного ресурса и интервалов дефектоскопического контроля. | |
| | Проект блисков с лопатками из новых супер жаропрочных сплавов и дисковыми частями из новых дисковых жаропрочных сплавов | Демонстрационный образец блисков с применением разработанных технологий Результаты испытаний демонстрационных образцов блисков. | Испытание блисков в составе газогенератора или демонстрационного двигателя. |
| | Опытная технология отливки лопаток из новых суперсплавов с конвективно-пленочной системой охлаждения, пайки лопаток с дефлекторами, процессов ГИП и линейной сварки трением для создания блисков. | Образцы лопаток из новых суперсплавов с конвективно-пленочной системой охлаждения и испытания для исследований прочностной надежности и долговечности. | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Проект оптимизированной конструкции охлаждаемых, в т.ч. малоразмерных, лопаток турбин работоспособных до 2000°К – 2100°К | Лопатка, изготовленная методом прототипирования и исследование тепловых характеристик выбранных конструкций; | Испытание лопаток в составе газогенератора или демонстрационного двигателя. |
| | Технология производства охлаждаемых лопаток по всему циклу изготовления (литье, газоизостатическая обработка, пайка и т.д.); | Квалификационные испытания прочностных характеристик на отдельно отлитых и вырезанных из деталей образцах в объеме оценки конструкционной прочности материалов лопаток; | Технология ремонта и восстановления охлаждаемых лопаток. |
| | Облик демонстрационного вентилятора с рабочими и статорными лопатками, корпусами, элементами подвески и рабочего колеса из композиционных материалов, в том числе на основе высокотемпературных связующих, применительно к ТРДД. | Комплексная система испытаний деталей и узлов вентилятора из композиционных материалов в обеспечение их конструкционной прочности и долговечности. | Нормативная техническая база для обеспечения разработки и внедрения деталей из различных композиционных материалов (в т.ч. для квалификации материалов). |
| | Облик демонстрационных деталей и узлов авиационных двигателей из композиционных материалов на основе металлических, интерметаллидных и керамических матриц | Нормативная техническая база в обеспечение создания и эксплуатации легкого перспективного вентилятора. (в том числе для квалификации материалов | |
| | Облик подшипниковых опор ГТД, ТВВД и ВСУ различного назначения на основе новых конструкций подшипников качения: интегральных конструкций колец, подшипников с керамическими элементами (гибридные подшипники) и др. | Методы прогнозирования роста трещин при МЦУ и МнЦУ в подшипниковых сталях.<br>Методы экспериментального подтверждения ресурсов подшипников новых типов. | Методы диагностики технического состояния подшипников в эксплуатации. |
| | Облик подшипниковых опор силовых установок без маслосистем («электрический» ЛА, многоцелевая ВСУ, двигатели для БЛА и др.). | Метод расчета долговечности подшипников качения по НДС в зоне контакта с экспериментальным определением величины предельных напряжений смятия подшипниковых сталей. | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Инновационные технологии по изготовлению деталей и узлов перспективных газотурбинных двигателей из наноструктурированных, керамических и композиционных материалов нового поколения | Антифрикционные наноструктурированные керамические и композиционные материалы и покрытия для подшипников скольжения, передней и задней опоры ротора компрессора высокого и низкого давления с сегментными подшипниками скольжения | Высокотемпературные, износостойкие, жаропрочные наноструктурированные дисперсно-упрочненные керамические и композиционные материалы для изготовления створок сопла перспективного газотурбинного двигателя |
| Разработка научных основ для нормативной базы создания авиационной техники | Совершенствование существующих нормативно-технических документов | Вероятностно-статистический подход регламентирования прочности и аэроупругости | |
| | Методика обеспечения прочности конструкций конкурентоспособных двигателей с высоким уровнем надежности и безопасности в эксплуатации на основе применения сквозной сертификации | - Гармонизированная нормативно-справочная база по прочности конструкций с широким применением ПКМ, обеспечивающая создание конкурентоспособного двигателя | Нормативно-справочная база по прочности узлов и деталей двигателя |
| | Гармонизированная нормативно-справочная база по прочности узлов и деталей при экстремальных условиях эксплуатации (дефектах и разрушениях деталей). | Валидированные методы для современных материалов и конструкций | Валидированные методы для перспективных материалов и конструкций |
| Разработка технологий расчетно-экспериментальных методов обеспечения и подтверждения прочностной надежности КПА и редукторов двигателей, и агрегатов трансмиссий перспективных вертолетов | Проект бесступенчатой трансмиссии перспективного скоростного вертолета (ПСВ). Испытание технологии бесступенчатого вариатора. Демонстратор с бесступенчатой трансмиссией ПСВ. | Экспериментальный редуктор привода вентилятора перспективного ТРДД | |
| | Методы проектирования авиационных трансмиссий с модифицированными зубчатыми передачами, имеющими прямые, косые, несимметричные, конические и криволинейные зубья с проведением стендовых и летных испытаний | Методы диагностики приводов авиационных двигателей и трансмиссий вертолетов" | |

## Надежность, безопасность, диагностика

В таблице 1.13 показаны приоритеты развития прочности деталей силовых установок ЛА и ГТУ, как научного направления:

- разработка требований безопасности (сертификационных требований);
- разработка методов подтверждения соответствия;
- разработка нормативной и нормативно-методической документации по надежности авиационных двигателей;
- разработка интеллектуальных методов диагностирования технического состояния силовых установок;
- разработка датчиков средств неразрушающего контроля на новых физических принципах;
- разработка конструктивных технологических решений в обеспечение надежности и безопасности авиационных двигателей.

В настоящее время недостаточная конкурентоспособность отечественных авиационных двигателей в части обеспечения безопасности, надежности и эффективности эксплуатации от двигателей ведущих зарубежных фирм (General Electric, Pratt & Whitney, Rolls Royce) ведет к превращению России из экспортера в импортера данной продукции и ликвидации одной из высокотехнологичных отраслей промышленности страны - двигателестроения. Ресурсы двигателей ведущих западных фирм с самого начала эксплуатации достигают 20 - 40 тыс. полетных циклов, наработка на выключение в полете составляет 200 – 500 тыс. ч,, в то время как ресурсы отечественных двигателей не превышают 6 тыс. циклов, а наработка на выключение в полете самых новых из эксплуатирующихся отечественных двигателей составляет порядка 100 тыс.ч.

Технологии авиадвигателестроения являются базовыми для создания двигателей для других отраслей народного хозяйства, в частности, водного и наземного транспорта, приводов газоперекачивающих агрегатов и генераторов газотурбинных электростанций, газотурбинных установок пожаротушения и т.д. Поэтому отсутствие конкурентоспособных авиационных двигателей приведет к утере позиций отечественного машиностроения во многих отраслях промышленности.

Для обеспечения конкурентоспособности разрабатываемых отечественных базовых двигателей нового поколения по вопросам безопасности, надежности и экономической эффективности на всех этапах создания авиационной техники необходимо постоянное внимание удовлетворению требований Норм летной годности, перспективных требований ИКАО и ЕС по прочностной надежности, использованию прогрессивных форм технического обслуживания.

С учетом прогнозов развития авиации и результатов анализа зарубежных исследований в области безопасности, надежности и диагностики для создания перспективных, конкурентоспособных авиадвигателей гражданского и военного применения, обладающих высокой надежностью, необходима концентрация исследований направленных на разработку и совершенствование следующих приоритетных направлений:

- разработка Авиационных правил с учетом новых конструктивно-технологических и схемных решений в авиационных двигателях;
- разработка Рекомендательных циркуляров;
- разработка методов и средств сертификационных испытаний с учетом новых конструктивно-технологических решений в авиационных двигателях, развитие экспериментальной базы и контрольно-измерительного оборудования;
- разработка Норм надежности двигателей различного назначения;
- разработка методик оценки надежности на различных стадиях жизненного цикла;
- разработка стандартов различного уровня;

- разработка нейросетевой технологии мониторинга технического состояния авиадвигателей и редукторов в удаленном диагностическом центре;

- разработка интеллектуальных методов диагностирования технического состояния силовых установок;

- разработка наземно-бортовой системы мониторинга, обеспечивающая эксплуатацию двигателей по прогнозируемой надежности (RCM);

- разработка адаптивной к отказам и неисправностям двигателя интегрированной системы управления;

- разработка бортовой модели повреждаемости основных деталей, прогнозирующей развитие дефектов до предотказного уровня;

- анализ причин отказов авиационных двигателей и разработка конструктивно-технологических мероприятий по их устранению с учетом конструкционных особенностей и схемных решений перспективных двигателей.

Основные задачи и пути развития направления «Надежность, безопасность, диагностика» приведены в таблице 1.13.

Таблица 1.13 - Развитие направления «Надежность, безопасность, диагностика»

| **Направление исследований** | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Разработка требований безопасности (сертификационных требований) | - Авиационные правила | - Авиационные правила с учетом новых конструктивно-технологических решений в авиационных двигателях | - Авиационные правила с учетом новых конструктивно-технологических и схемных решений в авиационных двигателях |
| Разработка методов подтверждения соответствия | - Рекомендательные циркуляры. Методы и средства сертификационных испытаний | - Рекомендательные циркуляры. Методы и средства сертификационных испытаний с учетом новых конструктивно-технологических решений в авиационных двигателях<br>- Развитие экспериментальной базы и контрольно-измерительного оборудования | - Рекомендательные циркуляры. Методы и средства сертификационных испытаний с учетом новых конструктивно-технологических решений в авиационных двигателях<br>- Развитие экспериментальной базы и контрольно-измерительного оборудования |
| Разработка нормативной и нормативно-методической документации по надежности авиационных двигателей | Нормы надежности двигателей различного назначения<br>-Методики оценки надежности на различных стадиях жизненного цикла<br>- Стандарты различного уровня | Нормы надежности двигателей различного назначения<br>-Методики оценки надежности на различных стадиях жизненного цикла<br>- Стандарты различного уровня | Нормы надежности двигателей различного назначения<br>-Методики оценки надежности на различных стадиях жизненного цикла<br>- Стандарты различного уровня |
| Разработка интеллектуальных методов диагностирования технического состояния силовых установок | Наземно-бортовая система мониторинга, обеспечивающая эксплуатацию двигателей по прогнозируемой надежности (RCM) | Адаптивная к отказам и неисправностям двигателя интегрированная система управления. | Бортовая модель повреждаемости основных деталей, прогнозирующая развитие дефектов до предотказного уровня. |
| Разработка конструктивных технологических решений в обеспечение надежности и безопасности авиационных двигателей | Анализ причин отказов авиационных двигателей и разработка конструктивно-технологических мероприятий по их устранению | Анализ причин отказов авиационных двигателей и разработка конструктивно-технологических мероприятий по их устранению с учетом конструкционных особенностей перспективных двигателей | Анализ причин отказов авиационных двигателей и разработка конструктивно-технологических мероприятий по их устранению с учетом конструкционных особенностей и схемных решений перспективных двигателей |

## Системы автоматического управления силовыми установками

В таблице 1.14 указаны восемь приоритетов развития направления системы автоматического управления (САУ) авиационными силовыми установками (СУ) и ГТУ:

- развитие теории автоматического управления авиационными СУ;
- интеллектуальный авиационный ГТД;
- бортовая математическая модель ГТД в составе САУ;
- системы "электрического" ГТД (ЭГТД).
- распределенная система управления ГТД;
- беспроводная система управления и контроля ГТД;
- управление «электрической» силовой установкой (ЭСУ) для вертолётов;
- управление «электрической» силовой установкой (ЭСУ) для самолетов.

В настоящее время системы автоматического управления силовыми установками характеризуются следующими основными чертами:

- современные электронные САУ типа FADEC строятся по централизованному принципу. В этом случае все задачи обработки сигналов, формирование программ и алгоритмов управления, контроля и диагностики осуществляются в центральном вычислителе САУ ГТД. Датчики и исполнительные устройства таких систем имеют аналоговые входы и выходы и соединяются с вычислителем с помощью аналоговых линий связи. Для повышения надежности САУ используется двухканальное построение системы. В некоторых случаях используется гидромеханический резервный регулятор.
- системы топливопитания ГТД строятся на базе насосов нерегулируемой производительности с приводом от коробки приводов двигательных агрегатов.
- алгоритмическое обеспечение САУ ГТД формируется в виде программ и алгоритмов управления, базирующихся на параметрах регулирования, доступных для измерения.

Следует ожидать в перспективе совершенствование САУ СУ по следующим направлениям:

- создание перспективных методов управления ГТД, осуществляющих адаптацию управления силовой установкой к условиям эксплуатации (изменение теплового состояния двигателя, износ узлов и др.), интеграцию управления рабочим процессом в двигателе и режимов (этапов) полета, компенсацию отказов в двигателе и САУ (оперативный контроль, распознавание ситуации, реконфигурация системы).
- реализация этих методов в интеллектуальных САУ позволит перейти к построению интеллектуального ГТД, в котором осуществляется активное управление процессом горения в камере сгорания, зазорами в лопаточных машинах, запасами газодинамической устойчивости компрессоров и др. Создание интеллектуального ГТД требует разработки новых интеллектуальных узлов двигателя, позволяющих в зависимости от режима работы двигателя изменять распределение топлива по зонам горения в камере, изменять профиль проточной части двигателя в компрессорах и турбинах, управлять вдувом и отбором воздуха в лопаточных машинах и т.п.
- эффективным способом повышения надежности и качества управления ГТД является применение в САУ встроенной (бортовой) математической модели двигателя достаточно высокого уровня, основанной на описании термодинамических процессов в них. Применение таких моделей позволит, помимо выявления и компенсации отказов, осуществлять управление двигателем по параметрам, более точно характеризующим его состояние, но не доступным для измерения (запасы газодинамической устойчивости, температура газа в камере сгорания, коэффициент избытка воздуха, тяга).
- переход от централизованной к распределенной архитектуре построения САУ ГТД позволит уменьшить количество радиальных линий связи за счет перехода к мультиплексным каналам информационного обмена, упростить поиск неисправностей, локализацию отказов и перестройку структуры, интеграцию аппаратно-программных

средств самолета и двигателя, понизить вероятность разрушения всей системы и, таким образом, повысить её живучесть. Использование распределенной САУ позволяет уменьшить стоимость модернизации системы, упростить процесс сертификации и понизить стоимость полного жизненного цикла системы от проектирования до эксплуатации. Основой создания распределенной САУ должны стать интеллектуальные датчики и исполнительные устройства, высокотемпературная элементная база и высокоскоростные информационные линии связи.

- использование электроприводов в качестве исполнительных органов системы управления, топливопитания и смазки газотурбинного двигателя позволит обеспечить гибкое управление расходом топлива и работой системы смазки, снизить теплонапряжённость топливной системы, повысить эффективность и ресурс систем топливопитания и смазки, снизить массу двигателя в целом за счёт уменьшения массы трубопроводов, коробки приводов и др.

- внедрение беспроводных технологий в системы управления и контроля ГТД позволит создать высокоэффективные системы нового поколения с гибкой, легко изменяемой структурой, уменьшить массу и габариты за счет уменьшения количества разъемов и кабелей, повысить надежность САУ, снизить затраты на техническое обслуживание и повысить пожаробезопасность.

- создание «электрических» силовых установок для самолётов и вертолётов требует разработки принципов построения системы управления, в которых к типовым функциям управления ТРДД добавляется задача управления крутящим моментом электропривода с генераторными источниками питания, а также с аккумуляторными батареями и топливными элементами.

Основные задачи и пути развития направления системы автоматического управления силовыми установками приведены в таблице 1.14.

Таблица 1.14 - Развитие направления «Системы автоматического управления силовыми установками»

| **Направления исследований** | **Ключевые технологии** | | |
|---|---|---|---|
| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
| Развитие теории автоматического управления авиационными силовыми установками. | - Развитие методов математического моделирования авиационных СУ и их САУ.<br>- Термогазодинамические динамические модели СУ высокого уровня для решения задач управления.<br>- Методы идентификации. | - Усовершенствованные методы управления авиационными СУ.<br>- Методы оптимизации законов и алгоритмов управления силовыми установками. | |
| Интеллектуальный авиационный газотурбинный двигатель. | - Концепция интеллектуального газотурбинного двигателя.<br>- Методы интеллектуального управления ГТД.<br>- Регулируемые интеллектуальные узлы ГТД. | - Интеллектуальные узлы ГТД - схемные решения, конструктивные проработки.<br>- Архитектура систем и алгоритмы управления интеллектуальными узлами. | - Интеллектуальный авиационный ГТД.<br>- Системы автоматического управления интеллектуальным ГТД. |
| Бортовая математическая модель ГТД в составе САУ. | - Математические модели высокого уровня в составе цифровых САУ ГТД для управления, диагностики и компенсации отказов в реальном времени.<br>- Идентификации встроенной математической модели в процессе функционирования.<br>- Законы и алгоритмы управления по параметрам, наиболее достоверно характеризующим рабочий процесс, в том числе не поддающимся непосредственному измерению. | - Виртуальные регуляторы для управления ГТД по параметрам, рассчитываемым с помощью математической модели.<br>- Обнаружение и компенсация отказов двигателя и САУ с помощью встроенной модели.<br>- Электронный регулятор с встроенной математической моделью ГТД высокого уровня.<br>- Программное обеспечение САУ с бортовой математической моделью. | |
| Системы "электрического" ГТД (ЭГТД). | - Концепция электрификации газотурбинных двигателей различного назначения.<br>- Узлы "электрического" ГТД.<br>- Системы "электрического" ГТД. | - Электрические устройства ЭГТД - Схемные решения, конструктивные проработки.<br>- Методы и алгоритмы управления.<br>- Принципы обеспечения надежности электрических систем ЭГТД.<br>- "Сухая" система подвеса роторов (магнитные и газовые подшипники) как объект управления | - "Электрический" ГТД для магистральных самолетов.<br>- Система управления "электрическим" ГТД.<br>- Нормативная база для "электрического" ГТД. (разработка, сертификация). |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Распределенная система управления ГТД. | - Архитектура распределенных САУ для перспективных ГТД.<br>- Схемотехнические решения интеллектуальных устройств распределенной САУ.<br>- Высокоскоростные информационные линии связи. | - Отказоустойчивые аппаратные средства распределенной САУ.<br>- Встраиваемое программное обеспечение для интеллектуальных устройств системы.<br>- Распределенная САУ газотурбинного двигателя. | |
| Беспроводная система управления и контроля ГТД. | - Концепция беспроводной системы управления и контроля ГТД.<br>- Архитектура информационно-управляющей сети беспроводной САУ ГТД. | - Алгоритмическое обеспечение беспроводной САУ ГТД.<br>- Помехозащищенные аппаратно-программные средства беспроводной САУ.<br>- Автономные источники питания элементов беспроводной САУ. | - Беспроводная система управления и контроля ГТД. |
| Управление «электрической» силовой установкой (ЭСУ) для вертолётов. | - Концепция применения электрических машин в силовой установке перспективного скоростного вертолёта.<br>- Электрические системы с генераторными источниками питания.<br>- Системы управления силовой установкой с электрическими устройствами.<br>- Алгоритмическое обеспечение САУ ЭСУ. | - Силовые установки для вертолетов, использующих в качестве источников энергии аккумуляторы или топливные элементы.<br>- Управление генерацией и распределением энергии. | - Система управления электрической силовой установкой для вертолетов. (Демонстратор). |
| Управление «электрической» силовой установкой (ЭСУ) для самолетов. | - Концепция построения «электрических» силовых установок для самолетов ГА.<br>- Концепция построения «электрических» силовых установок для самолетов ВА.<br>- Принципы управления ЭСУ самолетов. | - Силовые установки с генераторными источниками питания.<br>- Силовые установки с аккумуляторными батареями и топливными элементами. | - Демонстрационная система управления «электрической» силовой установкой для магистральных самолётов. |

## Экология

В таблице 1.15 указаны направления развития экологических характеристик двигателей ЛА разных типов и промышленных ГТУ на базе авиационных ГТД в соответствии со следующими приоритетами.

- развитие технологий снижения шума в источнике за счет специальных мероприятий в воздухозаборнике, вентиляторе, компрессоре, камере сгорания, турбине и сопле.

- развитие технологий снижения эмиссии вредных веществ от СУ вблизи аэропортов с учетом имеющихся наработок и действующей нормативной базы.

- развитие технологий снижения эмиссии вредных веществ в полете и уменьшение влияния авиации на атмосферу и изменение климата с учетом особенностей работы СУ в полетных условиях и разрабатываемых нормативных показателей.

- развитие технологий экологически чистого сжигания альтернативных (не нефтяных) топлив, широко внедряемых в авиацию и другие отрасли промышленности.

- развитие фундаментальных исследований и вычислительных методов в области экологии, на базе которых возможна разработка новых конструктивно-технологических решений по СУ и ГТУ с требуемыми экологическими показателями.

- развитие экспериментальной базы для научных исследований и испытаний СУ и ГТУ и их узлов, которое позволит проводить необходимые исследования и экспериментально проверить новые конструктивно-технологические решения в требуемом диапазоне эксплуатационных условий, включая высокие термодинамические параметры перспективных СУ и ГТУ, более широкий диапазон эксплуатационных условий.

- разработка нормативно-технической документации и материалов в ИКАО, ЕС и другие организации по вопросам экологии авиации с отражением позиции отечественных разработчиков и эксплуатантов авиационной техники и создаваемой на ее базе другой техники.

- разработка технологий экологически чистого сжигания разных топлив в промышленных ГТУ на базе авиационных двигателей.

Международные стандарты ИКАО по экологии гражданской авиации опубликованы в виде тома I “Авиационный шум” и тома II “Эмиссия авиационных двигателей” Приложения 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. В рамках СНГ, в том числе в России, уровни шума нормируются Авиационными правилами АП-36, а уровни эмиссии вредных веществ – Авиационными правилами АП-34, значения которых практически соответствуют международным требованиям.

С целью улучшения экологической обстановки в зоне аэропортов ИКАО планомерно ужесточает нормы на шум самолетов и эмиссию вредных веществ – оксиды азота $NO_x$, несгоревшие углеводороды HC, оксид углерода CO и дым. В качестве мер против изменения климата ИКАО планирует до 2015 г. введение новых норм на эмиссию вредных веществ в полетных условиях – углекислого газа $CO_2$, нелетучих частиц и оксидов азота NOx, а также широкое использование альтернативных (не нефтяных) топлив при эксплуатации авиатехники.

Высокий уровень технологической готовности зарубежных разработок в области экологии позволяет иностранным компаниям через представителей своих стран в международных организациях лоббировать постоянное ужесточение международных норм на шум воздушных судов и эмиссию вредных веществ от двигателей и обеспечивать свою доминирующую роль на авиационном рынке.

Так, например, основываясь на результатах работ по программам создания новых технологий для экологически «чистых» двигателей, ИКАО установила для новых и модернизируемых двигателей целевые технологические показатели снижения эмиссии

$NO_x$ в зоне аэропортов на 45% и 60% к 2020 г. и 2030 г. соответственно по отношению к нормам ИКАО 2008 г.

Кроме того, ИКАО планирует введение дополнительных норм на снижение эмиссии вредных веществ в верхних слоях атмосферы: $NO_x$ – до 5…10 г/кг топлива, $CO_2$ – на 20% и более от достигнутого уровня в зависимости от типа самолета.

ИКАО, основываясь на целевых показателей программ, проводимых в США и Европе, планирует ужесточение норм на шум самолетов гражданской авиации к 2017…2020 гг. на 10…12 EPNдБ и к 2028 г. на 20…25 EPNдБ относительно требований Главы 4 стандарта ИКАО.

В соответствии с техническими заданиями на разработку новые российские самолеты должны иметь запасы по шуму относительно норм Главы 4 стандарта ИКАО не менее 10÷12 EPN дБ – для SSJ-100 и не менее 15 EPN дБ – для МС-21, а двигатели для них – SaM146 и ПД-14 – эмиссию $NO_x$ на 20…30% ниже норм ИКАО 2008 года. Перспективные зарубежные двигатели (PW810, NG34, PW1000G, LEAP-X, RB285) проектируются на запасы по эмиссии $NO_x$ не менее 45…60% и шуму – не менее 20…30 EPN дБ относительно действующих норм. При этом уже на этапе проектирования для них существуют планы поэтапного улучшения топливной эффективности и экологических показателей.

Для обеспечения конкурентоспособности отечественной авиации на мировом рынке и беспрепятственной эксплуатацию на международных авиалиниях в рамках направления «Экология» необходимо предусмотреть достижение следующих целевых показателей **(индикаторов)** (таблица 1.15):

Таблица 1.15 - Экологические индикаторы развития двигателей для самолетов ГА

| **Индикатор** | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Снижение шума по сравнению с нормой Гл. 4 стандарта ИКАО, EPN dB | 15 | > 20 | > 40 |
| Снижение эмиссии NOx вблизи аэропортов, % к нормам ИКАО 2008 г. | 30 - 45 | 40 - 60 | 60 - 80 |
| Снижение эмиссии $CO_2$ в полете (кр. уд. расхода топлива), % к двигателям 2010 г. | 10 – 15 | 15 - 20 | 20 - 30 |
| Снижение эмиссии NOx в полете, г/кг топлива | 15 | 10 | 5 |

Кроме этого, следует обеспечить достижение новых разрабатываемых ИКАО нормативных показателей на эмиссию нелетучих частиц вблизи аэропорта и других вредных веществ, некоторых региональных норм (Швейцарии, Швеции, Великобритании и т.д.).

В связи с ожидаемым появлением в эксплуатации сверхзвуковых пассажирских самолетов (СПС) в планируемых работах по двигателям и их узлам необходимо предусмотреть достижение с запасом норм на шум и эмиссию HC, CO, NOx и дыма, а также снижение эмиссии $CO_2$ путем повышения топливной эффективности СУ (таблица 1.16):

Таблица 1.16 - Индикаторы развития двигателей для СПС

| **Индикатор** | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Снижение суммарного шума относительно Главы 3, EPNdB | 10 | 10…20 | 20…30 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Снижение эмиссии NOx в полете, г/кг топлива | - | 10 | 5 |
| Снижение эмиссии $CO_2$ (обеспечение топливной эффективност, пасс.км/кг топлива | ~4 | ~12 | ~14…18 |

В связи с предполагаемым ограничением эмиссии парниковых газов ($CO_2$) от всех источников необходимо предусмотреть достижение указанных в таблице 1.17 показателей по топливной эффективности двигателей перспективных вертолетов:

Таблица 1.17 - Индикатор развития двигателей для вертолетов

| **Индикатор** | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Снижение эмиссии $CO_2$ (уд. расхода топлива), % к двигателям 2010 г. | 10 – 15 | 15 - 20 | 20 - 25 |

В разных областях промышленности, энергетики и транспорта прогнозируется широкое использование промышленных ГТУ на базе авиационных ГТД. Особое внимание будет уделено к исследованиям нетрадиционных конструктивно-компоновочных схем, базирующихся на цикле с промежуточным охлаждением воздуха при сжатии и регенерации тепла в процессе расширения газа в турбине. Разработка технологий экологически чистого сжигания разных топлив позволит создать высокоэффективные, конкурентоспособные ГТУ (таблица 1.18).

Таблица 1.18 - Индикаторы развития двигателей ГТУ (простой цикл)

| **Индикатор** | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Эмиссия $NO_x$, (газообразное топливо) мг/м$^3$ | 50…100 | 40…75 | 30 |
| Эмиссия $NO_x$, (жидкое топливо) мг/м$^3$ | 100…200 | 80…150 | 75 |
| Эмиссия CO, мг/м$^3$ | 150 | 100 | 50 |

Основные задачи и пути развития направления «Экология» приведены в таблице 1.19.

Таблица 1.19 - Развитие направления «Экология»

| **Направления исследований** | **Ключевые технологии** | | |
|---|---|---|---|
| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Развитие технологий снижения шума в источнике | - Технология создания малошумного вентилятора и компрессора со стреловидными и наклонными лопатками<br>- Технология создания вентилятора с ультранизкой окружной скоростью<br>- Обоснование методов снижения шума турбин<br>- Обоснование методов снижения шума камер сгорания<br>- Обоснование методов снижения шума от входных устройств СУ<br>- Технологии модернизации существующих отечественных ЛА для обеспечения планируемых норм ИКАО 2017-2010 гг. | - Технология снижения шума вентилятора ТРДД с помощью глушителей<br>- Технология создания звуко-погощающих конструкций (ЗПК) нового поколения (сотовых, гомогенных, реактивных)<br>- Технологии снижения шума камер сгорания и турбин<br>- Технологии снижения шума выхлопной струи путем применения новых конструктивно-технологических решений по выхлопному тракту СУ | - Разработка активных методов управления шумом вентилятора<br>- Технология снижения шума СУ за счет оптимальной интеграции с планером<br>- Технология снижения эмиссии вредных веществ от СУ нетрадиционных схем |
| Развитие технологий снижения эмиссии вредных веществ вблизи аэропортов | - Технология создания мало-эмиссионной камеры сгорания (МКС) со снижением эмиссии несгоревших углеводородов (НС), оксида углерода (СО), оксидов азота (NOx) и дыма на 30% относительно норм ИКАО 2008 г.<br>- Технологии модернизации существующих СУ для обеспечения норм ИКАО 2014 г. на эмиссию NOx. | - Технология снижения эмиссии NOx на 45% относительно норм ИКАО 2008 г.<br>- Технология создания МКС с распределенной многоточечной подачей топлива для СПС<br>- Оценка экологических характеристик вспомогательных и маршевых СУ на базе твердооксидных топливных микроэлементов | - Разработка комплексной технологии сбалансированного снижения акустического шума и эмиссии вредных веществ вблизи аэропортов (НС, СО, NOx, дыма, нелетучих частиц) и в полете (NOx, $CO_2$ и других)<br>- Технология снижения эмиссии NOx на 60% относительно норм ИКАО 2008 г. |
| Развитие технологий снижения эмиссии вредных веществ в полете и уменьшение влияния авиации на атмосферу и изменение климата. | - Обоснование нормативных показателей воздействия продуктов сгорания от авиационных СУ на состав атмосферы и изменение климата, включая газовые и аэрозольные компоненты | - Технология снижения шума СПС путем оптимального управления СУ<br>- Технология создания короткой камеры сгорания, интегрированной с компрессором и турбиной, для снижения эмиссии NOx в полете до 5-10 г/кг и углекислого газа ($CO_2$) на 20% от достигнутого уровня.<br>- Технология создания наклонной (укороченной, облегченной) МКС малоразмерного ГТД с использованием композитных материалов | - Технология снижения эмиссии сажевых и аэрозольных частиц от СУ в полете |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Развитие технологий экологически чистого сжигания альтернативных топлив. | - Технология экологически чистого сжигания альтернативных топлив (смесевых, синтетических и биологических)в существующих камерах сгорания | - Технология экологически чистого сжигания альтернативных топлив в перспективных камерах сгорания, включая АСКТ, СПГ и водород. | - Технология экологически чистого сжигания различных альтернатив-ных топлив с существенным снижением всех нормируемых веществ |
| Развитие фундаментальных исследований и вычислительных методов в области экологии. | - Моделирование конструкционных параметров ЗПК<br>- Математическое моделирование образования загрязняющих веществ при сжигании различных топлив в СУ и ГТУ, включая альтернативные<br>- Исследование нетрадиционных методов воздействия на горение и образование вредных веществ (электрический разряд, магнитное поле, активные радикалы и т.д.) | - Опережающие комплексные исследования аэродинамики, акустики и прочности открытого ротора<br>- Мат.моделирование генерации и распространения шума в тракте двигателя и оптимизация шумоглушащих устройств<br>- Исследование новых схем организации и интенсификации горения в СУ для обеспечения малых выбросов вредных веществ | - Технология комбинированного экологически чистого сжигания обедненных топливно-воздушных смесей с существенным снижением всех нормируемых веществ вблизи аэропортов и в полете<br>- Приобретение современных программных комплексов и лицензий на их использование, разработка специализированных программ расчета, приобретение расчетных комплексов и получение доступа к суперкомпьютерам (кластерам) |
| Разработка технологий экологически чистого сжигания разных топлив в промышленных ГТУ на базе конвертируемых СУ ЛА | - Разработка методов подавления неустойчивости горения обедненных топливно-воздушных смесей в ГТУ<br>- Технология экологически чистого сжигания попутных нефтяных газов широкого фракционного состава<br>- Технология экологически чистого сжигания в ГТУ на газофицированном каменном угле | - Технология экологически чистого сжигания природного газа при высоких термодинамических параметрах ГТУ<br>- Технология экологически чистого сжигания вязких топлив широкого фракционного состава | - Технология экологически чистого сжигания в двухтопливных (природный газ+дизтопливо) ГТУ<br>- Технология экологически чистого сжигания разных жидких топлив с предварительной их обработкой (деструкция, газификация, реформинг и т.д.) |

## Экономика и интегрированная логистическая поддержка

Экономические исследования в области авиационного двигателестроения в ближайшей и среднесрочной перспективе планируется проводить по следующим направлениям:

-технико-экономические исследования вопросов создания авиационных двигателей;

- технико-экономические требования к характеристикам двигателя;

-экономические исследования авиадвигателестроительной промышленности;

-экономические исследования продвижения на рынок продукции и услуг авиадвигателестроения;

- экономические исследования вопросов эксплуатации авиационных двигателей, в том числе интегрированной логистической поддержки.

Для реализации своего потенциала авиадвигателестроение нуждается в современных, научно обоснованных и практически применимых экономических методах организации производства, в том числе:

- методах анализа конкурентоспособности продукции, управления качеством и конкурентоспособностью;
- методах прогнозирования и управления спросом, организации маркетинговой деятельности и реализации продукции;
- методах оптимизации бизнес-процессов и организационных структур предприятий и их объединений;
- методах государственного регулирования и поддержки развития предприятий и отраслей, и т.д.

Интегрированная логистическая поддержка – необходимый компонент организации жизненного цикла авиационного двигателя.

ИЛП включает в себя следующие основные процессы:

- логистический анализ (ЛА) изделия (Logistic Support Analysis), проводимый на всех стадиях ЖЦ;
- планирование процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР) изделия (Maintenance and Repair Planning), проводимое на стадии проектирования и уточняемое в процессе производства и эксплуатации изделия;
- интегрированное планирование процедур поддержки материально-технического обеспечения (МТО) процессов эксплуатации, обслуживания и ремонта изделия (Integrated Supply Support Procedures Planning), проводимое на стадии проектирования и уточняемое в процессе производства и эксплуатации изделия;
- обеспечение персонала электронной эксплуатационной документацией (ЭЭД) и электронной ремонтной документацией (ЭРД) на изделие (Electronic Maintenance Documentation, Electronic Repair Documentation), проводимое на стадии проектирования и реализуемое в процессе производства конкретных экземпляров (партий) изделия.

Логистический анализ - важнейший элемент ИЛП. Он представляет собой формализованную технологию всестороннего исследования как самого изделия, так и вариантов системы его эксплуатации и поддержки. Так же как ИЛП в целом, ЛА направлен на минимизацию затрат на ЖЦ изделия при обеспечении требуемых тактико-техническим заданием параметров надежности, готовности, ремонтопригодности общей эффективности.

ЛА должен начинаться еще до начала проектирования, т. е. на стадии определения требований к изделию, и продолжается подчас до завершения процесса его использования. Процесс ЛА носит циклический итеративный характер: на каждом последующем этапе уточняются и развиваются результаты предыдущего этапа.

В ходе ЛА решаются задачи, основное содержание которых состоит в следующем:

- разработка стратегии, планирование и управление процессом ЛА;
- формирование требований к системе ИЛП, связанными с проектом (конструкцией изделия), на основе сравнения с существующими аналогами;
- корректировка проектных решений, направленная на обеспечение эффективной эксплуатации;
- разработка проекта системы ИЛП, обеспечивающей оптимальное соотношение затрат, сроков реализации и характеристик поддерживаемости (Supportability);
- определение потребности в ресурсах для ИЛП, разработка планов постпроизводственной поддержки;
- оценка и проверка достигнутых показателей эффективности системы ИЛП.

Основные задачи и пути развития направления «Экономика и интегрированная логистическая поддержка » приведены в таблице 1.20.

Таблица 1.20 - Развитие направления «Экономика и интегрированная логистическая поддержка»

| Направление исследований | 2015 г. | 2020 г. | 2030 г. |
|---|---|---|---|
| Разработка, совершенствование и адаптация технологии технико-экономического анализа и принятия решений на различных этапах жизненного цикла авиационных двигателей | Разработка и совершенствование методов технико-экономического анализа НИР и ОКР применительно к двигателям перспективных схем, включающих новые конструктивно-технологические решения. | Разработка и совершенствование методов технико-экономического анализа на этапе серийного производства, эксплуатации и ППО применительно к двигателям перспективных схем, включающих новые конструктивно-технологические решения. | Разработка и совершенствование методов технико-экономического анализа и оценки принимаемых технических и организационных решений для создания двигателей нового поколения |
| Исследования в области разработки и адаптации системы интегрированной логистической поддержки применительно к авиационным двигателям | Исследования возможности применения зарубежной нормативной базы ИЛП с целью применения в отечественной практике | Адаптация и корректировка базовых нормативных документов, регламентирующих ИЛП | Информационное обеспечение ИЛП |
| Развитие, адаптация и совершенствования методов и технологий продвижения на рынок продукции и услуг авиадвигателестроения | Разработка и развитие технологий продвижения на глобальный рынок продукции авиадвигателестроения | Разработка современных методов продвижения на рынок продукции авиадвигателестроения на основе IT технологий | Разработка методов продвижения на рынок продукции авиадвигателестроения с использованием НЛП |
| Разработка методов принятия экономических решений в области авиадвигателестроения | Разработка и адаптация принципов «гейтовой» системы проектного управления в авиадвигателестроении | Разработка методических и нормативных документов, обеспечивающих принятие решений при реализации «гейтовой» системы | Разработка принципов и подходов проектного управления нового поколения применительно к авиадвигателестроению. |

## Химмотология

В таблице 1.21 указаны направления развития авиационной химмотологии в соответствии со следующими приоритетами:

- формирование научно-обоснованных требований к авиационным топливам с улучшенными эксплуатационными свойствами для перспективных авиационных двигателей в обеспечение улучшения экономичности, устойчивой работы двигателя во всем диапазоне условий эксплуатации, надежного земного и воздушного запуска, улучшения экологических характеристик двигателя.
- формирование научно-обоснованных требований к разработке энергоемких высокоплотных жидких горючих с улучшенными функциональными свойствами, а также твердых и пастообразных топлив для современных и перспективных изделий ракетного вооружения с ВРД (ГТД, ПВРД, ГПВРД.) для улучшения габаритно-массовых характеристик ЛА, увеличения дальности полета, достижения устойчивой работы во всем диапазоне условий эксплуатации, надежного запуска.
- формирование научно-обоснованных требований к разработке и применению альтернативных топлив, в т.ч. синтетических жидких углеводородных топлив из ненефтяного сырья (природного газа, угля, биомассы), АСКТ, СПГ, водорода для современных и перспективных авиационных ГТД в обеспечение научно-технического задела, связанного с разработкой технологий производства этих продуктов.
- Формирование научно-обоснованных требований к разработке и применению эндотермических топлив для перспективных ГПВРД в обеспечение увеличения скоростей полета на жидком углеводородном топливе.
- разработка физико-химических и энергетических основ применения топливных элементов в составе маршевых и вспомогательных авиационных силовых установок на различных видах альтернативных топлив и формирование оптимального облика и параметров системы «ЛА-СУ-Топливо» в обеспечение научно-технического задела для разработки натурных образцов.
- разработка научно-обоснованных требований к созданию и применению синтетических смазочных масел и гидравлических жидкостей нового поколения с улучшенными физико-химическими и эксплуатационными свойствами в обеспечение надежной работы двигателя при высоких температурах воздуха и газа по тракту и увеличения его ресурса.
- исследования в обеспечение работоспособности топливных и масляных систем СУ в условиях влияния внешних эксплуатационных факторов (загрязнения, вибрации, обводнения, обледенения, перепадов температур и давлений окружающей среды) в обеспечение надежности и увеличения ресурса двигателя.
- развитие методологии и усовершенствование экспериментальной базы по исследованию эксплуатационных свойств авиационных горюче-смазочных материалов (топлив, в т.ч. альтернативных, смазочных масел, пластичных смазок), а также элементов топливной и масляной систем силовых установок летательного аппарата.

Следует ожидать в перспективе в области горюче-смазочных материалов для двигателей магистральных и региональных самолетов ГА достижения индикаторов, указанных в таблице 1.21.

Таблица 1.21 - Индикаторы горюче-смазочных материалов для самолетов ГА

| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
|---|---|---|---|
| Максимальная температура применения, $^{o}$ С<br>- реактивных жидких УВТ перед основным топливным насосом<br>- смазочных масел на выходе | 180<br>240 | 200<br>250 | 250<br>275 |
| Гарантийные сроки хранения, год<br>- реактивных жидких УВТ<br>- смазочных масел | 7<br>5 | 10<br>7 | 15<br>10 |
| Сроки замены масла в двигателе | бессменно | бессменно | бессменно |
| Снижение содержания сернистых соединений в жидких углеводородных реактивных топливах, % масс. не более<br>- содержание общей серы<br>- содержание меркаптановой серы | 0,1<br>0,002 | 0,05<br>0,001 | 0.01<br>0,0005 |
| КПД топливных элементов, % | 60 | 70 | 85 |
| Уменьшение удельной массы топливных элементов от достигнутого уровня в настоящее время, % | 10 | 20 | 40 |

Существенное улучшение топливной экономичности и экологических показателей (по выбросам в атмосферу вредных веществ и по шуму) будет получено при переходе на гибридные ВСУ с использованием технологий, основанных на применении топливных элементов. Перспективным направлением является создание интегрированного энергоузла (ИЭУ), который объединяет в одном агрегате ВГТД, систему запуска, систему аварийного энергообеспечения и систему кондиционирования самолета.

Наряду с существующими типами двигателей авиационных ракет (РДТТ, ПВРД, ИПВРД) для перспективного высокоскоростного (гиперзвукового) авиационного вооружения потребуется совершенствование рабочего процесса в ГПВРД и обеспечение приемлемого теплового состояния конструкции ГПВРД, в том числе с использованием хладоресурса углеводородного эндотермического топлива.

Основные задачи и пути развития направления «Химмотология» приведены в таблице 1.22.

Таблица 1.22 – Развитие направления «Химмотология»

| Направления исследований | Ключевые технологии | | |
|---|---|---|---|
| | **2015 г.** | **2020 г.** | **2030 г.** |
| Формирование научно-обоснованных требований к авиационным топливам с улучшенными эксплуатационными свойствами для перспективных авиационных двигателей | Технические требования и рекомендации по применению авиационного бензина в обеспечение эксплуатации малой авиации | Технические требования и рекомендации по применению авиационного дизельного топлива в обеспечение эксплуатации малой авиации | |
| Формирование научно-обоснованных требований к разработке энергоемких высокоплотных жидких горючих с улучшенными функциональными свойствами, а также твердых и пастообразных топлив для современных и перспективных изделий ракетного вооружения с ВРД (ГТД, ПВРД, ГПВРД.) | - Технические требования и рекомендации по применению высокоэнергоемкого горючего (в замен горючему Т-10) для изделий ракетного вооружения с ВРД<br>- Технические требования и результаты исследования единого химического энергоносителя переменной скорости горения и газогенерирующего состава (ствольного комбинированного разгона, внествольного реактивного доразгона, марша, наведения и поражения) управляемых малокалиберных гиперзвуковых средств боевого применения. | - Новые технологии применения реактивных топлив с многофункциональными нанокаталитическими присадками для повышения эффективности рабочего процесса в авиационных двигателях<br>- Технические требования и результаты исследования твердого газогенерирующего состава, сгорающего без остатка, каморноствольного ускорителя безгильзового выстрела авиационно-пушечного вооружения.<br>- Технические требования и результаты исследования единого пастообразного топлива для демонстратора трехрежимного бортового ПВРД авиационных управляемых ГРС. | - Технические требования и результаты исследования пастообразного газогенерирующего состава аномального сверхбыстрого горения для авиационных и переносных зенитных безоткатных, безкаморных, беззатворных композитных балтруб авиационно-пушечного вооружения; для микродвигателей ГЛА и высокочастотных блоков теплогазоаэродинамической стабилизации, ориентации и управления КСУ МКТС.<br>- Технические требования и результаты исследования комплекса топлив и горючих для ДУ стратегических РСЗО. |
| Формирование научно-обоснованных требований к разработке и применению альтернативных топлив, в т.ч. синтетических жидких углеводородных топлив из ненефтяного сырья (природного газа, угля, биомассы), АСКТ, СПГ, водорода для современных и перспективных авиационных ГТД | - Результаты исследования эксплуатационных свойств альтернативных синтетических жидких углеводородных топлив (СЖТ) из ненефтяного сырья (природного газа, угля, биомассы) для авиационных ГТД в обеспечение надежной эксплуатации современных и перспективных ЛА различного назначения. | - Научно-технические основы создания технологии и применения альтернативных топлив типа АСКТ, СПГ, водорода в силовых установках нового поколения для самолетов гражданской и транспортной авиации | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Формирование научно-обоснованных требований к разработке и применению эндотермических топлив для перспективных ГПВРД. | | - Научно-технические основы создания и применения эндотермических углеводородных топлив нового поколения, включая криогенные, для ГЛА. | |
| Разработка физико-химических и энергетических основ применения топливных элементов в составе маршевых и вспомогательных авиационных силовых установок на различных видах альтернативных топлив и формирование оптимального облика и параметров системы «ЛА-СУ-Топливо». | - Рекомендации по выбору схем и оптимальных параметров маршевых СУ нового поколения ЛА гражданской и транспортной авиации на базе электрохимической батареи ТОТЭ | - Прототип блока твердооксидных топливных микроэлементов для вспомогательных и маршевых СУ самолетов и вертолетов.<br>- Теоретическое и экспериментальное обоснование возможности создания наземной гибридной энергоустановки на базе электрохимической батареи ТОТЭ и ГТУ, работающей на местных видах топлива, для автономного энергоснабжения в удаленных районах. | |
| Разработка научно-обоснованных требований к созданию и применению синтетических смазочных масел и гидравлических жидкостей нового поколения с улучшенными физико-химическими и эксплуатационными свойствами | -Технические требования и рекомендации по применению в перспективных теплонапряжённых ТРД (ТРДД) синтетических масел, работоспособных до температур 240-250°С, для шарниров вертолётов (взамен масла ТСгип), а также гидрожидкостям для авиатехники 2020г. | Результаты исследования новых синтетических масел для современных и перспективных авиационных ТРД, ТРДД и шарниров вертолётов, а также гидравлических жидкостей нового поколения в обеспечение надёжной эксплуатации авиатехники 2020г. | |
| Исследования в обеспечение работоспособности топливных и масляных систем СУ в условиях влияния внешних эксплуатационных факторов (загрязнения, вибрации, обводнения, обледенения, перепадов температур и давлений окружающей среды) | - Результаты исследования влияния обводнения реактивных топлив на работоспособность топливных систем в условиях полета и стоянки самолетов нового поколения. | - Технические требования и результаты исследования влияния эксплуатационных факторов (вибрации, влажности, перепадов температур и давлений окружающей среды, загрязнения топливной системы биодизелем (FAME) на работоспособность топливной и масляной систем авиационных ГТД, а также на процессы тепло- и массообмена, протекающие в авиационных синтетических маслах в условиях эксплуатации авиационных ГТД. | |

## 2 РАЗРАБОТКА КРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

**Критические технологии** – технологии, обеспечивающие качественное повышение конкурентоспособности двигателя на основе интеграции новых материалов, технологических процессов, конструктивных решений, методов проектирования и испытаний. В таблице 2.1 приведены требования к перспективным двигателям. Все зарубежные компании имеют собственные программы, включающие дополнительные требования.

Таблица 2.1 - Требования к перспективным двигателям для магистральных самолетов

| | База | ACARE | | NASA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Годы | 2000 | 2010 | 2020 | 2010 | 2025 | 2025*) |
| | | | | | | |
| Затраты топлива (эмиссия $CO_2$),% | База | -10 | -50 | -25 | -50 | -70 |
| Шум (относительно норм Главы 3 ИКАО), EPN дБ | -(14÷18) | -33 | -50 | -45 | -75 | -81 |
| Эмиссия $NO_x$ (запас относительно норм CAEP2 ИКАО), % | -30 | -40 | -80 | -70 | -80 | -82,5 |
| | | | | | | |
| $C_R$ | | -8÷12% | -20% | - | - | - |
| $(R_0/G_{дв})$ | 3,6÷4,5 | >>4 | >>4 | - | - | - |

В таблице 2.2 приведены показатели надежности отечественных двигателей.

Таблица 2.2 – Надежность

| Двигатель | | ПС-90А2 | ПД-14 |
|---|---|---|---|
| Год проведения сертификации | | 1999 | 2015 |
| Нормы | | АП-33 (1994) | АП-33, FAR-33, CS-E |
| $T_г^*{}_{max}$ (red line), К | | 1775 | ~1880 |
| Наработка на выключение в полете, ч | ТЗ | 50 000 | 200000<br>(на нач. экспл. 50000)<br>Ранний ETOPS-180 |
| Средняя наработка на крыле, ч | ТЗ | >7500 | ≥ 12500 |
| Назначенный ресурс основных деталей, ПЦ | ТЗ | 10000-15000 | 15000-25000<br>(7500-10000 – на начало эксплуатации) |

| Стратегия эксплуатации | | По техсостоянию (в Аэрофлоте - оплата за час полета) | По надежности |
|---|---|---|---|
| Трудоемкость, ч.ч./час нараб. | ТЗ | 0,2 | 0,15 |
| Диспетчерская надежность | ТЗ | 99.85 | 99.96 |

Для обеспечения требуемых показателей надежности продолжают интегрировать новые, перспективные технологии в процессы создания двигателей. Ужесточаются сертификационные требования к обеспечению безопасности эксплуатации двигателей. Необходимы:

- квалификация материалов;
- сертификация при предельно допустимых в эксплуатации значениях параметров (температуры газа перед турбиной, частот вращения роторов);
- исключение ЧР;
- подтверждение ресурса критических по последствиям разрушения деталей с учетом возможных начальных дефектов;
- предотвращение опасных отказов при отрыве лопатки вентилятора по наиболее удаленному от оси двигателя пазу хвостовика;
- стойкость к попаданию птиц (включая крупную стайную птицу);
- работа в условиях обледенения, в т.ч. при попадании в проточную часть ледяных кристаллов и смеси фаз, крупных переохлажденных капель воды;
- пожаробезопасность;
- длительная авторотация с учетом возможного дефекта (отрыва лопатки, разрушения подшипника, отказа маслосистемы).

В дальнейшем ожидается совершенствование отечественных норм летной годности и их гармонизация с зарубежными требованиями. А также повышение роли расчетного анализа.

Реформации подлежит и техническая эксплуатация двигателей. Например: техническое задание на двигатель для МС-21 предусматривает эксплуатацию по стандарту ATAMSG-3 (RCM-Reliability Centered Maintenance).

Принятие решения для каждого двигателя (ремонт, продолжение эксплуатации, инспекции) (рисунок 2.1):

- на основе комплексного анализа технических и экономических рисков;
- при безусловном обеспечении безопасности эксплуатации;
- с учетом оценки индивидуального технического состояния двигателя развитой системой диагностики; базы данных по эксплуатации парка; экономических расчетов.

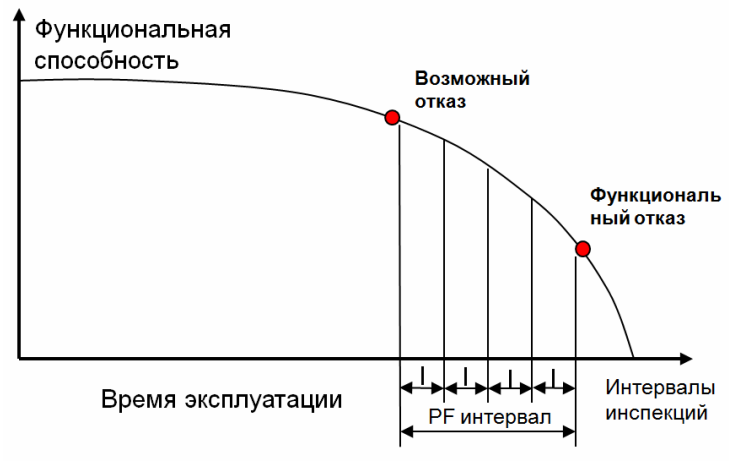



Рисунок 2.1 – Функциональная способность по времени эксплуатации

Для удовлетворения заданных требований необходимо обеспечить снижение критичности дефектов.

Будет создаваться удаленный диагностический центр. **Диагностика техсостояния** на основе многомерного трендового анализа. Его структура представлена на рисунке 2.2.

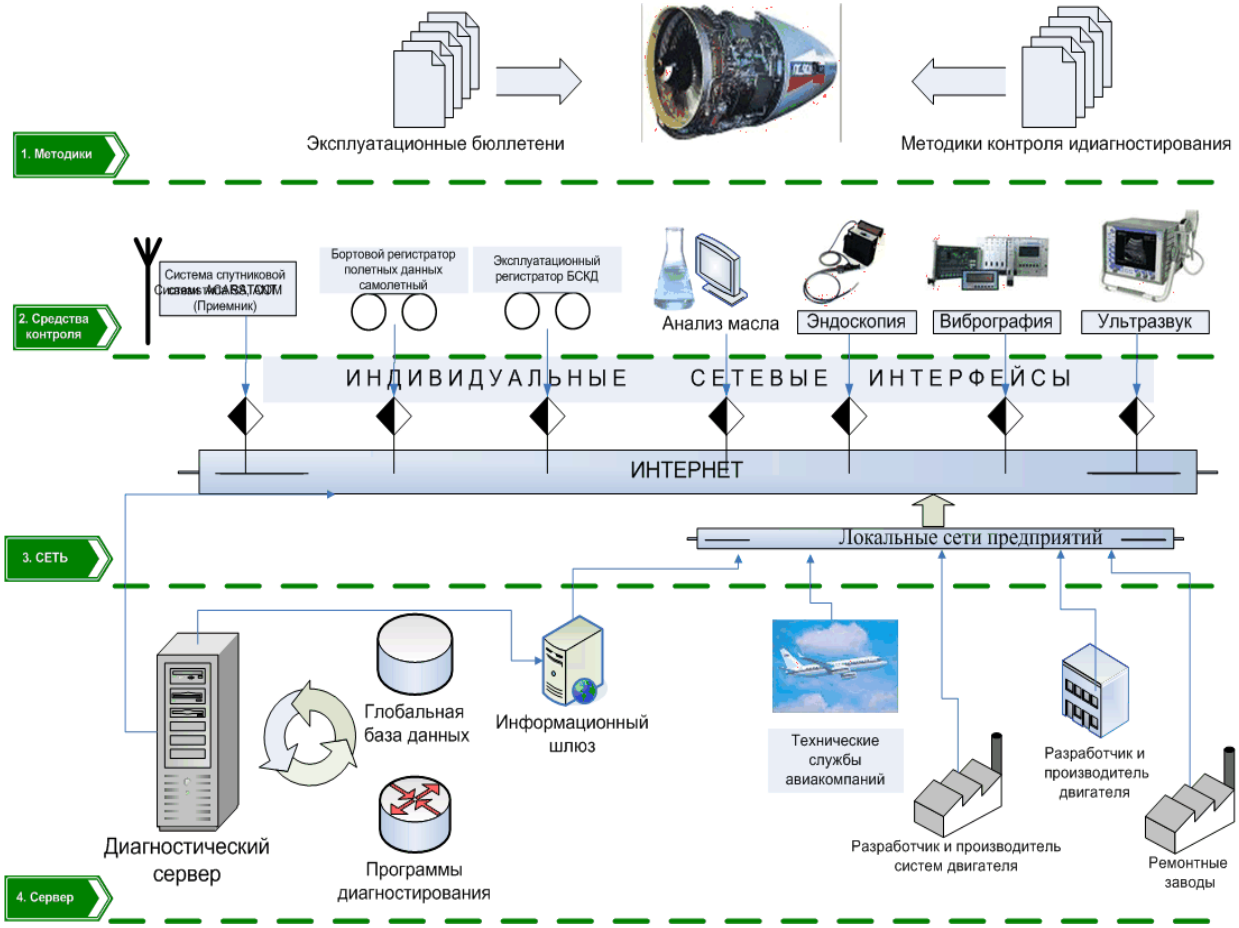



Рисунок 2.2 – Структура диагностического центра

Изменения в диагностике затронут и контроль зубчатых передач. Он будет производиться на всех этапах жизненного цикла передач:

- модульная система контроля редукторов в комплексе с датчиками;
- виброметрия, кинематометрия, диагностика масла, оценка параметров режима;
- контроль редукторов и КПП при испытаниях;

- эксплуатация по техническому состоянию;
- контроль редуктора в сборе;
- контроль зубчатых передач в производстве;
- контроль станков.

Основные **требования к прочности и надежности** для обеспечения конкурентоспособности авиационных ГТД гражданской авиации приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Требования к прочности и надежности

| ИНДИКАТОР | Динамика целевых показателей по годам | | |
|---|---|---|---|
| | 2015 | 2020 | 2030 |
| Наработка на выключение двигателя в полете, не менее, тыс.ч | 200 | 300 | 500 |
| Ресурсы основных деталей «горячей» / «холодной» частей двигателя, тыс. полетных циклов | 20/40 | 22/45 | 30/60 |
| Наработка на посещение цеха для ремонта, не менее, тыс. часов | 12,5 | 15 | 25 |

Сертификация двигателей осуществляется в соответствии с действующими на момент подачи заявки на сертификацию двигателя нормами АР МАК, FAA, EASA.

**Уровни готовности технологий** (TRL) приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Этапность создания двигателей и разработки технологий

В качестве примера приведем список некоторых новых технологий, реализуемых на двигателе PW 1000:

➢ гибридная биметаллическая легкая лопатка высокоэффективного надежного вентилятора;

- легкий высокоэффективный надежный редуктор привода вентилятора;
- легкая высокооборотная ТНД с рабочими лопатками из γ-алюминида титана;
- углепластиковый корпус вентилятора, обеспечивающий локализацию фрагментов лопатки;
- регулируемое сопло, интегрированное с мотогондолой;
- новые материалы в горячей части двигателя;
- подтверждение ресурса основных деталей в соответствии с современными требованиями (работы на всех стадиях жизненного цикла, учет возможных дефектов – металлургических, при изготовлении отверстий, эксплуатационных);
- технологии предотвращения разрушений от МнЦУ.

Во всем мире существует десятки **программ по разработке перспективных технологий для авиационных двигателей** (рисунки 2.3, 2.4, 2.5).

Рисунок 2.3 – Программы министерства обороны США

LWGG – Light Weight Gas Generatorprogram (программа по созданию газогенератора малой массы);

CIP – Component Improvement Program (программа улучшения узлов двигателя);

ATEGG – Advanced Technology Engine Gas Generator Project (технологии перспективного газогенератора);

JTDE – Joint Technology Demonstrator Engine Project (Объединенные технологии в демонстрационном двигателе);

APSI – Advanced Propulsion System Integration Project (интеграция перспективных технологий СУ);

IHPTET – Integrated High Performance Turbine Engine Technology (интегрированные технологии двигателей с высоким уровнем характеристик);

VAATE – Versatility Affordable Advanced Turbine Engine Program (перспективный универсальный и доступныйГТД);

SHFE – Small Heavy Fuel Engine Project (ТВГТД мощностью$N_{e0}$=800 л.с. на тяжелом топливе);

AATE – Affordable Advanced Turbine Engine Project (доступный перспективный ТВГТД мощностью$N_{e0}$=3000 л.с.);

ADVENT – ADaptive Versatile Engine Technology Project (технологии адаптивного универсального двигателя);

HEETE – Highly Efficient Embedded Turbine Engine Project ( высокоэффективный “утопленный” ГТД);

HiSTED – High-Speed Turbine Engine Demonstration Project (демонстратор высокоскоростного двигателя);

CEDLE – Compact Efficient Direct Lift Engine (компактный эффективный подъемный двигатель).

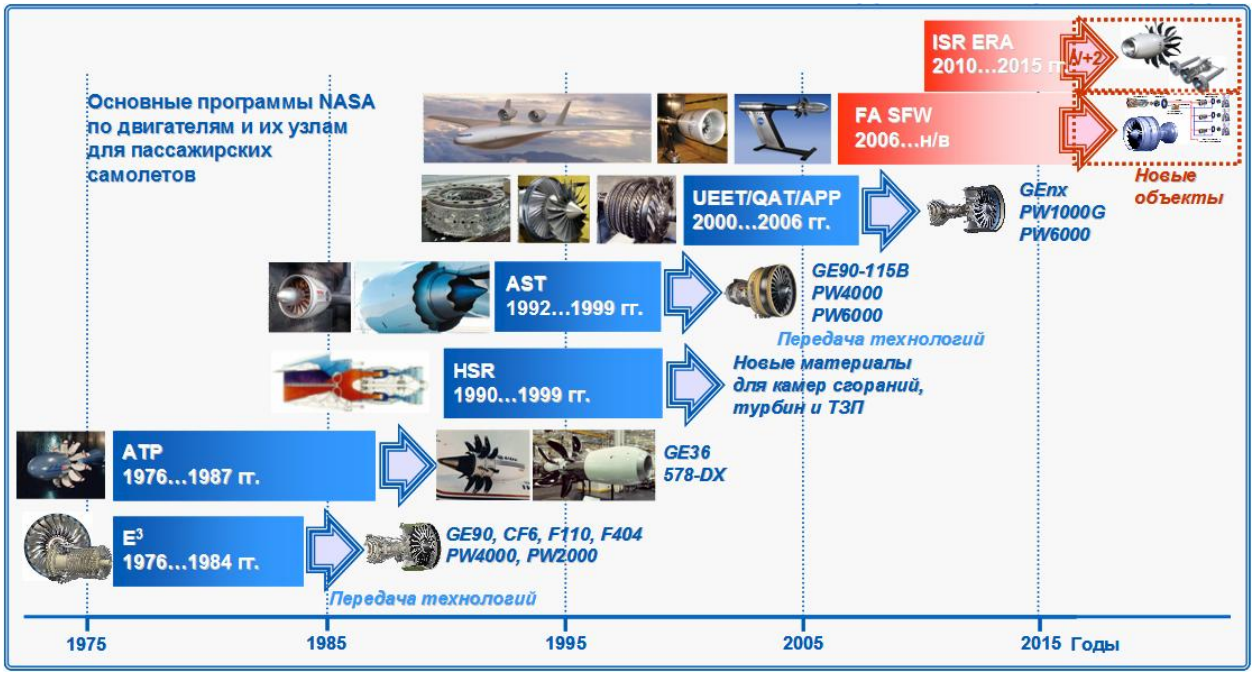



Рисунок 2.4 – Программы NASA

$E^3$ – Energy Efficient Engine Project (энергетически эффективный двигатель);

ATP – Advanced TurboProp Project (перспективный ВВ);

UDP – UnDucted Fan Project (незакапотированный ВВ);

HSR – High Speed Research Program (исследование больших скоростей);

AST – Advanced Subsonic Technology Program (перспективные дозвуковые технологии);

UEET – Ultra-Efficient Engine Technology Program/Project (технологии сверхэффективного двигателя);

QAT – Quiet Aircraft Technology Program/Project (технологии “тихого” самолета);

APP – Aerospace Propulsion and Power Program/Project (аэрокосмические силовые установки и источники энергии);

FA SFW – Fundamental Aeronautics Program Subsonic Fixed Wing Project (программа фундаментальных исследований в области авиации, проект дозвуковые самолеты сф иксированным крылом);

ISR ERA – Integrated Systems Research Program Environmentally Responsible Aviation Project (программа исследования интегрированных систем, ответственных за воздействие на окружающую среду).

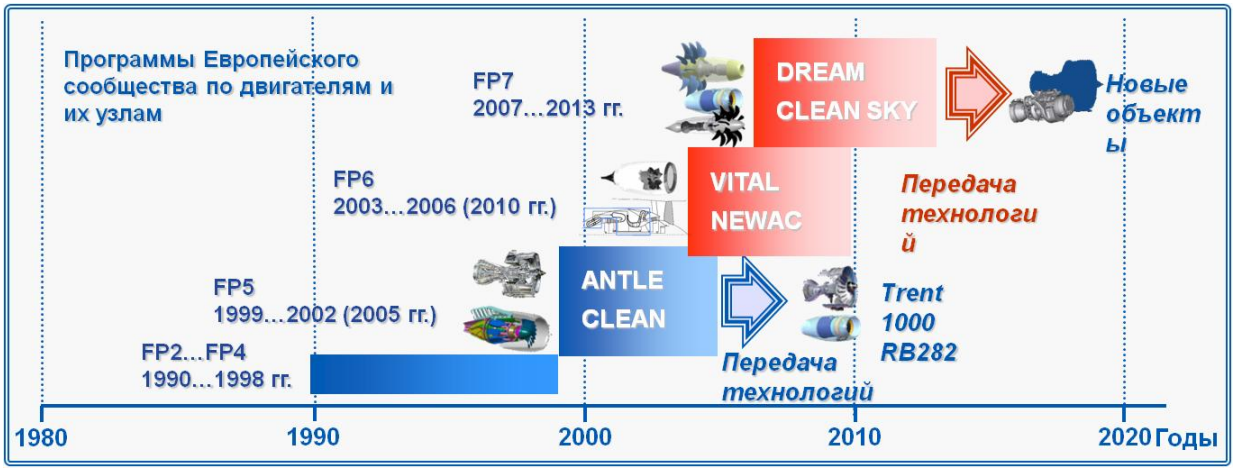



Рисунок 2.5 – Программы Евросоюза

ANTLE – Affordable Near Term Low-Emissions Engine (малоэмиссионный двигатель ближайшей перспективы);

CLEAN – Component Validation for Low-Emission Aero Engine (оценка узлов для малоэмиссионного двигателя);

VITAL – EnVIronmen TALly Friendly Aero Engine (авиационный двигатель со слабым воздействием на окружающую среду);

NEWAC – NEW Aeroengine Core concepts (концепции новых газогенераторов для авиационных двигателей);

DREAM – valiDation of Radical Engine Architecture systeMs (оценка систем для принципиально новых схем двигателей);

Clean Sky – Joint Technology Initiative Clean Sky (инициативе объединенных технологий “Чистое небо”);

Но все это требует огромных временных ресурсов. Так для внедрения новых технологий на фирме GE потребовалось:

- углепластиковая лопатка вентилятора (GE-90, GENX) – 35 лет (в т.ч. работы по 3-м Госпрограммам);
- рабочие лопатки ТНД из γ-алюминида титана (GENX):

1985-89 гг. – разработка сплава GE48-2-2;
1992 – испытание лопаток ТНД на CF6 (1500 ц);
1997 – разработка методов проектирования;
2004 – начало ОКР;
2005 – получение базы данных, отработка технологии;
2008 – первая сертификация двигателя.

При этом: выплавлено более 220 тонн сплава, изготовлено более 20 000 лопаток ТНД, сформирована полная база данных по механическим и теплофизическим свойствам.

В соответствии с ФЦП «ГАТ» в 2009-2011 гг. осуществлялась разработка 16 технологий:

1. Разработка конструкции и технологии изготовления облегченной широкохордной лопатки (из титанового сплава типа ВТ6) с применением технологии сверхпластичного деформирования и диффузионной сварки для малошумного вентилятора с уровнем КПД не менее 92% для двигателя нового поколения;

2. Разработка технологии создания высоконадежной малоступенчатой ТНД с лопатками из интерметаллида титана (при рабочей температуре до 750 $^0$С) с повышенной эффективностью (с КПД=0,92-0,93);

3. Разработка технологии создания высокотемпературных покрытий и высокоэффективных щеточных и пальчиковых уплотнений газовоздушного тракта;

4. Разработка технологии создания рабочих лопаток ТВД с высокоэффективным охлаждением из перспективных безуглеродистых монокристаллических сплавов;

5. Разработка технологии создания и ремонта моноколес (блисков) вентилятора и осевого компрессора и сварных роторов из титановых и никелевых сплавов на базе сварки трением, в том числе линейной и электронно-лучевой сварки;

6. Разработка подшипников скольжения с антифрикционными покрытиями на основе металлополимеров, керамополимеров или композитных материалов с использованием квазикристаллов;

7. Разработка технологии создания жаровых труб большого ресурса для экологически чистых камер сгорания на основе применения высокоэффективного охлаждения (с использованием лазерной и электроэрозионной перфорации) и высокотемпературных композиционных материалов;

8. Разработка технологии создания высоконагруженных деталей перспективных авиационных двигателей из композиционных материалов на полимерной, металлической и керамической матрицах;

9. Разработка технологии создания звукопоглощающих конструкций из композиционных материалов и металлов;

10. Разработка технологии создания зубчатых колес (в т.ч. с несимметричным зубом, шевронных) из новых теплостойких сталей;

11. Разработка технологии высокочувствительного неразрушающего контроля (НК) дефектов в заготовках и готовых изделиях с вероятностной оценкой выявляемости дефектов;

12. Создание технологии и оборудования для кинематометрической диагностики технического состояния зубчатых колес и редукторов;

13. Разработка технологии предотвращения разрушения деталей двигателей от многоцикловой усталости;

14. Разработка технологии обеспечения и подтверждения конкурентоспособного ресурса основных деталей с учетом современных требований международных норм;

15. Разработка технологии создания лопаток высокотемпературных турбин, работающих при температуре газа до 2000 К;

16. Разработка технологии и конструктивных решений для вентиляторов двухконтурных двигателей, обеспечивающих безопасность при разрушении деталей ротора.

Графически технологии представлены на схеме двигателя-демонстратора (рисунок 2.6).

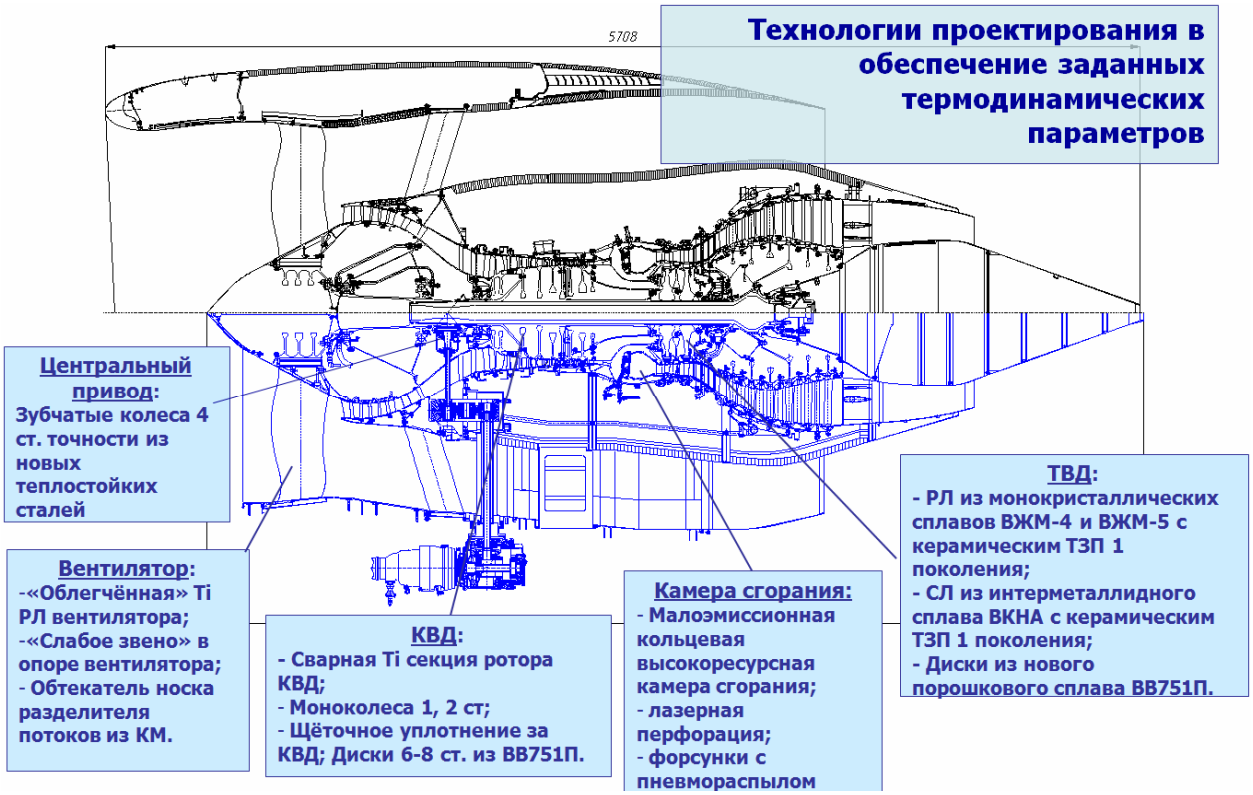



Рисунок 2.6 – Изготовление двигателя-демонстратора технологий

По ряду технологий работа была не завершена, в т. ч. по сварке роторов компрессоров, по созданию деталей из различных композиционных материалов, по созданию звукопоглощающих конструкций, по созданию высокотемпературных лопаток турбин, работающих при температуре газа до 2000 К. По ряду технологий сроки и объем финансирования оказались недостаточны, в т.ч. по пустотелой лопатке вентилятора, по получению блисков, по лопаткам ТНД из γ-алюминида титана, по поверхностному упрочнению кромок титановых лопаток и др.

На сегодняшний день необходимо проквалифицировать материалы и создать единый **отраслевой банк данных** (рисунок 2.7) **по конструкционной прочности материалов** для основных деталей ГТД. Требуемый объем испытаний ~1200 образцов для одного материала (в т.ч. ~ 700 образцов на МЦУ при жестком режиме нагружения). Отсутствие данных по конструкционной прочности не позволило использовать отечественные материалы на SaM-146.

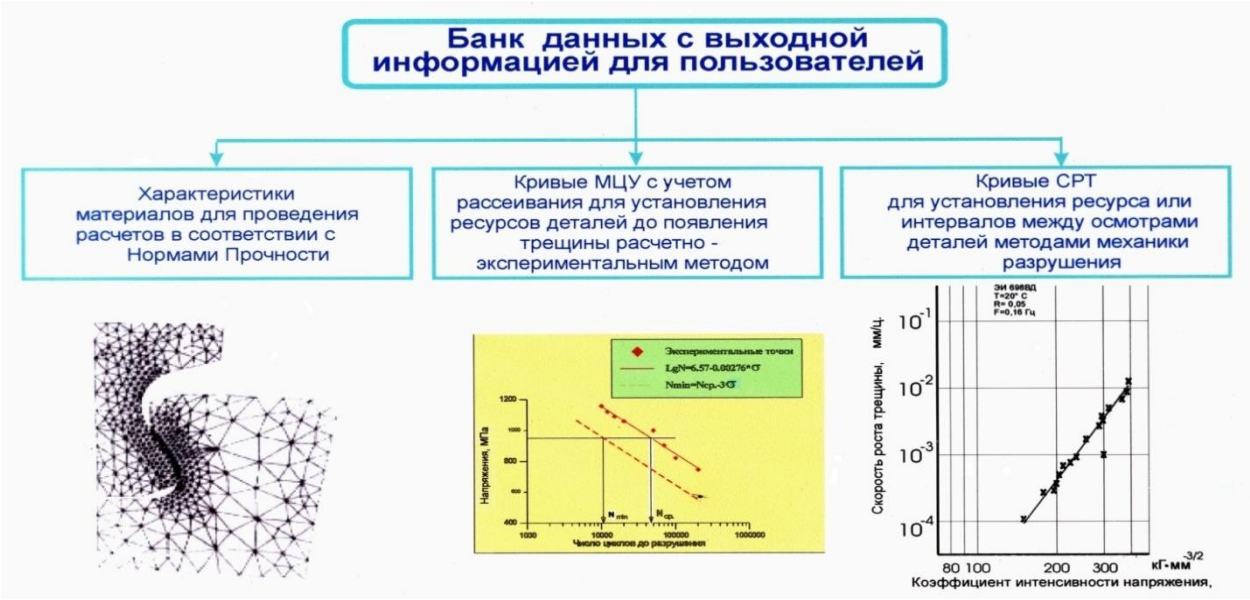



Рисунок 2.7 – Банк данных

Так же остро стоит проблема с квалификацией композиционных материалов (КМ). Цель - определение статистически обоснованных минимальных значений реализуемых в детали механических свойств. Проблемы:

- необходимость определения большого количества характеристик (из-за анизотропных свойств материала, его слоистости и неоднородности – в зависимости от применяемых в расчетах моделей);
- влияние на значение механических свойств большого количества факторов (характеристики компонентов, схемы армирования, технологии изготовления, экспериментальных факторов);
- отсутствие необходимых стандартов по методам определения механических свойств КМ и компонентов КМ;
- сложности переноса результатов испытаний образцов на реальные детали (из-за различий в схемах армирования, технологии изготовления, влияния масштабного фактора и т.д.).

Имеются:

- данные о зарубежном опыте (углепластиковая лопатка двигателя GE90, корпус вентилятора RB211 и др.);
- зарубежные нормативные материалы (AGATE, MIL-17, CMH и др. – в основном применительно к летательному аппарату);
- собственный опыт исследовательских работ.

Стоит отметить, что разработка методов квалификации КМ для двигателя существенно сложнее, чем для летательного аппарата (из-за многообразия материалов, деталей, условий работы деталей).

По вопросам, касающимся **лопаток вентилятора,** найдено множество конструкторских и технологических решений. Известно, что широкохордная небандажированная лопатка обеспечивает по сравнению с полочной:

- ❖ повышение газодинамической эффективности на 2 – 9 %;
- ❖ уменьшение диаметра вентилятора;
- ❖ повышение напорности;
- ❖ повышение запасов ГДУ;
- ❖ снижение шума;
- ❖ снижение на 75% съема из-за ППП (полая металлическая лопатка).

Для снижения массы лопаток и ступени, увеличения ресурсов дисков, обеспечения локализации разрушенной лопатки:

- полая титановая лопатка (освоена R-R, PW);
- биметаллическая (освоена PW);
- лопатка из КМ (углепластик) (освоена GE, SAFRAN).

Поставленные цели:

– снижение массы РК вентилятора на 30%;
– снижение массы бронезащиты;
– уменьшение дисбаланса ротора при обрыве лопатки.

В GE решены основные проблемы, возникшие при создании рабочей лопатки вентилятора из углепластика:

- повышение межслоевой прочности материала;
- роботизация выкладки слоев материала;
- расчет напряженно-деформированного состояния в каждом слое и оптимизация схемы армирования.

Разработка лопаток из ПКМ велась с 1960г. по 8 программам (рисунок 2.8).

Рисунок 2.8 – Программы IHPTET

Широкохордная лопатка из полимерного композиционного материала (основное решение для двигателя с «открытым ротором» вентилятора):

- снижение веса по сравнению с полой титановой лопаткой на 35%;
- снижение веса всего узла вентилятора;
- увеличение прочностной надежности (практически невероятно разрушение);
- высокая демпфирующая способность материала;
- возможность отстройки от опасных резонансов без изменения размеров;
- живучесть при ударе посторонними предметами и других повреждениях;

- уменьшение стоимости серийного производства при применении технологии RTM (по сравнению с полой титановой лопаткой).

Углепластиковые лопатки внедрены на двигателях GE90, GENX, планируется внедрение таких лопаток на новых двигателях GE, RR, CFMI.

**Экспериментальный редуктор привода вентилятора перспективного ТРДД-** планетарный редуктор является составной частью (модулем) ТРДД нового поколения, предназначенного для применения в составе силовых установок семейства двухдвигательных ближне - среднемагистральных самолетов и служит для передачи крутящего момента от ТНД турбореактивного двухконтурного двигателя к вентилятору с обеспечением заданной частоты вращения вентилятора, позволяя реализовать высокую степень двухконтурности двигателя. Особенностями разрабатываемого ОАО «Кузнецов» и ЦИАМ редуктора (таблица 2.5) являются:

- зубчатые колеса с коэффициентом перекрытия более 2 - повышение несущей способности зубчатых колёс на 20%, снижение динамических нагрузок, вибрации и шума в 2,5 – 3 раза;
- подшипники скольжения сателлитов с покрытием из карбонитрида титана - снижение геометрических размеров и массы редуктора на 25%.

Таблица 2.5 – Требуемые характеристики для редуктора

| | |
|---|---|
| Мощность на максимальном взлетном режиме | 24506 кВт (33328 л.с.) |
| Передаточное отношение редуктора, i | 2.487±0.5% |
| Масса редуктора, М, кг | 250 |
| Полный назначенный ресурс редуктора, часы | 75000 |
| Коэффициент полезного действия | 0.992÷0.995 |
| Частота вращения ТНД $n_{тнд}$ об/мин | 8285 |
| Частота вращения вентилятора $n_в$, об/мин | 3330 |

**Подшипники скольжения** из наноструктурированных дисперсно-упрочненных высокотемпературных композиционных материалов:

- радиальные подшипники скольжения**;**
- высокотемпературные подшипники скольжения поворотных лопаток турбины авиационного двигателя;
- торцовые (упорные) подшипники скольжения**.**

**Статорные детали из полимерных композиционных материалов** (корпуса АД с бронезащитой из ПКМ, рисунок 2.9):

- Обеспечение локализации фрагментов оборвавшейся лопатки при снижении веса до 50% относительно титанового аналога;
- Снижение уровня шума;
- Ремонтопригодность;
- Отсутствие коррозии.

Рисунок 2.9 – Бронезащита из ПКМ

Углепластиковый корпус вентилятора внедрен на двигателях GENX, углепластиковые корпуса второго контура – на F119 и других двигателях военной авиации. Применение углепластиковых корпусов предусмотрено на перспективных двигателях разных фирм. Усиленные органопластиком (кевларом) корпуса вентилятора используются на RB211, ПС90А и др. двигателях различных фирм (рисунок 2.10).

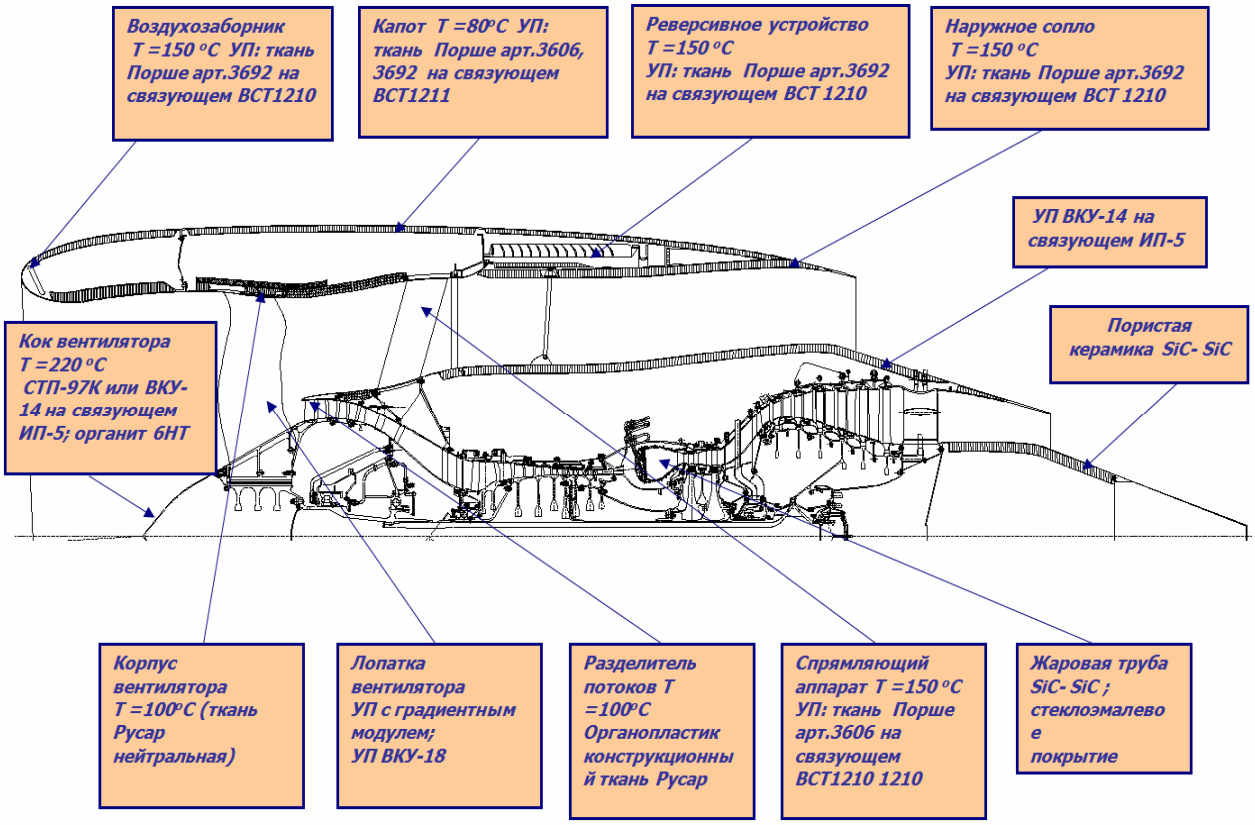



Рисунок 2.10 – Композионные материалы в двигателе ПД-14

Разработка технологии изготовления **моноколес** (блисков) осевого компрессора. Преимущества:

- Повышение КПД;
- Снижение массы;
- Увеличение циклической долговечности;
- Исключение фреттинга в замковом соединении.

Проблемы:

- Стоимости изготовления и ремонта;
- Обеспечение вибропрочности.

Так в 2009 году в ОАО «УМПО» линейной сваркой трением был сварен образец, который подтвердил заданные мехсвойства в зоне шва. В 2010 году образец лопатки моноколеса, сваренный линейной сваркой трением, подтвердил возможности приобретенного оборудования. В 2012 было создано рабочее колесо компрессора, изготовленное методом скоростного фрезерования из цельной заготовки. Прорабатываются методы демпфирования колебаний.

Работы по технологии ремонта моноколес:

- Восстановление пера электронно-лучевой сваркой (ЭЛС) с локальной термообработкой и последующей механической обработкой;

- Восстановление пера с использованием сварки трением с последующей механической обработкой;

- Восстановление пера методом лазерного плакирования («выращивание» пера) (рисунок 2.11).

Рисунок 2.11 – Образец моноколеса после выполнения плакирования

Ведется изготовление **сварных роторов** из титановых и никелевых сплавов. Преимущества таких конструкций:

- снижение массы;
- повышение жесткости;
- упрощение конструкции;
- улучшение вибрационного состояния;
- увеличение ресурса и повышение живучести.

Ротационная сварка трением позволяет получить бездефектную структуру материала (качество на уровне поковки), обеспечивая высокую надежность конструкции.

Для технологии изготовления **жаровых труб** (рисунки 2.12-2.14) предъявляются следующие требования:

- обеспечение требуемых ресурса и надежности;
- обеспечение экологических и других характеристик.

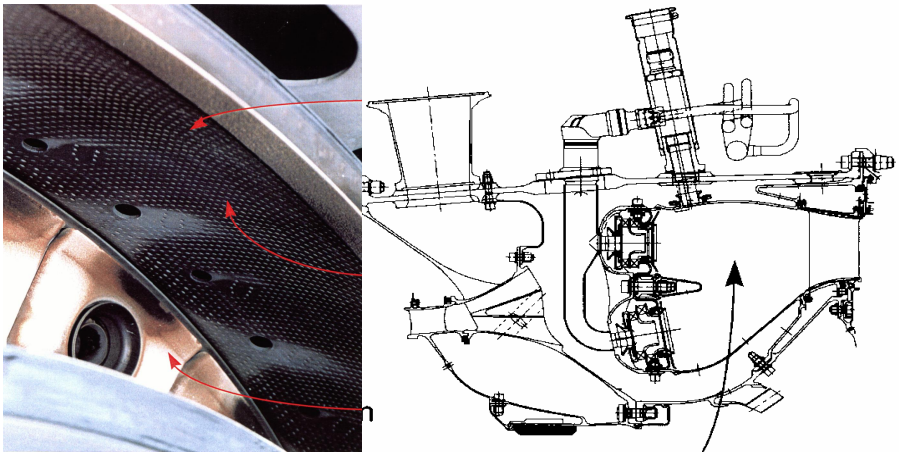


Рисунок 2.12 – Жаровые трубы камер сгорания с развитой перфорацией

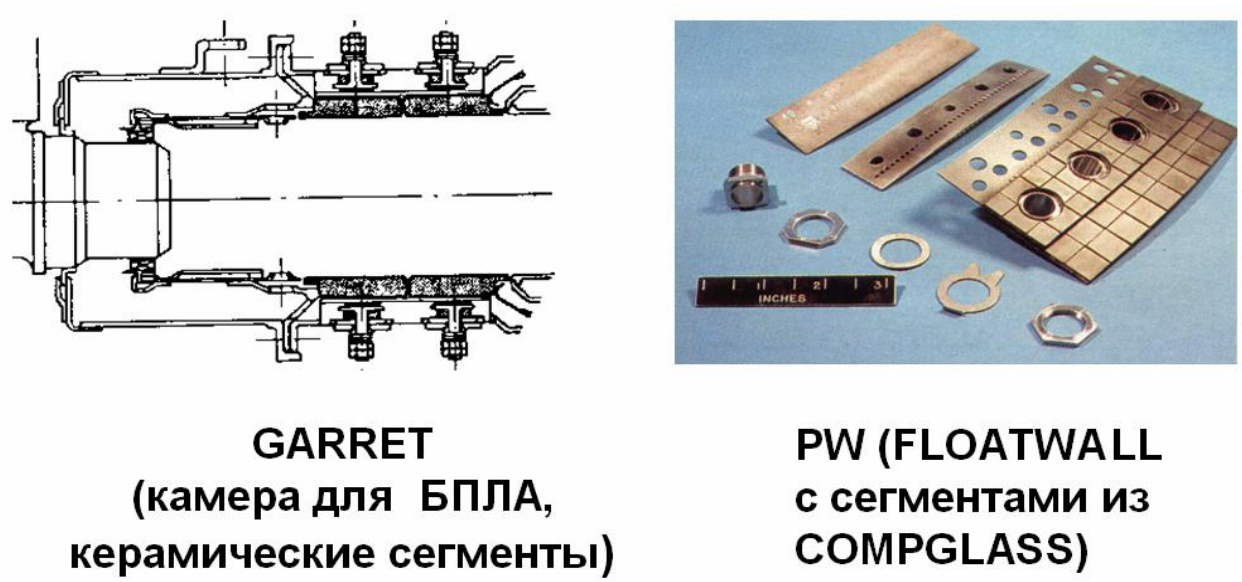



Рисунок 2.13 – Жаровые трубы камер сгорания сегментные

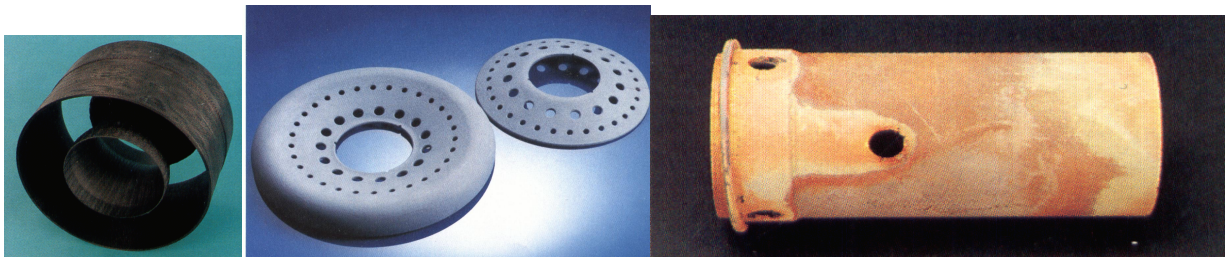


Рисунок 2.14 – Жаровые трубы камер сгорания неметаллические (IHPTET)

В ЦИАМ ведется разработка высокоэффективной системы охлаждения жаровой трубы:

1 - разработана конструкция конвективно-пленочной системы охлаждения;
2 - выполнена проверка эффективности системы охлаждения с накладными панелями;
3 - отработана технология крепления панелей к обечайке жаровой трубы;
4 - отработана технология нанесения на панели теплозащитного покрытия на основе двуокиси циркония;

5 - выполнен проверочный тепловой расчет стенки жаровой трубы при параметрах взлетного режима;

6 - проведены испытания в составе газогенератора.

Находят применение интерметаллиды и для теплозащитных панелей жаровой трубы. Цель – повышение теплостойкости стенки на 100…150 °С. На сегодняшний день:

- отработана технология изготовления элементов КС из интерметаллидного сплава ВКНА-1ВР;
- отработаны методы и средства контроля заготовок из интерметаллидных сплавов.

Программа на 2012...2015 по **оптимизации технологических решений** на ТВД включает:

1. Качество монокристаллического литья, отработка режимов и литниково - питающей системы:

- выход годного ≥ 95 %.

2. Перспективная технология нанесения ТЗП EB-PVD:

- разработка перспективных материалов покрытий;
- освоение оборудования;
- отработка технологии нанесения и ремонта.

3. Материал дисков:

- доведение характеристик дисковых сплавов до требований ТЗ № 2006- 535 (таблица 2.6).

4. Оптимизация технологий для обеспечения заданной в ТЗ себестоимости.

Таблица 2.6 – Требования ТЗ № 2006- 535

| Параметр | ТЗ № 2006-535 |
|---|---|
| $\sigma_B$ | ≥ 160 кгс/мм$^2$ |
| $\sigma_{0.2}$ | ≥ 120 кгс/мм$^2$ |
| $\delta$ | ≥ 13 % |
| $\psi$ | ≥ 13 % |
| $\sigma^{650}_{100}$ | ≥ 110 кгс/мм$^2$ |
| $\sigma^{650}_{МЦУ}$ | ≥ 112 кгс/мм$^2$ |

Идет получение деталей из гранулируемых никелевых сплавов. Гранульная (порошковая) технология – уникальный способ получения заготовок из высоколегированных труднодеформируемых никелевых сплавов, обеспечивающий малые припуска и однородность свойств материала в заготовках сложной формы.

Диски из гранулируемых сплавов применяются почти на всех перспективных двигателях (рисунок 2.15). Для исключения дефектов по границам первичных зерен необходима изотермическая штамповка. Для уменьшения количества и размеров керамических включений – использование гранул размером до 70 мкм.

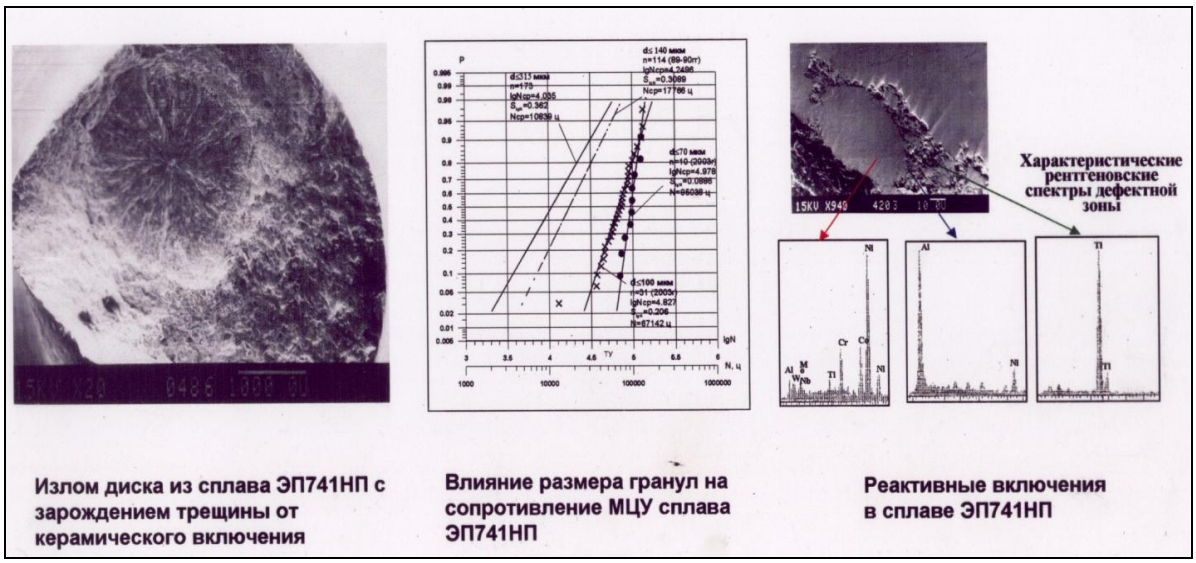



Рисунок 2.15 – Детали из гранулируемых никелевых сплавов

**Рабочая лопатка турбины** высокого давления должна удовлетворять следующим требованиям:

- монокристалл с оптимизацией ориентации;
- высокоэффективное охлаждение θ=0.56 ÷ 0.6;
- литье с высоким выходом годного;
- снижение стоимости изготовления, обслуживания и ремонта, повышение надежности;
- повышение усталостной и контактной прочности;
- D-аэродинамика и прочность с учетом нестационарных эффектов;
- повышение газодинамической эффективности и ресурса;
- износостойкое покрытие торца;
- покрытия внешних и внутренних поверхностей;
- теплозащитные покрытия;
- газостатирование;
- упрочнение хвостовика;
- оптимизированный демпфер.

На ОАО «ПМЗ» отработана технология изготовления монокристаллических рабочих лопаток ТВД из высокожаропрочных сплавов ВЖМ4 и ВЖМ5. Изготовлена опытная партия лопаток для демонстрационного газогенератора. Выход годного по литью до 76%. Совместно с ВИАМ разработана технология литья монокристаллических сопловых лопаток из интерметаллидного сплава ВКНА-1ВИ. Изготовлены сопловые лопатки для ТВД Дем.ГГ из ВКНА-1ВР. ОАО «ПМЗ» отработана технология нанесения керамического ТЗП методом APS на лопатки ТВД. Приобретено оборудование для нанесения ТЗП электронно-лучевым напылением из паровой фазы (EB/PVD) ALD, Германия.

**Биметаллический блиск** высокотемпературной турбины (лопатки – монокристаллический сплав, дисковая часть – гранулируемый сплав). Преимущества:

- уменьшение массы на 15% по сравнению со сборным ротором;
- увеличение циклической долговечности более чем в 10 раз;
- повышение КПД (за счет оптимизации густоты решетки профилей, исключения утечек в замке);
- возможность повышения частоты вращения и/или температуры газа перед турбиной.

Известные решения:

• Honywell – 20 биметаллических блисков с неохлаждаемыми лопатками 2-й ступени турбины ВСУ проходят летные проверки на 10 самолетах Boing и 10 самолетах Airbas;

• Williams Int. - блиск из трех различных сплавов с охлаждаемыми лопатками для двигателя беспилотного ЛА;

• Rolls Roys, Allison (программа IHPTET) - блиск ТВД со ступицей из гранулируемого сплава и монокристаллическими лопатками с транспирационным охлаждением (рисунок 2.16).

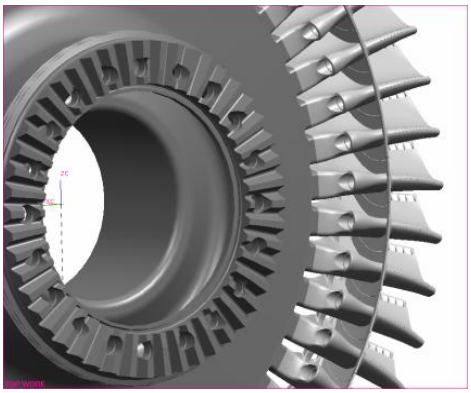


Рисунок 2.16 – Проект биметаллического блиска с охлаждаемыми лопатками

Основные проблемы:

- демпфирование колебаний лопаток;
- оптимизация режимов ГИП конструкций из разнородных сплавов;
- оптимизация конструкции с охлаждаемыми лопатками;
- разработка технологий нанесения покрытий;
- разработка ремонтных технологий.

**Применение интерметаллидов титана** в деталях ГТД в будущем найдет широкое применение:

- корпус КВД из алюминида титана;
- лопатки 4-ой ступени ТНД из алюминида титана.

Лопатки ТНД из γ-алюминида титана (γ=3,9 г/см$^3$, рабочая температура до 815°С):

- внедрены на сертифицированном GENX,
- используются на двигателе PW1000,
- запланировано применение на новых двигателях фирм RR, GE.

Выигрыш - существенное снижение массы.

Применение лопаток из γ-TiAl особенно важно в ТНД двигателей с редукторным приводом вентилятора (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Выигрыш веса от применения γ-TiAl, орто - сплава и жаропрочного титанового сплава ВТИ-4

| Деталь | Раб. лоп. 4÷6 ступени | Сопловые лоп. 5÷6 ступени | Корпус | Диски ступени 1÷6/4÷6 | Σ |
|---|---|---|---|---|---|
| ΔG кг | 37,3 | 18 | 20,8 | ~57/28,5 | 133/105 |

Ведется разработка **технологии создания щеточных и пальчиковых уплотнений**.

Неоспоримым преимуществом щеточных (пальчиковых) уплотнений по сравнению с лабиринтными является уменьшение утечек на 20-40%, что в свою очередь обеспечивает:

- снижение удельного расхода топлива на основных режимах работы двигателя в условиях Н=0 км, М=0 на ~ 0,3%;
- снижение удельного расхода топлива на основных полетных режимах работы двигателя в условиях Н=11 км, М=0,8 на ~0,2%;
- уменьшение температуры газа перед турбиной на взлетном режиме на 4ºС.

Этапы испытаний и внедрения:

- проведение испытаний опытных образцов уплотнений на стенде (Е до $700^0$С);
- выбор поставщиков на закупку спецоборудования для серийного изготовления;
- производство щеточных уплотнений.

Проводятся исследования работоспособности **подшипников с керамическими элементами**.

Керамические подшипники это:

- возможность работы без смазки;
- применение при температуре до $800^0$С;
- снижение массы в 2,5 раза.

Гибридные подшипники (кольца стальные, шарики керамические) - повышение долговечности при высоких частотах вращения за счет снижения нагрузок на наружное кольцо подшипника от действия центробежных сил и уменьшение нагрузки на шарики при повышении температуры колец подшипника.

Решена проблема посадки керамического подшипника на стальной вал и в металлический корпус.

Исследована работоспособность:

- керамических подшипников, в том числе без смазки, на частотах вращения до 65000 об/мин.($dn=3\cdot10^6$ мм·об/мин), при действии осевых (до 200 кгс) и радиальных (до 40 кгс) нагрузок;
- гибридных подшипников (шариковых, роликовых) при уменьшенном в 1,5 раза смазывании, на частотах вращения до 25000 об/мин.($dn=3{,}5\cdot10^6$ мм·об/мин) и действии осевых и радиальных нагрузок до 1800 кгс и до 550 кгс соответственно;

Испытан керамический подшипник с углерод - углеродным сепаратором.

Дальнейшие исследования:

- уточнение ресурса подшипников с керамическими элементами;
-оптимизация конструктивно-технологических решений.

**Керамические композиционные материалы** находят свое применение в:

1. СА и лопатки СА из алмаз – карбид - кремниевого материала (АККМ):
- неохлаждаемый или охлаждаемый СА;
- $T_{макс.\ раб.}$=1500°С;
- снижение массы на 30%по сравнению с мет. прототипом:

2. Жаровая труба из С/SiC
- неохлаждаемая ЖТ;
- $T_{макс.\ раб.}$=1250°С;
- снижение массы на 20% по сравнению с мет. прототипом;
- уменьшение эмиссии вредных веществ.

3. Рабочее колесо турбины из силицированного ККМ:
- неохлаждаемое РК турбины;
- $T_{макс.\ раб.}$=1250°С;
- снижение массы на 35% по сравнению с мет. прототипом.

4. Стабилизатор пламени из С/SiC:
- неохлаждаемый стабилизатор;
- $T_{макс.\ раб.}$=1250°С;
- снижение массы на 35% по сравнению с мет. прототипом.

5. Керамические тела качения из АККМ и сепаратор из углерод - углерода:
- снижение массы на 35% по сравнению с мет. телами качения;

- повышение долговечности гибридных подшипников (по сравнению со стальными);

- Снижение требований к смазке и охлаждению (керамических подшипников).

Необходимо создание и обеспечение серийного выпуска бескерновых волокон SiC и армированных этими волокнами композиционных материалов.

**Композиционные материалы на металлической матрице** находят свое применение в:

1. Рабочая лопатка вентилятора с несущими стержнями из AlB и полая лопатка вентилятора из Ti/SiC:

- снижение массы на 30 - 40% по сравнению со сплошной титановой лопаткой,
- повышение надежности.

2. Блинговая конструкция ротора КВД из Ti ($Ti_3Al$) /SiC:

- снижение массы на 70% по сравнению с ротором из никелевых сплавов,
- повышение надежности,
- снижение удельного расхода топлива.

3. Диск КВД с составной конструкцией полотна с применением Ti/SiC:

- снижение массы на 30 % по сравнению с титановым диском.

4. Валы винта и КНД из Ti/SiC:

- снижение массы на 45-50% по сравнению с конструкцией из стали,
- повышение надежности.

5. Элементы системы подвески из Ti/SiC:

- снижение массы на 40% по сравнению с тягой из стали,
- повышение надежности.

Необходимо создание и обеспечение серийного выпуска керновых волокон SiC и армированных этими волокнами композиционных материалов.

Основные вопросы **обеспечения конструкционной прочности** двигателя изображены на рис. 2.17.

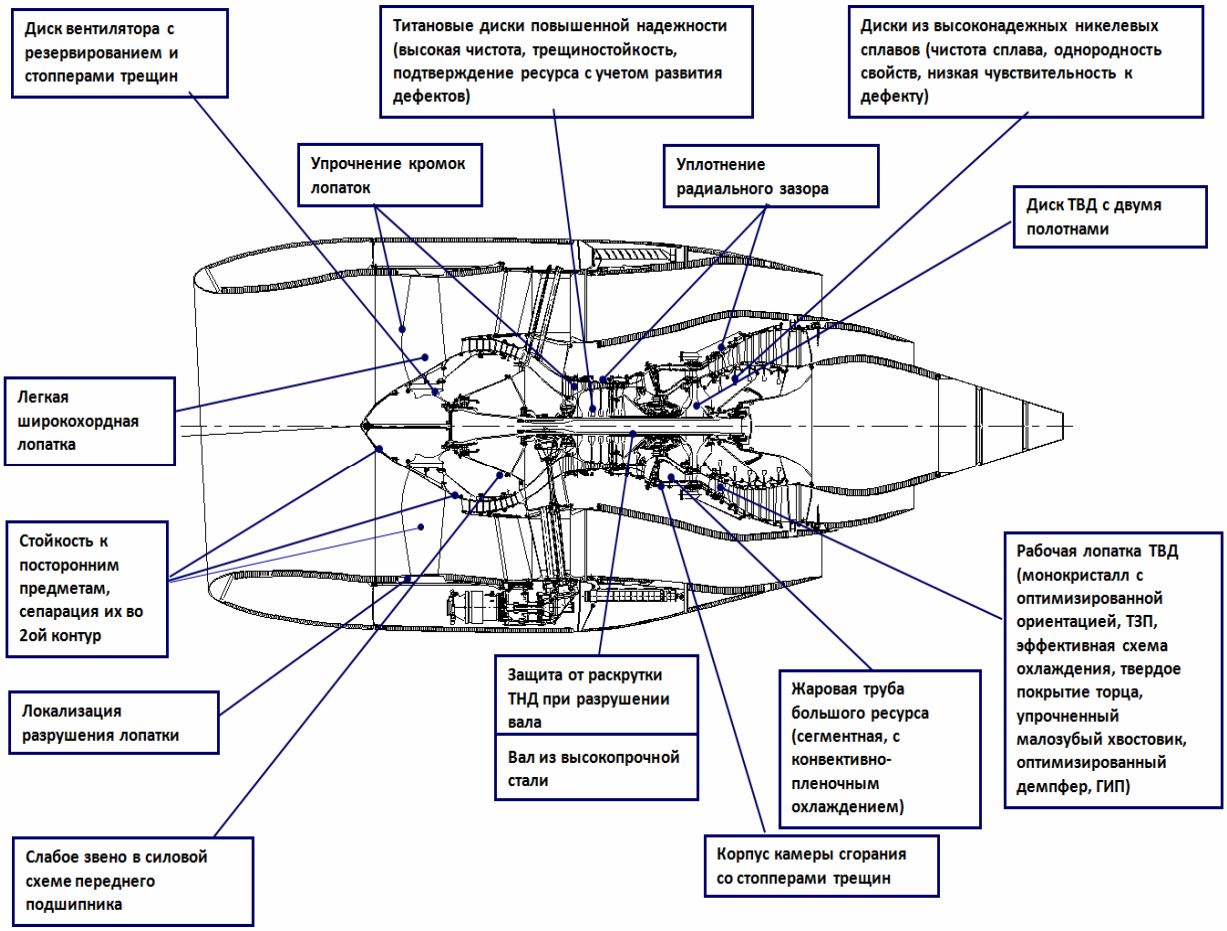



Рисунок 2.17 – Конструкционная надежность двигателя

Могут применяться только технологии, доведенные до VI уровня технологической готовности. Пример одного технического решения приведен на рис. 2.18.

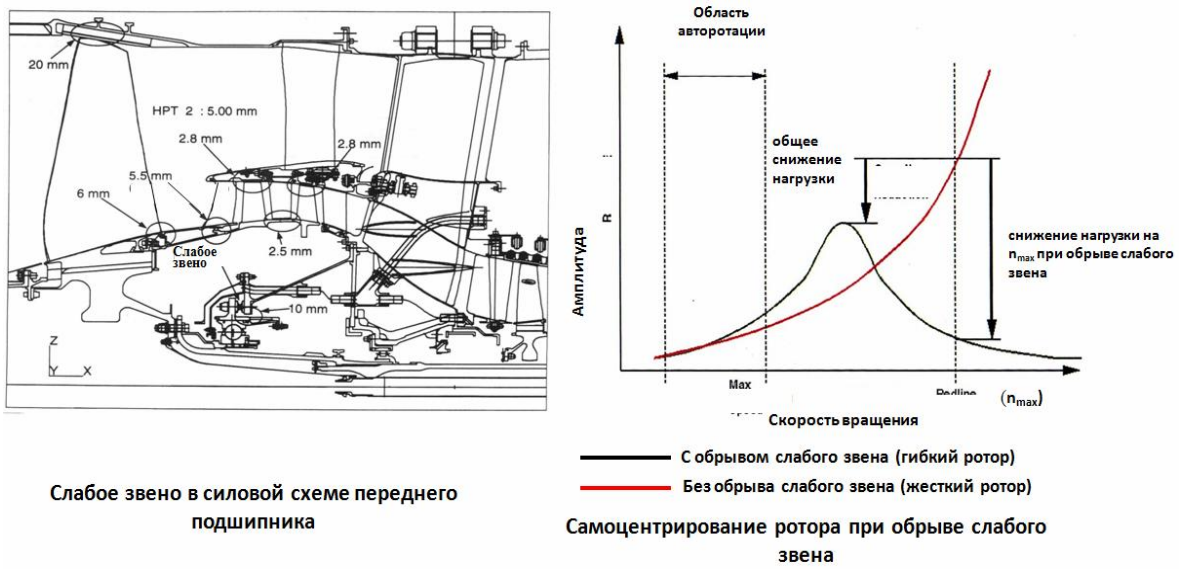



Рисунок 2.18 – Снижение критичности обрыва рабочей лопатки вентилятора

Ведется разработка конструкции для ПД-14 ОАО «НПО «Сатурн», ОАО «Авиадвигатель», ФГУП «ЦИАМ».

Консервативный **подход к назначению ресурса** основных деталей с учетом наличия включений и других возможных дефектов (рисунок 2.19).

1. Подтверждение ресурса до появления трещины малоцикловой усталости (МЦУ) без учета начальных дефектов на основе использования расчетов по моделям высокого уровня и банка данных по сопротивлению материала детали МЦУ.

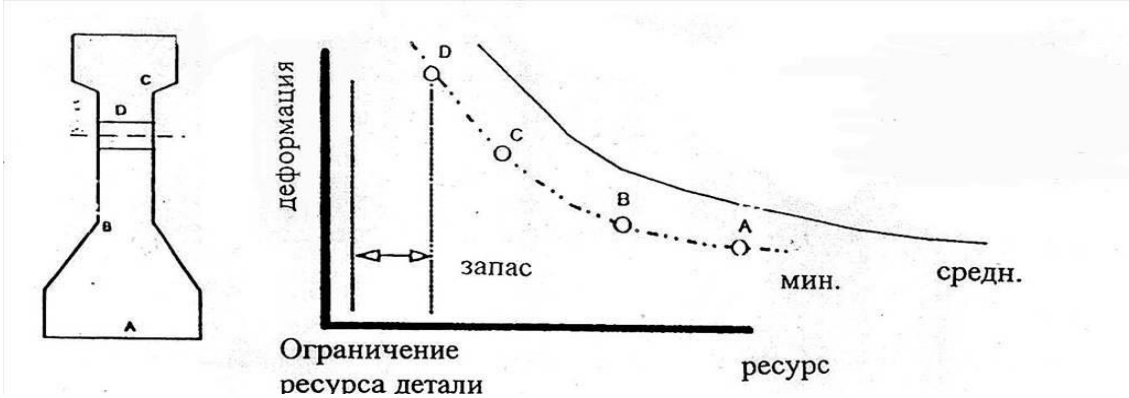



Рисунок 2.19 – Консервативный подход к назначению ресурса

2. Подтверждение ресурса с учетом безопасного развития имеющихся дефектов.

Подтверждение ресурса с использованием банка данных по конструкционной прочности сплавов (и верификация методики). Верификация методики по имеющимся на предприятиях отрасли расчетно-экспериментальным данным. Требуется проведение следующих работ:

- исследование малоцикловой усталости материала на основе результатов испытаний образцов и основных деталей; создание банка данных по конструкционной прочности сплавов;

- проведение специальных испытаний на образцах и модельных деталях с целью подтверждения статистической достоверности расчетной долговечности, полученной с использованием банка данных по конструкционной прочности сплавов;

- исследование опыта эксплуатации основных деталей (создание банка данных по отказам основных деталей в эксплуатации).

Верификация методики прогнозирования долговечности основных деталей с возможными дефектами:

- расчетные оценки долговечности на основе конечно-элементных моделей высокого уровня, испытаний и фрактографических исследований стандартных образцов;

- определение долговечности по результатам испытаний и фрактографических исследований специальных образцов, имитирующих фронты развития трещин реальных деталей ГТД;

- определение долговечности по результатам испытаний и фрактографических исследований реальных деталей ГТД.

По результатам расчетов и экспериментов производится построение и сопоставление кинетических диаграмм для специальных, стандартных образцов и деталей.

Современное оборудование позволяет оценить:

- контроль появления трещины во время эксперимента;
- контроль вытяжки ротора во время эксперимента;
- возможность задания сложных циклов нагружения;
- высокоскоростная видеосъемка.

# 3 НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАРУБЕЖНЫХ АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ ПО СОЗДАНИЮ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Создание новых технологий играет ключевую роль в обеспечении конкурентоспособности авиационной техники. В целях достижения максимально возможного уровня технического совершенства, снижения сроков и стоимости создания двигателя проводится опережающая разработка новых технических решений и их проверка при испытаниях узлов, демонстрационных газогенераторов и двигателей. Для этого зарубежные компании при активной поддержке государства, отвечающего за технологический уровень развития ключевых отраслей промышленности, принимают участие в специальных программах разработки новых технологий, которые могут иметь национальный (IHPTET, VAATE, UEET, QAT, Engine 3E и др.), межнациональный (Европейские рамочные программы) или международный (TECH56, LEAP56, Vista и др.) статус.

В работах по разработке новых технологий принимают участие все ведущие зарубежные производители авиационных двигателей. Финансирование таких работ осуществляется как за счет бюджетных, так и за счет собственных средств компаний. Доля бюджетного финансирования зависит от целей программы и необходимого уровня готовности разрабатываемых технологий и в среднем составляет -50% от стоимости работ, в то время как объемы финансирования работ из собственных средств компаний постоянно увеличиваются и составляют от -4% до -14% от общей выручки.

При этом следует отметить, что ведущие зарубежные авиадвигателестроительные компании могут разрабатывать одну и туже технологию в рамках нескольких программ одновременно, акцентируя внимание на решении одной или нескольких задач. Такой подход позволяет использовать различные источники финансирования и ускорить процесс разработки новых технологий.

В связи с усложнением авиационной техники объем финансирования программ постоянно увеличивается и в настоящее время составляет несколько миллиардов долларов в год (бюджетные и собственные средства компаний). Если в 1960... 1980-х гг. из бюджета в основном финансировались программы, связанные с разработкой технологий для двигателей военного назначения, то в последние годы значительно увеличивается финансирование программ по "двойным" технологиям и улучшению экологических характеристик авиационных двигателей.

Ниже рассмотрены направления деятельности и ряд программ ведущих зарубежных авиадвигателестроительных компаний по разработке новых технологий в основном для двигателей пассажирских самолетов и вертолетов.

## Программы компании General Electric

Компания General Electric, в которой за весь комплекс работ, связанных с созданием авиационных двигателей, отвечает подразделение GE Aviation, с учетом участия в совместных предприятиях является мировым лидером по поставкам двигателей для силовых установок пассажирских самолетов ($N_{пас}$>30 чел). Чтобы удержать ведущие позиции на мировом рынке авиационных двигателей компания принимает активное участие в различных программах разработки новых технологий, проводимых как за счет собственных, так и за счет бюджетных средств. Благодаря самой большой выручке от реализации продукции и оказания услуг по ее послепродажному обслуживанию среди всех авиадвигателестроительных компаний в мире (в 2009 г. выручка GE Aviation составила ~18,7 млрд. дол), она располагает необходимыми финансовыми ресурсами для привлечения к участию в таких программах лучших специалистов со всего мира.

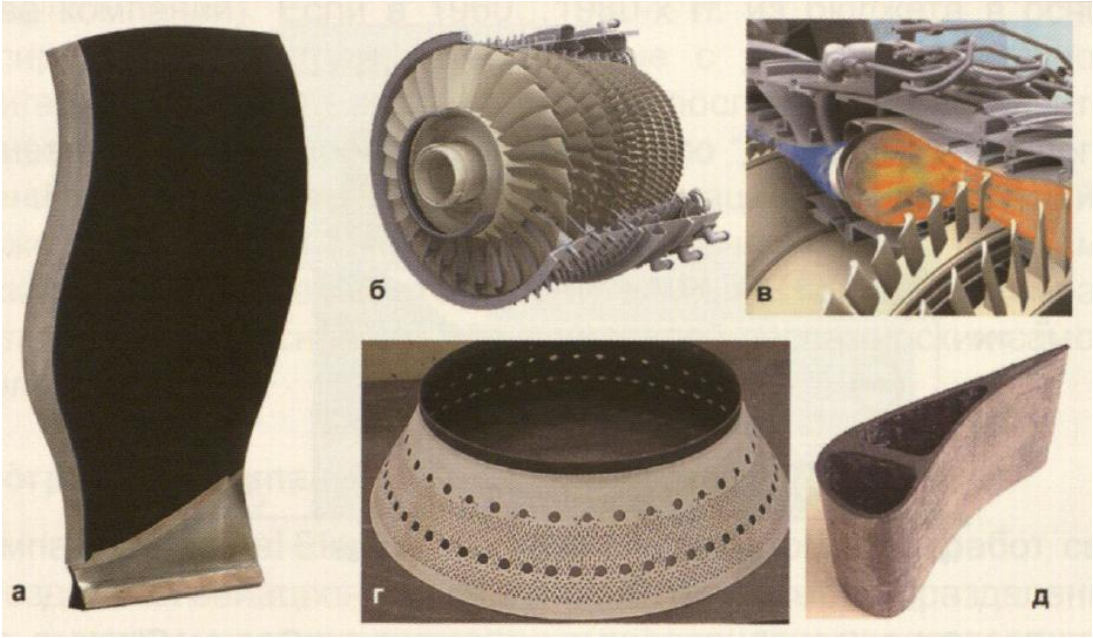
Ежегодно на новые разработки и улучшение эксплуатационных характеристик двигателей она затрачивает более 1 млрд. дол.

В настоящее время компания General Electric для силовых установок пассажирских самолетов может предложить заказчикам четыре семейства ТРДД, в которых является головным разработчиком (системным интегратором), и два семейств ТРДД, созданных совместными предприятиями с ее участием, в диапазоне взлетной тяги $R_0 \approx 40...515$ кН (рисунок 3.1). По состоянию на конец июля 2009 г. компания с учетом ее участия в совместных предприятиях поставила заказчикам более 30000 двигателей (ТРДД семейств CF34, CF6, GE90, CFM56 и GP7200) и имела твердые заказы на ~8700 двигателей, что обеспечивает загрузку ее производственных мощностей на ~5 лет (рисунок 3.1).

В ближайшие годы она расширит номенклатуру выпускаемой продукции по тяге благодаря вводу в эксплуатации ТРДД HF120 взлетной тягой $R_0 \approx 9$ кН (2011 г.), разрабатываемого совместным предприятием GE Honda Aero Engines.

Примеры новых технологий приведены на рисунках 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.

Рисунок 3.1 - Семейства двигателей компании General Electric




а - лопатка вентилятора из ПКМ;
б - высоконагруженный КВД;
в - камера сгорания TAPS;
г - жаровая труба из ККМ;
д - лопатка СА из ККМ

Рисунок 3.2 - Перспективные технологии компании General Electric

Рисунок 3.3 -. Технологии, обеспечивающие уменьшение затрат топлива

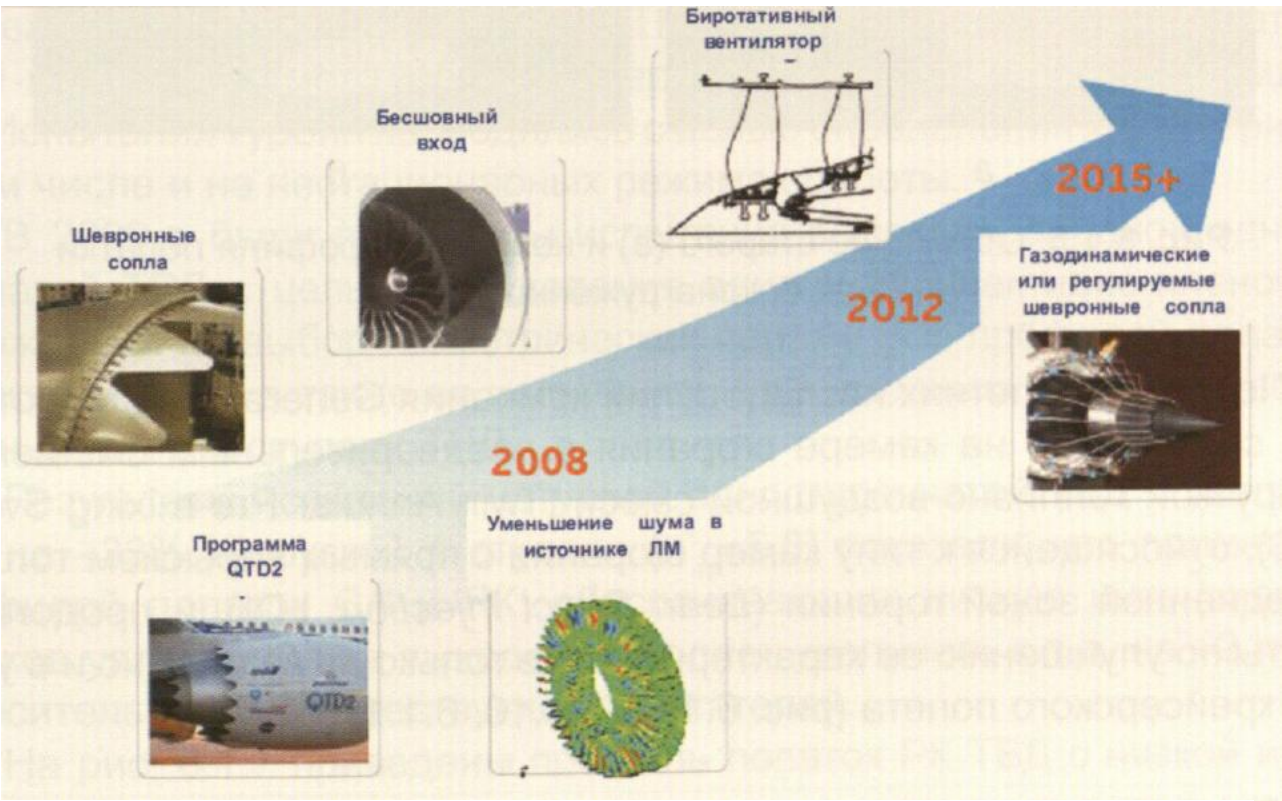



Рисунок 3.4 - Технологии, обеспечивающие уменьшение уровня шума

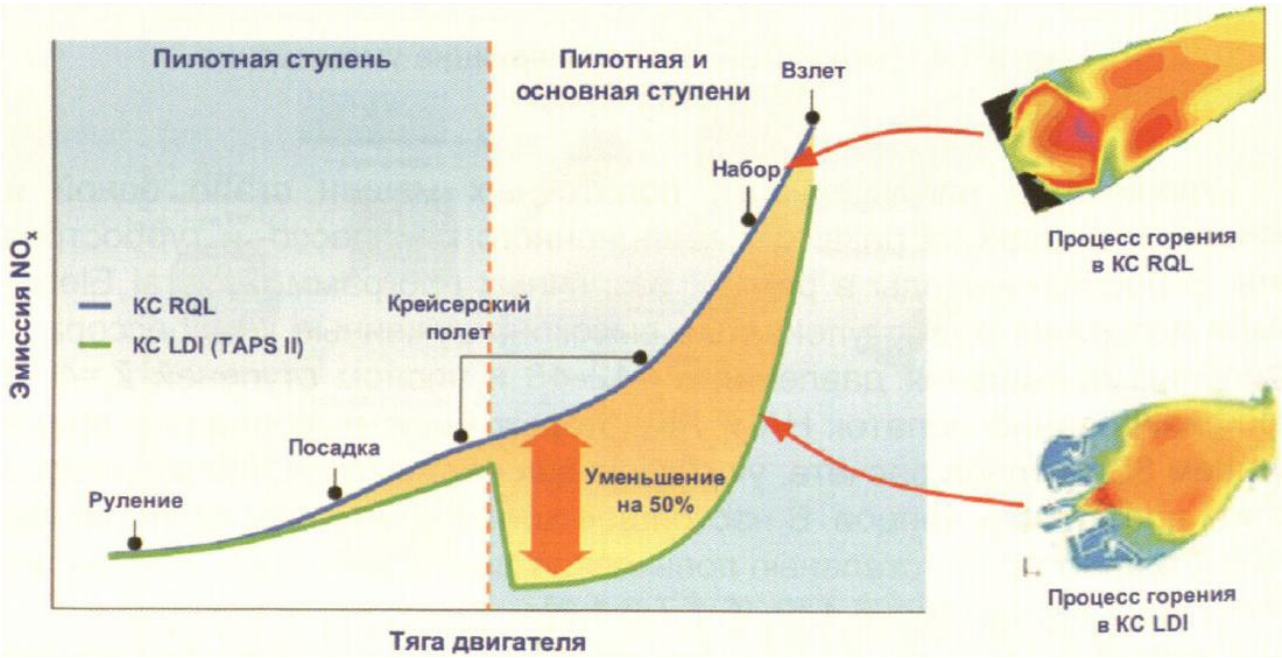



Рисунок 3.5 - Эмиссионные характеристики камер сгорания RQL и TAPS

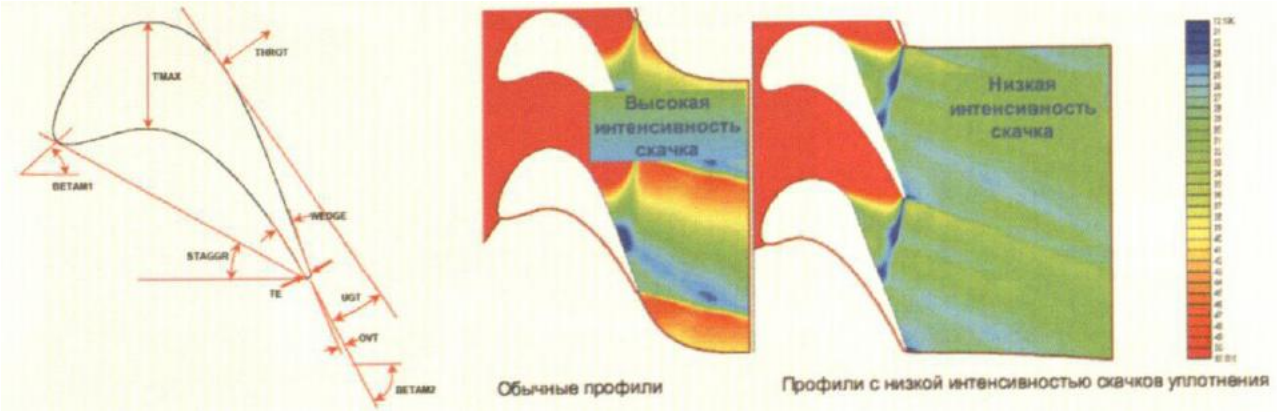



Рисунок 3.6 - Профиль лопаток РК ТВД с низкой интенсивностью скачков уплотнения на выходе и сравнение полей статического давления на выходе из турбины с разными профилями

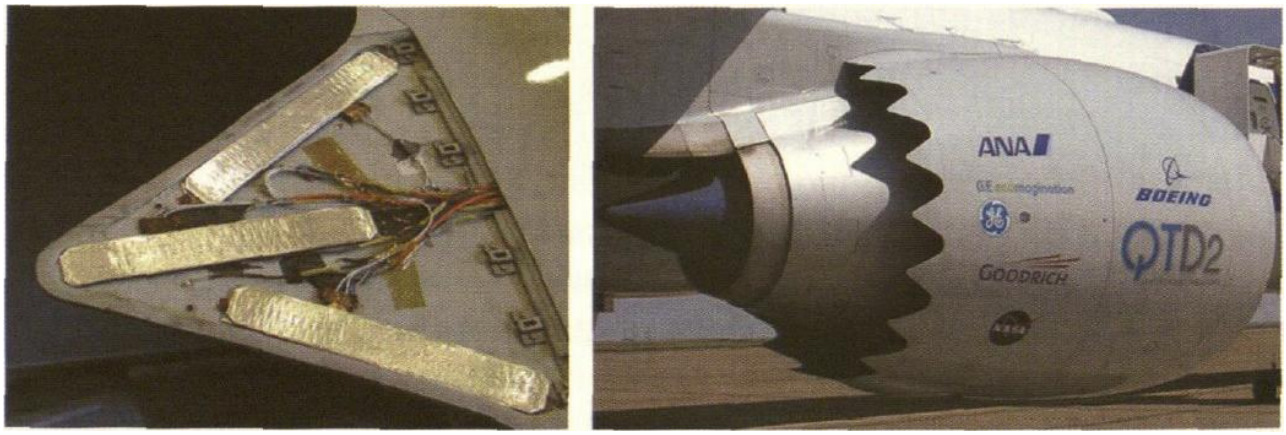
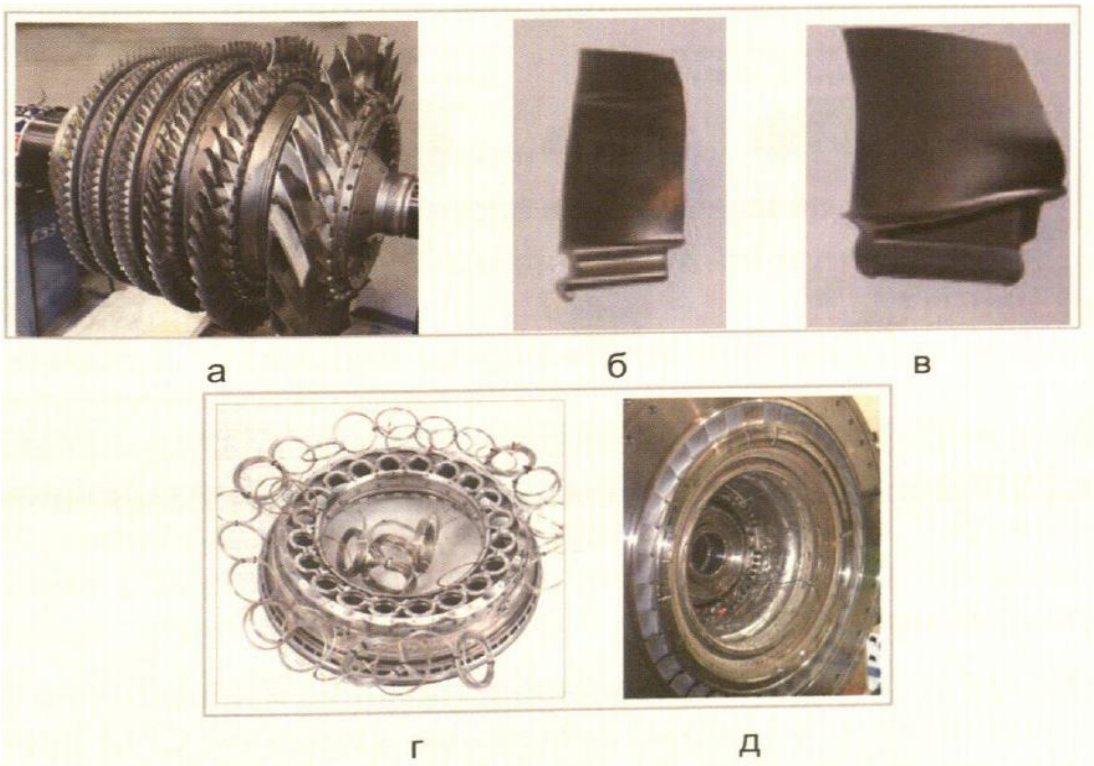



Рисунок 3.7 - Шевронное сопло из материала с памятью формы

**Программы компании CFM International**

Как уже отмечалось выше, совместное предприятие CFM International, выпускающее ТРДД семейства CFM56, является мировым лидером по поставкам двигателей для силовых установок узкофюзеляжных магистральных самолетов.
Семейство CFM56 включает шесть двигателей в диапазоне взлетной тяги $R_0$ = 82...151 кН, каждый из которых имеет ряд модификаций. В настоящее время осуществляется серийный выпуск трех двигателей этого семейства - CFM56-5B, CFM56-5C и CFM56-7B.

Для удержания своей позиции на мировом рынке CFM International, а также компании, образовавшие ее (General Electric и Snecma), принимают активное участие в программах разработки новых технологий, обеспечивая тем самым своей продукции максимально возможный уровень технического совершенства (рисунки 3.8, 3.9). В силу того, что CFM International представляет собой две компании, одна из которых зарегистрирована в США, а другая во Франции, то у нее есть возможность доступа к технологиям, разработка которых частично финансируется за счет бюджетных средств США, Франции и Европы. Кроме того, компания для этой цели использует и свои средства. Так, за период с 1995 г. по 2010 г. CFM International затратила ~2 млрд. дол на разработку новых технологий, проведение трех программ модернизаций и создание трех новых моделей двигателей.




TECH56: а - высоконагруженный 6-ступенчатый КВД ($\pi^*_К \approx 14,7$);
б - лопатка РК КВД ТРДД CFM56;
в - лопатка РК КВД по программе TECH56;
г - одноярусная кольцевая малоэмиссионная камера сгорания типа TAPS;
д - высоконагруженная одноступенчатая ТВД (($\pi^*_т \approx 4,7$)

Рисунок 3.8 - Узлы перспективного двигателя, разработанные в рамках программы

Рисунок 3.9 - Конструктивные особенности ТРДД LEAP-X

## Программы компании SAFRAN Group

В холдинговой компании SAFRAN Group за весь комплекс работ по авиационным двигателям различного назначения отвечают три компании: Snecma - за двигатели для вертолетов, Turbomeca - за двигатели для вертолетов и Microturbo - за малоразмерные короткоресурсные для крылатых ракет и вспомогательные силовые установки. Еще одна компания - Techspace Aero позицирует себя как центр компетенции по разработке КНД (подпорных ступеней) для двигателей различного назначения.

Компания *Snecma* является одним из лидеров мирового авиадви-гателестроения благодаря своему участию в совместном предприятии CFM International и ряде программ по двигателям большой тяги *($R_0$ > 200* кН) компании General Electric для силовых установок широкофюзеляжных самолетов. Участие Snecma в CFM International ограничивает ее самостоятельные действия по созданию двигателей для пассажирских самолетов величиной взлетной тяги $R_0 < 90$ кН.

Накопив достаточный опыт в разработке авиационных двигателей средней и большой размерности, компания Snecma в последние годы стремиться выйти на мировой рынок авиационных двигателей со своими собственными продуктами.

Первым шагом в этом направлении стала разработка совместно с ОАО "НПО "Сатурн" (Россия) двигателя SaM146 взлетной тягой $R_0 \approx$ *60...78* кН для силовой установки российского регионального самолета SSJ100, который в июне 2010 г. был сертифицирован EASA.

Для обеспечения конкурентоспособности своей продукции компания Snecma принимает активное участие в большом количестве программ по разработке новых технологий, финансируемых их разных источников (совместные предприятия, Евросоюз, правительство Франции, собственные средства), и с успехом применяет результаты работ в существующих двигателях и новых разработках.

Компания *Turbomeca* является мировым лидером по поставкам ТВГТД (с учетом ее участия в совместных предприятиях) для вертолетов военного и гражданского назначения. Стремясь сохранить свое лидирующее положение на мировом рынке, она также как и Snecma принимает активное участие в большом количестве программ по разработке новых технологий.

На рисунке 3.10 показаны приоритетные направления работ компании SAFRAN Group по перспективным двигателям для силовых установок пассажирских самолетов и вертолетов различного назначения.

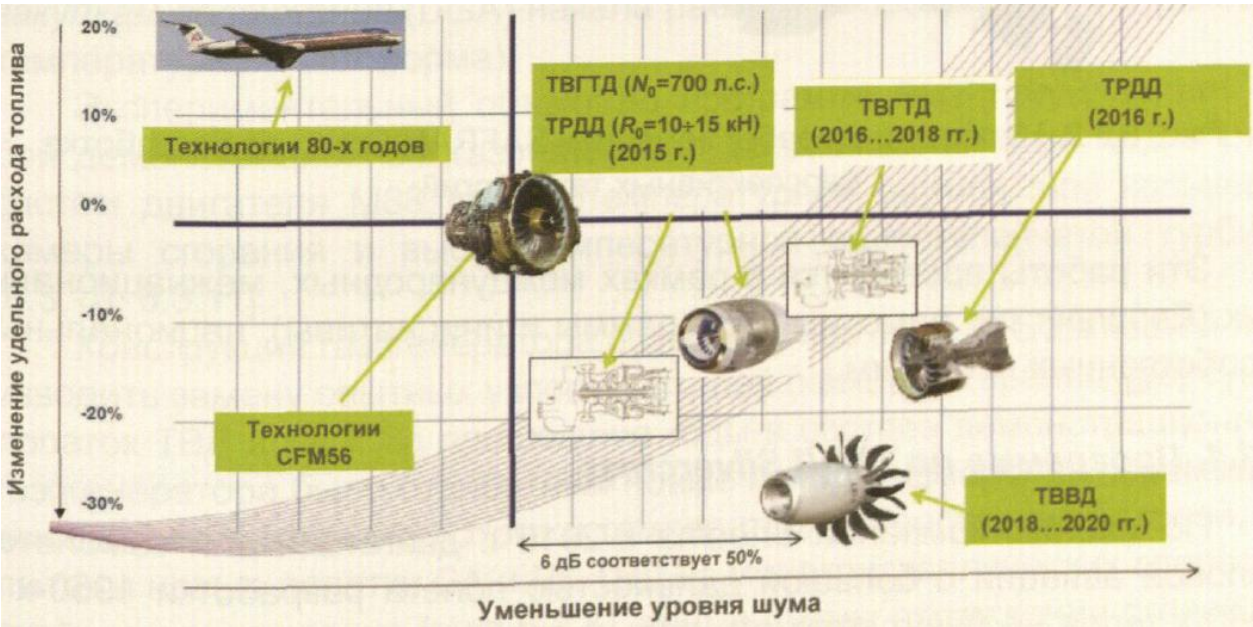



Рисунок 3.10 - Приоритетные направления работ компании SAFRAN Group по перспективным двигателям

Работы по новому семейству ТРДД LEAP-X, которое должно заменить семейство ТРДД CFM56, и перспективному ТВВД компания Snecma ведет в рамках программы LEAP56 совместно с компанией General Electric. Кроме того, работы по перспективному ТВВД ведутся и по проекту DREAM в рамках Седьмой рамочной программы и инициативы интегрированных технологий Clean Sky, финансирование которых осуществляется Евросоюзом.

Следуя общим тенденциям развития авиационных двигателей, для реализации приоритетных направлений по авиационным двигателям различного назначения компания SAFRAN Group до ~ 70% собственных средств, выделяемых на проведение исследований и разработок, направляет на создание новых технологий по узлам и системам двигателей с целью улучшения их топливной эффективности и уменьшения воздействия авиации на окружающую среду (рисунок 3.11).

Рисунок 3.11 - Направления работ компании SAFRAN Group по разработке перспективных технологий

Эти работы проводятся в рамках международных, межнациональных (Европейские рамочные программы и инициативы), национальных и собственных программ.

**Программы компании International Aero Engines AG**

Совместное предприятие International Aero Engines AG (IAE) выпускает семейство ТРДД V2500 и является основным конкурентом компании CFM International по поставкам двигателей для силовых установок самолетов семейства А320.

Семейство ТРДД V2500 включает три двигателя в диапазоне взлетной тяги $R_0 \approx 98...147$ кН, каждый из которых имеет ряд модификаций. В настоящее время осуществляется серийный выпуск одного двигателя этого семейства - V2500-A5.

Поскольку IAE является международной компанией, то она находится в уникальном положении, имея доступ к мировым перспективным технологиям, разработанным по программам, проводимым в авиад-вигателестроительной промышленности США, Великобритании, Японии и Германии. Все эти технологии прошли проверку и

применяются компаниями-акционерами в своих изделиях. К ним относятся (рисунок 3.12):

- стреловидные облегченные лопатки вентилятора, обеспечивающим уменьшение расхода топлива и уменьшение уровня шума при заданном диаметре вентилятора;
- камере сгорания TALON с плавающими стенками, обеспечивающей снижение уровня эмиссии $NO_x$;
- 3D аэродинамика, улучшающая эффективность лопаточных машин;
- новые конструкционные материалы для турбин с увеличенной долговечностью.

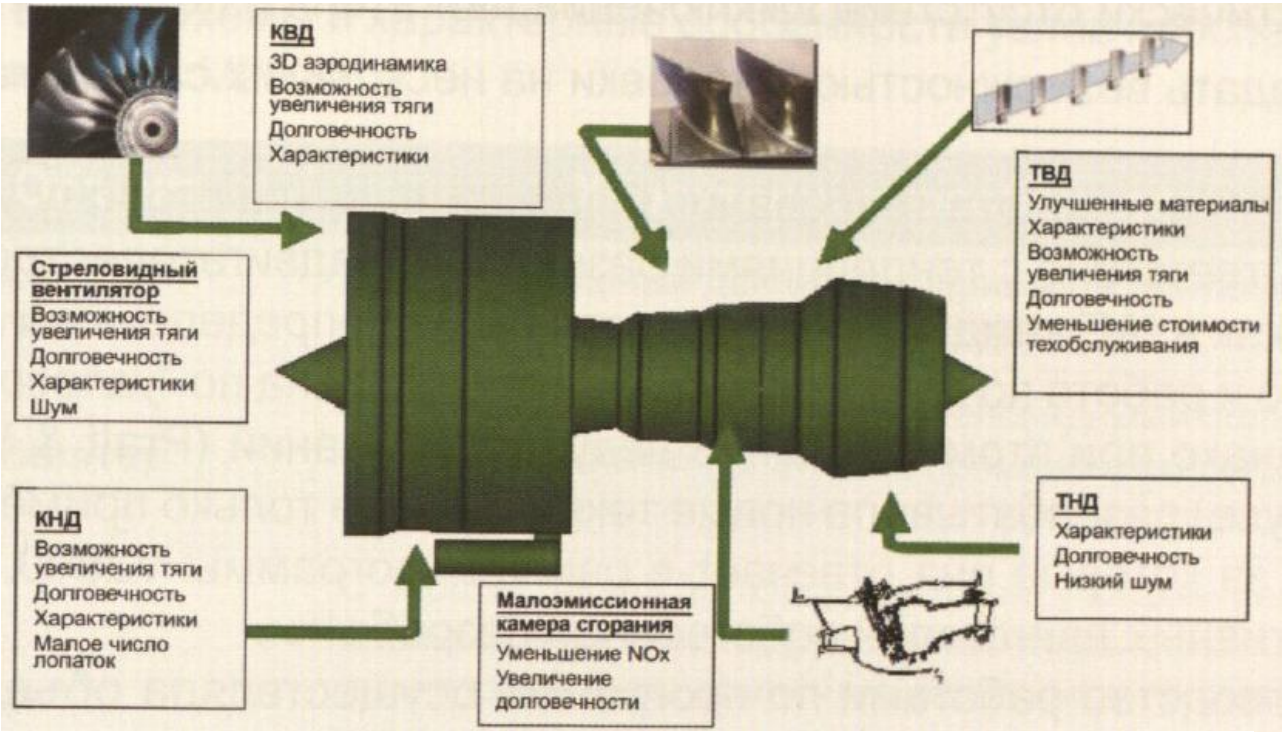



Рисунок 3.12 - Технологии, применяемые в семействе ТРДД V2500

**Программы компании Rolls-Royce**

Компания Rolls-Royce является одним из ведущих мировых производителей авиационных двигателей для пассажирских самолетов различного назначения. Такого положения она добилась не только благодаря модельному ряду, включающему двигатели в широком диапазоне взлетной тяги, но и стратегии развития компании.

Благодаря приобретению компаний *Allison Engine Company* (в настоящее время Rolls-Royce North American Technologies, Inc., США) в 1995г. и *BMW Rolls-Royce* (в настоящее время Rolls-Royce Deutschland, Германия) в 2000 г., в настоящее время Rolls-Royce имеет доступ к программам разработки новых технологий, финансируемых за счет бюджетных средств не только Великобритании, но США и Германии (рисунок 3.13).
Примеры разработки новых технологий представлены на рисунках 3.14, 3.15, 3.16, 3.17).

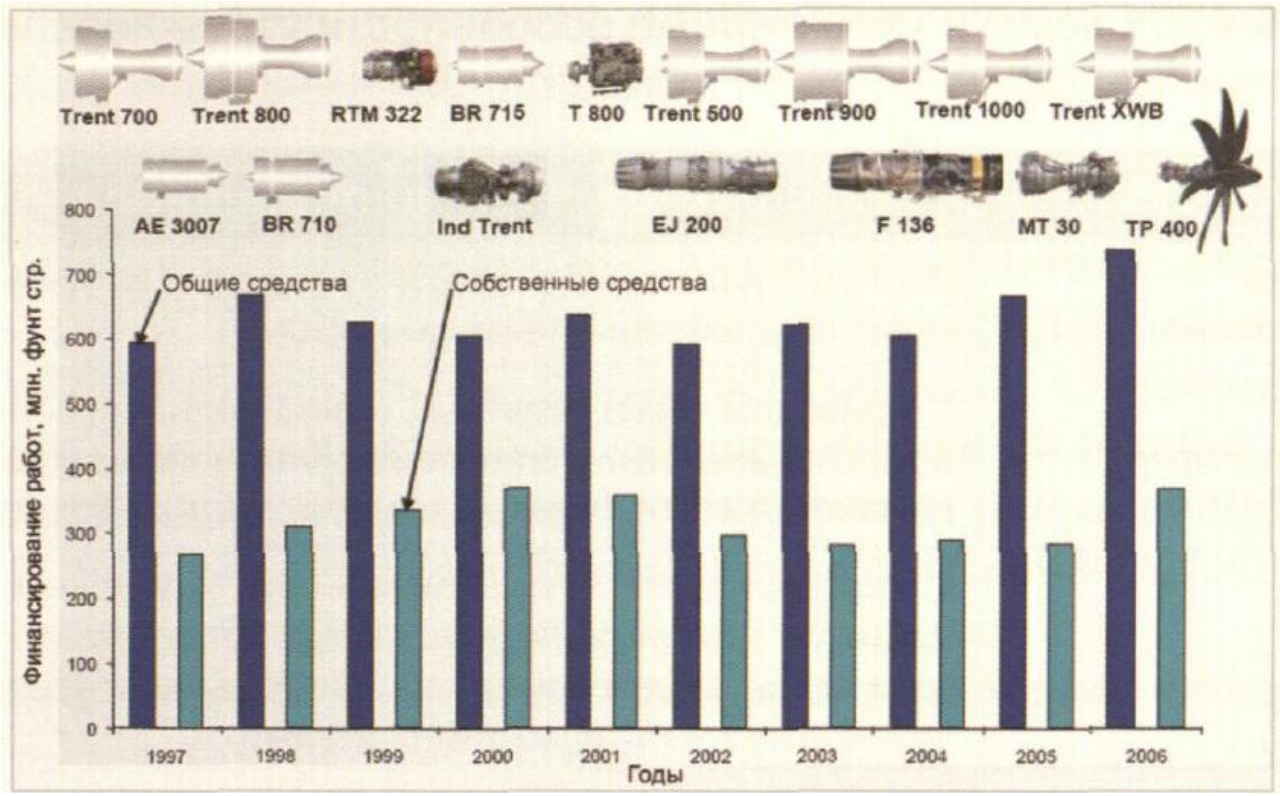



Рисунок 3.13 - Финансирование работ компанией Rolls-Royce по созданию новых технологий для перспективных двигателей

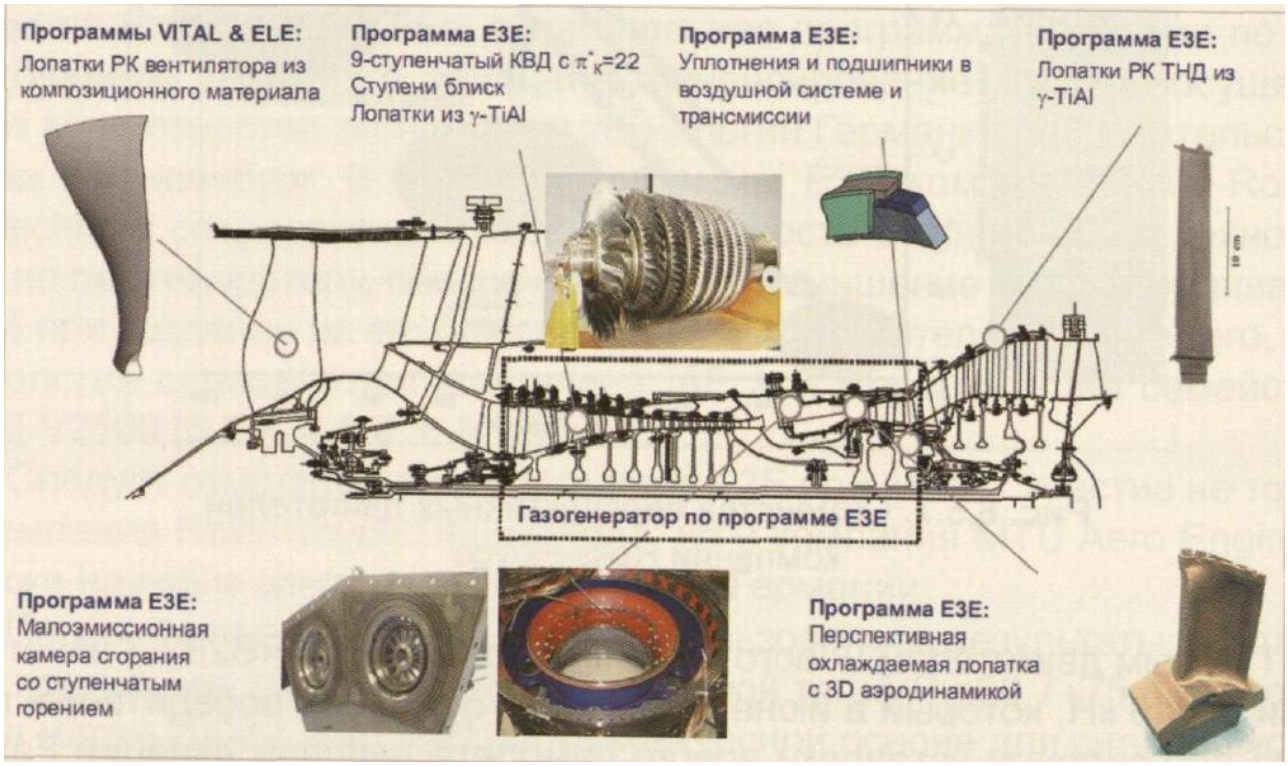



Рисунок 3.14 - Технологии 2-вального ТРДД RB282 компании Rolls-Royce Deutschland

Рисунок 3.15 - Технологии 3-вального ТРДД RB285 компании Rolls-Royce

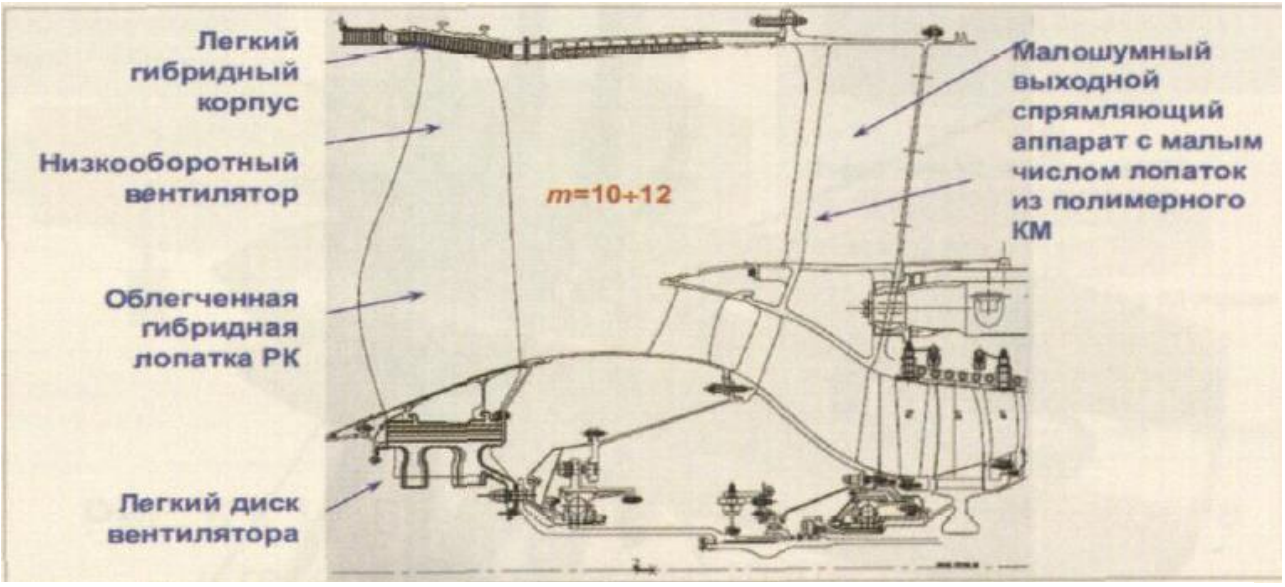



Рисунок 3.16 - Вентилятор перспективного 2-вального ТРДД компании Rolls-Royce

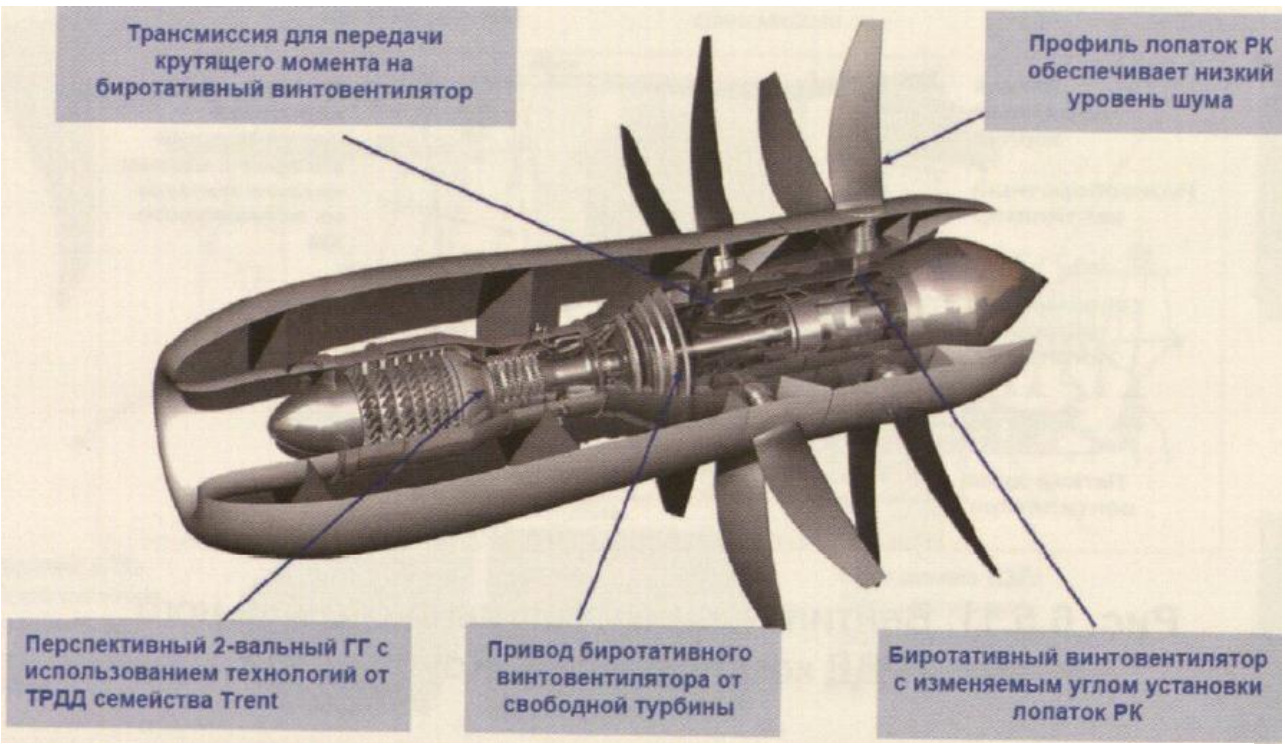



Рисунок 3.17 - Конструктивные особенности ТВВД компании Rolls-Royce

**Программы компании Pratt & Whitney**

В последние годы в связи с потерей части рынка двигателей для магистральных самолетов и определенной неудачей с поставками ТРДД PW6000 для самолета А318 компания Pratt & Whitney предпринимает активные шаги для возвращения в этот сектор мирового рынка с новым продуктом (рисунки 3.18, 3.19, 3.20).

Рисунок 3.18 - Работы компании Pratt & Whitney по созданию демонстрационных двигателей с приводом вентилятора через редуктор

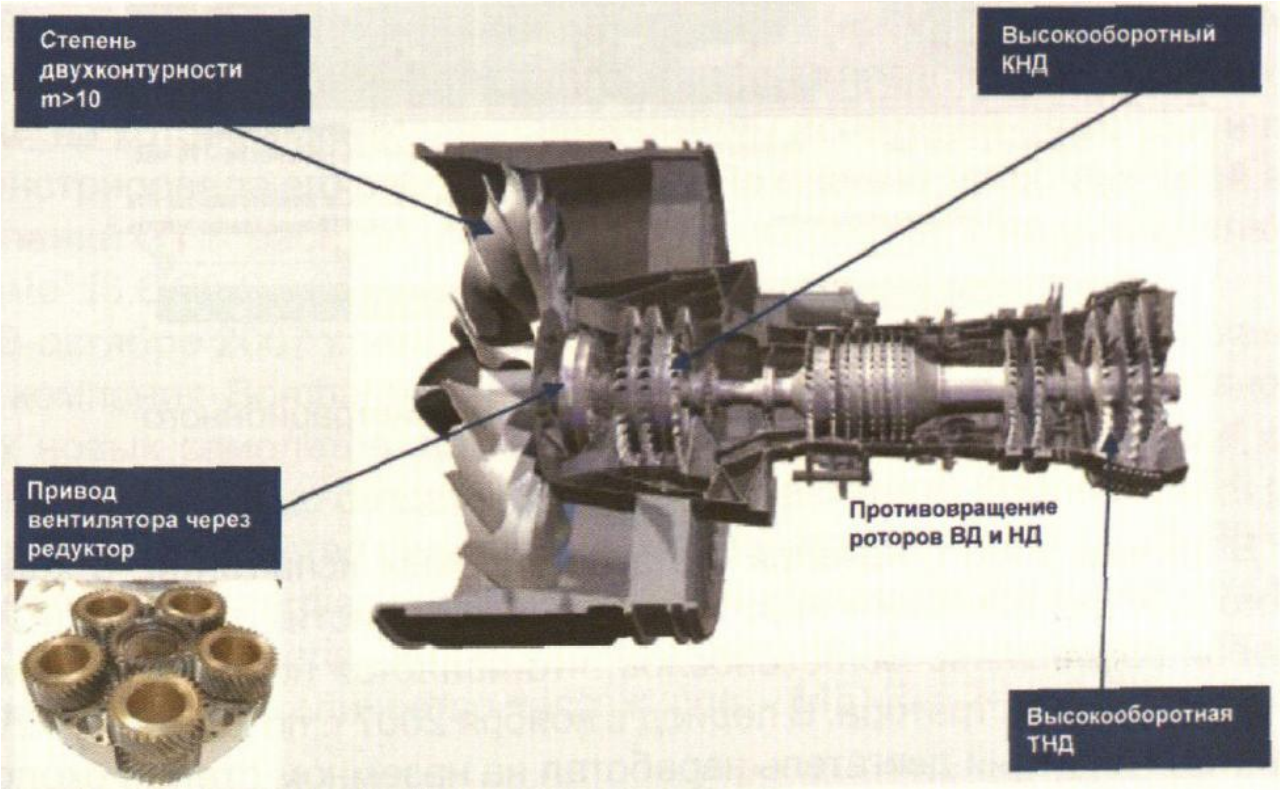



Рисунок 3.19 - Демонстрационный двигатель GTF компании Pratt & Whitney

Рисунок 3.20 - Сравнение ТНД ТРДД V2500 и GTF

**Программы компании MTU Aero Engines**

Компания MTU Aero Engines является одним из мировых лидеров по разработке высоконагруженных малоступенчатых компрессоров и высокоэффективных турбин. Именно это позволило ей стать одним из равноправных партнеров в программах создания авиационных двигателей с ведущими производителями - компаниями General Electric, Rolls-Royce и Pratt & Whitney.

В своих работах компания уделяет большое внимание разработке технологий обеспечивающих улучшение характеристик, повышение эффективности, надежности и

ресурса, снижение массы и уменьшение стоимости разработки, изготовления и эксплуатации.

На рисунках 3.21 и 3.22 показаны некоторые технологии, разработанные или разрабатываемые компанией MTU Aero Engines в рамках различных программ, направленные на создание перспективных конкурентоспособных компрессоров и турбин.

Рисунок 3.21 - Технологии перспективных конкурентоспособных компрессоров

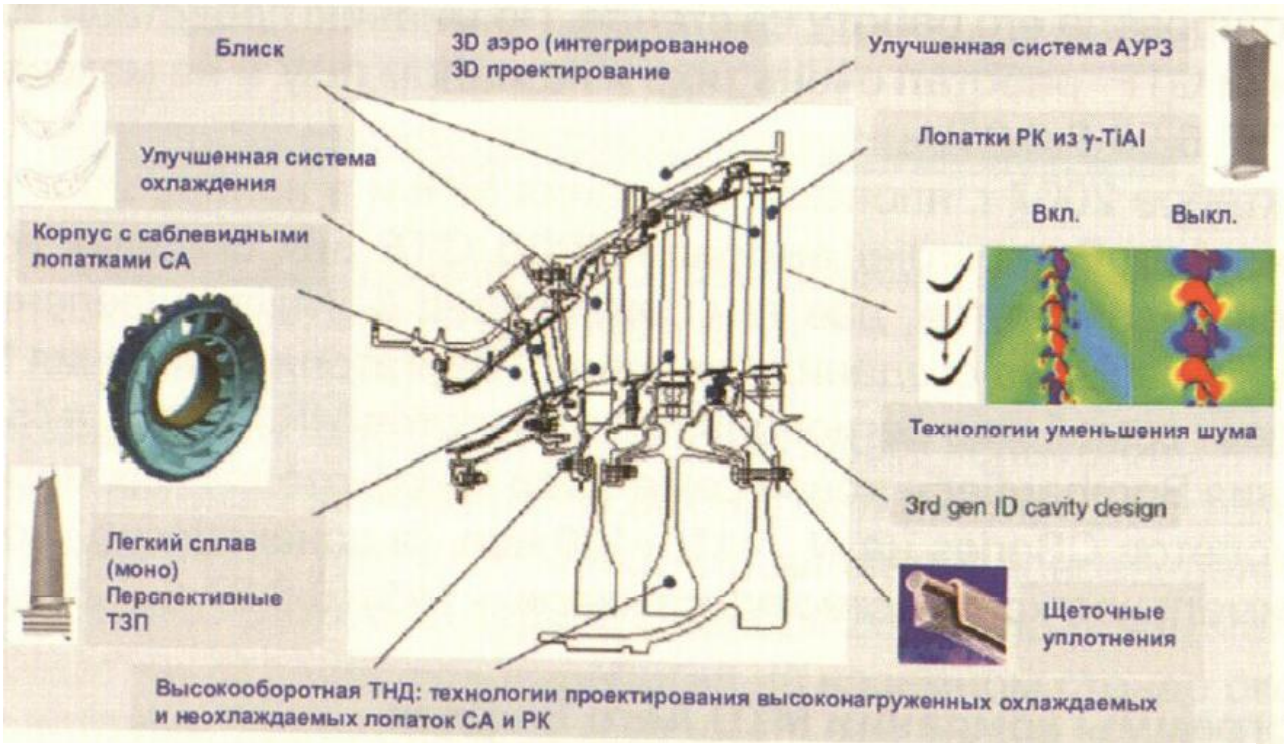



Рисунок 3.22 -. Перспективные технологии для высокооборотной ТНД

При проведении работ по этой программе компания плотно сотрудничает с самолетостроительными компаниями, так как считает, что поставленные цели могут быть реализованы с учетом улучшения аэродинамических характеристик самолета и выбора целесообразной компоновки силовой установки. Одна из возможных схем перспективного магистрального самолета показана на рисунке 3.23.

Рисунок 3.23 - Возможная схема перспективного самолета

**Программы корпорации Japanese Aero Engines Corporation (JAEC)**

В 2003 г. Министерство экономики, торговли и промышленности Японии (METI) и Организация по разработке новых видов энергии и промышленных технологий (NEDO) инициировали начало работ по 7-летним проектам *Research and Technology of Environment-Friendly, High-Perfor-mance Small Aircraft* и *Research and Technology Development in Japanese Environmentally Compatible Engine for Small Aircraft.* Целями этих проектов стала разработка технологий для перспективного регионального самолета и двигателя для его силовой установки, обеспечивающих низкий уровень шума и эмиссии вредных веществ.

В этих проектах принимают участие японские государственные организации и частные компании, в том числе и JAEC.

В рамках проекта Research and Technology of Environment-Friendly, High-Performance Small Aircraf компания Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (MHI) совместно с компанией Fuji Heavy Industries, Ltd. (FHI) и корпорацией JADC разрабатывали технологии для регионального самолета нового поколения с ТРДД, результаты работ по которому нашли свое отражение в региональном самолете MRJ.

Примеры новых технологий представлены на рисунках 3.24, 3.25.

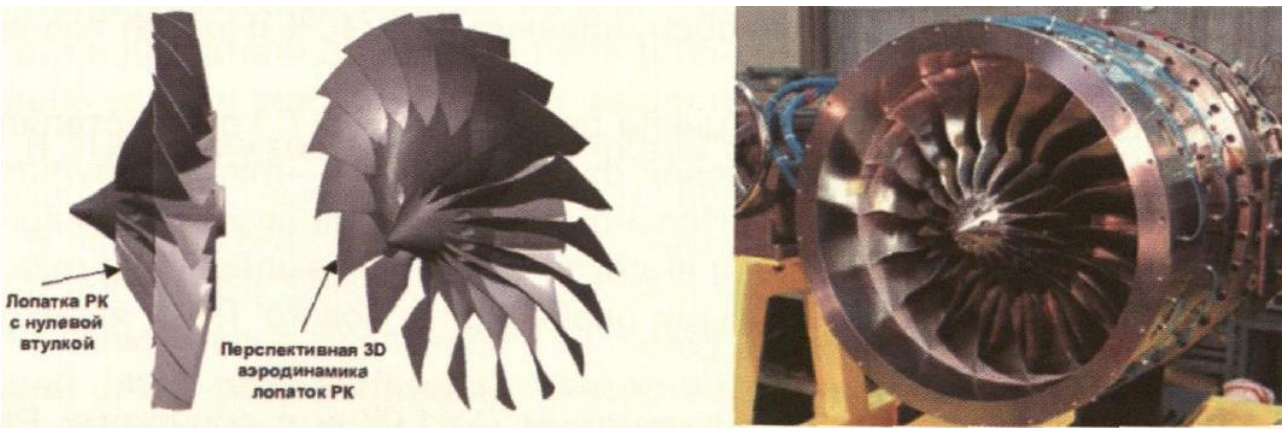



Рисунок 3.24 - Вентилятор с нулевым относительным диаметром втулки

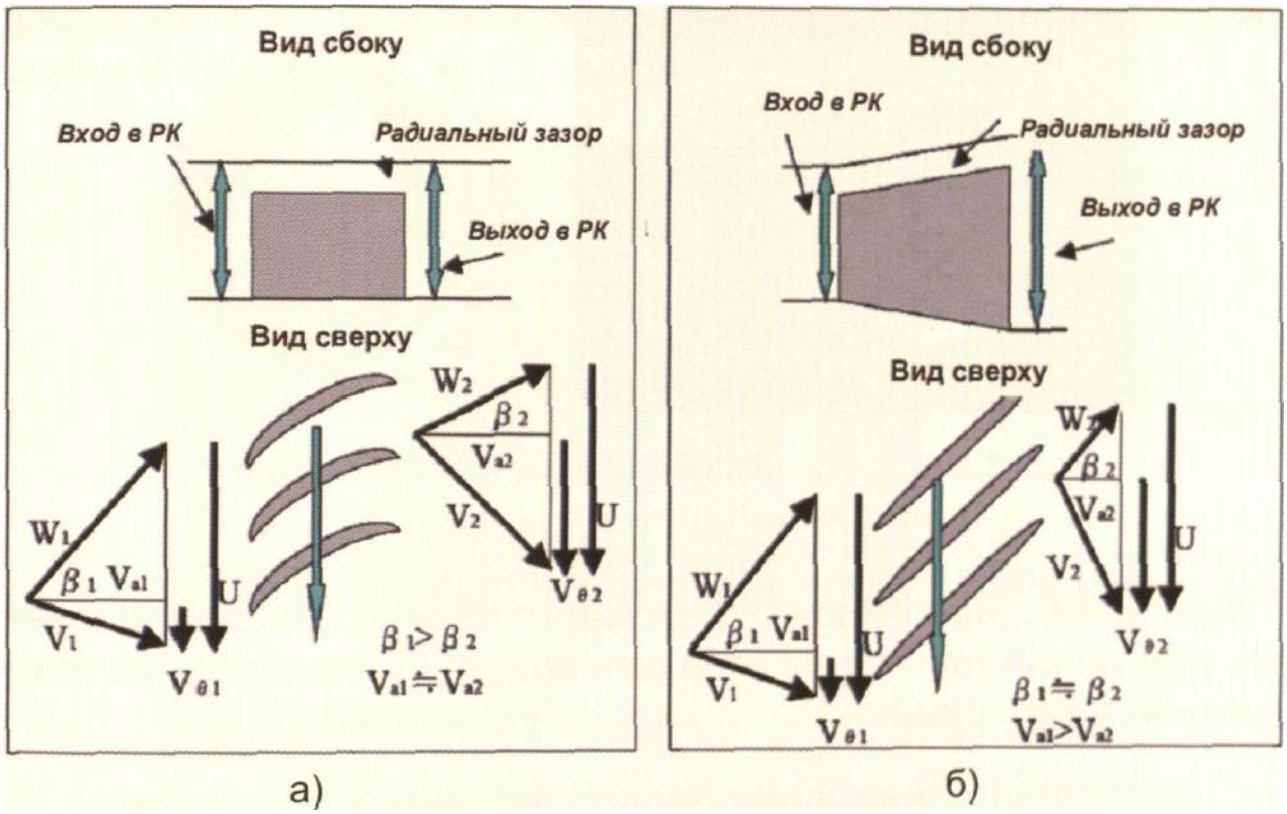



Рисунок 3.25 - Традиционная лопатка РК (а) и лопатка РК с диффузорной проточной частью (б) осевого компрессора

Интересна концепция малоэмиссионных камер сгорания (рисунок 3.26).

Наряду с характеристиками камер сгорания (диапазон устойчивой работы, область повторного запуск, работоспособность на переходных режимах и т.д.) во внимание принимались такие показатели, как стоимость изготовления и ремонтопригодность. Окончательно был выбран вариант камеры сгорания RQL с форсункой типа "air-blast" и были изготовлены одно- и 3-горелочные отсеки и натурная камера сгорания (рисунок 3.27).

Для улучшения охлаждения и уменьшения стоимости производства в камере сгорания применялась жаровая труба с двойной стенкой. Внутренняя поверхность жаровой трубы формировалась с помощью отдельных панелей со штырями и турболизаторами, изготовленными посредством высокоточного литья (рисунок 3.28).

Рисунок 3.26 - Концепции малоэмиссионных камер сгорания

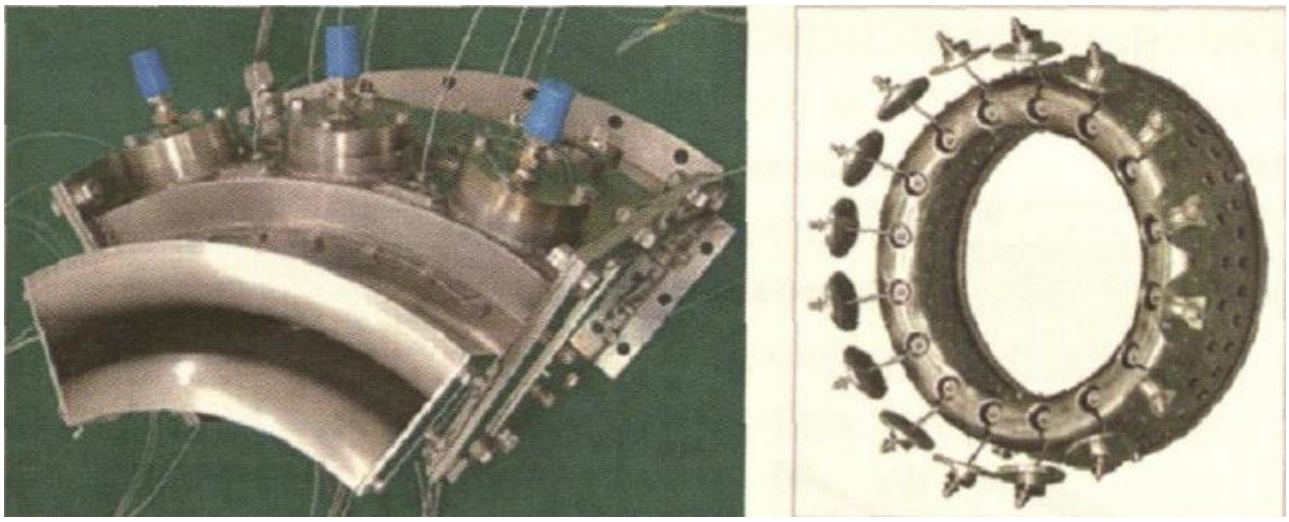


Рисунок 3.27 - 3-хгорелочный отсек и натурная камера сгорания двигателя по проекту ECO

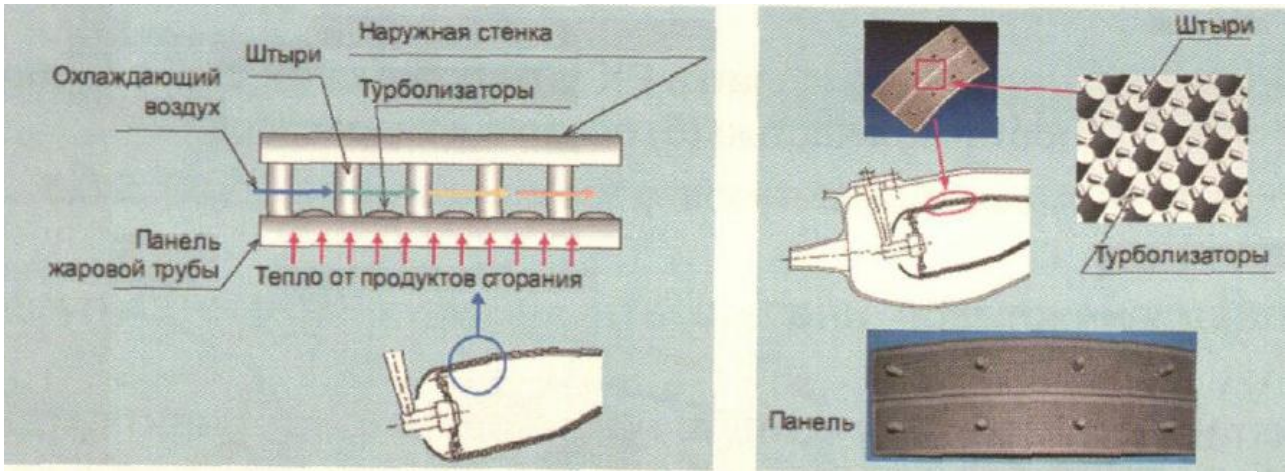



Рисунок 3.28 - Конструкция стенки жаровой трубы камеры сгорания ТРДД по проекту ECO

До начала испытаний многогорелочного отсека и натурной камеры сгорания были проведены испытания одногорелочного отсека, форсунки и панели.

Испытания одногорелочного отсека позволили определить зависимость уровня эмиссии $NO_x$ от величины коэффициента избытка воздуха в основной зоне горения.

# 4 УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ

В мировой практике разработка проектов, основанная на научных методах, поставлена на поток.

Управление проектами является неотъемлемой частью повседневной деятельности руководителей разного уровня. Многие руководители необходимость использования формализованных методов управления проектами связывают с крупными проектами. Однако, даже в организациях, ориентированных на серийное производство, реализация проектов составляет значительную часть деятельности.

Применение формализованных методов управления проектами позволяет более обоснованно определять цели инвестиций и оптимально планировать инвестиционную деятельность, более полно учитывать проектные риски, оптимизировать использование имеющихся ресурсов и избегать конфликтных ситуаций, контролировать исполнение составленного плана, анализировать фактические показатели и вносить своевременную коррекцию в ход работ, накапливать, анализировать и использовать в дальнейшем опыт реализованных проектов. Таким образом, система управления проектами является одной из важнейших компонент всей системы управления организацией.

Необходимость решения большого количества проблем, поставленных сегодня перед мировым сообществом, привело к созданию больших комплексных систем. Сложно сказать, был ли менеджмент проектов разработан в результате необходимости менеджеров в технике управления такими проблемами. Однако бесспорно то, что сегодняшние комплексные проблемы требуют объединенных усилий многих отраслей. Управление проектами обеспечивает именно такой подход к решению сложных проблем.

При определении необходимости в управлении проектами можно увидеть некоторые основные предпосылки. Каждая организация производит продукт или предоставляет услуги или же делает и то и другое. Все организации хотят работать так, что бы их товары или услуги были предоставлены в нужное время с минимальными затратами и привели бы к максимально возможному удовлетворению потребителя (заказчика). Неудачи в достижении этих целей ведут к негативным последствиям для организации.

В последние несколько десятилетий коренные изменения в технологии и глобальной конкуренции стали особенно очевидными и ощутимыми. Бизнес стал более эффективным и динамичным. Способность успешно и с минимально возможными затратами осуществлять проекты (особенно в области разработки новых продуктов) дает возможность компании существенно повысить свою конкурентоспособность.

Один из наиболее известных специалистов в области управления проектами, Гарольд Керцнер, называет «пять вопросов», которые измеряют необходимость во внедрении управления проектами в организации:

- Сложны ли проекты технически?
- Присутствую ли изменяющиеся или строгие ограничения со стороны окружающей среды или регулирующих органов?
- Строги ли временные или бюджетные рамки?
- Необходимо ли интегрировать несколько задач?
- Нужно ли расширять границы функциональности в нескольких направлениях?

Если хотя бы на один из этих вопросов положительный – то стоит задуматься о применении управления проектами в какой-либо форме.

Проекты существуют с тех пор, как существуют идеи. Строительство египетских пирамид, создание новой модели самолета, расширение существующего производства - все эти задачи, значительные по масштабу, новаторству или затратам можно считать проектами.

В основе методов управления проектами лежат методики сетевого планирования, разработанные в конце 50-х годов в США. В 1956 г. М.Уолкер из фирмы "Дюпон", исследуя возможности более эффективного использования принадлежащей фирме

вычислительной машины Univac, объединил свои усилия с Д.Келли из группы планирования капитального строительства фирмы "Ремингтон Рэнд". Они попытались использовать ЭВМ для составления планов-графиков крупных комплексов работ по модернизации заводов фирмы "Дюпон". В результате был создан рациональный и простой метод описания проекта с использованием ЭВМ. Первоначально он был назван методом Уолкера-Келли, а позже получил название Метода Критического Пути - МКП (или CPM - Critical Path Method).

Параллельно и независимо в военно-морских силах США был создан метод анализа и оценки программ PERT (Program Evaluation and Review Technique). Данный метод был разработан корпорацией "Локхид" и консалтинговой фирмой "Буз, Аллен энд Гамильтон" для реализации проекта разработки ракетной системы "Поларис", объединяющего около 3800 основных подрядчиков и состоящего из 60 тыс. операций. Использование метода PERT позволило руководству программы точно знать, что требуется делать в каждый момент времени и кто именно должен это делать, а также вероятность своевременного завершения отдельных операций. Руководство программой оказалось настолько успешным, что проект удалось завершить на два года раньше запланированного срока. Благодаря такому успешному началу данный метод управления вскоре стал использоваться для планирования проектов во всех вооруженных силах США. Методика отлично себя зарекомендовала при координации работ, выполняемых различными подрядчиками в рамках крупных проектов по разработке новых видов вооружения.

Крупные промышленные корпорации начали применение подобной методики управления практически одновременно с военными для разработки новых видов продукции и модернизации производства. Широкое применение методика планирования работ на основе проекта получила в строительстве. Например, для управления проектом сооружения гидроэлектростанции на реке Черчилль в Ньюфаундленде (полуостров Лабрадор). Стоимость проекта составила 950 млн. долларов. Гидроэлектростанция строилась с 1967 по 1976 гг. Этот проект включал более 100 строительных контрактов, причем стоимость некоторых из них достигала 76 млн. долларов. В 1974 году ход работ по проекту опережал расписание на 18 месяцев и укладывался в плановую оценку затрат. Заказчиком проекта была корпорация Churchill Falls Labrador Corp., которая для разработки проекта и управления строительством наняла фирму Acress Canadian Betchel.

По существу, значительный выигрыш по времени образовался от применения точных математических методов в управлении сложными комплексами работ, что стало возможным благодаря развитию вычислительной техники. Однако первые ЭВМ были дороги и доступны только крупным организациям. Таким образом, исторически первые проекты представляли собой грандиозные по масштабам работ, количеству исполнителей и капиталовложениям государственные программы.

Первоначально, крупные компании осуществляли разработку программного обеспечения для поддержки собственных проектов, но вскоре первые системы управления проектами появились и на рынке программного обеспечения. Системы, стоявшие у истоков планирования, разрабатывались для мощных больших компьютеров и сетей мини-ЭВМ.

Основными показателями систем этого класса являлись их высокая мощность и, в то же время, способность достаточно детально описывать проекты, используя сложные методы сетевого планирования. Эти системы были ориентированы на высокопрофессиональных менеджеров, управляющих разработкой крупнейших проектов, хорошо знакомых с алгоритмами сетевого планирования и специфической терминологией. Как правило, разработка проекта и консультации по управлению проектом осуществлялись специальными консалтинговыми фирмами.

Этап наиболее бурного развития систем для управления проектами начался с появлением персональных компьютеров, когда компьютер стал рабочим инструментом

для широкого круга руководителей. Значительное расширение круга пользователей управленческих систем породило потребность создания систем для управления проектами нового типа, одним из важнейших показателей таких систем являлась простота использования. Управленческие системы нового поколения разрабатывались как средство управления проектом, понятное любому менеджеру, не требующее специальной подготовки и обеспечивающее легкое и быстрое включение в работу.

## Определение проекта

***Проект*** *- это ограниченное по времени, целенаправленное изменение отдельной системы с установленными требованиями к качеству результатов, возможными рамками расхода средств, и ресурсов и спецификой организации.*

Характерными чертами проекта являются, как следует из определения:

- направленность на получение конкретного результата;
- ограниченность по времени и ресурсам;
- целенаправленность (координированное выполнение взаимосвязанных действий).

Кроме указанных черт, которые следуют из определения, часто проекты характеризуются еще и такой чертой, как *уникальность*. Этот признак характеризует наличие новизны (неповторимости) составляющих частей проекта и наличие новизны (неповторимости) всего проекта в целом.

Действия, выполняемые для реализации проекта, как правило, выходят за рамки обычных операций организации. Поэтому требуется другой подход к организации всего процесса работы. Наиболее необычный элемент в этом - необходимость управлять командой, состав которой, как правило, изменяется по ходу реализации проекта. Изменения в составе команды происходят из-за:

- требуемых в отдельно взятый момент времени специальных навыков и знаний;
- наличия возможности выполнения отдельных заданий у разных сотрудников из разных подразделений, а иногда и из других организаций.

***Основные признаки проекта***

В предыдущем пункте были приведены основные признаки проекта:

- направленность на достижение конкретных целей;
- координированное выполнение взаимосвязанных действий;
- ограниченная протяженность во времени, с определенным началом и концом;
- все проекты в определенной степени неповторимы и уникальны.

В общем случае, именно эти четыре характеристики отличают проекты от других видов деятельности. Каждая из названных характеристик имеет важный внутренний смысл, и поэтому их следует рассмотреть более детально.

*Направленность на достижение целей.*

Проекты нацелены на получение определенных результатов - иными словами, они направлены на достижение целей. Именно эти цели являются движущей силой проекта, и все усилия по его планированию и реализации предпринимаются для того, чтобы эти цели были достигнуты.

Проект обычно предполагает целый комплекс взаимосвязанных целей. Например, основной целью проекта, связанного с компьютерным программным обеспечением, может быть разработка информационной системы управления предприятием. Промежуточными целями (подцелями) могут быть разработка базы данных, разработка математического и программного обеспечения, тестирование системы. В разработке базы данных, в свою очередь, также могут быть выделены цели более низкого уровня - разработка логической структуры базы данных, реализация базы данных с помощью СУБД, загрузка данных и так далее.

Тот факт, что проекты ориентированы на достижение цели, имеет огромный внутренний смысл для управления ими. Прежде всего, он предполагает, что важной чертой управления проектами является точное определение и формулирование целей,

начиная с высшего уровня, а затем постепенно опускаясь до наиболее детализированных целей и задач. Кроме того, отсюда следует, что проект можно рассматривать как преследование тщательно выбранных целей, и что продвижение проекта вперед связано с достижением целей все более высокого уровня, пока, наконец не достигнута конечная цель.

*Координированное выполнение взаимосвязанных действий.*

Проекты сложны уже по самой своей сути. Они включают в себя выполнение многочисленных взаимосвязанных действий. В отдельных случаях эти взаимосвязи достаточно очевидны (например, технологические зависимости), в других случаях они имеют более тонкую природу. Некоторые промежуточные задания не могут быть реализованы, пока не завершены другие задания; некоторые задания могут осуществляться только параллельно, и так далее. Если нарушается синхронизация выполнения разных заданий, весь проект может быть поставлен под угрозу. Если немного задуматься над этой характеристикой проекта, становится очевидно, что проект - это система, то есть единое целое, складывающееся из взаимосвязанных частей, причем система динамическая, и, следовательно, требующая особых подходов к управлению.

*Ограниченная протяженность во времени.*

Проекты выполняются в течение конечного периода времени. У них есть более или менее четко выраженные начало и конец. Проект заканчивается, когда достигнуты его основные цели. Значительная часть усилий при работе с проектом направлена именно на обеспечение того, чтобы проект был завершен в намеченное время.

Отличие проекта от производственной системы заключается в том, что проект является однократной, не циклической деятельностью. Серийный же выпуск продукции не имеет заранее определенного конца во времени и зависит лишь от наличия и величины спроса. Когда исчезает спрос, производственный цикл кончается. Производственные циклы в чистом виде не являются проектами. Однако, в последнее время проектный подход все чаще применяется и к процессам, ориентированным на непрерывное производство. Проект как система деятельности существует ровно столько времени, сколько его требуется для получения конечного результата. Концепция проекта, однако, не противоречит концепции фирмы или предприятия и вполне совместима с ней. Иногда проект часто становится основной формой деятельности фирмы.

*Уникальность*

Проекты - мероприятия в известной степени неповторимые и однократные. Основные источники уникальности, могут быть заложены в специфике конкретной производственной ситуации, специфических требованиях к проекту, жестких ресурсных и/или временных ограничениях и т.п.

При реализации проекта часто приходится делать то, что никогда раньше не делалось. И поскольку прошлый опыт может в данном случае лишь ограниченно подсказывать, чего можно ожидать при выполнении проекта, проект полон риска и неопределенности.

## Классификация проектов

Проекты можно классифицировать по нескольким признакам:

а) по масштабу (размеры, стоимость количество участников) проекты могут быть поделены на:

- монопроекты
- мультипроекты
- мегапроекты

б) по типу проекты могут быть поделены на:

- технические
- экономические

- организационные
- социальные
- юридические
- другие типы (в зависимости от отрасли главной цели проекта).
- смешанные (сочетающие в себе несколько типов)

в) по длительности проекты могут быть поделены на:
- краткосрочные (до 1 года)
- среднесрочные (от 1 года до 5 лет)
- долгосрочные (свыше 5 лет)

г) по сложности проекты могут быть поделены на:
- простые
- сложные
- очень сложные

д) проекты могут быть классифицированы по видам в зависимости от характера предметной области проекта.

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ

Управление проектами заключается в осуществлении и доведении проекта до логического завершения путем организации и управления людьми, временем, издержками и ресурсами. Как уже было отмечено, каждый проект содержит в себе несколько отличительных черт, делающих его уникальным. Отчасти из-за своей уникальности проект – изначально рискованное мероприятие.

Управление проектом – это такой подход к реализации проекта, при котором полномочия и ответственность за реализацию проекта передаются проект-менеджеру. При этом он, как правило, обладает полномочиями нанимать специалистов со стороны или привлекать к работе над проектом других членов организации, независимо от их должностного положения.

***Управление проектом*** *– это применение знаний, способностей, инструментов и технологий к широкому диапазону различных действий для того, чтобы выполнить цели проекта.*

Американская общественная организация «Институт управления проектами» (Project Management Institute (PMI®)) приводит следующее определение управления проектами:

*«Управление проектом - это искусство руководства и координации людских и материальных ресурсов на протяжении жизненного цикла проекта путем применения современных методов и техники управления для достижения определенных в проекте результатов по составу и объему работ, стоимости, времени, качеству и удовлетворению участников проекта».*

Можно сказать, что управление проектом – это и наука, и искусство. Искусство, поскольку оно (управление проектом) требует навыков, такта и интуиции в управлении людьми. Наука – потому, что необходимо глубокое знание разнообразных приемов и способов срочно направлять усилия в нужное русло, притом, что сроки и ресурсы - ограничены, а бюджет строго определен.

Управление проектом - интегрированный процесс. Действия (или их отсутствие) в одном направлении обычно влияют и на остальные направления. Такая взаимосвязь заставляет балансировать между задачами проекта - часто улучшение в одной области может быть достигнуто лишь за счет ухудшения в другой. Для лучшего понимания интегрированной природы управления проектом опишем его через процессы, из которых оно состоит и их взаимосвязи.

***Жизненный цикл проекта и фазы проекта***

Полная совокупность различных стадий развития проекта образуют *жизненный цикл проекта.* Начало жизненного цикла проекта совпадает по времени с началом проекта, а его окончание – с завершением проекта.

Любой проект проходит через определенные фазы в своем развитии. Фазы жизненного цикла проекта могут различаться в зависимости от сферы деятельности и принятой системы организации работ. Однако, у каждого проекта можно выделить начальную (прединвестиционную) стадию, стадию реализации проекта и стадию завершения работ по проекту. Понятие жизненного цикла проекта является одним из важнейших для менеджера, поскольку именно текущая стадия определяет задачи и виды деятельности менеджера, используемые методики и инструментальные средства.

Наиболее традиционным является разбиение проекта на четыре крупных этапа: разработка концепции проекта, планирование (разработка), реализация и завершение. Уровень усилий, прилагаемых для успешного осуществления проекта, возрастает до стадии реализации проекта, а затем постепенно уменьшается. Изменение уровня усилий по фазам проекта показано на рисунке 4.1.

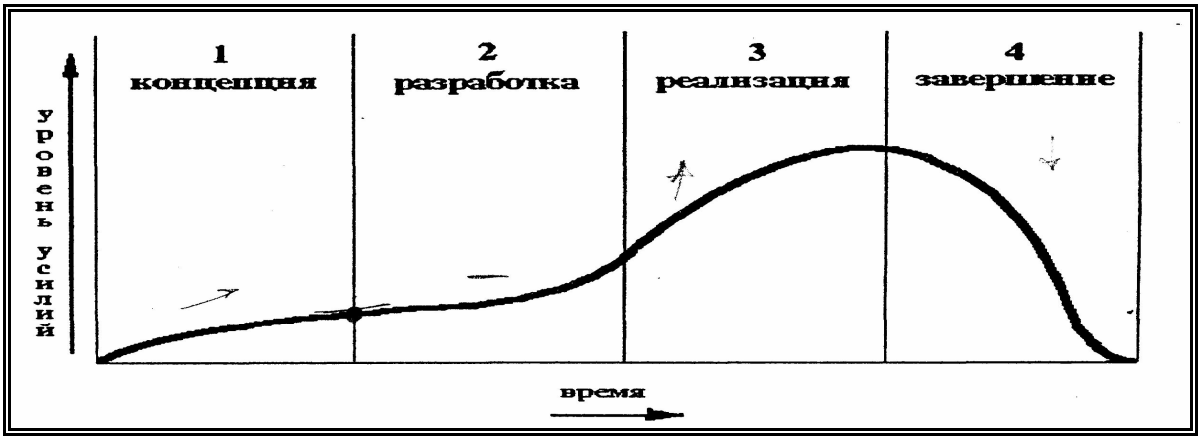



Рисунок 4.1 - Фазы жизненного цикла проекта

Рассмотрим фазы жизненного цикла проекта подробно.

***Концепция проекта***

Разработка концепции проекта, по существу подразумевает функцию выбора проекта. Проекты инициируются в силу возникновения потребностей, которые нужно удовлетворить. Однако, в условиях дефицита ресурсов невозможно удовлетворить все потребности без исключения. Решения принимаются исходя из наличия ресурсов, и в первую очередь - финансовых возможностей, сравнительной важности удовлетворения одних потребностей и игнорирования других, сравнительной эффективности проектов. Решения по отбору проектов к реализации тем важнее, чем масштабнее предполагается проект, поскольку крупные проекты определяют направление деятельности на будущее (иногда на годы) и связывают имеющиеся финансовые и трудовые ресурсы.

Определяющим показателем здесь является альтернативная стоимость инвестиций. Иными словами, выбирая проект "А", а не проект "В", организация отказывается от тех выгод, которые мог бы принести проект "В".

Для сравнительного анализа проектов на данном этапе применяются методы проектного анализа, включающие в себя финансовый, экономический, коммерческий, организационный, экологический, анализ рисков и другие виды анализа проекта.

***Разработка (Планирование)***

Разработка (планирование) в том или ином виде производится в течение всего срока реализации проекта. В самом начале жизненного цикла проекта обычно

разрабатывается неофициальный предварительный план - грубое представление о том, что потребуется выполнить в случае реализации проекта. Решение о выборе проекта в значительной степени основывается на оценках предварительного плана. Формальное и детальное планирование проекта начинается после принятия решения о его реализации. Определяются ключевые точки (вехи) проекта, формулируются задачи (работы) и их взаимная зависимость. Именно на этом этапе используются системы для управления проектами, предоставляющие руководителю проекта набор средств для разработки формального плана: средства построения иерархической структуры работ, сетевые графики и диаграммы Гантта, средства назначения и гистограммы загрузки ресурсов.

Как правило, план проекта не остается неизменным, и по мере осуществления проекта подвергается постоянной корректировке с учетом текущей ситуации.

***Реализация (Осуществление)***

После утверждения формального плана на менеджера ложится задача по его реализации. По мере осуществления проекта, руководители обязаны постоянно контролировать ход работ. Контроль заключается в сборе фактических данных о ходе работ и сравнении их с плановыми. К сожалению, в управлении проектами можно быть абсолютно уверенным в том, что отклонения между плановыми и фактическими показателями случаются всегда. Поэтому, задачей менеджера является анализ возможного влияния отклонений в выполненных объемах работ на ход реализации проекта в целом и в выработке соответствующих управленческих решений. Например, если отставание от графика выходит за приемлемый уровень отклонения, может быть принято решение об ускорении выполнения определенных критических задач, за счет выделения на них большего объема ресурсов.

***Завершение***

Проект заканчивается, когда достигнуты поставленные перед ним цели. Иногда окончание проекта бывает внезапным и преждевременным, как в тех случаях, когда принимается решение прекратить проект до его завершения по графику. Когда проект заканчивается, его руководитель должен выполнить ряд мероприятий, завершающих проект. Конкретный характер этих обязанностей зависит от характера самого проекта.

## Процессы управления проектом

Проект состоит из процессов. Процесс - это совокупность действий, приносящая результат. Процессы проекта делятся на две основные группы:

*Процессы управления проектами* - касающиеся организации и описания работ проекта;

*Процессы, ориентированные на продукт* - касающиеся спецификации и производства продукта. Эти процессы определяются жизненным циклом проекта и зависят от области приложения.

В проектах процессы управления проектами и процессы, ориентированные на продукт, накладываются и взаимодействуют. В частности, цели проекта не могут быть определены при отсутствии понимания того, как создать продукт.

Процессы управления проектами могут быть разбиты на шесть основных групп, реализующих различные ***функции*** управления:

*процессы инициации* - принятие решения о начале выполнения проекта;

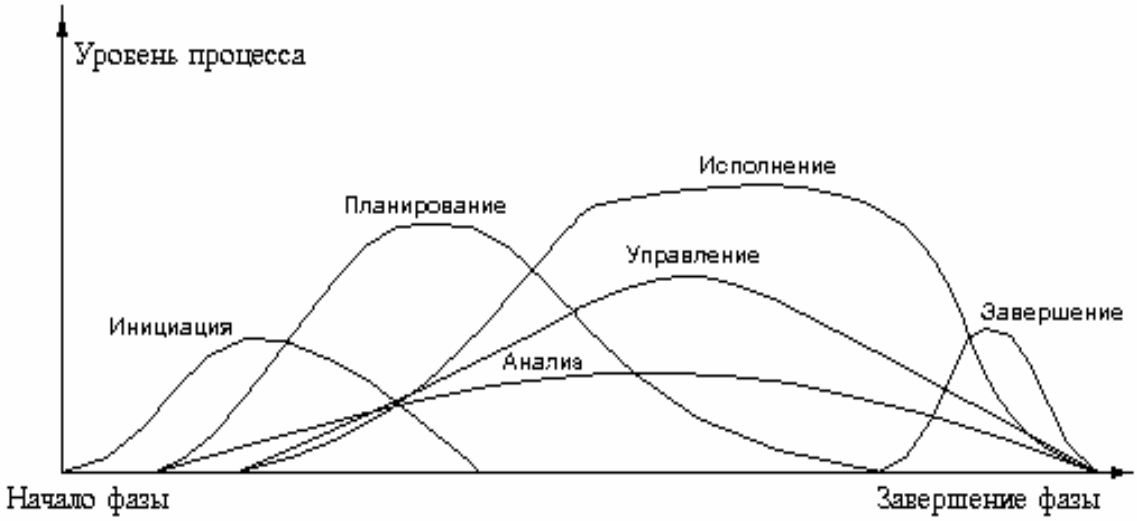
*процессы планирования* - определение целей и критериев успеха проекта и разработка рабочих схем их достижения;

*процессы исполнения* - координация людей и других ресурсов для выполнения плана;

*процессы анализа* - определение соответствия плана и исполнения проекта поставленным целям и критериям успеха и принятие решений о необходимости применения корректирующих воздействий;

*процессы управления* - определение необходимых корректирующих воздействий, их согласование, утверждение и применение;
*процессы завершения* - формализация выполнения проекта и подведение его к упорядоченному финалу.

Процессы управления проектами накладываются друг на друга и происходят с разными интенсивностями на всех стадиях проекта, как проиллюстрировано на рисунке




4.2.

Рисунок 4.2 - Процессы управления проектами

Кроме того, процессы управления проектами связаны своими результатами - результат выполнения одного становится исходной информацией для другого...

И, наконец, имеются взаимосвязи групп процессов различных фаз проекта. Например, закрытие одной фазы может являться входом для инициации следующей фазы (пример: завершение фазы проектирования требует одобрения заказчиком проектной документации, которая необходима для начала реализации).

В реальном проекте фазы могут не только предшествовать друг другу, но и накладываться. Повторение инициации на разных фазах проекта помогает контролировать актуальность выполнения проекта. Если необходимость его осуществления отпала, очередная инициация позволяет вовремя это установить и избежать излишних затрат.

*Процессы инициации*

Инициация включает единственный подпроцесс - решение начать следующую фазу проекта.

*Процессы планирования*

Планирование имеет большое значение для проекта, поскольку проект содержит то, что ранее не выполнялось. Планирование включает сравнительно много процессов. Однако не следует считать, что управление проектами это в основном планирование. Усилия, прилагаемые для планирования, следует соизмерять с целями проекта и полезностью полученной информации.

В ходе исполнения проекта процессы планирования многократно повторяются. Изменениям могут подвергнуться цели проекта, его бюджет, ресурсы и т.д. Кроме того, планирование проекта - это не точная наука. Различные команды проекта могут разработать различные планы для одного и того же проекта.

*Процессы исполнения и контроля*

Под исполнением подразумеваются процессы реализации составленного плана. Исполнение проекта должно регулярно измеряться и анализироваться для того, чтобы выявить отклонения от намеченного плана и оценить их влияние на проект. Регулярное

измерение параметров проекта и идентификация возникающих отклонений далее также относится к процессам исполнения и называется *контролем исполнения*. Контроль исполнения следует проводить по всем параметрам, входящим в план проекта.

*Процессы анализа*

Процессы анализа включают как анализ плана, так и анализ исполнения проекта.

В результате анализа либо принимается решение о продолжении исполнения проекта по намеченному ранее плану, либо определяется необходимость применения корректирующих воздействий

*Процессы управления*

Управление исполнением проекта - это определение и применение необходимых управляющих воздействий с целью успешной реализации проекта. Если исполнение проекта происходит в соответствии с намеченным планом, то управление фактически сводится к исполнению - доведению до участников проекта плановых заданий и контролю их реализации. Эти процессы включаются в процессы исполнения. Другое дело, если в процессе реализации возникли отклонения, анализ которых показал, что необходимо определение и применение корректирующих воздействий. В этом случае требуется найти оптимальные корректирующие воздействия, скорректировать план оставшихся работ и согласовать намеченные изменения со всеми участниками проекта.

Итак, процессы управления предназначаются для определения, согласования и внесения необходимых изменений в план проекта. Такие процессы управления часто называются управлением изменениями и инициируются процессами анализа.

*Процессы завершения*

Завершение проекта сопровождается следующими процессами:

- закрытие контрактов - завершение и закрытие контрактов, включая разрешение всех возникших споров;
- административное завершение - подготовка, сбор и распределение информации, необходимой для формального завершения проекта.

***Структура проекта***

Как было отмечено ранее, проекты ориентированы на достижение конкретных целей в рамках жестко ограниченных ресурсов и ограничения по времени. Для достижения поставленных перед проектом цели она разбивается на несколько составляющих элементов (целей следующего уровня). Ресурсы, выделенные для реализации проекта в целом, так же распределяются между целями 2-го уровня. Для каждой из этих целей назначаются сроки получения конечных результатов (которые определяют временные ограничения для составляющих проект задач) и назначаются члены команды проекта, ответственные за данное направление.

После того, как проект в целом детализирован до целей второго уровня и определены ресурсы, временные и другие ограничения для достижения этих целей, описанный цикл декомпозиции повторяется по отношению к целям второго уровня и т.д. до тех пор, пока не будет получен план действий, детализированных до целей и задач наименьшего уровня.

Полученная таким образом иерархическая структура задач представляет собой «***дерево целей***» данного проекта.

**Дерево целей**

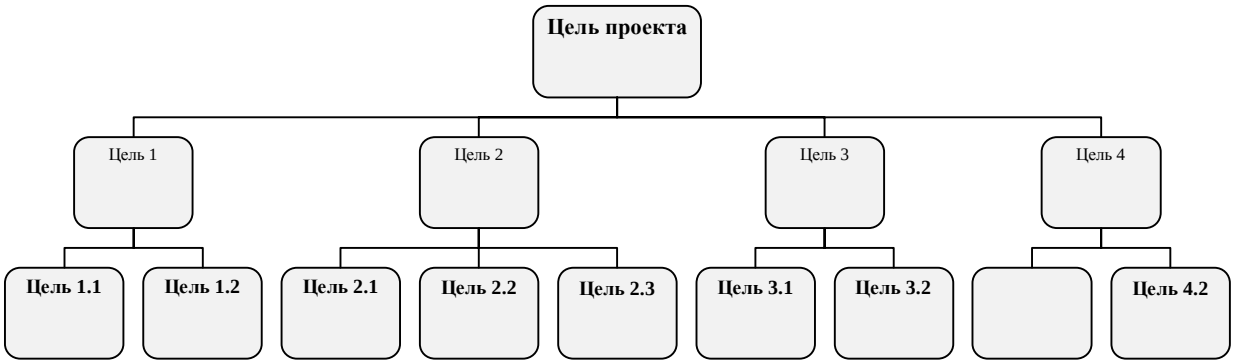



Рисунок 4.3 - Дерево целей проекта

В процессе формирования команды проекта формируется структурная схема организации проекта, определяющая состав команды, задачи и полномочия каждого из ее членов.

На основе структурной модели проекта и структурной схемы организации проекта строится «***матрица распределения ответственности***».

На основании структуры проекта и данных о стоимости отдельных элементов проекта строится «***дерево стоимости»*** проекта.

Структурная схема материально-технического обеспечения проекта называется ***деревом ресурсов проекта.***

Совокупность вероятностей наступления негативных событий при реализации проекта описывается ***деревом рисков*** проекта (рисунок 4.4).

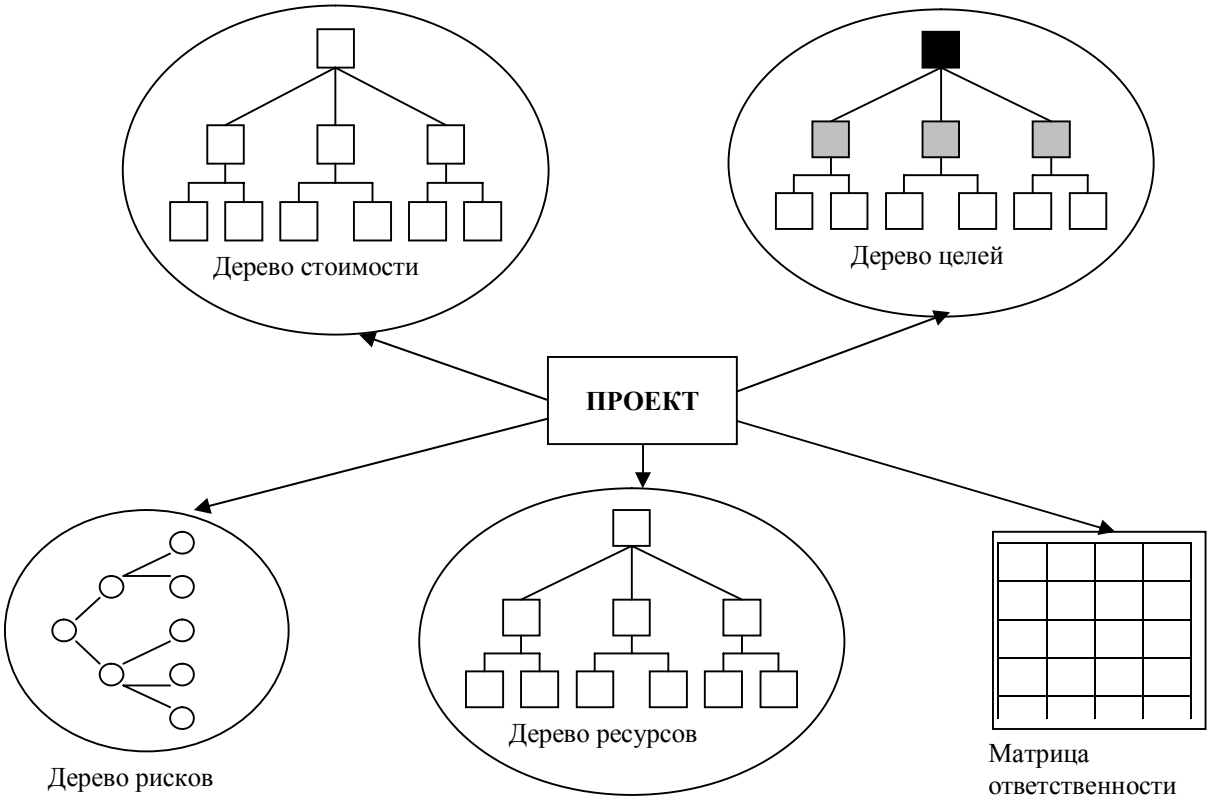



Рисунок 4.4 - Структура проекта

***Команда проекта***

Для управления любым проектом на период его существования создается специфическая временная организационная структура, возглавляемая руководителем проекта.

По содержанию команда проекта представляет собой группу специалистов высокой квалификации, обладающих знаниями и навыками, необходимыми для эффективного достижения целей проекта (рисунок 4.5).

Команда проекта оказывает влияние на создание определенной организационной среды проекта, формируя ценности, принципы и нормы поведения персонала. Реализация проекта – длительное предприятие, обладающее повышенной долей риска и подверженное постоянным изменениям. Поэтому особой характеристикой команды проекта является предпринимательский характер ее деятельности, направленный на решение слабоструктурированных задач и быстрое реагирование на требования внешней среды.

Аналогично жизненному циклу проекта команда проекта имеет свой жизненный цикл, в котором можно выделить пять основных стадий:

- формирование;
- срабатываемость;
- функционирование;
- реорганизация;
- расформирование.

*Формирование* – на этой стадии происходит знакомство членов команды друг с другом и с проектом в целом, формируются общие цели и ценности, определяются нормы и правила взаимодействия, ставятся задачи команды и определяются пути и принципы их достижения.

*Срабатываемость* – внутри команды идет процесс выявления лидеров, формирования неформальных групп, определяются роли отдельных работников и их место в команде, устанавливается психологический климат в коллективе, его внутренняя культура, определяющая стиль работы и управления, образ взаимодействия членов команды.

*Функционирование - рабочая* – наиболее продолжительная стадия. На основе сформированного командного чувства идет нормальный процесс работы. Детали взаимодействия уточняются по ходу выполнения задач, общения в различных рабочих ситуациях.

*Реорганизация* – стадия возникает при изменении в количественном или качественном составах команды, либо состоянии проекта.

*Расформирование* – при завершении отдельных стадий и всего проекта расформировываются отдельные подразделения и вся команда проекта.

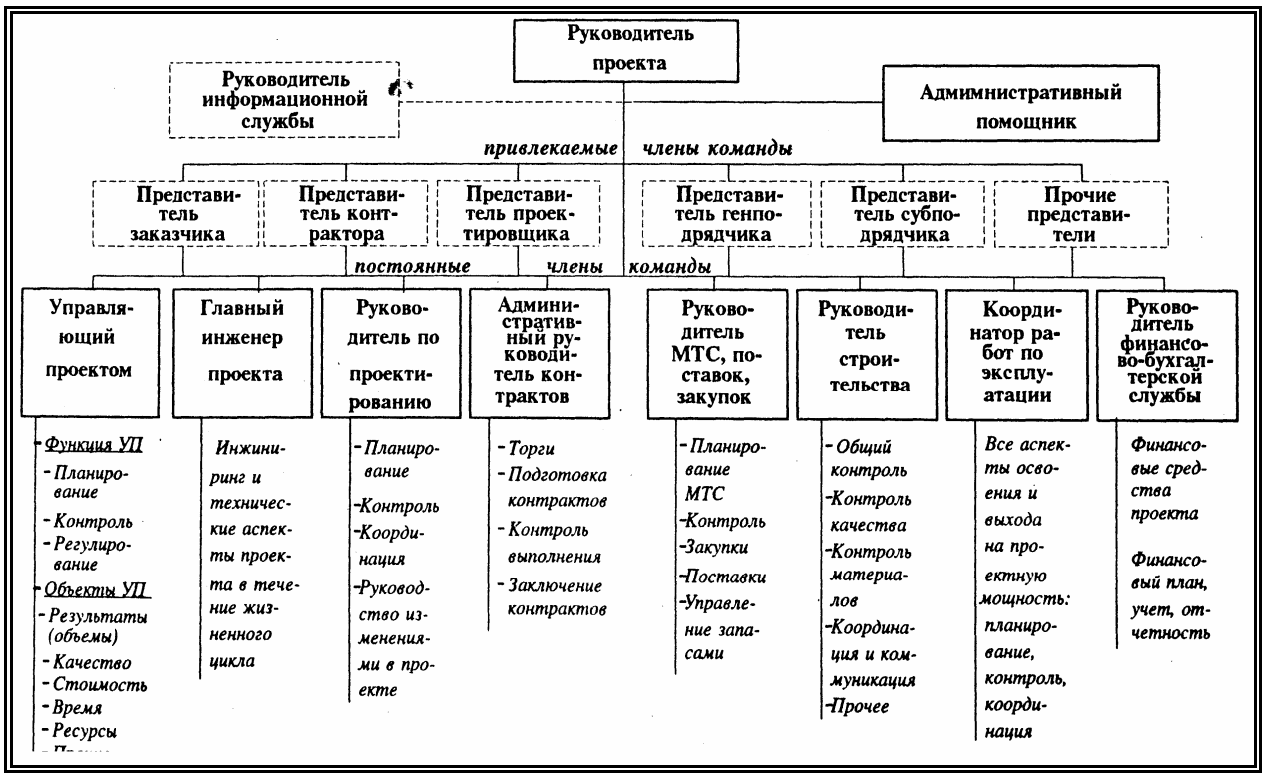



Рисунок 4.5 - Примерная команда проекта

***Окружение проекта***

Любой проект реализуется, взаимодействуя с окружающей проект средой – государством, обществом, предприятием, командой проекта, его заказчиками, подрядчиками и т.п.

Окружающая проект среда называется *окружением проекта*. Окружение проекта можно разделить на несколько видов: внешнее и внутреннее, ближнее и дальнее.

*Внешнее окружение проекта* – это та часть окружающей среды, которая существует независимо от проекта.

*Внутреннее окружение проекта* – это та часть окружающей среды, которая существует только во время осуществления проекта.

Основные составляющие внешнего и внутреннего окружения проекта показаны на рисунке 4.6.

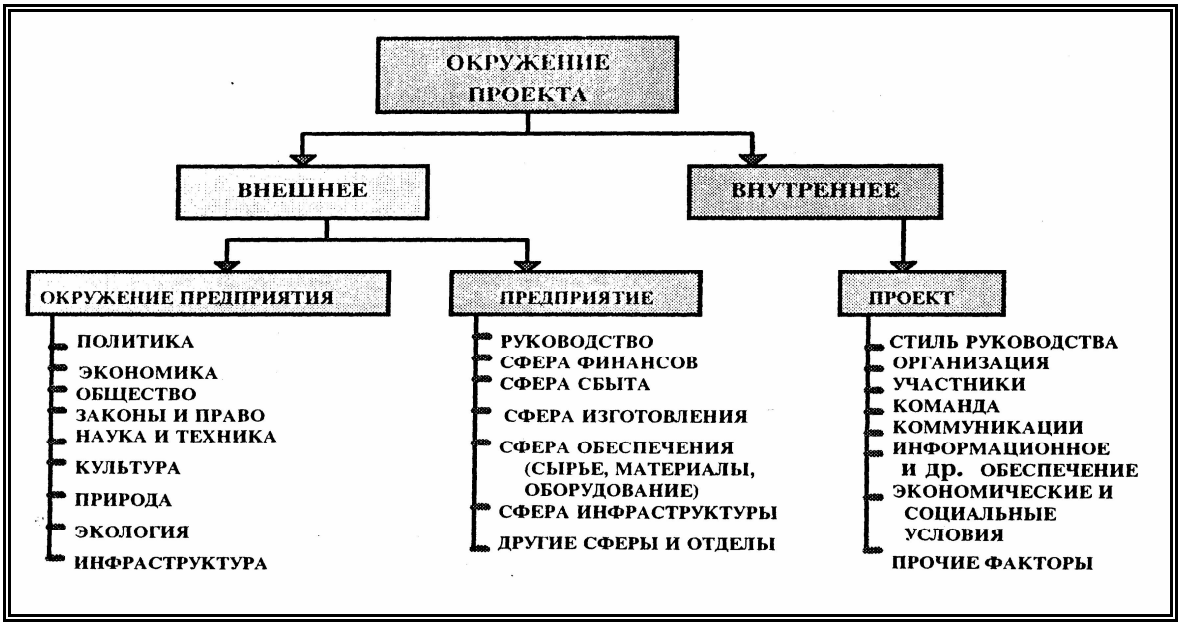



Рисунок 4.6 - Внешнее и внутреннее окружение проекта

Внешнее окружение проекта, которое не зависит от конкретного предприятия, называется *дальним окружением проекта*.

Внешнее окружение проекта, возникающее в рамках данного предприятия, называется *ближним окружением проекта*.

Рассмотрим подробно составляющие окружения проекта и их влияние на проект.

*Дальнее окружение проекта*

Политические характеристики и факторы*:*

- политическая стабильность
- поддержка проекта правительством
- националистические проявления
- уровень преступности
- торговый баланс со странами- участниками
- участие в военных союзах

Экономические факторы**:**

- структура национального хозяйства
- виды ответственности и имущественные права, в т. ч. на землю
- тарифы и налоги
- страховые гарантии
- уровень инфляции и стабильность валюты
- развитость банковской системы
- источники инвестиций и капитальных вложений
- степень свободы предпринимательства и хозяйственной самостоятельности
- развитость рыночной инфраструктуры
- уровень цен
- состояние рынков: сбыта, инвестиций, средств производства, сырья и продуктов, рабочей силы и др.

Общество - его характеристики и факторы:

- условия и уровень жизни
- уровень образования
- свобода перемещения, "въезд-выезд"
- трудовое законодательство, запрещение забастовок

- здравоохранение и медицина, условия отдыха
- общественные организации, пресса, телевидение
- отношение местного населения к проекту

Законы и право:

- права человека
- права предпринимательства
- права собственности
- законы и нормативные акты о предоставлении гарантий и льгот

Наука и техника:

- уровень развития фундаментальных и прикладных наук
- уровень информационных технологий и компьютеризации
- уровень промышленных и производственных технологий
- энергетические системы
- транспортные системы
- связь, коммуникации

Культура:

- уровень грамотности
- история, культурные традиции, религия
- культурные потребности: жизнеобеспечение, работа, отдых, спорт и др.
- уровень требований к качеству результатов и условий труда

Природные и экологические факторы:

- естественно-климатические условия: температура, осадки, влажность, ветры, высота над уровнем моря, сейсмичность, ландшафт и топография и др.
- природные ресурсы
- расположение и связь с транспортными сетями
- стандарты по качеству: воздушного пространства, водных источников и почвенному покрову
- санитарные требования к окружающей среде
- законодательство по защите окружающей среды
- характеристика тенденций и состояния экологических систем: воздуха, воды, почвы

Характеристики и факторы инфраструктуры:

- средства транспорта, связи и коммуникации
- перевозка грузов
- сети ЭВМ и информационные системы
- энергоснабжение
- коммунальные службы
- сырье и услуги
- сбытовая сеть
- логистика и материально-техническое снабжение
- промышленная инфраструктура
- обслуживающие системы и прочие

*Ближнее окружение проекта*

1. Руководство предприятия определяет цели и основные требования проекта, а также порядок их корректировки.
2. Сфера финансов определяет бюджет проекта, его смету и источники финансирования.
3. Сфера сбыта определяется решениями покупателей и действиями конкурентов.

4. Сфера изготовления требует согласования требований к проекту с возможностями рынка средств производства.
5. Сфера материального обеспечения формирует требования к проекту, исходя из возможности обеспечения сырьем, материалами и оборудованием по приемлемым ценам.
6. Сфера инфраструктуры формирует требования к рекламе, транспорту, связи, телекоммуникациям, информационному обеспечению, инженерному обеспечению.
7. Сфера очистки и утилизации формирует требования к охране окружающей среды и утилизации отходов производства.

***Внутреннее окружение проекта***

1. Стиль руководства определяет психологический климат и атмосферу, влияет на творческую активность и работоспособность в команде проекта.
2. Специфическая организация проекта определяет взаимоотношения между основными участниками проекта, распределение прав, ответственности и обязанностей и влияет на успех осуществления проекта.
3. Участники проекта реализуют различные интересы в процессе осуществления проекта, формируют свои требования и оказывают влияние на проект в соответствии со своими интересами, компетенцией и степенью участия в проекте.
4. Основной интерес участников проекта связан с получением прибыли от реализации проекта.
5. Основной интерес команды проекта связан с получением дохода от своей деятельности во время реализации проекта и претендует на получении своей части из резервного фонда.
6. Методы и средства коммуникации определяют полноту, достоверность и оперативность обмена информацией между участниками проекта.
7. Экономические условия проекта определяют его основные стоимостные характеристики.
8. Социальные условия проекта характеризуют: условия жизни; уровень заработной платы; коммунальные услуги; условия труда и техники безопасности; страхование; социальное обеспечение.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что *проект* – это уникальное единовременное предприятие компании, которое не входит в список ее повседневных операций, и управление проектами призвано обеспечить такие условия и такую организацию работы, чтобы были соблюдены сроки, бюджет и достигнуты поставленные цели.

В современной управленческой науке и практике все больше внимания уделяется умению мотивировать людей, созданию эффективно работающей команды. В управлении проектами это умение приобретает особенную актуальность из-за более высоких требований к результатам. Работа в проекте подразумевает также более сложные условия работы, так как в большинстве случаев участникам проекта приходится отчитываться перед двумя начальниками (применительно к матричной структуре).

Тем не менее, к инструментам управления проектами относятся не только способы мотивации людей, но и методы управления временем, качеством, издержками, методы мониторинга и контроля. Во многих случаях эти методы могут быть применимы и в условиях линейной организационной структуры, и даже увеличить эффективность отдельно взятого сотрудника или отдела.

Несмотря на многие стандартизированные рекомендации, не может быть единой методологии, которая бы гарантировала успех проекта. Каждая организация уникальна, как уникальна ее корпоративная культура и сложившиеся методы работы.