

СИЛА СОЮЗА

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВРД
НА МОСКОВСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ
АМНТК "СОЮЗ"

ФГБОУ ВО "МАИ (НИУ)"
Аркадий Львович Берне,
Валерий Григорьевич Нестеренко



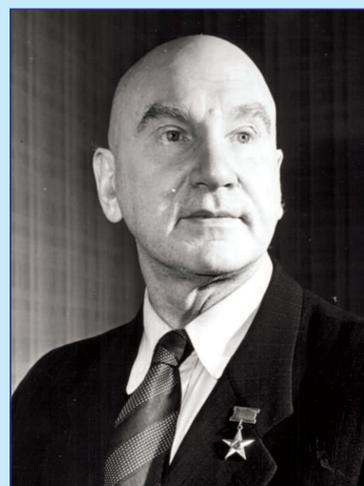
Эта статья посвящена всем сотрудникам предприятия АМНТК "Союз".

Каждый из них - в чем-то "первый" или "самый первый". За пределами данной статьи оставлены работы Главного конструктора А.А. Микулина по поршневым двигателям, а также так называемые "сторонние" разработки предприятия АМНТК "Союз", такие как малоразмерные ЖРД,

турбохолодильные машины, космический электрогенератор и многое другое. Эти темы и разработанные конструкции явились основой для создания нескольких самостоятельных фирм и ОКБ, которые заслуживают отдельных публикаций.

Завод, впоследствии названный "Авиационный моторный научно-технический комплекс (АМНТК) "Союз" был создан в предвоенное время в Лужнецкой пойме Москвы. Вот как описано это в последнем советском справочнике по авиадвигателям "Отечественные авиационные двигатели, XX век", вышедшем

уже в XXI веке: "В конце 1940 г. Александр Микулин, Владимир Климов и Сергей Туманский - наши выдающиеся авиационные конструкторы - обратились с письмом к И.В. Сталину с обоснованием необходимости выделения ОКБ, созданных при серийных заводах, в самостоятельные структуры - отдельные заводы. Руководитель страны положительно отнесся к этому предложению, но начавшаяся война и связанное с ней перебазирование промышленности на восток задержали выполнение этого решения. Наиболее настойчивым оказался Александр Александрович Микулин. В конце 1942 г. он добился передачи ему почти пустых корпусов бывшего завода "Оргавиапром". На их базе, в 1943 году Микулин создал завод № 300, которому была поручена разработка новых авиационных двигателей. Позднее завод получил название "Союз". Руководителем завода и его главным (впоследствии генеральным) конструктором назначили А. А. Микулина." [1]



А.А. Микулин в период создания "завода 300"

За время своего существования он сменил ряд наименований - "завод 300", "п/я 2480", ММЗ "Союз", МНПО "Союз". [2]

На АМНТК "Союз" были созданы семейства одновальных российских турбореактивных авиационных двигателей (ТРД), включая АМ-3, АМ-5, РД-9Б. Далее появилась идея двухвальности роторов, которая была высказана сотрудниками ЦИАМ К.В. Холщевнико-

вым и О.Н. Фаворским. Это позволяло облегчить работу подшипников и существенно повысить запасы по помпажу. В 1951 году были изготовлены первые образцы нового двухвального ТРДФ РД-300, первоначально именовавшегося АМ-11.

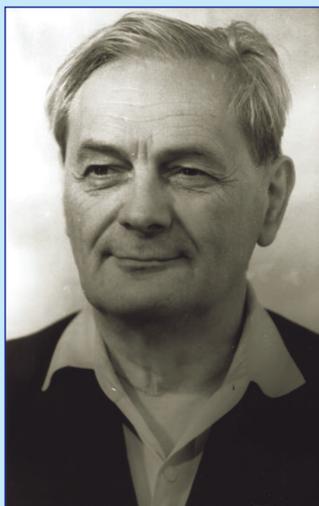
К сожалению, в середине 50-х А.А. Микулин был отстранён руководством МАП от работы в авиационной промышленности по надуманному обвинению: "Тов. Микулин допускает ошибки в выборе направления развития авиационных двигателей, выступает с порочными идеями в части применения сверхзвуковых компрессоров, высоких температур и ряда других вопросов, чем вносит путаницу и затрудняет работу по созданию двигателей". Это - из текста приказа о снятии А.А. Микулина от 20 января 1955 года, который имелся в той или иной копии у каждого работника АМНТК.



А.А. Микулин и Б.С. Стечкин в лаборатории Института Двигателей

Близкий друг, соратник и заместитель Генерального конструктора А.А. Микулина на заводе "Союз", академик Б.С. Стечкин, которого в настоящее время называют основоположником теории ВРД [3], принял А.А. Микулина на работу научным сотрудником в лабораторию двигателей АН СССР, где он работал до 1959 года.

Это - продолжение их совместной деятельности. Ещё до революции А.А. Микулин и Б.С. Стечкин (двоюродные братья и племянники "Отца русской авиации" Н.Е. Жуковского) вместе работали над проектом самодвижущейся бронированной машины Лебедева, а в 20-х годах проектировали оппозитный авиационный двигатель. Он, к слову сказать, не пошёл дальше опытной модели и даже обращение к великому Жуковскому его судьбы не поправило. Когда в 1930 году, в ходе реализации Первой Пятилетки, для подготов-



Б.С. Стечкин в послевоенные годы

ки кадров и решения сложных инженерных задач в СССР было организовано несколько десятков научных и учебных институтов в самых различных направлениях деятельности, при непосредственном участии Б.С. Стечкина был организован Институт Авиационных моторов (ИАМ - название дано Стечкиным), с 1932 года - ЦИАМ им. П.И. Баранова. Первые полгода Стечкин был его директором, а А.А. Микулин - руководителем его основного подразделения, Отдела бензиновых двигателей. И когда А.А. Микулин организовал в середине 30-х годов в Лужниках авиационное ОКБ, он привлёк в него Б.С. Стечкина в качестве научного

руководителя (сумев освободить его от работы в одной из тогдашних "шарашек") [4]. Так что - долг платежом красен.

Позднее, А.А. Микулин расширил направление своих работ и сосредоточил деятельность на проблеме укрепления здоровья и обеспечения увеличенной продолжительности человеческой жизни. И здесь он также добился больших успехов и признания своих заслуг, разработал ионизатор и гребной тренажёр - "машину здоровья", изобрёл "виброгимнастику", обосновал и запустил в жизнь понятие "шлаки" в организме, до него в медицинском мире не существовавшее. Он стал "сам себе врач", написал выдержавшую около десятка изданий книгу "Активное долголетие. Моя система борьбы со старостью". И прожил в добром здравии весьма творческую и весьма некороткую жизнь.

Однако творческая проектная деятельность по созданию ВРД на АМНТК "Союз", даже в этих критических обстоятельствах, после увольнения его создателя и главного конструктора, не остановилась. Его руководителями длительное время были талантливые и хорошо известные своими разработками новых поколений авиационных ГТД академик С.К. Туманский и д.т.н. О.Н. Фаворский, который впоследствии также был избран академиком РАН. Так, например, с 1973 по 1988 г., когда О.Н. Фаворский был главным конструктором микулинского МНПО "Союз", он, в частности, занимался доводкой двигателя Р27В-300 для самолёта Су ВВП ЯК 38 и уникального Р15БФ2-300 для МиГ-25. На базе Р27В-300 был создан работающий на воздухе, отбираемый от компрессора ВД, газодинамический лазер мощностью 180 кВт. Эта конструкция успешно была испытана на базе ВВС в Чкаловской.



Обложка 5-го издания книги А.А. Микулина

Далее нами будут упомянуты только самые близкие сподвижники руководителей АМНТК "Со-



С.К. Туманский

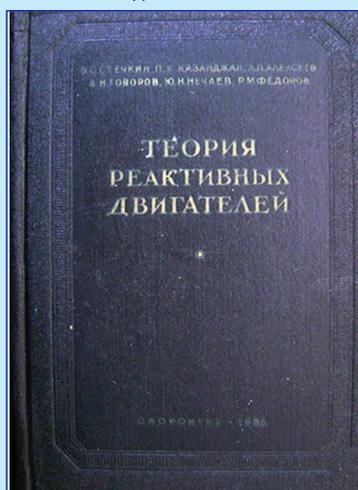
юз", и те газотурбинные двигатели, которые были разработаны на нём до 1987 года - времени первого полёта самолёта вертикального взлёта и посадки ЯК 141 с ТРДДФ Р79 В-300 с максимальной форсажной тягой 15500 кгс, который так и не был передан в крупносерийное производство.

А.А. Микулин, а за ним С.К. Туманский и О.Н. Фаворский придерживались принципа "империи": на каждом серийном заводе, выпускавшем двигатели АМ или -300 была группа или ОКБ во главе с выходцами с завода 300 или, как минимум, дружелюбно настроенным руководителем. Таковыми были: Тушинское ОКБ-500 во главе с К.Р. Хачатуровым, ОКБ-16 в Казани П.Ф. Зубца, ОКБ-26 в Уфе В.Г. Сорокина, МКБ "Гранит" Ф.В. Шухова на площадке завода "Салют", группа В.М. Непопалова на Тюменском моторостроительном заводе.

Конечно, А.А. Микулин был общепризнанным лидером, талантливым конструктором, но не меньше был и его организаторский талант, позволивший ему собрать и сплотить творческую команду специалистов. Проблем, по которым на фирме было не с кем посоветоваться, практически не было. Так же, не было вопроса - помогут ли тебе в технической сложной ситуации или нет. В созданной А.А. Микулиным и расширенной после его отстранения С.К. Туманским команде специалистов были "звезды" первой величины. Перечислить всех значимых сотрудников невозможно, упомянем лишь некоторых из них.

Академик Б.С. Стечкин, как уже упоминалось, был автором первой опубликованной в России полной теории ВРД.

С.К. Туманский широко известен как генеральный конструктор, но мало кто помнит его как главного конструктора Запорожского завода - еще до 1941 года. Отсюда, его дружеские связи с людьми, впоследствии занявшими самые высокие должности. Когда у молодого руководителя Запорожского ОКБ А.Г. Ивченко в середине 1950-х возникли проблемы с основными данными вновь разрабатываемого ТВД, С.К. Туманский "одолжил" ему расчетчиков и конструкторов из групп компрессора и турбины (вместе с их уже накопленным опытом!). Следы их работы видны в одном из самых успешных в мире ТВД АИ-20.

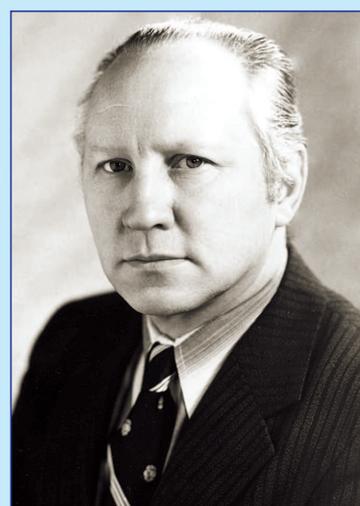


Обложка книги 1956 г. под редакцией Б.С. Стечкина

Ю.И. Гусев много лет вначале - начальник конструкторской группы компрессоров, впоследствии - главный конструктор, в значительной мере вынесший на своих плечах трудности доводки целого ряда изделий.

Г.Л. Лившиц, первый зам. С.К. Туманского, отличался редкой широтой знаний и интересов, но работать с ним было нелегко - он просто много помнил и думал быстрее всех.

В.И. Базаров - начальник группы перспективных компоновок. Это он подал патентную заявку на ГТД в 1923 г., однако патентное Бюро России разделило эту заявку на два отдельных патента - компрессор и турбину. Так Россия потеряла приоритет на создание авиационного ВРД. Удивительно талантливый конструктор,



О.Н. Фаворский

О.Н. Фаворский был талантливым конструктором, но не меньше был и его организаторский талант, позволивший ему собрать и сплотить творческую команду специалистов. Проблем, по которым на фирме было не с кем посоветоваться, практически не было. Так же, не было вопроса - помогут ли тебе в технической сложной ситуации или нет. В созданной А.А. Микулиным и расширенной после его отстранения С.К. Туманским команде специалистов были "звезды" первой величины. Перечислить всех значимых сотрудников невозможно, упомянем лишь некоторых из них.

Академик Б.С. Стечкин, как уже упоминалось, был автором первой опубликованной в России полной теории ВРД.

С.К. Туманский широко известен как генеральный конструктор, но мало кто помнит его как главного конструктора Запорожского завода - еще до 1941 года. Отсюда, его дружеские связи с людьми, впоследствии занявшими самые высокие должности. Когда у молодого руководителя Запорожского ОКБ А.Г. Ивченко в середине 1950-х возникли проблемы с основными данными вновь разрабатываемого ТВД, С.К. Туманский "одолжил" ему расчетчиков и конструкторов из групп компрессора и турбины (вместе с их уже накопленным опытом!). Следы их работы видны в одном из самых успешных в мире ТВД АИ-20.

Ю.И. Гусев много лет вначале - начальник конструкторской группы компрессоров, впоследствии - главный конструктор, в значительной мере вынесший на своих плечах трудности доводки целого ряда изделий.

Г.Л. Лившиц, первый зам. С.К. Туманского, отличался редкой широтой знаний и интересов, но работать с ним было нелегко - он просто много помнил и думал быстрее всех.

В.И. Базаров - начальник группы перспективных компоновок. Это он подал патентную заявку на ГТД в 1923 г., однако патентное Бюро России разделило эту заявку на два отдельных патента - компрессор и турбину. Так Россия потеряла приоритет на создание авиационного ВРД. Удивительно талантливый конструктор,

были также использованы трофейные немецкие материалы - чертежи и экспериментальные данные [3].

Созданию двигателя во многом способствовало инициированная А.А. Микулиным разработка нового отечественного жаропрочного материала на заводе "Электросталь", расположенного в Подмоскowie, около Ногинска. Без создания этого материала разработка высокотемпературных турбин ВРД в России была бы невозможна.

В 1948-49 гг. этот новый двигатель проходил летные испытания на опытном самолете ЕФ-140. Его основные параметры на максимальном режиме: тяга - 3300 кг (32,36 кН), удельный расход топлива - 1,2 кг/кг²ч (0,122 кг/Н ч). На номинальном режиме: тяга - 3000 кг (29,4 кН); удельный расход топлива - 1,2 кг/кг²ч (0,122 кг/Н ч); максимальный расход воздуха - 65 кг/с.; степень повышения давления воздуха в компрессоре - 4,0; максимальная температура газа перед турбиной - 1120 К; масса - 1720 кг., удельная масса - 0,52. [5]

Модификация этого двигателя **АМРД-02** с тягой, увеличенной до 41,7 кН, успешно прошла государственные стендовые испытания в 1949 г. Принципиальные схемы двух двигателей аналогичны. С целью уменьшения массы и длины двигателей трубчато-кольцевая камера сгорания выполнена противоточной. Восьмиступенчатый осевой компрессор АМТКРД-01 (на АМРД-02 - девятиступенчатый) приводился во вращение одноступенчатой турбиной. На АМТКРД-01 установлено регулируемое реактивное сопло с электроприводом, а на АМРД-02 нерегулируемое. Запуск двигателей производился воздушным стартером. Двигатель был снабжен противообледенительной системой. В 1948-49 гг. двигатели проходили летные испытания на опытном самолете ЕФ-140. Максимальный режим: тяга - 4250 кг (41,65 кН), удельный расход топлива - 1,05 кг/кг ч (0,107 кг/Н ч) Номинальный режим: тяга - 3850 кг (37,7 кН), удельный расход топлива - 1,02 кг/кг ч (0,104 кг/Н ч). Максимальный расход воздуха - 75 кг/с. Степень повышения давления воздуха в компрессоре - 5,0. Максимальная температура газа перед турбиной не изменилась - 1120 К. Масса - 1675 кг

2. АМ-3 - в 1949 г. было начато проектирование самого мощного в мире для того времени ТРД [5]. В 1952 г. он успешно прошел государственные стендовые испытания и был запущен в крупносерийное производство на заводе №16 в Казани. Около 10 лет после создания этот ТРД оставался самым большим в мире. Для него были разработаны лента перепуска воздуха из средних ступеней компрессора, втулочно-пальцевое бандажирование лопаток турбины, шарнирное соединение роторов турбины и компрессора, интенсификация процесса охлаждения стенок жаровой трубы. Двигатель запускался от турбостартера собственной разработки СЗ-300. Потребовались новые материалы и технологии: штамповка алюминиевых заготовок большого диаметра, фрезерование и шлифовка труднообрабатываемых никелевых сплавов. Для внедрения в серию была создана группа, а позднее отдельное КБ, П.Ф. Зубца в Казани. Помимо сопровождения серийного производства эта группа занималась модификациями АМ-3 и увеличением их ресурса. Первые двигатели имели межремонтный ресурс 50 час., а последние - 2000 час.

3. АМ-5 - представляет собой образец применение идеи Микулина о "законе квадрата-куба" - "маленький двигатель будет легче". Это был первый крупносерийный ТРД полностью отечественной разработки. На нем впервые были преодолены трудности масштабирования. Также, и во время доводки возникли многочисленные трудности, в частности с устойчивостью компрессора и организацией процесса горения. Опыт создания ТРД АМ-3 и АМ-5 был успешно применен для создания ТВД АИ-20, газогенератор которого по параметрам и конструкции был "между" ними. В результате цикл доводки АИ-20 был значительно сокращен, он "обогнал" конкурирующий двигатель, и в результате оказался одним из самых успешных и долгоживущих проектов.

4. АМ-9 (РД-9) - прямое продолжение линии АМ-5, первый ТРД для сверхзвукового истребителя. Для его внедрения в серию была создана группа В.Г. Сорокина в Уфе, ОКБ-26 при заводе № 26 приказом МАП СССР от 26 сентября 1955 г. Серийно выпускалось более 10-ти его модификаций, в том числе и для крылатой ракеты.

5. Р11-300 - двигатель с очень высокой степенью конструктив-

ной и аэродинамической инновации, проектировался под руководством Б.С. Стечкина. [6] Первый в СССР двухвальный двигатель, первый сверхзвуковой компрессор. Лопатки СА первой ступени компрессора одновременно являются передней опорой ротора НД. Оптимальное сочетание газодинамических, конструктивных и прочностных характеристик обеспечило этому проекту удивительно долгую жизнь. Считая вместе с модификациями, это - самый массовый ТРД в мире. Поздние модификации его (Р 95Ш) выпускаются до настоящего времени. При создании этого двигателя было решено множество проблем, в том числе в области сверхзвукового течения в относительном движении в лопатках компрессора, динамической прочности лопаток, критических скоростей вращения роторов, высоких температур в камере сгорания и форсажной камере, поджига, устойчивого горения и интенсификации процесса в форсажной камере и т.д.

6. КР7-300 - первый ТРД, спроектированный специально для низко летящей противокорабельной КР со сверхзвуковым подлетом к цели. Стендов для имитации полетных условий не было, доводка в большой степени проходила на моделях и на летных испытаниях. Двигатель создавался как предельно простой и надежный, что позволило в дальнейшем использовать его для испытаний новых технологий, материалов, конструктивных решений.

7. КР7Ф-300 (Р26-300) - глубокая модификация КР7-300 на увеличенную тягу. Впервые была полностью отработана охлаждаемая лопатка турбины с дефлекторной схемой охлаждения в то время самой эффективной. На ней была отработана технология литья по выплавляемым моделям.

8. РУ19-300 -двигатель, разработанного под руководством Ю.И. Гусева. Он был заявлен как "комсомольско-молодежный", специально для учебно-тренировочных Як-30 и Як-32. Впоследствии этот двигатель имел множество применений, в том числе как ВСУ на Ан-24 РВ и Ан-26, как основной двигатель на опытном экраноплане Р.Е. Алексеева, а также для подогрева воздуха на испытательных стендах.

9. Р15-300 - основное назначение - крейсерский полет с $M > 2,8$, $H > 20$ км. Первые применения двигателя - экспериментальный Е-152 и крылатая ракета ТУ-123 "Ястреб". Серийное производство для самолетов семейства МиГ-25 было организовано на заводе "Салют" в Сокольниках под руководством Ф.В. Шухова. Модификация Р15БФ2-300 на увеличенные расход, степень сжатия и температуру газа перед турбиной, с тягой 14500 кг, по требованию заказчика была взаимозаменяема с ранними модификациями. Всего на этих двигателях установлено более 10 мировых рекордов, некоторые не побиты до сих пор.

10. Р21В-300 - первый в СССР подъемно-маршевый ТРД, был разработан на базе Р21Ф-300, модификации Р11-300 на увеличенную тягу для самолета Е-8. Двигатель с рекордно низкой удельной массой устанавливался на экспериментальном СВВП Як-36. На нем впервые были отработаны особенности работы на СВВП - точное регулирование тяги, отборы воздуха на струйные рули, подсос на вход выхлопных газов.

11. Р27В-300 - подъемно-маршевый ТРД для СВВП Як-38 разработан на основе Р27Ф-300. Самолет Як-38 - первый в СССР боевой самолет палубного базирования.

12. ТВД ТВ0-100 - первый для этой фирмы турбовальный вертолетный ГТД. Комплект документации на этот двигатель был передан в ОМКБ и после его доводки и летных испытаний на Ка-126 он был по линии СЭВ передан для изготовления в Румынию.

13. Главная традиция фирмы АМНТК "Союз" - широкий диапазон разработок. Это отразилось в одновременной работе над первыми в истории фирмы двухконтурными двигателями, РДК-300 и Р79В-300, различающимися по тяге в 42 раза.

13.1. ТРДД РДК-300 - двухконтурный двигатель малой тяги. Его особенности обусловлены размерностью и ограниченными сроками доводки и начала массового производства. В отличие от конкурентов, двигатель одновальный с осевым вентилятором и компрессором. Высота лопатки последней ступени компрессора 8,0 мм. Для уменьшения габаритов и расширения диапазона рабочих режимов камера сгорания имеет "улиточное" фронтальное устройство, разработанное на предприятии "Союз".

13.2. ТРДД Р79В-300 - двухконтурный, двухвальный подъемно-маршевый форсажный двигатель для СВВП Як-141. При большом различии в размерностях и назначении, в ряде элементов просматриваются общие с РДК-300 черты.

Хотелось бы еще раз упомянуть, что этот двигатель как бы "стоял на плечах" огромного опыта. Например, из средних ступеней компрессора на струйные рули самолета на "вертикальных" режимах отбиралось до 10% расхода воздуха, на "горизонтальных" режимах отбор закрывался. Несмотря на эту очевидную сложность, газодинамика компрессора "была угадана с чистого листа": создан и испытан только один вариант компрессора. Для сравнения: в то же время иностранной фирме для схожего компрессора потребовалась разработка и испытание 9 вариантов. Многие элементы двигателя, в первую очередь форсажная камера и сопло, намного опередили свое время.

Новые конструкции этого двигателя потребовали разработки и освоения ряда новых технологий. От многих из них, в частности, паяных корпусов камеры сгорания, сопловой и рабочей лопаток турбины ВД, пришлось отказаться из-за ограниченных сроков доводки. Позже стало известно, что паяные лопатки турбины были успешно изготовлены фирмой GE, но они не пошли в серийное производство. Первый полёт самолёта Як-141 состоялся 9 марта 1987 года. С 2003 года работы по этому проекту закрыты. Всего было произведено четыре экземпляра Як-141. Он установил множество мировых рекордов, почти все они не побиты до сих пор.

Очевидно, что на предприятии АМНТК "Союз" и в настоящее время имеются реальные перспективы разработки и совершенствования новых авиационных двигателей, а также модернизации имеющихся, но не принятых к серийному производству. Всё это в полной мере относится к ТРДДФ Р79М-300, турбокомпрессор которого позволяет, в соответствии с выполненными расчётами, поднять его максимальную тягу до величины, превышающей тягу американского ТРДДФ F135-PW 100/400/. Известен проект ТРДДФ Р79М-300 максимальной тягой 18500 кгс с системой управления вектором тяги в вертикальной плоскости на $\pm 20^\circ$ и цифровой ЭДСУ. Не устарел



В.А. Журавлёв

технически и ТВД ТВ0-100, малогабаритный модульный турбовальный двигатель. Он проектировался для установки на вертолёт Ка-126. Известен проект ТВД 128-300, максимальной мощностью 1300 л.с., с винтовентилятором, разработанным на АМНТК "Союз" заместителем О.Н. Фаворского, В.А. Журавлёвым. Испытания нового авиадвигателя проекта Open Rotor (ТВВД) проводит в настоящее время Safran, по их оценке экономия топлива может составить от 5 до 10%, это актуально для отечественного проекта ТВД ТВ7-117...

Технически, возможности продолжить творческие работы на АМНТК "Союз", несомненно, сохраняются. Есть и проекты, и площади, и оборудование.

P110-300	P579-300	TB128-300
для беспилотных летательных аппаратов	для сверхзвуковых пассажирских лайнеров	для перспективных вертолетов



В современных экономических условиях в России АМНТК "Союз" потерял самое ценное - коллектив опытных квалифицированных специалистов по проектированию авиационных двигателей. Однако, Московский, Самарский, Рыбинский, Казанский и др. авиационные университеты (не так ещё давно именовались "институты"), и технологические колледжи ежегодно продолжают выпускать значительное количество молодых специалистов по этому направлению профессиональной подготовки. Для того, чтобы страна наша имела будущее, будущее самой российской молодёжи должно быть финансово стимулировано для реализации её способностей в авиационной или любого другого вида машиностроительной отрасли как государством, так и частным капиталом, рассчитывающим существовать в нашей стране.



Литература.

1. Берне Л.П., Боев Д.А., Ганшин Н.С. Отечественные авиационные двигатели, XX век.-М., Авико-пресс, 2003, 212 с. ISBN-5-86309-028-7
2. Берне Лев Павлович . Как всё начиналось. Издание II, дополненное. Издательство журнала "Двигатель", М., 2013, 464 стр. с ил., ISBN 978-5-98962-011-1
3. Стечкин Борис Сергеевич. Теория воздушного реактивного двигателя // Техника воздушного флота. 1929, № 2.
4. Берне Лев Павлович. Как всё начиналось. Издание II, дополненное. Издательство журнала "Двигатель", М., 2013, глава Стечкин - стр 81-103
5. Журнал "Двигатель" № 1 (19) 2002 стр 46. <http://engine.aviaport.ru/issues/19/page46.html>
6. Журнал "Двигатель" № 3 (21) 2002, стр 34, <http://engine.aviaport.ru/issues/21/index.html>
7. Журнал "Двигатель" № 6 (24) 2002, стр 24, <http://engine.aviaport.ru/issues/24/index.html>
8. Болотин Александр, Энтис Яков. Век Микулина. npre. ru. библиотека. http://npre.ru/transport_i_aviacija/aviacija_i_kosmonavtika_1996_12/p7.php
9. Турбореактивный авиационный двигатель амткрд-01 (ам-01). 23.03.2017 <http://stroimsamolet.ru/turboreaktivnyj-aviacionnyj-dvigatel-amikrd-01-am/>
10. Феклистов Игорь. АМНТК "Союз" - 77 лет лидерства в разработке уникальных авиационных двигателей и газотурбинных установок. Читайте на WWW.KP.RU: <https://www.kp.ru/daily/217176/4279299/>.
11. Белов Вс. Июль 16, 2017 2:27 am. Микулин Александр Александрович (легенды технической мысли). Биография представлена Антоном Бочаровым. <https://mirovid.profforum.ru/t639-topic>

В заключение этой темы авторы считают себя обязанными выразить искреннюю благодарность редактору журнала, Дмитрию Александровичу Боеву за те принципиально важные дополнения, которые он сделал при редактировании статьи.

Фото с сайта https://www.instagram.com/soyuz_amnkt/?hl=ru