

РАЗВИТИЕ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СССР/РОССИИ

Владимир Андреевич Зрелов, д.т.н.,

профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов ФГБОУ ВПО "Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)"



В статье проанализирована история разработки и серийного производства авиационных газотурбинных двигателей в СССР/России с начала 40-х годов прошлого столетия до настоящего времени. Выявлено, что отечественное двигателестроение как в количественном, так и в качественном отношении соответствовало лучшим мировым достижениям в этой области, а зачастую опережало достигнутый мировой уровень. В настоящее время в России разрабатывается только два гражданских двигателя, и то - с иностранным участием.

In article is analysed history of the development and production in series aircraft gas turbine engines in USSR/Russia with begin 40 years past centuries to date. It is revealed that domestic jet engines both in quantitative, and in qualitative attitude corresponded to the best world achievements in this area, and sometimes overtook the reached world-level. Today in Russia is developed only two civil engines and that with foreign participation.

Ключевые слова: история разработки ГТД, мировой уровень, криогенное топливо, винтовентилятор, кризис.
Keywords: history of the development GTE, best world achievement, cryogenic fuel, prop fan, crisis.

Как известно, начало развития авиационного газотурбинного двигателестроения приходится на двадцатые - тридцатые годы XX столетия. В этот период теоретические исследования велись в нескольких странах. Значительное развитие они получили и в СССР.

Основой, на которой в дальнейшем развилось отечественное газотурбинное авиадвигателестроение, послужили работы В.И. Базарова, Б.С. Стечкина, В.В. Уварова и других авторов. Начало работ по созданию газотурбинных двигателей в СССР можно отнести к 1925 г., когда в НАМИ была организована группа под руководством Н.Р. Брилинга, занимавшаяся изучением термодинамических циклов газотурбинных двигателей, а также исследованием процессов в камере сгорания.



Двигатель Э1080 разработки группы В.В. Уварова в музее МГТУ

С 1930 г. работы по газовым турбинам были переданы в лабораторию № 1 Всесоюзного теплотехнического института им. Ф.Э. Дзержинского (ВТИ), где их возглавил В.В. Уваров.

В 1937 г. инженер Харьковского авиационного института А.М. Люлька, разрабатывает проект турбореактивного двигателя РТД. В июле 1940 г. вышло Постановление СНХ СССР о необходимости проведения работ по ТРД конструкции А.М. Люльки. Работы осуществлялись в Ленинграде в Центральном котлотурбинном институте и на Кировском заводе, где в 1941 г. проводились стендовые испытания турбины, камеры сгорания и некоторых ступеней компрессора нового ГТД РД-1.

С началом войны из-за необходимости массового, серийного выпуска авиационной техники многие перспективные экспериментальные работы, которые начались еще до войны, были прекращены, конструкторские коллективы расформированы, а документация сдана в архивы.

К концу войны Советский Союз еще не имел газотурбинных двигателей отечественной конструкции, доведенных до серийного производства.

Поэтому развитие разработки и производства авиационных ГТД в СССР на начальном этапе шло по следующим основным направлениям:

- 1) использование немецкого опыта (РД-10, РД-20);
- 2) приобретение в Англии лицензии на двигатели "Nene" и "Derwent" фирмы Rolls-Royce (РД-45, РД-500);
- 3) поддержка и развитие отечественных разработок.

Разработка ГТД под руководством А.М. Люльки была продолжена в 1943 г. в ЦИАМ. В



Двигатель РД-10 (JUMO-004)

1947 г. на заводе № 45 были успешно проведены испытания и начато изготовление первого отечественного реактивного двигателя ТР-1, разработанного под руководством А.М. Люльки.

Для использования немецкого опыта в области создания авиационных ГТД был организован государственный союзный опытный завод № 2 (сейчас ОАО "Кузнецов") в г. Куйбышеве (Самаре).

В 1946 - 1950 гг. немецкие двигатели Jumo-004 под маркой РД-10 выпускались в СССР на уфимском заводе № 26 - первым в отрасли приступившем к освоению производства реактивных двигателей (сейчас ОАО "Уфимское моторостроительное производственное объединение"). Всего было изготовлено 1911 шт. Двигатели BMW-003А в СССР назывались РД-20 и производились на казанском заводе № 16 (сейчас ОАО "Казанское моторостроительное производственное объединение") с 1946 по 1949 г. Изготовлено 2911 шт.

Приобретенные у фирмы Rolls-Royce двигатели "Nene" и "Derwent" были на тот момент лучшими в мире. Эти двигатели, после перевода в ЦИАМ в метрический размерный ряд и модернизации изготавливались под маркой РД-45 и РД-500 с 1948 г. на заводах 16, 26, 45 и 478.

В 1948 г. под руководством В.Я. Климова на базе двигателя РД-45 были разработаны ГТД ВК-1, ВК-1А, ВК-1Ф, которые массово производились на заводах №№ 16, 19, 24, 26, 45, 478 и 500. Общее количество этих двигателей, произведенных в период с 1948 по 1961 гг., составило 50 493 шт.

В СССР разработкой газотурбинных двигателей занимались специализированные организации - опытные конструкторские бюро (ОКБ). Они имели в своём составе опытные заводы, где отрабатывались новые технологии, изготавливались опытные образцы двигателей и проводились их испытания.



Двигатель РД-20 (BMW-003)



Двигатель ТР-1 конструкции А.М. Люльки



Двигатель Nene-1 в ЦИАМ



Двигатель ВК-1



Двигатель РД-45

Основными разработчиками авиационных ГТД были: Московское ОАО "АМНТК "Союз" (ОКБ-300), Тушинское ФГУП "ТМКБ "Союз" (ОКБ-500), Уфимское ФГУП "НПП "Мотор" (ОКБ-26), Московское ОАО "А. Люлька-Сатурн" (ОКБ-165), Рыбинское ОАО "РКБМ" (ОКБ-36), Омское ОАО "ОМКБ" (ОКБ-29), Пермское ОАО "Авиадвигатель" (ОКБ-19), Самарское ОАО "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" (ГСОЗ №2), Санкт-Петербургское ФГУП "Завод им. В.Я. Климова" (ОКБ-117) и Запорожское ГП "ЗМКБ "Прогресс" им. академика А.Г. Ивченко". После прохождения испытаний документация на двигатели передавалась серийным заводам, которые осуществляли их производство в соответствии с планами, разработанными министерством авиационной промышленности. Такое разделение позволяло серийным заводам лучше организовать массовое производство ГТД, не отвлекаясь на опытно-строительство.

Серийное изготовление авиационных газотурбинных двигателей в России осуществляют следующие предприятия: завод № 500 (Московское ОАО "ММП им. В.В. Чернышёва"), завод № 45 (Московское ФГУП "ММП "Салют"), завод № 36 (Рыбинское ОАО "НПО "Сатурн"), завод № 16 (Казанское ОАО "КМПО"), завод № 26 (Уфимское ОАО "УМПО"), завод № 19 (Пермское ОАО "Пермские моторы"), завод № 24 (Самарское ОАО "Кузнецов"), завод № 29 (Омское ФГУП "ОМП им. П.И. Баранова"), Тюменское ОАО "Тюменские моторостроители". На Украине авиационные двигатели производятся заводом № 478 (Запорожское ОАО "Мотор Сич").

Результаты деятельности основных отечественных КБ в области разработки авиационных ГТД представлены в виде таблиц (рисунки 1 - 8). Здесь опытные и серийные ГТД распределены по типам (ТВаД и ВСУ, ТВД, ТРД, ТРДФ, ТРДД, ТРДДФ) и времени их создания.

Такое представление дает возможность проследить творческий путь конструкторского коллектива, оценить его возможности и квалификацию, а также наглядно продемонстрировать приоритеты в разработке того или иного типа двигателя или двигателя в определенном классе, а при наличии аналогичной информации по зарубежным разработкам, судить о месте каждого КБ не только в отечественном, но и в мировом двигателестроении. Имеется возможность оценить количественный вклад каждого конструкторского бюро в создание двигателей определенного типа, а также его долю в общем количестве разработанных (опытных и серийных) авиационных ГТД в стране. На диаграмме (рис. 1) показано в процентном выражении количество типов ГТД, созданных в СССР/СНГ в период с 1945 г. по 2014 г.

На рис. 2 также в процентном выражении представлена доля основных КБ-разработчиков ГТД в общем объеме разработок отечественных двигателей.

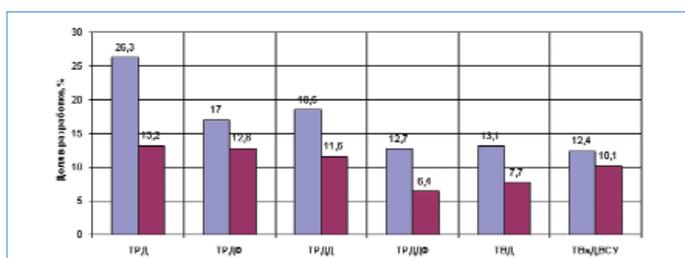


Рис. 1 Процентное количество типов ГТД, созданных с 1945 по 2014 гг. и их количество, запущенных в серийное производство

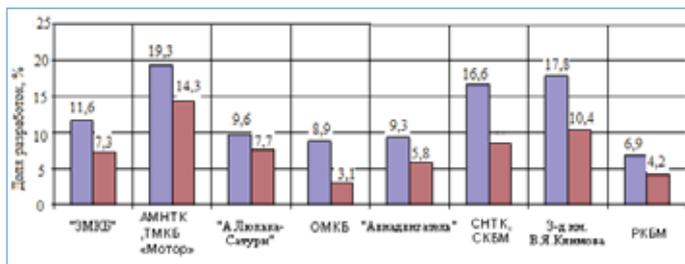


Рис. 2 Процентная доля КБ-разработчиков ГТД в общем объеме разработок двигателей и количество этих разработок, запущенных в серию

На этих и последующих диаграммах (рис. 3 - 8) указано также процентное количество серийных двигателей (темные столбцы). Следует заметить, что количество двигателей, запущенных в серийное производство, определялось не только их техническими параметрами, но и иногда соображениями другого рода. Например, некоторые двигатели, проходившие испытания, не производились из-за того, что закрывались программы создания самолетов, на которые предполагалась установка этих двигателей (НК-6, АИ-7, ВК-15Б, РД36-41 и др.).

На рис. 3 - 8 показано участие предприятий в разработке отдельных типов ГТД и доля этих разработок, запущенных в серийное производство.

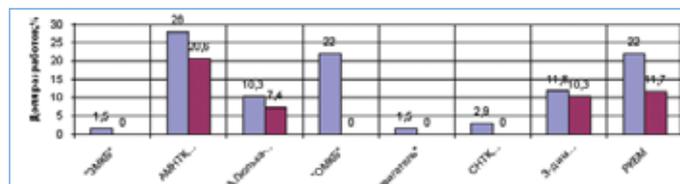


Рис. 3 Участие основных КБ в разработке ТРД и доля этих разработок, запущенных в серийное производство

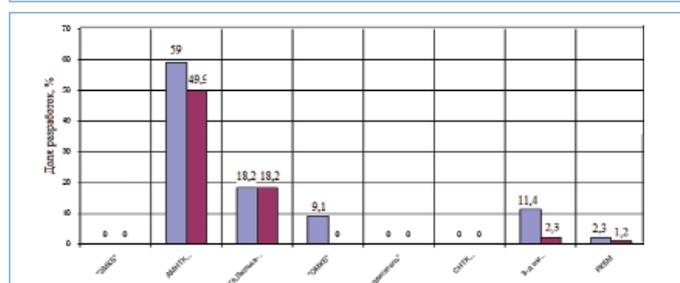


Рис. 4 Участие основных КБ в разработке ТРДФ и доля этих разработок, запущенных в серийное производство

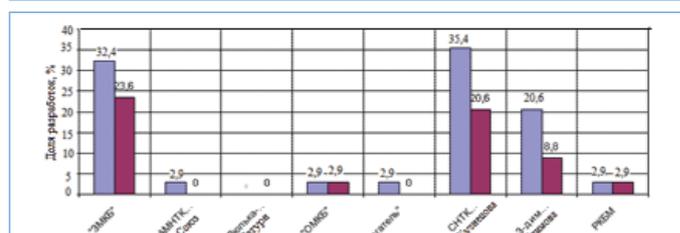


Рис. 5 Участие основных КБ в разработке ТВД и доля этих разработок, запущенных в серийное производство

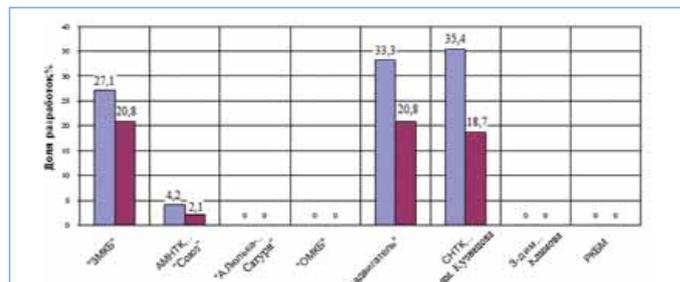


Рис. 6 Участие основных КБ в разработке ТРДД и доля этих разработок, запущенных в серийное производство

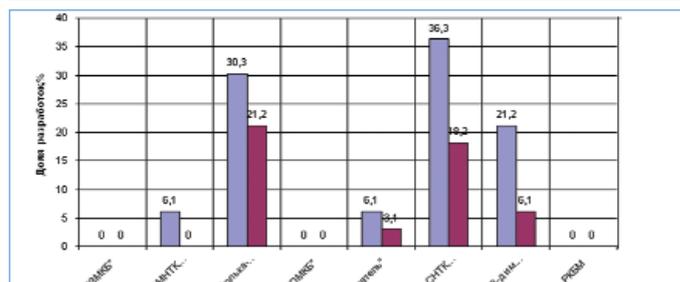


Рис. 7 Участие основных КБ в разработке ТРДДФ и доля этих разработок, запущенных в серийное производство

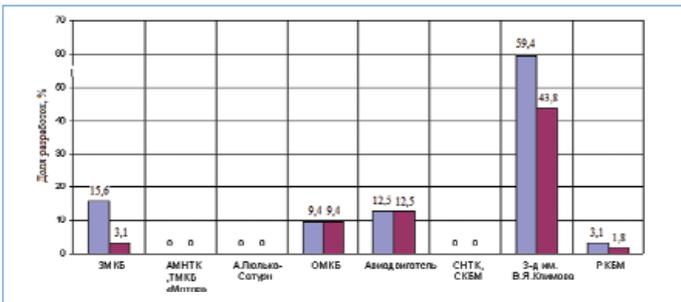


Рис. 8 Учение основных КБ в разработке ТВад, ВСУ и доля этих разработок, запущенных в серийное производство

Анализ рисунков 1 - 8 позволяет сделать следующие выводы:

1. Ни одно отечественное конструкторское бюро не разрабатывало ГТД всех типов.

2. Из общего количества разработанных отечественных ГТД, анализируемых в настоящей работе (259 серийных и опытных двигателей), доля ТВД и ТВВД составляет 13,1 %, ТРД - 26,3 %, ТРДД - 18,5 %, ТРДФ - 17 %, ТРДДФ - 12,7 %, ТВад и ВСУ - 12,4 %.

3. Наибольшее количество (19,3 % от общего числа опытных и серийных ГТД всех типов) было создано в ОАО "АМНТК "Союз", ФГУП "ТМКБ "Союз", ФГУП "НПП "Мотор", причем из них серийно производились 14,3 % ГТД.

4. Несмотря на то, что из всех типов ГТД наибольшее количество пришлось на ТРД, в конце 70-х гг. их разработка (кроме подъемных) практически прекратилась, поскольку появились более экономичные ТРДД. Основными разработчиками такого типа двигателей являются ОАО "АМНТК "Союз", ФГУП "ТМКБ "Союз" и ФГУП "НПП "Мотор" (28 % всех ТРД), а также ОАО "РКБМ" (22 %). ОАО "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", осваивая немецкий опыт, разрабатывало лишь первые опытные двигатели. ГП "ЗМКБ "Прогресс" им. А.Г. Ивченко" и ОАО "Авиадвигатель" создали по одному экспериментальному ТРД. Первый в стране стендовый ТРД (С-18) был испытан в 1945 г., а первыми серийными ТРД были РД-45 (1947 г.) и ТР-1 (1947 г.). Первый подъемный ГТД РД 36-35 был создан в 1964 г. Самым мощным ТРД в мире до сих пор является РД 36-51 (Рвзл. = 206 кН, 1978 г.).

5. Разработка ТРДФ в стране была прекращена в первой половине 70-х гг. Основные разработчики - ОАО "АМНТК "Союз", ФГУП "ТМКБ "Союз", ФГУП "НПП "Мотор" (59%), а также ОАО "А. Люлька-Сатурн" (18,2%). Первым серийным ТРДФ был ВК-1Ф (1951 г.), а первым двухкаскадным ТРДФ - Р11-300 (1960 г.). Эти двигатели способствовали появлению первых отечественных сверхзвуковых самолетов МиГ-17ПФ, а также МиГ-21 - одного из лучших в мире сверхзвуковых истребителей. Самый мощный в мире серийный ТРДФ РД-7М2 (Рвзл.ф. = 162 кН) производился с 1965 г. для самолета Ту-22К.

6. Разработка ТВД осуществлялась до середины 60-х гг., а затем была возобновлена с середины 80-х гг. В настоящее время некоторые КБ разрабатывают двигатели с редукторным приводом воздушного винта или винтовентилятора. Основной вклад в создание ТВД внесли СНТК им. Н.Д. Кузнецова (35,4 %) и ЗМКБ "Прогресс" им. А.Г. Ивченко (32,4 %). Первые опытные ТВД в России были созданы в 1945 г. (Э3080 под руководством В.В. Уварова), в 1949 г. (ТВ-022 в ОКБ Н.Д. Кузнецова) и в 1950 г. (ВК-2 в ОКБ В.Я. Климова). Самый мощный в мире ТВД до настоящего времени НК-12 (Нвзл. = 9200 кВт) был испытан в 1952 г., а первый в стране серийный ТВД НК-12М (Нвзл. = 11 025 кВт), выпускаемый с 1954 г., до сих пор является самым мощным и экономичным ТВД в мире. Благодаря этим двигателям был создан самолет Ту-95 - основа отечественной стратегической авиации. Первый отечественный ТВД с приводом воздушного винта через редуктор от свободной турбины был создан в ОКБ в 1970 г. (ТВД-10).

Первый отечественный опытный трехконтурный двигатель НК-62 был испытан в 1982 г.

Первый демонстрационный ТВВД Д-236 был представлен в 1985 г. Испытания первого в стране ТВВД с задним расположением винтовентилятора (НК-110) были осуществлены в 1988 г. (сейчас такой проект на Западе именуется "открытый ротор"). Первым ТВВД, испытанным в полете, был Д-27 (в 1990 г. этот двигатель стал первым

в мире маршевым ТВВД на самолете Ан-70).

7. В создании ТРДД наибольшее участие принимали ОАО "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" (35,4 %), ОАО "Авиадвигатель" (33,3 %) и ЗМКБ "Прогресс" им. А.Г. Ивченко (27,1 %). Первый отечественный серийный двухроторный ТРДД Д-20П производился с 1960 г., а первый серийный трехроторный ТРДД с большой степенью двухконтурности Д-36 - с 1977 г. Первый в мире летавший опытный ТРДД НК-88, работающий на жидком водороде, прошел испытания в 1988 г., а НК-89, работающий на сжиженном природном газе, - в 1989 г. Самый мощный в СССР ТРДД Д-18Т (Рвзл. = 230 кН) серийно производится с 1984 г. Этот двигатель обеспечил появление самых грузоподъемных в мире самолетов (Ан-124 и Ан-225). Первый в мире опытный ТРДД со сверхвысокой степенью двухконтурности НК-93 был испытан в 1989 г.

8. ТРДДФ в основном разрабатывали ОАО "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" (36,3 %) и ОАО "А.Люлька-Сатурн" (30,3 %). При этом первым в стране ТРДДФ был ВК-3 (1956 г.), созданный в КБ В.Я. Климова. Первым серийным ТРДДФ стал НК-144 (1964 г.). Самыми мощными в мире являются НК-25 и НК-32 (Рвзл.ф. = 245 кН). Серийное производство НК-25 осуществляется с 1977 г.

9. Основными разработчиками ТВад в стране являются ФГУП "Завод им. В.Я. Климова" (59,4 %) и ЗМКБ (15,6 %). Первый опытный вертолетный ТВад ТВ-2К был создан в 1953 г. Первым серийным вертолетным ТВад был Д-25В (1958 г.) - в это время самый мощный в мире (Нвзл. = 4,05 МВт). В настоящее время самым мощным в мире является ТВад Д-136 (Нвзл. = 10,29 МВт), который серийно производится с 1982 г. для крупнейшего в мире вертолета Ми-26.

10. Анализируя динамику разработки отечественных ГТД, по поколениям в соответствии с классификацией ЦИАМ [1] (рисунок 9), можно отметить, что в период с 1945 по 1950 гг. было создано 10,5 % всех ГТД, разработанных в стране с 1945 по 2005 г. На диаграмме заштрихованные области отражают в процентах количество серийных двигателей. На этот период приходится 6 % от общего числа серийных двигателей, т.е. количество двигателей, запущенных в серийное производство, составило 31,8 % от всех разработок, приходящийся на рассматриваемый промежуток времени. Это были двигатели I поколения.



Рис. 9 Динамика разработки отечественных ГТД

В условиях централизованного управления авиационной промышленностью путем тщательно выбранного стратегического направления развития в СССР в короткие сроки были переоснащены авиамоторные заводы и организовано производство ГТД. Двигатели I поколения (РД-10, РД-20, РД-45, РД-500, РД-45Ф, ВК-1, ВК-1А, ВК-1Ф, ТР-1 и АЛ-3), разработанные тремя конструкторскими бюро (ОКБ-500, ОКБ-165, ОКБ-117), серийно производились на семи предприятиях СССР.

При создании этих двигателей проектировщиками и изготовителями двигателей осуществлялось освоение опыта проектирования и производства новой газотурбинной техники. При этом политическая обстановка того времени требовала быстрого переоснащения авиации с поршневой на реактивную. Этим объясняется, что в выпуске одних и тех же ГТД участвовали разные предприятия.

При создании двигателей II поколения продолжают формироваться связи ОКБ - серийный завод, основанные на специали-

зации предприятий. Например, ТМКБ "Союз" и завод им. В.В. Чернышёва - специализация на создании ТРД(Ф), продолжившаяся также в производстве двигателей III и IV поколений. То же можно отнести к связям "А. Люлька-Сатурн" - ФГУП "ММПП "Салют" и ОАО "УМПО"; ОАО "РКБМ" - "Рыбинские моторы"; ОАО "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" - "Моторостроитель"; "Завод им. В.Я. Климова" - "Мотор-Сич"; "Авиадвигатель" - "Пермские моторы"; ЗМКБ "Прогресс" - "Мотор-Сич" и другие.

Одновременно предприятия начинают специализироваться на производстве двигателей определенного типа и типоразмера. Например, ОАО "УМПО", ФГУП "ММПП "Салют" и "Тюменские моторостроители" производили главным образом ТРД(Д)Ф; "Моторостроитель" - мощные ТВД и ТРДДФ; КМПО, "Пермские моторы" и "Мотор-Сич" - ТРДД для пассажирских и транспортных самолетов; ФГУП "ОМП им. П.И. Баранова" и "Мотор-Сич" - ТВД для вертолетов и т.д.

Анализируя количество выпущенных двигателей, их параметры и время производства, можно сделать вывод о развитой технологической базе предприятий, их устойчивых связях с разработчиками, широком использовании опыта и традиций при создании отечественных ГТД.

Проведенный анализ деятельности предприятий авиамоторной промышленности показал, что в настоящее время необходима мощная научно-техническая база для создания современной методологии разработки конкурентоспособных двигателей, направленная на сокращение суммарных затрат и сроков разработки авиадвигателей [2, 3]. Этому способствует также и тот факт, что стоимость создания новых двигателей постоянно растет. Например, сейчас для подготовки к серийному производству двигателя пятого поколения АЛ-41Ф требуется как минимум один млрд долларов [4]. Добиться снижения этих затрат можно за счет объединения усилий нескольких предприятий.

При интеграции предприятий прежде всего укрупняются их материальные, энергетические и интеллектуальные ресурсы. Это позволит использовать их наиболее рационально.

Разумеется, для успешной деятельности этих предприятий, необходимо научное обеспечение такими федеральными государственными научными центрами, как ЦИАМ им. П.И. Баранова, НИИ ЦИАМ, НИИД, ВИАМ и другими, проводящими перспективные исследования, разрабатывающими стратегию развития двигателестроения и создающими научно-технический задел. Кроме этого, необходимо наличие в вузах системы подготовки специалистов, владеющих современными средствами и методами создания, хорошо знающих историю развития конструкций и технологий ГТД.

При этом необходима взаимная интеграция вузов и авиадвигательных предприятий, способствующая обеспечению преемственности поколений, как в высшей школе, так и в конструкторско-производственной среде, а также повышению квалификации и переподготовке кадров [5].

Совместные проекты предприятий и ОКБ России и других стран СНГ позволят не только укрепить конкурентную позицию и

увеличить доли рынка, разделить затраты по программам (разработки, запуска серийного производства, продажи, послепродажного сервиса), но также разделить промышленные риски в случае, если рынок окажется более слабым, чем предполагалось; объединить компетентность во многих областях и специальное оборудование, тем самым создать мощные организации, способные обслуживать многих потребителей и развивать стратегические связи на долгий срок. Это также будет способствовать созданию на базе авиационных ГТД серии промышленных газотурбинных установок различного назначения.

Современный международный опыт подтверждает правильность концепции создания таких проектов. Например, крупнейшие, ранее конкурирующие фирмы Pratt and Whitney и General Electric совместно разработали двигатель GP 7000. Двигатели семейства CFM56 создаются общими усилиями фирм General Electric и SNECMA; все авиационные и ракетные фирмы Германии объединены в единый концерн.

Литература:

1. Швец, Л.И. Двигатели для дозвуковых пассажирских и транспортных самолетов // Научный вклад в создание авиационных двигателей. Кн. 1. - М., 2001. С. 96 - 126.
2. Скибин В.А., Солонин В.И., Цховребов М.М. Научно-технический потенциал и развитие авиодвигателестроения // Полет. 2001. № 5. С. 6-12.
3. Палкин В.А. Конструктивные особенности перспективных двигателей. Конверсия в машиностроении. 2006. №4. С. 21- 26, 2006. №5. С. 5-16.
4. Скибин В.А., Солонин В.И., Сосунов В.А. В новый век - с новыми идеями и целями // Научный вклад в создание авиационных двигателей. Кн. 1. - М., 2001. - С. 14-46.
5. Матвеев А.М., Хохулин В.С. Разработка новых принципов интеграции аэрокосмических предприятий и учебных заведений // Полет, 2003. № 10. С.15-17.

Связь с автором: zrellov07@mail.ru, +79276023007



ПД-14 на Форуме Двигателестроения 2014

ИНФОРМАЦИЯ

НА ПЕРМСКОМ МОТОРНОМ ЗАВОДЕ ТЕПЕРЬ БУДУТ УЧИТЬ ПО-НОВОМУ

В конце апреля в Учебном центре Пермского моторного завода был открыт макетный класс для проведения теоретических и практических занятий по обслуживанию газотурбинных двигателей наземного применения мощностью от 2,5 Мвт до 25 Мвт.

До недавнего времени здесь функционировали классы теоретического обучения по наземным и авиационным двигателям, а также макетный класс для практического обучения специалистов по обслуживанию авиадвигателя ПС-90А.

Новый класс оснащен макетом газо-

турбинной установки мощностью 4 МВт, а также целым комплексом наглядных пособий и образцов деталей данного двигателя.

В распоряжении обучающихся и эксплуатационно-техническая документация (руководства по эксплуатации двигателя, бюллетени и эксплуатационно-технические методики), и специальная борт-сумка со всеми необходимыми инструментами для работы.

По словам управляющего директора ОАО "ПМЗ" Сергея Попова, развитие учебного центра в "наземном" направлении будет способствовать повышению профес-

сионального уровня специалистов Пермского моторного завода в эксплуатирующих организациях, налаживанию грамотной и четкой системы обслуживания пермских двигателей на объектах заказчиков.

Сергей Попов отметил, что при общении с руководителями компаний-заказчиков постоянно слышит, что пермские ПТУ отличает качество и надежность, а это значит, что из года в год заказы на наземную технику будут расти.

ОАО "Пермский моторный завод"