

УДК 658.512:621.45

С. П. ПАВЛИНИЧ

МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ БАЗОВЫХ, ВЫСОКИХ И КРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Предложены методы разработки базовых, высоких и критических технологий в авиадвигателестроении. Представлены направления развития поколений двигателей, основанные на использовании закономерностей и зависимостей инноватики как науки. Также рассмотрены высокие и критические технологии использования авиационных двигателей как важнейшего компонента реактивных самолетов-истребителей и предложен главный критерий в определении поколения авиационного двигателя — это технология его применения. *Авиадвигателестроение; инноватика; авиационный двигатель; технология*

Прогресс производства новых самолетов и двигателей обеспечивается не только творчеством конструкторов, но также зависит от методов и средств совершенствования технологических процессов (технологий), применяемых на всех этапах и стадиях жизненного цикла этих изделий: технической подготовки производства, производства и эксплуатации (рис. 1).

На этапах НИР и НИОКР новых изделий тактико-технические характеристики изделий *проектируют*, опираясь на известные данные о базовых технологических процессах, разрабатывая новые, так называемые директивные, перспективные и проектные технологические процессы, без применения которых на серийных предприятиях авиационной промышленности не представляется возможным поставить на производство новую авиационную технику.

В последние годы для обеспечения эффективного выполнения этапов и стадий прикладных НИР и НИОКР все чаще используют не только проектные и директивные технологические процессы, но также высокие и критические технологии, которым в данной публикации уделено особое внимание. В случае разработки и применения высоких и критических технологий современные средства научно-технологической подготовки производства предусматривают использование специальных методов:

- технологического форсайта,
- бенчмаркинга,
- технологического аудита и трансферта технологий

в целях интенсивного обеспечения проектных разработок новейшими данными и компонентами прогрессивных технологий. Такие методы и технологии применяют и разрабатывают не только в авиации, но и в других отраслях промышленного производства различных стран.

На этапах постановки на производство и производства нового изделия тактико-технические характеристики летательных аппаратов, качество, технический уровень, эффективность и конкурентоспособность авиационной техники *обеспечивают* путем разработки на базе директивных, проектных и перспективных технологий рабочих, стандартных и унифицированных (типовых и групповых) технологических процессов. На этих этапах, реализуемых в основном на стадиях технологической подготовки производства предприятий, проектные технологические разработки (высокие и критические технологии, базовые, проектные, перспективные и директивные технологические процессы) реализуют в виде комплектов рабочей технологической документации.

На этапах эксплуатации новой авиационной техники высокие тактико-технические характеристики, качество, технический уровень, эффективность и конкурентоспособность *поддерживают* путем использования современных ремонтных технологических процессов, технологий регламентных работ и технического обслуживания авиационной техники, а также использования технологий утилизации авиационной техники, которая отработала свой ресурс.

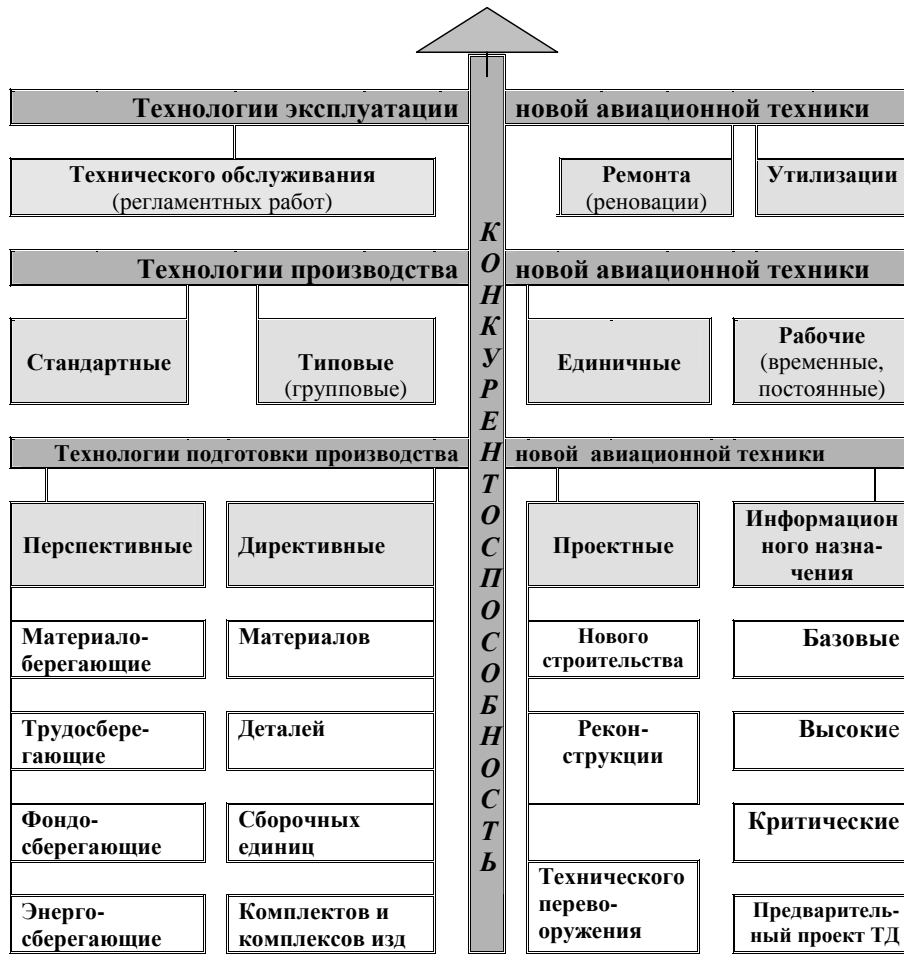


Рис. 1. Классификация технологий, обеспечивающих конкурентоспособность авиационной техники

Современные авиационные двигатели являются сложными техническими системами, которые способны производить только наиболее развитые в научно-техническом плане государства. К авиационному двигателю предъявляют весьма жесткие технические требования не только по тяге или мощности, надежности и долговечности, но и по возможностям использования в альтернативных технологиях (технологиях двойного назначения, инновационных технологиях), например, для использования в проектах газоперекачивающих станций, электростанций, судовых двигателей и энергоустановок экранопланов. В настоящее время создать современный авиационный двигатель без применения методов науки, новейших конструкционных материалов и высоких (критических) технологий не представляется возможным. Проектирование авиационного двигателя, как правило, ведется на пределе научно-технических возможностей государства, оно требует больших затрат

инвестиционных, инновационных, трудовых и материальных ресурсов.

В целях повышения эффективности проектирования авиационных двигателей, сокращения сроков создания конкурентоспособных самолетов и двигателей, уменьшения инновационных рисков разработки неконкурентоспособных двигателей в авиационной промышленности принят двухэтапный регламент инновационного проектирования изделия:

- 1) обоснования технологической готовности к созданию;
- 2) технической разработки и ввода в эксплуатацию.

На первом этапе выполнения прикладных и поисковых НИР формируют технический облик базовых авиационных двигателей нового поколения на основе использования новых (критических, высоких) технологий и новых материалов. Результатом этого этапа обычно является разработка базовых технологий, которые включают перспективные тех-

нические решения и технологические процессы по их обеспечению, новые конструкционные материалы, топлива и вспомогательные материалы, системы управления, математические модели и программно-методические комплексы для оптимизации проектных решений и формирования предварительного проекта (технических предложений, аванпроектов, предварительных проектов технологической документации). Этот этап, в конечном счете, позволяет сформировать базы знаний по новым технологиям для всех стадий жизненного цикла изделия и создания новых авиационных двигателей. Т.е. технологии в этом случае рассматриваются в первую очередь как совокупности знаний о методах и средствах разработки конкурентоспособных промышленных образцов и новых (проектных, перспективных и директивных) технологических процессов.

Базовые технологии (процессы, материалы, конструкционные компоненты, устройства, методы или способы их создания) — это научно-технологическая основа для разработки узловых технологий нового двигателя [4] или демонстрационного газогенератора, в том числе вентилятора, компрессора, камеры сгорания, турбины, форсажной камеры, управляемого или регулируемого реактивного сопла, агрегатов и/или коробки привода агрегатов, систем автоматического управления (рис. 2).

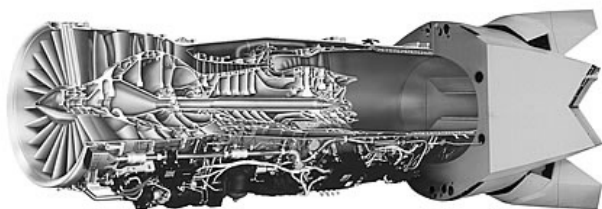


Рис. 2. Авиационный двигатель Pratt & Whitney F119-PW-100 для самолета F-22 Raptor

Таким образом, массив базовых технологий (научно-технологический задел) позволяет:

- создавать демонстрационные двигатели нового поколения на основе внедрения критических технологий;
- обеспечивать развитие высоких технологий их применения по программам совершенствования существующих двигателей;
- создавать перспективные единые двигатели, например, для самолетов-истребителей;
- формировать приоритетные национальные программы интегрированных технологий ГТД с высокими характеристиками, напри-

мер, для создания воздушно-космического самолета;

- создавать универсальные, экономичные и доступные двигатели для их применения в других технологиях (морских, газоперекачки, электроэнергетики);
- определять научные закономерности, зависимости и тенденции развития базовых двигателей путем: повышения тяги реактивного двигателя (или мощности для поршневых авиационных двигателей); увеличения ресурса «горячей части»; повышения топливной эффективности; создания интегрированной конструкции с низким уровнем заметности (радиолокационной и тепловой для самолетов-истребителей), а также конструкций со сниженными уровнями нагрузки на экологию, например, по уровню шума двигателей и токсичности выхлопных газов для пассажирских, транспортных, спортивно-пилотажных самолетов и летательных аппаратов другого назначения.

Приоритетными направлениями НИР в области создания критических технологий для авиадвигателестроения в настоящее время рассматривают [4]:

- разработку высокотемпературных материалов с теплозащитными покрытиями и технологий получения из них заготовок и деталей;
- технологии испытаний изделий перспективных концепций;
- технологии управления интеллектуальным двигателем;
- разработки высокоточных и вероятностных методов моделирования, проектирования и прогнозирования ресурса;
- НИР по обеспечению технологическими средствами термодинамического совершенства двигателя, объемной теплонапряженности камер сгорания, повышения рабочей температуры газа в турбинах, повышения эффективности охлаждения и теплозащиты горячих элементов конструкций, обеспечения газодинамического совершенства и нагруженности компрессоров и турбин, снижения массы и объема, использования принципиально новых металлических и композиционных материалов, обеспечения эксплуатационной надежности и безопасности.

На втором этапе выполнения НИОКР, создают опытный двигатель (опытную партию) для конкретного летательного аппарата, который проходит наземные и летные испытания на летающих лабораториях и опытных (экспериментальных) самолетах. Таким

образом, в ходе натурных экспериментов и в полетах на демонстрационных самолетах или экспериментальном двигателе-прототипе подтверждают или опровергают заявленные технические и эксплуатационные характеристики (тактико-технические характеристики летательного аппарата).

Завершается этот этап, если испытания проведены успешно и не прекращены (вследствие низкой надежности, малого ресурса, неудовлетворительных результатов испытаний, аварии или катастрофы самолета, замены двигателя на более перспективную модель), утверждением технических требований на двигатель и подготовкой к серийному производству и вводу в эксплуатацию.

Недостаточное внимание к выполнению первого этапа «обоснования технологической готовности к созданию» может иметь следствием существенное увеличение научно-технических рисков инновационных проектов создания новой техники. Сказанное позволяет констатировать, что для снижения инновационных рисков создания авиационных двигателей нового поколения, уменьшения финансовых затрат и сроков их проектирования принципиально важное значение имеют работы по целенаправленному созданию новых базовых (высоких, критических) технологий авиадвигателестроения в ходе НИР по обоснованию технологической готовности к созданию конкурентоспособных двигателей. В связи с созданием в нашей стране и за рубежом авиационной техники пятого поколения исследования данного плана считаются весьма актуальными.

Рассмотрим в соответствии с вышеизложенным более подробно высокие и критические технологии использования авиационных двигателей как важнейшего компонента реактивных самолетов-истребителей в целях определения новых закономерностей и зависимостей смены поколений авиационных двигателей.

Решение этой проблемы связано с тем, что сложившаяся методика определения поколений авиационных двигателей в настоящее время недостаточно увязана с научными законами развития высоких и критических инновационных технологий и с использованием авиационных двигателей по назначению в составе летательного аппарата. Это обстоятельство не позволяет в достаточной мере использовать данные науки для прогнозирования развития авиационных двигателей и целенаправленного формирования базовых тех-

нологий, обеспечивающих технологическую готовность авиационного производства к созданию новых поколений авиационной техники, конкурентоспособной на мировых рынках наукоемкой продукции.

Научное обоснование смены поколений авиационных двигателей в настоящее время исходит не из законов инноватики, а из экспертной оценки специалистами конструктивных изменений в анализируемом типе машин. Так, в исследовательских работах ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей [4] сказано: «Понятие поколения авиационных двигателей оказывается довольно устойчивым и характеризуется преимущественным (приоритетным) назначением авиационного двигателя, типажом и конструктивными схемами разрабатываемых авиационных двигателей, уровнем параметров цикла, конструктивными особенностями узлов (компрессор, турбина, камера сгорания), а также применяемыми материалами и технологическими процессами изготовления».

Временные границы внедрения поколений авиационных двигателей в настоящее время размыты [3, 4], но ориентировочно поколения могут быть отнесены: 1-е — к 1940–1950-м гг., 2-е — к 1950-м гг., 3-е — к 1960–1970-м гг., 4-е — к 1970–1990-м гг., 5-е — к 1990–2000-м гг. Вместе с тем критерии техники (критерии типажа и конструктивных схем авиационных двигателей; уровни параметров цикла; конструктивные особенности узлов компрессора, турбины, камер сгорания; применяемые материалы и технологические процессы изготовления) с точки зрения приоритета стоят после «преимущественного назначения авиационного двигателя», т. е. главным критерием в определении поколения авиационного двигателя является технология его применения и только после этого следует рассматривать остальные критерии, в том числе и названные выше. С этой точки зрения в данном исследовании предложена отличающаяся от известных [3, 4] кластеризация авиационных двигателей, которая основывается на использовании научных закономерностей и зависимостей инноватики как науки.

Из инноватики известно, что развитие технических систем [1, 5] происходит по так называемым *S*-образным кривым. Исследование *S*-образных кривых развития техники и технологии позволило установить, что в ряде случаев происходит наложение нескольких *S*-образных кривых на единое поле экс-

периментальных точек. Этот факт позволил сформулировать научный закон смены поколений техники и технологий. В приложении к исследованию закономерностей смены поколений авиационных двигателей данный научный закон позволил получить следующие линии регрессии (рис. 3), точки пересечения которых позволяют определить «критические технологии», когда новая технология, основанная на использовании более прогрессивного принципа (устройства, способа) приобретает конкурентные преимущества и начинает развиваться более интенсивно.

При этом следует иметь в виду, что «кризис» — это не фатальное деструктивное явление, приводящее к разрушению старой технологии. Дословный перевод термина «кризис» (от греч. crisis — решение, решительный исход, приговор) означает только то, что изменение принципиальной основы технологического способа (метода) позволяет решительно перейти к новой, более конкурентоспособной технологии, которая приходит на смену стареющей технологии того же назначения. Этот факт позволяет принять профилактические меры во избежание перехода технической системы к стадиям ее деградации и гибели вследствие утраты конкурентных преимуществ. Такие ситуации нередко наблюдаются на практике, если разработчики новой техники и технологии упрямо придерживаются в своих действиях только решения задачи эволюционного развития технологической системы даже в условиях перехода высокой технологии в стадию зстоя. В инноватике такие мероприятия по улучшению или обновлению серийно производимой конкурентоспособной продукции в фазе ее зрелости называют квазиинновациями.

На рис. 3 к различным по назначению (по технологиям применения самолетов-истребителей) поколениям авиационной техники [2] отнесены:

1) *дозвуковые самолеты-истребители* (МиГ-9; Як-15; Ла-150; Ла-152; Су-9 (К); Як-17; Як-19; Ла-156; Ла-160; Су-11 (КЛ); И-211; Як-23; И-215; Ла-174ТК; Як-25; Ла-15; Як-30; МиГ-15; Ла-176; И-320; Як-50; Ла-200; Ла-168; Су-15(П); МиГ-17; И-340; И-360; МиГ-17СН) и соответствующие им двигатели (РД-20; РД-10; РД-10Ф; РД-10ЮФ; ТР-1; «Дервент-V»; РД-500; ВК-1; «Нин-I»; РД-45Ф; ВК-1А);

2) *сверхзвуковые истребители-перехватчики* (Ла-190; И-350; МиГ-19; Е-2; И-370; Е-4; Су-7; Е-50; МиГ-21; Су-9; Ла-250;

И-7У; И-3У; СМ-12; П-1; И-75; Су-11; Е-152А; Е-150; Е-152; Е-8; Су-15; Т-58ВД; МиГ-21ПД; Як-28-64; Т6-1) и соответствующие им двигатели (ТР-3А(АЛ-5); РД-9Б; РД-11; ВК-7Ф; АЛ-7Ф-1; РД-11; Р-25-300; АЛ-7Ф1-100У; АЛ-7Ф; ВК-3; РД3-26; АЛ-7Ф-1; АЛ-7Ф-2; Р-11Ф-300; Р-15-300; Р-15Б-300; Р-21Ф-300; Р13-300; Р-13Ф-300; Р-11Ф2-300; Р-27Ф2М-300);

3) *самолеты-истребители вертикального взлета* (Як-36; Як-38; Як-141; примечание: в 2006 г. в США испытан самолет F-35 с двигателем F-135 с тягой 18000 кг) и соответствующие им двигатели (Р-27-300; Р-79В-300);

4) *многофункциональные высокоманевренные самолеты-истребители (истребители-бомбардировщики)* (Як-27; Су-17; МиГ-23; МиГ-29; Су-27; Су-37; Су-30; Су-33; Су-35; Су-32; С-37 «Беркут»; Су-33КУБ) и соответствующие им двигатели (АМ-5А; РД-9Ф; АЛ-21Ф-3; Р-35-300; РД-33; АЛ-31Ф; АЛ-31К; Д-30Ф6; АЛ-31Ф-3);

5) *дальние и высотные истребители-перехватчики* (Ту-128; МиГ-25; МиГ-31; Проект 1.44) и соответствующие им двигатели (АЛ-7Ф-2; Р-15БД-300; Д-30Ф-6; АЛ-41).

Таким образом, поколения самолетов и двигателей должны иметь более сложный шифр, например, 111; 122; 133; 144; 155 и т. д., где первое число характеризует класс самолетов (самолет-истребитель), второе число поколение самолетов-истребителей по назначению (технологии применения), а третье число — поколение авиационного двигателя по конструктивным особенностям.

Из анализа S-образных закономерностей развития авиационных двигателей видно, что наиболее серьезная проблема развития в настоящее время стоит перед авиационными двигателями четвертого поколения: для того, чтобы новые модели такой авиационной техники стали конкурентоспособными, необходимо обеспечить параметры технического уровня в виде тяги на уровне 18000–20000 кгс. Для решения этой задачи необходимо сконцентрировать на создание таких двигателей пятого поколения существенные инвестиционные, инновационные и трудовые ресурсы, в том числе научно-технологические разработки, обеспечивающие рост названного критерия качества изделия.

В этой связи в настоящее время наиболее актуальной проблемой для развития отечественного авиадвигателестроения является комплекс задач по созданию и постановке на производство новых двигателей пятого поко-

ления, которые обеспечат конкурентные преимущества в сравнении с уже известными в мировой практике самолетами-аналогами пятого поколения (рис. 4–5).

Для развития двигателей пятого поколения, которые устанавливаются на новейшие самолеты истребители (высотные и дальние истребители-перехватчики, высокоманеврен-

ные и многофункциональные фронтовые истребители и истребители-бомбардировщики, самолеты палубной авиации, укороченного и вертикального взлета) должно предусматриваться широкое применение новейших (высоких и критических) технологий их производства в следующих направлениях [4]:

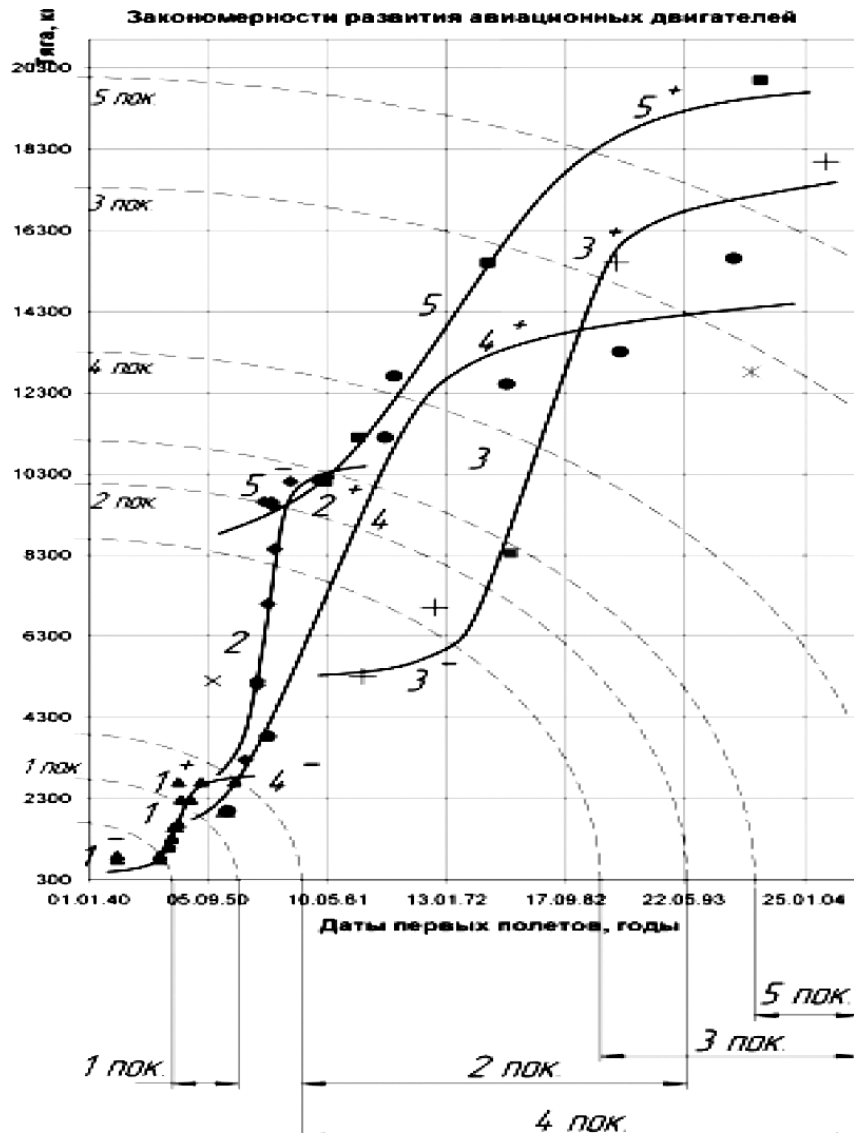


Рис. 3. S-образные закономерности развития авиационных двигателей для сверхзвуковых истребителей различных поколений в сравнении с дозвуковыми самолетами-истребителями первого поколения

1) изготовления корпусов вентиляторов из композиционных материалов, выполненных в виде одной детали, которая не требует механической обработки;

2) изготовления конструкций типа «блиск» с регулируемым положением лопаток вентилятора и компрессора высокого давления;

3) применения щеточных уплотнений;

4) использования камер сгорания с «плавающими стенками» из сплавов на основе кобальта, стойкого к окислению;

5) производства охлаждаемых турбин высокого и низкого давления с противоположным вращением роторов, лопатками из монокристаллического сплава с термозащитными покрытиями и системой охлаждения, с дисками увеличенной трещиностойкости и работоспособными при температуре более 705°C;

6) создания форсажных камер с использованием несгораемого титанового сплава;

7) изготовления плоского интегрированного с планером самолета сопла с отклонением менее чем за 1 с вектора тяги на $\pm 20\%$, створки такого реактивного сопла должны быть изготовлены на основе керамики;



а – самолет пятого поколения F-22



б – самолеты пятого поколения на базе F-35

Рис. 4. Самолеты-истребители пятого поколения ВВС и ВМС США



Рис. 5. Самолет пятого поколения МиГ (Проект 1.44)

8) создания высокорезервированной интегрированной системы управления двигателем и самолетом по параметрам вектора тяги, расхода топлива, поворота лопаток вентилятора и компрессора с технической диагностикой состояния двигателя для обеспечения предсказания ресурса конструкции;

9) использования систем смазки, работающих при высоких температурах без охлаждения и т. п.

Мировые тенденции развития авиационной промышленности показывают, что для создания новой авиационной техники как гражданского, так и военного назначения будут создаваться не только объединения предприятий (консорциумы, холдинги) в рамках государственных границ, но и совместные предприятия, альянсы и промышленно-финансовые группы, дочерние предприятия, предприятия и учреждения подготовки производства, послепродажного обслуживания, лизинговые фирмы и другие организации для научно-технологической подготовки производства, производства и эксплуатации новой конкурентоспособной техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях развития инновационной экономики для обеспечения конкурентоспособности новой авиационной техники решающее значение имеет этап обоснования технологической готовности к созданию двигателей нового поколения, который предопределяет разработку проектных, перспективных, директивных, высоких, критических и базовых технологий. Базовые технологии (процессы, материалы, конструкционные компоненты, устройства, методы или способы их создания) — это научно-технологическая основа для разработки узловых технологий нового двигателя или демонстрационного газогенератора, в том числе вентилятора, компрессора, камеры сгорания, турбины, форсажной камеры, управляемого или регулируемого реактивного сопла, агрегатов и/или коробки привода агрегатов, систем автоматического управления. Недостаточное внимание к выполнению этапа обоснования технологической готовности к созданию авиационных двигателей имеет следствием существенное увеличение научно-технических рисков ин-

новационных проектов разработки новой техники.

Предложенный в данном исследовании метод определения поколений авиационных двигателей отличается от известных способов кластеризации авиационных двигателей тем, что основывается на использовании научных закономерностей и зависимостей инноватики как науки и приоритетной оценке назначения авиационного двигателя по технологии преимущественного применения в составе самолетов данного назначения.

Установленные статистические закономерности смены поколений авиационных двигателей позволяют обоснованно формулировать технические задания на проектирование авиационных двигателей нового поколения и целенаправленно формировать научно-технологическую базу для обоснования технологической готовности производства к созданию двигателей нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Sahal, D.** Patterns of technological innovation / D. Sahal. New York University, 1981. 366 p.
2. **Баргатинов, В. А.** Крылья России : полная иллюстрированная энциклопедия / В. А. Баргатинов. М. : Эксмо, 2007. 1072 с.
3. **Ахмедзянов, А. А.** Проектирование авиационных газотурбинных двигателей : учеб. для вузов / под ред. А. М. Ахмедзянова. М. : Машиностроение, 2000. 454 с.
4. **Скибин, В. А.** Работы ведущих авиадвигательностроительных компаний по созданию перспективных двигателей / под ред. В. А. Скибина и В. И. Солонина. М. : ЦИАМ, 2004. 424 с.
5. **Сахал, Д.** Технический прогресс: концепции, модели, оценки / Д. Сахал. М. : Финансы и статистика, 1985. 366 с.

ОБ АВТОРЕ



Павлинич Сергей Петрович, техн. дир. ОАО УМПО. Канд. техн. наук. Засл. машиностроитель РБ. Лауреат гос. премии РБ в обл. науки и техники.