

# Двигатель

Научно-технический журнал № 2 (14) ◀ 2001



**Для топливно-энергетического комплекса России  
надежные и недорогие энергетические установки**

# Редакционный совет

**Абрамов Г.А.,**  
научный консультант Российского Речного Регистра

**Анисин Д.Д.,**  
зам. руководителя Департамента мореплавания Минтранспорта РФ

**Гриценко Е.А.,**  
ген. конструктор СНТК им. Н.Д. Кузнецова, Самара

**Губертов А.М.,**  
зам. директора ФГУП "Исследовательский центр им. М.В. Келдыша"

**Данилов О.М.,**  
ген. директор ЗАО "Центральная компания МФП "БелРусАвто", Москва

**Долецкий В.А.,**  
президент АО "Русские моторы", Ярославль

**Жарнов В.М.,**  
ген. конструктор ПО "Минский моторный завод"

**Зазулов В.И.,**  
гл. конструктор НПП "ЭГА", Москва

**Каблов Е.Н.,**  
директор ГНЦ ВИАМ

**Каторгин Б.И.,**  
ген. конструктор, ген. директор НПО "Энергомаш", член-корр. РАН

**Клименко В.Р.,**  
гл. инженер ОАО "Аэрофлот – РМА"

**Коржов М.А.,**  
гл. конструктор двигателей ОАО "АвтоВАЗ", Тольятти

**Крымов В.В.,**  
зам. ген. директора ФНПЦ ММП "Салют" по науке, Москва

**Кузнецов А.Н.,**  
зам. ген. директора Российского авиационно-космического агентства

**Кутенев В.Ф.,**  
зам. ген. директора ГНЦ НАМИ по внешнеэкономическим связям

**Леонтьев Н.И.,**  
ген. конструктор, ген. директор КБХМ им. А.М. Исаева

**Муравченко Ф.М.,**  
ген. конструктор МКБ "Прогресс", Запорожье

**Романов В.И.,**  
ген. директор НПП "Машпроект" им. С.Д. Колосова", Николаев

**Русак А.Д.,**  
начальник Департамента локомотивного хозяйства МПС РФ

**Скибин В.А.,**  
директор ГНЦ ЦИАМ им. П.И. Баранова

**Троицкий Н.И.,**  
директор НИИ двигателей

**Фаворский О.Н.,**  
академик, член президиума РАН

**Чепкин В.М.,**  
ген. конструктор ОАО "А. Лялька-Сатурн"

**Черваков В.В.,**  
декан факультета авиадвигателей МАИ

**Чуйко В.М.,**  
президент Ассоциации "Союз авиационного двигателестроения"

**Шапошников Е.И.,**  
советник Президента РФ по авиации и космонавтике

**Шматович В.В.,**  
председатель Совета директоров ОАО "Авиадвигатель" и ОАО "Пермский моторный завод"

**УЧРЕДИТЕЛЬ**  
ООО "Редакция журнала "Двигатели"

**ИЗДАТЕЛЬ**  
ООО "Редакция журнала "Двигатели"

## РЕДАКЦИЯ

**Главный редактор**

Александр Бажанов

**Заместитель главного редактора**

Дмитрий Боев

**Ответственный секретарь**

Александр Медведь

**Финансовый директор**

Галина Чекина

**Редакторы:**

Андрей Касьян, Людмила Клименко,

Валентин Шерстянников

**Литературный редактор**

Лидия Рождественская

**Художественный редактор**

Людмила Жемуранова

**Дизайн и верстка**

Александр Коваленко

**Техническая поддержка**

Александр Бобылев

**В номере использованы фотографии, эскизы и рисунки:**

Александра Бажанова,

Дмитрия Боева,

Льва Берне,

Александра Медведя,

Александра Пейсаховича

**Адрес редакции журнала "Двигатель":**

111250, Россия, Москва,

ул. Авиамоторная, 2

Тел.: (095) 362-39-25

Факс: (095) 362-39-25

E-mail: engine@ztl.ru

http://www.engines.da.ru

Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в публикуемых материалах.

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов.

Перепечатка опубликованных материалов без письменного согласия редакции не допускается.

Ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

Научно-технический журнал

"Двигатель" ©

зарегистрирован

в Государственном Комитете РФ

по печати

Reg. № 018414 от 11.01.1999 г.

Отпечатано ЗАО "Фабрика Офсетной Печати"

г. Москва

Тираж 5000 экз.

Цена свободная

# СОДЕРЖАНИЕ

№ 2 (14) март-апрель 2001

**2 Свобода - это ответственность**

В. Чуйко

**6 Энергетика - решающий фактор экономики**

О. Фаворский

**8 Наши требования: надежность, эффективность, экологичность**

Интервью с А. Шайхутдиновым

**12 По программе "Урал - Газпром"**

Ю. Решетников

**13 Открываем новую страницу**

В. Рачук, Ю. Шипулин, В. Иванов,  
А. Сухов, И. Лачугин

**16 Унифицированная САУ газотурбинных приводов**

В. Зазулов

**18 "Высокие технологии" для создания двигателя**

Ю. Елисеев, В. Беляев, С. Серета

**21 ГТН-6У - стационарный газоперекачивающий агрегат**

А. Колчанов, Г. Проскураков

**24 Масштабные проекты малой энергетики**

А. Васильев

**26 Энергия УМПО**

В. Лесунов

**28 Для энергетики нового тысячелетия**

В. Богуслаев

**30 В новое тысячелетие с газовыми турбинами "Рыбинских моторов"**

В. Межибовский

**32 Двигатели и установки**

**"Машпроекта" для газовиков и энергетиков**

А. Коваленко, А. Боцула, Л. Лимборская

**36 Технологии оборонного комплекса в малой энергетике**

В. Гуров, Е. Джамай

**39 Александр Микулин, человек-легенда**

Л. Берне, В. Перов

**44 ЖРД аэрокосмических фирм Западной Европы**

А. Башилов, Г. Самарин

**48 Sodick. Высокое качество поверхности как функция точности**



# СВОБОДА — ЭТО ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

## Двигателестроительная отрасль на рубеже веков



**31 мая 2001 года – юбилей Ассоциации "Союз Aviационного Двигателестроения", учрежденной десять лет назад 58 авиадвигательными и агрегатными предприятиями и организациями, входившими в состав Авиапрома СССР. Сегодня в АССАД 88 организаций и фирм: 72 российских, 7 украинских, одна белорусская, и 8 из дальнего зарубежья. В течение 10 лет изменялись направления конкретной работы и точки приложения сил членов Ассоциации и ее руководства с учетом изменяющейся экономической и политической ситуации. Неизменным все это время оставалось одно главное стратегическое направление деятельности, определенное Уставными документами 1991 года: оказание всемерной поддержки каждому предприятию-члену Ассоциации.**

**Виктор Чуйко,**  
президент и генеральный директор АССАД

За 10 лет работы Ассоциация установила деловые связи с аппаратами Президента и Правительства России, ведомствами России и Украины, заказчиками авиатехники и газотурбинных приводов различного назначения. Постоянный анализ проблем, встававших перед предприятиями-членами АССАД, обобщение их, позволяли нам формулировать конкретные предложения, направлявшиеся Президенту, правительству России, Государственной Думе, министерствам и ведомствам. Мы являлись инициаторами парламентских слушаний, совещаний в государственных структурах, организовывали научно-технические совещания, целью которых была защита интересов членов АССАД, поиск путей совершенствования и расширения их взаимовыгодной кооперации. Понимая важность объективного отражения состояния двигателестроения в России, а также проблем, стоящих перед предприятиями-членами АССАД, наша Ассоциация организовала серию международных выставок "Двигатели" и научно-технических симпозиумов "Двигатели и экология". АССАД содействовала становлению нового научно-технического журнала "Двигатель", организации специального журнала "Газотурбинные технологии". Общение с прессой, особенно той ее частью, которая ориентирована на авиацию – одно из основных направлений нашей деятельности.

Всем ведомо, что в нашей промышленности имел место развал экономических, кооперационных, научно-технических и финансовых связей, спад производства, приостановление обновления основных фондов и сокращение работ по важным направлениям развития науки, технологии, проектирования. Все это заставило правление и Генеральную дирекцию АССАД принять в качестве главной задачи не развитие, а просто выживание, сохранение научно-технического потенциала авиационного двигателестроения. В результате, если в 1995-1996 годах 85 % предприятий авиационного двигателестроения находились на грани полного развала, то к 2000 году (не без наших усилий) все они сохранились, улучшили свои технико-экономические показатели и стали работать более стабильно. Нужно отметить, что традиционная для нашей отрасли кадровая политика, направленная на получение максимальной пользы делу от усилий руководства предприя-

тия, дала результат именно сейчас: в создавшихся условиях подавляющее большинство руководителей предприятий, работая на пределе возможности и сил, сохранили коллективы, основные фонды, широту спектра производимой продукции.

За один лишь прошлый год мы сертифицировали 6 двигателей. И хотя это были не абсолютно новые, а модернизированные и глубоко модернизированные варианты уже выпускаемых машин, но все-таки несомненный прогресс налицо: ведь прежде мы обычно сертифицировали один двигатель в год или даже один двигатель в три года. Стоит отметить, что только три проекта (ТВД-20, Д-436-Т1 и М14В1) финансировались из Госбюджета. Работы по модернизации и сертификации других (ТВЗ-117ВМА-СБМ1, ВК-2500 и АИЗ-В) проводились на внебюджетные средства. Это тоже новое явление: наша отрасль стала приспосабливаться к требованиям рынка, проводить исследования, финансировать именно те изделия, для которых рынок наиболее благоприятен.

Мотористы всегда отличались особым чувством коллективизма. Стремление к взаимовыгодной кооперации свойственно предприятиям нашей отрасли. В конце 80-х гг. примерно раз в квартал стали появляться бездумные указания о снижении численности министерств на 20...25 % (при сохранении всех их функций в полном объеме) под флагом "сокращения директивного влияния министерств на экономику". Всем было понятно, что продолжение такой практики неизбежно приведет к положению, когда "урезанные" министерства захлебнутся в текучке, им станут не нужны предприятия, а в результате заводы останутся один на один со всеми проблемами. Таким образом, разрушалась ставшая привычной координация действий отрасли "через верхи", а уровень прямых связей был в то время совершенно недостаточным для практической работы.

Уяснив это, мы решили действовать самостоятельно. В 1991 г. был принят устав нашей Ассоциации, над которым работали почти год. АССАД была призвана координировать действия всей авиационной моторостроительной отрасли, вобрав функции бывшего главка, но без использования его управляющего ресурса. Это существенно: мы целый год спорили, какая из двух задач – координирующая или управляющая – должна была стать основной для Ассоциа-

ции. В конце концов, решили, что управлять своей деятельностью должны сами предприятия, а вот вопросы интеграции будем решать вместе, анализируя общие на многих предприятиях проблемы, выбирая из них наиболее значимые и, вместе с предприятиями предлагая правительству, Президенту мероприятия по решению этих общих задач. Фактически мы взяли на себя ответственность за формирование стратегии развития авиационного двигателестроения.

Была и еще одна причина чисто технического свойства: моторостроительные заводы выпускали более 50 % объема производства технически сложных товаров народного потребления (лодочные и автомобильные моторы, снегоходы и т.д.), и, кроме того, изготавливали индустриальные двигатели для паровых и газотурбинных энергоустановок. Самолетостроительные предприятия получали не более 20 % авиадвигателей, остальные шли эксплуатантам и на ремонтные предприятия. Потому, когда произошел мощный спад производства в авиастроении, то приблизительно половина нашей продукции все равно осталась востребованной.

Правда, был период, когда спроса не было и на эти виды товаров из-за распада связей в экономике в целом. Егор Гайдар укорял нас тогда: "...что же вы производите продукцию, на которую нет спроса?..", а в это интересное время спрос был разве что на продукты и ... деньги (последнее потому еще, что все намеченные централизованные программы были кредитованы госбюджетом максимум на 20 %). Однако все это время и газ, и нефть качали, а значит требовались приводы для нагнетателей и энергоустановок, которые делала именно наша отрасль промышленности.

В то время по инициативе Юрия Коптева было создано Российское космическое агентство, которое продолжило программу освоения космического пространства. Двигатели для космических ракет по-прежнему были необходимы стране. В меньшем количестве, чем раньше, но, тем не менее, спрос "на нет" не сошел, и выпускающая их часть нашей подотрасли живет и сегодня.

Пока самолеты отечественного производства продолжают летать (хотя общий налет даже в гражданской авиации сократился в 5...6 раз), остается потребность в авиадвигателях для замены на эксплуатируемых воздушных судах.

Первые предложения вновь созданной Ассоциации были связаны с совершенствованием порядка экспортных операций. Старая система управления экспортом строилась на запрещающем принципе, предприятиям не разрешалось участвовать во внешнеэкономических операциях самостоятельно. С другой стороны, иностранные производители стали захватывать рынки: как традиционно "наши" в третьих странах, так и собственно российские. Изменение нашей системы работы с экспортом позволило многим предприятиям удержать или найти свое место в экспортной зоне и отстоять интересы внутри страны.

Есть еще один фактор, который я бы отнес к объективно позволившим создать нашу Ассоциацию: в моторных главках министерства авиационной промышленности работало более 150 высококвалифицированных специалистов. При сокращении Миновиапрома всех их следовало бы выбросить на улицу. Некоторые ушли на предприятия, кто-то перешел в другие какие-то организации, а вот та часть, которую мы смогли удержать, люди, знающие предприятия, их связи, их работу - составили основу Ассоциации. Благодаря им у нас не было проблем организационного характера с поиском грамотных сотрудников. А кадры, как известно, решают все (вне зависимости от отношения к автору этого афоризма).

Одна из причин успешной работы нашей Ассоциации в том, что мы всегда устанавливаем хорошие связи с теми министерствами и ведомствами, которые видят в нас партнеров, в каком-то смысле даже помощников по многим вопросам. Мы, может быть, первыми сообразили, что очень просто загнать производство, в том числе и такое мощное, как авиационное моторостроение, в трясины трепа разного рода, откуда потом его и не вытащишь, если "бороться" за свои интересы какими-то митинговыми мерами. А в начале 90-х "уклон в обличительный фактор" взамен попыток исправления положения был весьма популярен. Но демократия - это не митинги, а прежде всего - ответственность за собственные действия. Поэтому мы



стали быстрее приспосабливать свою отрасль и стиль своей собственной работы к изменившимся условиям. Так работаем и сейчас. Мы заключили договор о научно-техническом сотрудничестве с минпромнауки. Это - новое министерство, образованное на базе нескольких ранее действующих. С Росавиакосмосом мы вообще находимся в самой тесной связи, поскольку по постановлению правительства курирование АССАД относится именно к этому ведомству. С минфином у нас традиционно прочные отношения, может быть, сейчас - чуть поменьше по объему. Хорошие рабочие отношения у нас с Аппаратом правительства, Аппаратом Президента. Впрочем, работа со всеми этими управляющими структурами не вполне соответствует нашим пожеланиям: мы могли бы делать гораздо больше и для государственных организаций и для страны в целом. Так что, перспективы есть и здесь.

С организацией при Министерстве науки и технологий правительства Москвы департамента оборонных отраслей промышленности, возглавляемого Франтишеком Петровичем Ковриго со всем его аппаратом, наши и без того прочные связи со столицей стали еще лучше. Ковриго знает авиационное двигателестроение, он бывал на наших заводах - и с мэром, и сам по себе, так что знает наши возможности и проблемы. Москва года два назад оказала существенную поддержку нашим предприятиям в части решения многих вопросов, связанных с городом и городским правительством. Мы на все наши крупные мероприятия, совещания традиционно приглашаем представителей администрации Москвы, руководителей департамента оборонных отраслей московского правительства. И это обоюдно: я, например, являюсь членом Совета директоров предприятий оборонных отраслей промышленности города Москвы. Это - свидетельство прочной связи АССАД и московского правительства.

Сейчас ведутся работы по структурному реформированию оборонной промышленности, о чем уже официально объявлялось и в печати, и по телевидению. Это уже третья попытка такого рода. Из двух предыдущих ничего не вышло. Причина прежде всего в том, что не было цели реформирования. Сейчас говорят: "Много мотористов, надо закрыть половину предприятий!" Вопрос возникает при этом естественный: а для чего это делать? Более того: как это сделать? Иначе говоря: какова цель всех этих перестановок? Вот мы слышим и читаем в прессе: "в оборонной промышленности будет 46 холдингов". Извините, разве это - цель: сделать 46 холдингов? Это же чисто формальный прием: карточки предприятий сложили пасьянсом, пообъединяли что можно, получилось 46. А может быть, если по каким-то другим принципам объединяли, получилось бы 70, а может быть - 34... Мы считаем, что здесь, как и в любой работе, прежде всего должна быть сформулирована цель, ради которой все затевается. Только определившись с этим можно переходить к разработке экономически обоснованной программы, а беспредметное реформирование неминуемо обречено на провал.

С моей точки зрения, цель реформ сегодня - это усиление влияния государства на отдельные предприятия, связанные с выполнением оборонного заказа и поддержка развития науки, обеспечивающей перспективы всей отрасли, в которой данные предприятия работают. У нас сегодня сохранился ряд чисто государственных предприятий: "Салют", "Гранит", еще некоторые. Вокруг "Салюта", например, можно организовать мощную государственную корпорацию. В уставной фонд, управляющей этой корпорацией компании вносятся уставные фонды входящих в нее государственных предприятий и акции федеральной собственности интегрируемых в корпорацию акционерных обществ. Все это должно составлять не менее 51 % от уставного капитала этой корпорации. А остальные 49 % акции этой корпорации могут купить ее участники, чтобы иметь возможность воздействия на нее.

При этом, объединение должно быть максимально добровольным. Нельзя сегодня заниматься администрированием: все уже от этого отвыкли, и нет инструмента реализации непосредственных административных указаний. Нельзя забывать первый принцип государственного управления фирмами (предприятиями, организациями и пр.) в рыночных условиях: НЕ МЕШАТЬ! "Не мешать" в смысле не изобретать законодательных преград нормальной работе, идущей на пользу государству, общему делу. Первый принцип управления необходимо четко увязать со вторым: ПОМОГАТЬ. Помогать этим же своим законотворчеством, корректируя законы в случае необходимости (а это - единственный метод воздействия государства на отношения с производителями). Лишь тогда мы сможем "закольцевать" управленческие задачи, введя обратную связь, строго и предметно СПРАШИВАТЬ с предприятий за все предоставленные фонды, кредиты и льготы. Таким образом, наша система управления станет рациональной, особенно в условиях реальных рыночных отношений.

Несколько слов об одной из самых животрепещущих сейчас тем - научном заделе и новом поколении двигателей. Должен сказать, что уже сами слова "научно-технический задел" звучат в какой-то мере столь же часто, как в 80-х годах звучало слово "перест-

ройка", которое в результате только заболтали. Наличие возможности работы определяет и ее перспективу. Программно мы готовы к выполнению работ по созданию и реализации научно-технического задела для нового поколения двигателей. У нас определено, какие должны быть новые базовые двигатели по разным направлениям, что под эти базовые двигатели нового поколения должно быть сделано нового, какие узлы созданы. Работа заключается в том, чтобы организовать выполнение этих программ. Поэтому, на мой взгляд, сегодня должна быть разработана конкретная программа или программы по завершению работ на конкретных направлениях научно-технического задела и программы по конкретным образцам двигателей с привлечением к разработкам по ним тех предприятий, которые имеют собственные средства. Это для того, чтобы при скудности выделяемых государством средств бюджетное финансирование могло быть не 100-процентным, а обеспечивало решение хотя бы 50 % задач. Надо заканчивать спорить по ним, вести бесконечные обсуждения сильно отдающие схоластикой. Эту работу реально должен начать именно ЦИАМ (которому, несомненно, должна принадлежать ведущая роль в организации всей этой работы) с участием АССАД.

В том, что пока все "движется малой скоростью", я вижу и свою вину. Проводится масса совещаний в ЦИАМ - с участием АССАД - полезные, неплохие совещания, но не имеющие реального выхода. Пора уже кончать совещаться между собой, пора выходить в правительство, в Росавиакосмос, в администрацию Президента с конкретными предложениями по авиационному двигателестроению.

Должен сказать, что например, в 80-х годах в ЦК и Совете министров вышло три постановления по авиационному двигателестроению. В 90-х годах тоже принято Правительством одно такое постановление (правда, не столь объемное, поскольку в тот период - 1993-1994 гг. - положение было весьма сложное). И оно сыграло свою роль, даже с точки зрения политической: двигателестроение было воспринято, как нужная стране отрасль, способная к активным действиям. Так вот сегодня на любых совещаниях и коллежиях мы в основном ведем разговор о том, что "вот, такая-то вещь нужна, ее надо делать так-то и так-то", а конкретные предложения, которые могли бы послужить основой постановлений правительства, по этим же обсуждаемым вопросам нет.

Выставка "Двигатели-2002" (16-20 апреля 2002 г.) станет, я уверен, традиционным "смотром сил" двигателестроителей. Последняя из прошедших - выставка "Двигатель-2000" была, пожалуй, самой удачной из выставок этого ряда по количеству участников и объемам заключенных соглашений. Мы и в дальнейшем будем расширять круг участников наших выставок за счет неавиационных двигателестроителей, не имеющих своего организующего центра, подобного АССАД.

Идея ввести неавиационные двигателестроительные организации в число участников авиадвигательных выставок принадлежит Олегу Сосковцу и высказана она была при открытии одного из первых салонов "МАКС" 1993 г. Он, пройдя по авиадвигательной экспозиции московской части салона, сказал: "Ну, вы бы хоть неавиационных мотористов пригласили!" Мы оценили мысль по достоинству, и уже выставка 1994 года называлась "Двигатели-94", у нее появился подзаголовок: "авиационные, космические, промышленные (позже - индустриальные)". Впрочем, ЖРД, дизельные и бензиновые двигатели мы выставляли в своей экспозиции всегда: их делали на наших предприятиях. А тут еще стали специально привлекать выпускающие их неавиационные предприятия. По этой же причине мы поддержали важную идею журнала "Двигатель", поскольку мы поняли, что журнал поможет выявлять такие интересные направления совместных работ, на какие мы, занимаясь авиационным двигателестроением, просто не обращали внимания. Поэтому, безусловно, выставка 2002 года будет развиваться за счет дальнейшего привлечения неавиационных двигателестроителей - и космических, и тракторных, и судовых, и транспортных, и энергетических - к нашему общему делу - росту Российской промышленности. ◀

# Двигатели 2002

16-20 апреля



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

Только здесь Вы сможете  
ознакомиться с новыми  
достижениями в области  
авиационного,  
космического,  
транспортного и  
индустриального  
двигателестроения  
ведущих стран мира

**в рамках выставки**

**научно-технический симпозиум:**

**ДВИГАТЕЛЬ И ЭКОЛОГИЯ**

**Не пропустите шанс,  
планируйте свое участие в  
выставке "Двигатели 2002"**

**В.М. Чуйко,  
президент АССАД**

**Ассоциация  
"Союз авиационного двигателестроения"**

По вопросам выставки и симпозиума  
обращаться по адресу:  
105118, Москва, проспект Буденного, 19  
Тел./Факс: (095) 366-0916, 366-4588  
assad@assad.ru www/assad.ru



**Двигатель**

информационная поддержка выставки  
осуществляется  
научно-техническим  
журналом "Двигатель"  
engine@ztel.ru www.engines.da.ru Тел.: 362-3925

Одним из направлений обеспечения национальной безопасности России является сохранение ее энергетической независимости. Наша страна обладает громадными природными ресурсами, но используются они не всегда эффективно. Падение производства, произошедшее в последние годы ушедшего века, уменьшило остроту энергетической проблемы. Однако ослабление "пресса" на производителей энергии оказалось временным. Постепенное наращивание объемов выпускаемой продукции уже сейчас настоятельно требует принятия срочных мер, направленных на увеличение выработки энергии. Ситуация осложняется тем, что наряду с необходимостью обеспечения роста общего производства энергии следует компенсировать износ генерирующих мощностей электростанций РАО "ЕЭС России", составляющий сегодня 52%. С другой стороны, в отечественном машиностроении произошел резкий спад производства энергетического оборудования, причем большая часть изготовленных агрегатов экспортируется.

Правительство России, обеспокоенное сложившимся критическим положением, намерено принять срочные меры. В апреле 2001 г. состоялось совещание, а вслед за этим - коллегия Минпромнауки, на которых рассматривалась "Стратегия развития энергетического машиностроения России до 2010 г.". Проект стратегии, вынесенный на обсуждение коллегии, разработан во исполнение поручения Правительства РФ, в соответствии с утвержденными Президентом РФ "Основными направлениями энергетической политики Российской Федерации на период до 2010 г." и одобренной Правительством РФ "Энергетической стратегией России на период до 2020 г."

Коллегия прошла под руководством министра А.Н. Дондукова. В докладе, с которым выступил руководитель Департамента машиностроения Н.Т. Сорокин, а также в выступлениях представителей различных министерств и ведомств, руководителей предприятий от-



## ЭНЕРГЕТИКА- РЕШАЮЩИЙ ФАКТОР ЭКОНОМИКИ

**Олег Фаворский**, академик РАН

Энергетика, обеспечивающая страну электроэнергией и теплом, является решающим фактором развития экономики. В связи с этим "Энергетическая стратегия России на период до 2020 года" предусматривает существенное увеличение потребления электрической энергии (минимум на 40%). Столь значительное наращивание требуется даже при учете внедрения энергосберегающих технологий, эквивалентных вводу до 50% вновь создаваемых мощностей.

Обеспечение такого прироста выработки электроэнергии усложняется вследствие действия двух факторов:

- высокой степени износа оборудования (многие котлы и турбины созданы 30-40 лет назад, а ряд агрегатов начали эксплуатироваться еще раньше);

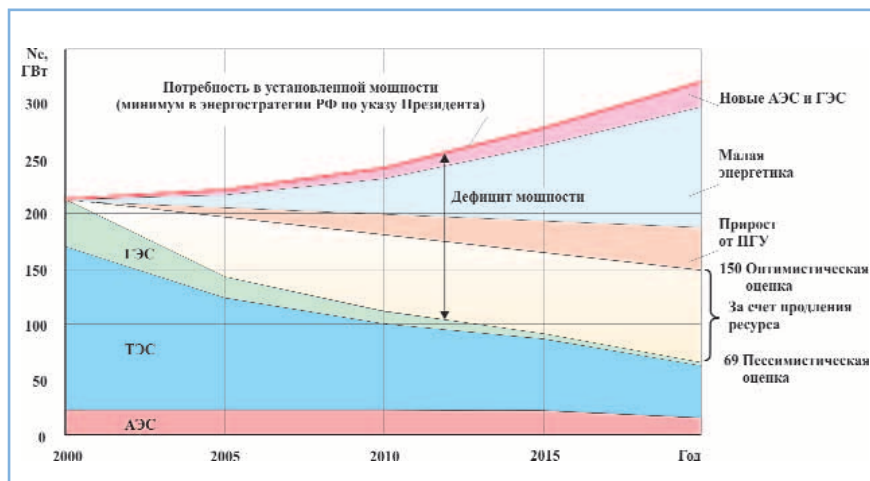
- наличия только паровых турбин с присущим им низким к.п.д. (в среднем 25%, в лучшем случае до 36...38%) по сравнению с современными парогазовыми установками, имеющими к.п.д. на уровне 52...60%.

Кроме того, в России около 45% крупных тепловых электростанций (ТЭС) работают в конденсационном режиме, т.е. вырабатывают только электроэнергию. А в многочисленных котельных тепло вырабатывается без получения электроэнергии, причем потребляется вдвое больше топлива, чем на крупных электростанциях. Если это еще терпимо при сжигании угля, то такое отношение к газу - использование его только для получения тепла - крайне неэффективно как с точки зрения экономики, так и экологии.

Техническая политика, нацеленная на максимальное продление ресурса старого паротурбинного оборудования, которая вызвана отсутствием средств для его замены и модернизации, приводит ко все большему отставанию по экономическим показателям энергетики и к накоплению критически опасного оборудования. Рисунок иллюстрирует динамику снижения энергетических мощностей из-за сокращения парка агрегатов, которые могут быть допущены к работе по ресурсу (по данным РАО "ЕЭС России"). Даже при корректировке темпов снижения с учетом продления ресурса (что представляется предельно оптимистичным предположением) все равно возникает существенное отставание реально располагаемой мощности от потребной, уровень которой определен в соответствии с энергетической стратегией.

Если принять как реальность более чем двукратное увеличение производства электроэнергии атомными станциями и примерно полтора-кратное - гидроэлектростанциями, что предусмотрено упомянутой стратегией, то и в этом случае образуется недостаток мощности, составляющей по пятилеткам 16, 22, 50 и 52 ГВт, соответственно. Скомпенсировать дефицит мощности можно только на станциях, работающих на органическом топливе. Впрочем, возможности тяжелого энергомашиностроения России ограничены и позволяют в ближайшие 5-8 лет выйти на уровень, при котором в лучшем случае станет возможным производство ПГУ суммарной мощностью по 2,5...3,0 ГВт в год.

Для компенсации дефицита мощности, нарастающего с темпом от 2 ГВт/год сейчас до 6...7 ГВт/год к 2020 г., наиболее эффективным решением должна стать замена старых котельных, работающих на газе, современными отечественными ПГУ-ТЭЦ, а работающих на угле - высокоэффективными ПТ-ТЭЦ. Подобная замена является рациональной и в отношении многих десятков старых паровых турбин, которые ныне работают на предприятиях, входящих в РАО "ЕЭС России". Альтернативой указанному решению могут быть только массовая закупка дорогостоящей импортной техники, либо столь же





мечалось, что разработанная стратегия развития отечественного энергетического машиностроения представляет собой взаимосвязанную комплексную программу, обеспечивающую удовлетворение энергетических потребностей всех отраслей промышленности. При этом признано, что в условиях рыночной экономики основные решения должны приниматься самими предприятиями, а участие государства в хозяйственной деятельности целесообразно ограничить созданием благоприятных условий для развития рыночных механизмов. Предложения, высказанные участниками коллегии, должны быть учтены при доработке проекта стратегии, которую затем рассматривает Правительство Российской Федерации.

Выступивший на коллегии заместитель министра С.Г. Митин подчеркнул необходимость широкого распространения энергосберегающих технологий, в том числе создания на базе газотурбинных двигателей парогазовых установок (ПГУ) и замены ими газовых котельных. Одним из инициаторов этого направления в развитии энергетики страны является академик-секретарь отделения физико-технических проблем энергетики РАН академик О.Н. Фаворский. Ниже публикуется его статья по данной проблеме.



высокозатратное и требующее немало времени строительство новых больших электростанций.

Резервы, образующиеся в результате преобразования котельных в ПГУ-ТЭЦ и ПТ-ТЭЦ, составляют, при сохранении расхода топлива постоянным, по крупным и средним котельным - 50 ГВт, а мелким - 40 ГВт. Таким образом, резерв есть, и даже использование только 20...30 % от него способно дать дополнительные 15...25 ГВт. Для таких станций на предприятиях оборонной промышленности в течение последних пяти лет уже созданы образцы малых ПГУ. Очень важно, что для переоборудования устаревшей котельной в ПГУ-ТЭЦ требуется примерно год, тогда как новые крупные ТЭС будут строиться в лучшем случае 4-5 лет. Изготовление 100...200 малых ПГУ в год, эквивалентное ежегодному вводу 2 ГВт, не только решит задачу надежного и эффективного энерго- и теплообеспечения, но и загрузит работой оборонные заводы, располагающие высококвалифицированными кадрами. При этом успешно решается и проблема использования местных топливных ресурсов, а массовый выпуск оборудования решит про-

блему снижения его цены, повышения качества изготовления и обслуживания, включая ремонты. Уже сегодня две такие ПГУ мощностью по 20 МВт построены в Новополоцке.

Сегодня нужна четкая и последовательная государственная программа развития энергетики и закон, обязывающий крупные энергосистемы принимать избытки электроэнергии от индивидуальных децентрализованных электротеплостанций. Наверное, полезной была бы и организация лизинга для обеспечения массового создания малых электростанций.

В дополнение к изложенному следует подчеркнуть, что без массовой замены энергетического оборудования малыми ПГУ-ТЭЦ и ПГУ (даже приняв оптимистическое предположение о 50-процентном росте добычи угля, что предусмотрено стратегией) электроэнергетика потребует заметного наращивания потребления природного газа. Это не только нежелательно с точки зрения экономической (выгоднее его продать), но и малореально из-за прогнозируемого ограничения его добычи в рассматриваемый период. ◀

**Энергетические газотурбинные установки**

Тип установки	Предприятие-разработчик	Мощность, МВт	К.п.д., %
ТЭС-75/70	ОКБМ, Калуга	0,075	14
ПТЭ-1500	"Суд. Маш.", С. Петербург	1,2	21
ПГУ-1500	ОКБ им. В.Я. Климova, С.Петербург	1,5	23
ПТЭ-2500	ОКБ им. В.Я. Климova, С.Петербург	2,2	24,7
ПГУ-2,5П	"Искра", Пермь	2,5	26
ПГУ-4П	"Искра", Пермь	4,0	32
НК-12СТ	ОКБ им. Н.Д. Кузнецова, Самара	6,3	26,1
НК-14СТ	ОКБ им. Н.Д. Кузнецова, Самара	8,0	32
ПГУ-95/12	ОКБ "Мотор", Уфа	10,0	23
ПГУ-12П	ОКБ им. Н.Д. Кузнецова, Самара	12,0	34,4
ПГУ-16П	"Искра", Пермь	16,0	34
НК-17	ОКБ им. Н.Д. Кузнецова, Самара	16,0	29
НК-39	ОКБ им. Н.Д. Кузнецова, Самара	16,0	38
НК-91	ОКБ им. Н.Д. Кузнецова, Самара	20,0	34
ПТЭ-20/25	"Энерговиа", Москва	20,0	31
АЛ-21СТ	ФНПЦ "ММП" "Салют", Москва	20,0	31
НК-37	ОКБ им. Н.Д. Кузнецова, Самара	25	36,4
ПТГ-2,5	"Машпроект", Николаев	2,5	28,5
ПТГ-6	"Машпроект", Николаев	6,0	31,5
ПТГ-16	"Машпроект", Николаев	16,0	35
ПТГ-25	"Машпроект", Николаев	25,0	36
ПТЭ-110	ОАО "Рыбинские моторы", Рыбинск	110,0	35

**DIGEST**

**POWER ENGINEERING IS A DECIDING FACTOR OF ECONOMICS**

By 2020 Russian Federation is scheduling to increase the electric power consumption by 40%. Most of out-of-date power equipment will be removed from operation within upcoming 20 years because of exhausted lifetime. Putting into commercial operation of new equipment at nuclear and hydropower station can't cover backlogs. The most efficient solution to close the energy gap will be replacement of out-of-date gas boilers by GTU-HPP (gas turbine unit- heating and power plant), as well as coal boilers -by ST-HPP (steam turbine -heating and power plant), it is very important that these GTU-HPP can be put into operation within less than a year. Commissioning of 100-200 stations per year with 2-3-GW total power will allow to solve the problem of reliable and efficient heat and power generation.



# НАШИ ТРЕБОВАНИЯ: НАДЕЖНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

Общая протяженность магистральных газопроводов России составляет 149 тыс. км. По трубам перекачивается в год 540 млрд м<sup>3</sup> газа. Для большинства населения страны эти цифры ничего не говорят и даже не интересны - лишь бы дома было тепло и светло. Чтобы эти блага цивилизации не исчезли, существует отечественная газотранспортная система, представляющая собой единый технологический комплекс снабжения газом России, стран бывшего СССР и Европы. В транспортировке газа сосредоточены две трети всех основных фондов ОАО "Газпром". Рассказать об этой части стратегически важного для страны комплекса редакция журнала "Двигатель" попросила заместителя начальника Департамента по транспортировке газа и газового конденсата ОАО "Газпром" Александра Зайнетдиновича Шайхутдинова.

**"Двигатель":** Александр Зайнетдинович, приведите, пожалуйста, для начала основные цифровые данные о работе отрасли по вашему направлению.

**Александр Шайхутдинов:** Транспортировка газа на значительные расстояния обеспечивается компрессорами, установленная мощность которых составляет 42,0 млн кВт. В качестве приводов газовых компрессоров в основном используются газотурбинные двигатели, на них приходится около 86 % от общей мощности, электрические приводы составляют 13 %, а поршневые - менее 1 %. В перспективе будет постепенно уменьшаться относительная доля электроприводов.

Парк газоперекачивающих агрегатов (ГПА) с газотурбинным приводом формировался в течение 40 лет и сегодня включает более 20 типов (около 3000 шт.) единичной мощностью от 2,5 до 25 МВт с номинальным к.п.д. от 23 до 35 % (последняя величина относится к агрегатам нового поколения).

Газотурбинный парк имеет значительную наработку: 34,5 % мощностей - от 40 до 70 тыс. ч, 27 % - от 70 до 100 тыс. ч, 17 % - более 100 тыс. ч (до 160 тыс. ч).

Газотранспортная система продолжает развиваться. В настоящее время строятся магистральные газопроводы, в том числе Ямал-Европа, Россия-Турция ("Голубой поток").

Конечно, такого интенсивного развития, которое было в восьмидесятых годах, когда осваивались Ямбургское и Уренгойское месторождения, сейчас нет. Тогда в одном технологическом коридоре укладывалось до десяти труб. Строительство продолжалось с 1976 г. по 1993 г. В год вводили по 50 компрессорных станций (КС), соответственно тогда же требовалось большое количество газоперекачивающих агрегатов: на некоторых промплощадках устанавливалось до 50 агрегатов.

Сейчас количество строящихся и вводимых КС значительно меньше. Для замены выработавших ресурс НК-12 и НК-16 необходимо 150-180 двигателей. Газпром в состоянии пока взять до 100 ед. Причем эта работа выполняется как капитальный ремонт ГПА.

Модернизация и реконструкция подразумевает изменение технических параметров: повышение к.п.д., снижение вредных выбросов (NO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>), уменьшение затрат на эксплуатацию и т.п. Необходимо заменять 130-180 турбин в год. Реально мы можем менять всего 45-55 агрегатов, то есть в 3...4 раза меньше. Поэтому

идет постоянный рост числа агрегатов (на 8...12 % в год), которые необходимо заменять в основном из-за выработки ресурса.

**"Д":** Какова пропорция между отечественными и импортными газоперекачивающими агрегатами?

**А.Ш.:** 86 % мощностей оборудования компрессорных станций - это оборудование российского производства, остальные 14 % поставлены по импорту. На КС эксплуатируются газоперекачивающие агрегаты таких фирм как "Роллс-Ройс" (Великобритания), "Дженерал Электрик" (США), "Нуово Пиньоне" (Италия), АЕГ (Германия) и др.

**"Д":** Расскажите, пожалуйста, о российских производителях оборудования для газоперекачивающих агрегатов. Какие двигатели необходимы для оснащения перспективных компрессорных станций и в чем заключается участие Газпрома в их создании?

**А.Ш.:** Основным поставщиком авиационных двигателей для ГПА до последнего времени была Самара (НК-12СТ и НК-14СТ), а также Казань (НК-16СТ).

Сегодня самое эффективное взаимодействие Газпром наладил с предприятиями пермского региона. Первым заданием на разработку получили "Пермские моторы", затем к этой работе подключилась "Искра". Сразу установились деловые отношения между разработчиками и эксплуатационниками "Пермтрансгаза". Их замечания устранялись буквально в считанные дни. При этом конструкторы не просто копировали лучший на тот момент зарубежный опыт, а пытались вырваться хотя бы на шаг вперед. За короткое время был сформирован облик агрегата.

Затем был предпринят довольно рискованный шаг - заказали 10 турбин для установки и испытаний в реальных условиях. Правда, с условием - все последствия из-за аварии турбин будут устраняться разработчиками. Слава Богу, все обошлось. Выявился всего один серьезный дефект, но с ним разобрались быстро. Лидерные двигатели наработали уже по 26 тыс. часов. Когда агрегаты наработали по 12 тыс. часов (а это полтора года непрерывной работы), то их не сняли и не отправили на завод-изготовитель, а проверили непосредственно на компрессорной станции. Только недавно первые двигатели были сняты по причине выработки ресурса.

Четыре года назад "Пермские моторы" вышли с предложением: увеличить мощность единичного агрегата с 12 до 16 МВт. Вскоре на Пермской компрессорной станции приступили к испытаниям 16-мегаваттной машины. Несмотря на довольно интенсивную работу, только сейчас мы подошли к началу его серийного производства.



Со стационарными газовыми турбинами сейчас в России существует проблема. Невский завод осуществлял разработку ГТР-16, но пока агрегат создавали, он уже морально устарел. На этом же заводе сейчас проектируется новая машина под названием "Надежда" мощностью 16 МВт. Если получится, то в России будет возрождено стационарное турбостроение. Дело в том, что на сегодняшний день уже морально устарела даже довольно удачная машина ОАО "Турбомоторный завод". Сейчас в разработке находится новый агрегат мощностью 6 МВт, но все опять упирается в финансирование - у завода нет средств на самостоятельную разработку. Машина находится на завершающем этапе, надо только немного заводу собраться с внутренними ресурсами, и Газпром немного поможет. Уже определена компрессорная станция, на которой предполагают проводить сразу все виды испытаний и проверок, тем самым, приближая время принятия этого агрегата в эксплуатацию: тогда у нас станет еще на одну стационарную машину больше.

Сейчас 16-мегаваттных агрегатов в разработке больше, чем шести- и восьмимегаваттных. Явный перекокс. Что касается машин мощностью 25 МВт, то их изготавливают на Украине (ДН-80) и в Перми (на базе ПС-90). Последний агрегат уникален для России, он вполне соответствует западному техническому уровню. Так, к.п.д. первого образца пермской машины будет 38,7...39 %, а после доводки технологии на второй и третьей машинах к.п.д. достигнет 40 %. По этому важнейшему параметру новый агрегат будет соответствовать последним разработкам "Дженерал Электрик".

Если в США подготовлена государственная программа финансирования создания научно-технического задела для обеспечения газотурбостроения в 2020-2030 гг., то в России каждое предприятие сейчас выживает как может, т.к. федеральной программы нет. Руководство Газпрома провозгласило лозунг "Если не мы, то кто?" и приняло решение финансировать разработку газовых турбин АЛ-31СТ, НК-38, "Нева-16", "Урал-12" и ПС-90СТ. В то же время частично финансировалось стационарное турбостроение. Заводам удалось сохранить свой производственный потенциал и создать новые турбины. ОАО "Газпром" имеет теперь даже определенные доли собственности в этих разработках.

Следует отметить, эти же турбины используются и в энергетике, а это означает, что мы приняли участие в разработке газотурбинных электростанций. Внедрение энергоблоков мощностью 25 МВт должен компенсировать массовый вывод из эксплуатации единичных мощностей. Четыре такие установки способны дать 100 МВт, что вполне достаточно для небольшого города, да еще "с хвоста" можно снять тепло. Для нас такие мощности великоваты, а вот 6...10 МВт - как раз.

**"Д":** Каковы важнейшие требования Газпрома к двигателям газоперекачивающих агрегатов?

**А.Ш.:** Основные требования - высокая надежность и большой межремонтный ресурс. Дело в том, что для выполнения ремонта необходимо иметь на станции соответствующую материальную

базу и содержать технический персонал. Наличие относительно многочисленного персонала требует создания социальной сферы, а для ее обслуживания опять нужны люди. Все это как снежный ком. В результате происходит существенное удорожание эксплуатации.

В связи с тем, что показатели надежности имеют столь важное значение, пришлось наладить их жесткий контроль. Прежде чем приступить к серийному производству, проводятся испытания 5-10 агрегатов, причем каждый должен проработать безотказно 5 тыс. часов. Если произошел отказ, например лопатки, подшипника, какого-нибудь агрегата, то после устранения неисправности отсчет времени начинается заново. Если совсем недавно это требование нами же и нарушалось, то скоро оно будет соблюдаться неукоснительно. И даже те турбины, которые как бы уже прошли проверку на ресурс, не будут запускаться в серию в полном объеме до тех пор, пока не будет накоплен статистический материал. На все это уходит в самых благоприятных условиях 3-4 года, а обычно 5-6 лет.

Основное требование Газпрома по ресурсу приводов - 100 тыс. часов, и оно ничем не отличается от общетехнических требований. Сразу такой ресурс получить конструкторам авиационных и морских газотурбинных двигателей не удается, пришлось для начала установить ресурс, равный 35 тыс. часов, и теперь постепенно его поднимаем. При создании нового изделия техническое задание на его разработку выдается исходя из уже достигнутого уровня и возможностей предприятий. Получение высокого к.п.д. газоперекачивающего агрегата желательно, но пока 42 % мы не требуем, и не потому, что такого значения невозможно достичь, а потому, что для этого необходимы колоссальные финансовые затраты. Тем не менее, в основных направлениях по созданию новой техники и технологии нами предполагается к 2005 г. приступить к оснащению компрессорных станций газотурбинными агрегатами нового поколения со значениями к.п.д. порядка 37...40 %.

Не менее важным является и выполнение экологических норм. Требования к приводам по выбросам установлены, но мы работаем с упреждением в расчете на удовлетворение более жестких требований (снизить концентрацию оксидов азота ниже 50 мг/н.м<sup>3</sup>). Поэтому мы участвуем в разработке малоэмиссионных камер сгорания. Иногда бывает так, что каждый агрегат в отдельности соответствует всем экологическим требованиям, а вся компрессорная станция не укладывается в нормы. В этом случае к каждой турбине предъявляются еще более жесткие требования.

**"Д":** Если можно, немного поподробнее о применении электроприводов и поршневых машин для обеспечения перекачки газа.

**А.Ш.:** Электроприводы составляют сейчас 13 % от общего числа, и эта величина постепенно уменьшается, хотя их количество остается постоянным. Происходит это за счет роста числа газовых турбин. Кстати, использование электроприводов для нас зачастую невыгодно. Дело в том, что тот газ, который нами перекачивается, поступает на электростанцию, там преобразуется в электричество, которое затем возвращается к нам. После всех накруток и по-



терь получается, что дешевле перекачивать нам самим с помощью газовых турбин. Правда, в определенных ситуациях нам без такого рода приводов обойтись нельзя, но, тем не менее, постепенно, по мере их физического и морального старения, от таких приводов будем отказываться.

Газовые дизели и поршневые компрессоры в основном используются для закачки газа в подземные хранилища. К сожалению, отечественных машин, пригодных для привода поршневых компрессоров, нет. Приходится закупать агрегаты фирмы "Вяртсила" с поршневым компрессором "Ариэль".

**"Д":** Какая основная задача выполнения реконструкции и модернизации компрессорных станций?

**А.Ш.:** Основная задача реконструкции - обеспечение выполнения требуемых потоков газа. При реконструкции и модернизации желательно устанавливать газоперекачивающие агрегаты повышенной единичной мощности. Такие машины более совершенны, у них более высокий к.п.д. и меньше удельный расход топлива и масла. Средняя мощность всех агрегатов, работающих на одну трубу диаметром 1420 мм с суточным расходом газа 90...95 млн м<sup>3</sup>, составляет 80...85 МВт. Поэтому выгоднее менять агрегат мощностью 6 МВт на 16-мегаваттный агрегат, чем на 8-мегаваттный. Их и количественно меньше надо. Есть еще машины мощностью 25 МВт, но их удобнее (и экономичнее) устанавливать там, где есть возможность подключать газовый компрессор для работы на две трубы сразу.

**"Д":** Для нормальной работы двигателя газоперекачивающего агрегата необходима система автоматического управления. На какие фирмы ориентируется Газпром при выборе автоматики?

**А.Ш.:** Алгоритм и точность работы автоматики оказывают влияние на величину к.п.д. агрегата, возможность выполнения "мягкого" разгона. Переход на электронное регулирование подачи топлива позволил удовлетворить этим требованиям. Если раньше мы ориентировались на заграничные поставки, то теперь в России появились изготовители хорошей регуливающей аппаратуры. Среди них московские НПО "ЭГА" и МПО им. И. Румянцевца, а также пермское ОАО "СТАР". Таким образом, на этом рынке появляется конкуренция, а у нас - выбор партнера. Недавно к созданию автоматики проявил интерес Омский агрегатный завод. Все говорит о том, что в этом году мы сможем закупки по импорту сократить, а в ближайшие год-два полностью прекратить их.

**"Д":** Какие современные газоперекачивающие агрегаты уже созданы, находятся в процессе создания или проектируются?

**А.Ш.:** Сейчас создан типовой ряд газоперекачивающих агрегатов: базовый агрегат "Урал-12" и "Урал-16", в ближайшее время появится "Волга-16". Что касается "Невы-16", то, видимо, потребуются еще несколько лет для доводки этого агрегата.

Стационарный агрегат создается в Санкт-Петербурге на Невском заводе в сотрудничестве с "Альстом" (правопреемница фир-

мы АББ, передавшей довольно дорогую технологию). Новый агрегат создается на базе установки GT-10, в которой приводом является "Зульцеровская" турбина. В Европе она считается самой надежной. И хотя ее к.п.д. не столь высок, как хотелось бы, зато у турбины большой ресурс и хорошие перспективы по совершенствованию. Она может вполне подойти и для энергетиков.

Особо хочется отметить наше сотрудничество с предприятиями Украины. Три-четыре года назад были сокращены закупки турбин и запасных частей, в основном из-за таможенных проблем. Сейчас налаживаются отношения с НПП "Машпроект". Вместе с Газпромом в Тюмени создано акционерное общество "Газтурбосервис"

на базе АОТ "Тюменские моторостроители". Сейчас на этом предприятии полностью освоен ремонт турбин ДР-59Л. В ближайшее время начнется освоение ремонта турбины ДГ-90. При этом снимается проблема перевозки турбин в Николаев для выполнения ремонта. Это позволит возобновить закупки турбин на Украине, в том числе ДН-80 фирмы "Зоря" мощностью 25 МВт, предназначенных для замены старых машин ГПА-25/76 этой же мощности производства Невского завода.

С другим украинским предприятием - "Мотор-Сич" - мы несколько раз начинали работу, но каждый раз были срывы. Рассматривались разные схемы сотрудничества, и только совсем недавно был найден выход: из Запорожья в Уфу будут поставляться комплекты на основе двигателя Д-336, которые на УМПО будут использоваться для изготовления газоперекачивающих агрегатов. Они заменят ГПА-6,3 с НК-12СТ. Сейчас первый такой комплект готовится к работе в "Баштрангазе". Если он выдержит межведомственные испытания, то у этого агрегата будут хорошие перспективы, т.к. его мощность составляет 6 МВт, а современных ГПА такой мощности нет (НК-12СТ уже морально устарел, а НК-14СТ, который планировался на замену, пока еще не достиг необходимой надежности). В связи с этим для создания здоровой конкуренции принято решение о внедрении Д-336, но при условии изготовления ГПА с участием российских предприятий. Прорабатываются варианты кооперации и с московским ММП "Салют".

Можно сказать, что ОАО "Газпром" ориентирован на отечественного производителя, но при условии его конкурентоспособности на рынке, которая в некоторых случаях достигается и благодаря кооперации с лучшими зарубежными фирмами.

Закупки в дальнем зарубежье будут осуществляться очень ограниченно, причем только тех турбин, производство которых в России не налажено. Как исключение возможны закупки только при предоставлении связанных кредитов. Так, например, на КС "Береговая" все оборудование будет итальянского производства.

Для новых газопроводов мы стараемся заказать и новые турбины. Например, газопровод от Штокмановского месторождения будет иметь довольно большую сухопутную часть. Мы сейчас формулируем новые требования к тем машинам, которые будут создаваться для установки на этом участке газопровода.

Причем, если раньше Газпром и заказывал, и финансировал, то теперь будет, видимо, иная форма сотрудничества. Мы будем задавать свои требования и лишь частично участвовать в финансировании. Производители турбин, учитывая наши требования и опираясь на свои предварительные проработки, сформулируют свои предложения. Если у них будут готовы опытные экземпляры, то Газпром предоставит возможность их испытаний на действующих компрессорных станциях. Успешное завершение испытаний агрегатов должно предшествовать началу строительства новых газопроводов.

Следует отметить, что сейчас разработчиков и производителей газоперекачивающих агрегатов вполне достаточно для того, чтобы выбрать наиболее выгодный вариант. Возможно, что кто-то не выдержит конкуренции и в лучшем случае получит только минимальный заказ. Надо еще учесть тот факт, что в ходе реконструкции и модернизации компрессорных станций общее количество агрегатов будет уменьшаться по причине увеличения единичной мощности каждого из вновь устанавливаемых.

**"Д":** Какими агрегатами будет оснащаться газопровод Россия-Турция?

**А.Ш.:** "Голубой поток" - очень важный, ответственный и вместе с тем интересный проект, аналога которому в мировой практике нет. На этом газопроводе будут развернуты три компрессорные станции. Одна из них - "Береговая" на Черном море. Ее агрегаты должны создавать давление 250 кг/см<sup>2</sup> для обеспечения подводного перехода. Станция будет оснащаться газотурбинными приводами фирмы "Дженерал Электрик" с компрессорами фирмы "Нуово Пиньоне". Агрегаты этих компаний удовлетворяют высоким требованиям по надежности, ресурсу и, самое главное, по способности создать высокое давление в газопроводе. У нас таких агрегатов пока нет. Что касается двух других станций - "Краснодарской" и "Ставропольской", то на них будет устанавливаться газоперекачивающий агрегат "Урал-12" с газовым компрессором фирмы "Мицубиси".

**"Д":** Для повышения суммарного к.п.д. газотурбинного двигателя при выработке электроэнергии считается эффективным использовать тепло выхлопных газов, для чего созданы парогазовые установки. Будут ли создаваться парогазовые установки (ПГУ) для газоперекачивающих агрегатов?

**А.Ш.:** ПГУ в перекачке газа в России пока практически не применяются. Есть на КС "Грязовецкая" одна установка, собранная из отдельных готовых узлов, но пока вся система еще недостаточно надежна. Хотя, в перспективе такое направление может получить

развитие, тем более что за границей ПГУ получили достаточно широкое распространение в энергетике.

**"Д":** Каким видится возможный облик перспективного газотурбинного газоперекачивающего агрегата и что бы Вы от имени ОАО "Газпром" пожелали его создателям?

**А.Ш.:** Прежде всего, конструкция агрегата должна обеспечивать универсальность его применения (способность работать на линейных и дожимных компрессорных станциях, станциях подземного хранения газа и охлаждения, на морских платформах, заводах сжижения газа, малых электростанциях и др.).

Желательно иметь агрегат с регулируемыми характеристиками, как двигателя, так и газового компрессора, что позволит настраивать их номинальную мощность под конкретную компрессорную станцию и поддерживать оптимум при изменении нагрузок и внешних условий.

Стоимость ремонтно-технического обслуживания должна быть минимальна и находиться на уровне затрат газоперекачивающих агрегатов промышленного типа (стационарные агрегаты в настоящее время требуют в 2...3 раза меньших затрат, чем агрегаты на базе авиационных двигателей).

Необходимо решить проблему сокращения выбросов: к 2020 г. серийные конструкции газотурбинных установок должны обеспечивать ультранизкие концентрации СО и NO<sub>x</sub> (5...10 мг/м<sup>3</sup>). На первый план выдвинется проблема уменьшения выбросов СО<sub>2</sub>.

"Баланс" между диагностикой и надежностью должен склониться в пользу последней (надежные ПГУ могут иметь меньший объем диагностирования).

Дальнейшее развитие получает концепция модульности ГПА. С технологической точки зрения модуль должен быть приспособлен к автономному функционированию. Принципиально модульность позволяет гибко формировать компрессорную станцию, изменять ее облик путем наращивания количества модулей.

Отсюда и пожелание: делать много разных и надежных агрегатов. ◀



#### Эффективность газотурбинных установок

Мощность, МВт	К.п.д. установки, %		
	Авиационная простого цикла	Промышленная простого цикла	Промышленная регенеративного цикла
2...4	26...30	26...27,5	-
4...8	29...33,5	28...33	32...34,5
10...12,5	31...34,5	29...34	32...35
16...25	34...39	32...35	34,5...36,5

#### Оценка потребностей Газпрома в газотурбинных агрегатах до 2010 г.

Назначение	Суммарная мощность, тыс. МВт
Компрессорные станции газопровода "Ямал-Запад" (16 и 25 МВт)	4,6
Дожимные компрессорные станции (10 и 16 МВт)	2,5
Компрессорные станции подземных газохранилищ (2,5...12 МВт)	0,7
Замена газоперекачивающих агрегатов (6,3...25 МВт)	10,5
Модернизация компрессорных станций с заменой двигателей (6,3...25 МВт)	8,0

#### Газотурбинные агрегаты нового поколения

Газоперекачивающий агрегат	Двигатель	Россия		Поставщик
		Мощность, МВт	К.п.д., %	
ГПА-Ц-6,3	НК-14СТ	6,3 (8)	30	"Двигатели НК"
ГПН-6У	ГПН-6У	6,3 (8)	30,5	Тюменский моторостроительный завод
ГПА-12 "Урал"	ПС-90 ГП 1	12	34	НПО "Искра", Пермские моторы
ГПА-16 "Урал"	ПС-90 ГП 2	16	36,3	НПО "Искра", Пермские моторы
ГПА-Ц-16АЛ	АЛ-31СТ	16	36	А.Людьяка-Сатурн, Кировский завод, "Нуово Пиньоне"
ГПА-16 "Нева"	АЛ-31СТ	16	36	А.Людьяка-Сатурн, Кировский завод, "Нуово Пиньоне"
РСТ-21S	АЛ-31СТ	16	36	А.Людьяка-Сатурн, Кировский завод, "Нуово Пиньоне"
ГПА-16 "Волга"	НК-38СТ	16	36,5	Казанское моторостроительное ПО
ГПН-25-1	ГПН-25-1	25	31	Тюменский моторостроительный завод
ГПА-Ц-25	НК-36СТ	25	34,5	"Двигатели НК", СМНПО
Балтика 25	GT-10	25	35	АВВ-Невский
<b>Украина</b>				
ГПА-Ц-6,3	ДТ-71	6,3	30,5	ПО "Зоря"
	Д-336	6,3	30	"Мотор Сич"
ГПА-16МГ90	ДФ-90	16	34	ПО "Зоря"
ГПА-25МН80	ДН-80	25	35	ПО "Зоря"



# ПО ПРОГРАММЕ "УРАЛ-ГАЗПРОМ"

**Юрий Решетников,**

генеральный директор ОАО "Пермский моторный завод"

Газотурбинные двигатели, как известно, начали использоваться на магистральных газопроводах и в энергетике в 70-х годах. До этого основными объектами их применения были самолеты и корабли.

В новом качестве, как привод для выработки электроэнергии и перекачки газа, ГТД оказались эффективнее других машин и для этих целей востребованы в наши дни не менее широко, чем на транспорте. В США, например, сегодня 70 % вновь вводимых энергоустановок представлены газотурбинными электростанциями. Развитие газотурбинных технологий стимулируется и управляется государственными программами.

Основанные в 30-х годах для нужд авиационного моторостроения пермские предприятия ОАО "Авиадвигатель" (конструкторское бюро) и ОАО "Пермский моторный завод" приступили к конвертированию своих технологий и своей продукции для условий наземного применения в начале 90-х годов. Первый договор ОАО "Авиадвигатель" с Газпромом на разработку газотурбинной установки мощностью 12 МВт был подписан в марте 1992 г. Сегодня Пермский моторный завод выпускает 5 типов ГТУ, созданных в рамках программы "Урал-Газпром". Все эти промышленные ГТУ разработаны ОАО "Авиадвигатель".

По итогам эксплуатации Газпром принял решение об использовании пермских ГТУ в качестве основного привода на магистральных газопроводах и объявил о крупных заказах на уральскую продукцию. В ближайшие 6 лет Пермскому моторному заводу предстоит поставить на новые и реконструируемые объекты более 600 газотурбинных приводов.

К выполнению программы "Урал-Газпром" были подключены многие крупные предприятия Прикамья. Пермь стала крупным цент-

ром газотурбинных технологий. Здесь выполняется полный цикл работ от проектирования, производства, поставок и ремонта до монтажа "под ключ" и обслуживания у заказчика законченных объектов промышленного и энергетического назначения. Это газоперекачивающие агрегаты и газотурбинные электростанции с характеристиками мирового уровня, что подтверждается, в частности, несколькими выигранными международными тендерами. В 1999 г. Газпром выбрал для оснащения компрессорных станций газопровода "Голубой поток" (Россия-Турция) газоперекачивающие агрегаты с пермскими ГТУ-12П и ГТУ-16П. Пермские газотурбинные электростанции закупили для своих нужд Тюментрансгаз, Сургутнефтегаз, Норильский никель, Башкирэнерго, Пермэнерго, Уренгойгазпром.

В мае 1999 г. была подписана программа "Урал-Газпром-2", в соответствии с которой ОАО "Авиадвигатель" приступило к разработке еще четырех типов ГТУ. В создание установок Газпром инвестировал соответствующие средства.

Основными достоинствами пермских газотурбинных установок являются:

- высокая надежность (коэффициент готовности 0,98...0,99; коэффициент надежности пусков 0,93...0,97; наработка на отказ не менее 3700 ч);
- хорошая топливная эффективность (к.п.д. достигает 88 % при совместном производстве электроэнергии и тепла);
- низкие уровни шума и выбросов NOx, соответствующие международным нормам;
- низкие удельная стоимость и стоимость техобслуживания;
- большой ресурс (25 000...35 000 ч до капремонта).

По результатам эксплуатации и с учетом пожеланий заказчика ведется непрерывная работа по улучшению характеристик и потребительских качеств продукции, совершенствуются способы ее послепродажного обслуживания. ◀

## DIGEST

### "URAL - GAZPROM" PROGRAM

Gas-turbine engines are found to be more efficient than other drives for electric power generation and gas pumping. Today, Perm Motor-Building Facility is manufacturing 5 types of GTUs within the framework of "Ural - Gazprom" program. These industrial GTUs were developed by "Aviadvigatel" company. Within the nearest 6 years Perm Motor-Building Facility is scheduled to deliver over 600 GTUs to new or modernized stations. In 1999, Perm's GTU-12P and GTU-16P for compressor stations of "Blue Flow" (Russia - Turkey) cross-country gas line was chosen by Gazprom. "Aviadvigatel" Co. has launched the development of another four types of GTUs.



# ОТКРЫВАЕМ НОВУЮ СТРАНИЦУ

**КБХА – один из признанных мировых лидеров в создании жидкостных ракетных двигателей. Свой путь предприятие начинало с разработки агрегатов непосредственного впрыска для поршневых авиационных двигателей. Во времена своего наибольшего подъема предприятие создавало ядерный двигатель для космических аппаратов и газодинамический лазер. В последнее время помимо ЖРД здесь разрабатывается наукоемкое оборудование для топливно-энергетического комплекса.**

**Владимир Рачук**, генеральный конструктор - генеральный директор  
**Юрий Шипулин**, первый заместитель генерального директора  
**Владимир Иванов**, главный конструктор  
**Анатолий Сухов**, заместитель главного конструктора  
**Иван Лачугин**, генеральный директор "Воронежоблгаз"

С начала 90-х годов КБ химавтоматики приступило к выполнению работ по конверсионной тематике. Первым проектом было создание теплогазогенератора для интенсификации добычи нефти за счет комплексного воздействия теплом, паром и энергией газодинамического удара рабочего тела на призабойную зону скважины. В основе метода - сжигание в смеси с воздухом углеводородного жидкого топлива в скважинном газогенераторе и балластировка продуктов сгорания водой. Несмотря на успешное ведение работ и испытание трех опытных образцов, это направление не получило развитие из-за отсутствия в то время надежных отечественных воздушных компрессоров высокого давления (до 25,0 МПа) и производительности (до 90 нм<sup>3</sup>/мин). К этой теме можно вернуться при необходимости освоения месторождений с "тяжелой" вязкой нефтью и в комплексе решить поставленную заказчиком задачу.

Альтернативным проектом, позволяющим осваивать глубокие скважины без существенных энергетических затрат и дорогого сложного оборудования, стал парозатный комплекс, вырабатывающий рабочее тело в виде пара 72 % и азота 28 % в скважинном генераторе, работающем на унитарном топливе - водном растворе нитрата аммония и аммиака. Институтом "Прикладная химия" (бывшим ГИПХом) была разработана технология полу-

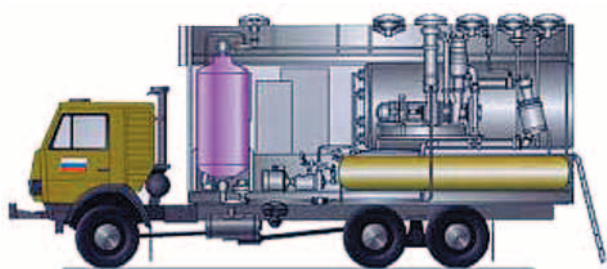
чения и сжигания этого топлива. На предприятии был создан демонстрационный образец агрегата.

В настоящее время в интересах нефтегазовой отрасли по договорам с ЗАО ПК "Космос-Нефть-Газ" разработаны и изготавливаются мобильные агрегаты приготовления смеси АПС-3 и АПС-6 и песковозы для комплекса глубокопроникающего гидроразрыва пластов. Высокая эффективность обработки скважин таким оборудованием подтверждена в ОАО "Пурнефтеотдача" - дебит скважин возрастает в 10...20 раз.

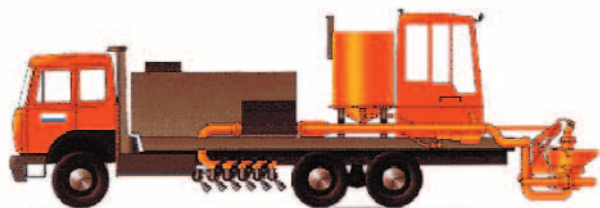
Ведутся работы по созданию мобильного генератора нейтральных газов ГНГ-1000 с производительностью 1000 нм<sup>3</sup>/ч для обеспечения пожаровзрывобезопасности на

Песковоз для комплекса гидроразрыва пластов

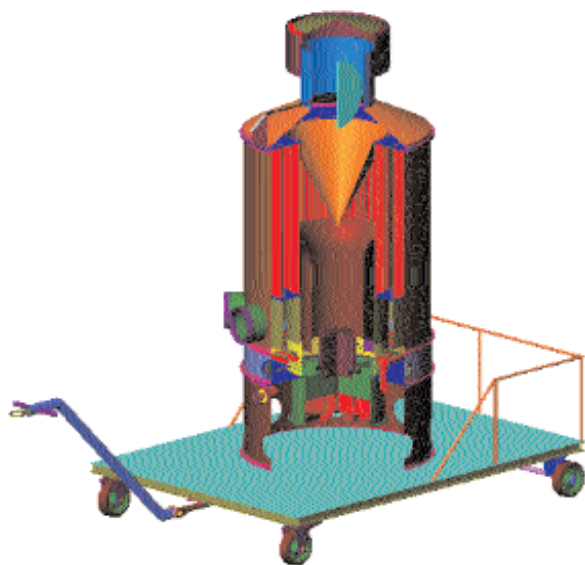




Мобильная автономная установка для выработки газа ГНГ-1000



Агрегат приготовления смеси АПС-6



Подогреватель воздуха на транспортировочной тележке



Система питания ДВС газообразным топливом

нефтегазовых объектах. Техническое задание получено от ОАО "Газпром". Отличительная особенность этого проекта состоит в том, что ГНГ-1000 вырабатывает рабочее тело с помощью малогабаритной газотурбинной установки, работающей как на жидком, так и на газообразном топливе без каких-либо доработок, с оригинальным способом запуска (без стартера). Турбокомпрессор этой установки выполняется с центробежным колесом, в котором степень сжатия воздуха в одной ступени будет достигать восьми. ГНГ-1000 оснащается автоматической системой управления и контроля, выполняется в блочно-комплектном исполнении и размещается на шасси типа КАМАЗ.

Успешно завершён поиск новой схемы подогревателя воздуха по заданию ООО "Мострансгаз", обеспечивающей высокую производительность нагреваемого воздуха ( $\sim 15000 \text{ м}^3/\text{ч}$  с  $\Delta T = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) при малых габаритах и массе подогревателя ( $\sim 650 \text{ кг}$ ) с транспортировкой на собственной тележке. Подогреватель работает на природном газе с давлением от 60...200 мм вод. ст. до 7,5 МПа и будет использоваться для обогрева жилых и производственных помещений, в том числе для обогрева блок-боксов с газотурбинными приводами газоперекачивающих агрегатов магистральных газопроводов.

Для повышения экономичности, снижения вредных выбросов и обеспечения равномерности температурного поля продуктов сгорания до и после турбин, совместно с ООО "Севергазпром" и ООО "Мострансгаз" с 1993 г., ведутся работы по модернизации камер сгорания газотурбинных установок типа ГТ-6-750, ГТН-6 и др., путем замены штатных горелок на горелки соплового типа, созданные нашим предприятием. Достигнуты хорошие результаты и в ближайшее время будут обеспечиваться эмиссия вредных выбросов по СО и  $\text{NO}_x$  не более  $50 \text{ мг}/\text{м}^3$  и перепад температуры перед турбиной порядка  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Это направление работ можно распространить на любые типы газотурбинных приводов газоперекачивающих агрегатов магистральных газопроводов и авиационные двигатели.

По заказам ООО "Астраханьгазпром" выпускается различное импортозамещающее оборудование:

- станция управления фонтанным комплексом СФК60, обеспечивающая в автоматическом режиме закрытие запорной арматуры скважины при изменении давления в газопроводе от заданного и в случае пожара;
- блок осушки газа КМВБ60 с точкой росы при температуре минус  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  для контрольно-измерительных приборов;
- комплекс зажигания факела для обеспечения сжигания несанкционированных выбросов газа на нефтегазодобывающих скважинах и горелки для подогревателей газа.

Расширяется фронт работ по использованию природного газа в качестве моторного топлива. Проводится опытно-промышленная эксплуатация системы питания ДВС сжиженным газом и изготавливаются опытные образцы системы питания ДВС сжатым (до 25 МПа) газом. Ведутся работы по созданию автомобильной газонаполнительной компрессорной станции АГНКС детандерного типа, использующей энергию перепада давления на редукторах газораспределительных станций (ГРС) и газораспределительных пунктов (ГРП).

К реализации конверсионных направлений работ на предприятии подключены высококвалифицированные специалисты. При изготовлении оборудования используются самые современные технологии и действует международная система качества ИСО 9001. Вся продукция после опытно-промышленной эксплуатации сертифицируется и при необходимости сопровождается сервисным обслуживанием. ◀

**Контактный телефон (0732) 33-37-67.  
Факс (095) 251-44-49.**



**ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ КМЕВ60:**

1. Рабочая среда - природный газ по ГОСТ 5140-83.
  2. Давление на входе - 2,43 МПа.
  3. Температура на входе - 5...20 °С.
  4. Влажность - 10 мг/м<sup>2</sup>.
  5. Содержание несжимаемых соединений в т.ч. H<sub>2</sub>S - до 10 мг/м<sup>2</sup>.
  6. Молекулярная масса - 17,4 г/моль.
  7. Общий расход - 65 м<sup>3</sup>/час.
  8. Параметры газа на выходе:
    - давление в фонтанной арматуре - 2,4...3 МПа;
    - давление для приборов КиА - 0,7 МПа;
    - точка росы - минус 40 °С при 3 МПа;
    - расход при 2,4...3 МПа - 26 м<sup>3</sup>/час;
    - расход при 0,7 МПа - 25 м<sup>3</sup>/час.
  9. Габариты (не более) - 1800x1000x600 мм.
  10. Масса (не более) - 200 кг.
  11. Климатическое исполнение VI по ГОСТ 15150-69.
- БОГКИП предназначен для эксплуатации в умеренном климатическом районе при температуре окружающей среды от -36 °С до +42 °С.
12. Электропитание - однофазный ток 220 В, 50 Гц.
  13. Установленная (номинальная) мощность - не более 1 кВт.



Блок осушки газа

**ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ:**

1. Давление газа на входе в комплекс - 32 кгс/см<sup>2</sup>.
2. Давление газа в месте отбора на трубу сброса - 5 кгс/см<sup>2</sup>.
3. Электрическое напряжение питания шкафа управления (с незаземленной нейтралью) - 220 ± 10 В  
частота - 50 ± 1 Гц;  
потребляемая мощность, не более - 50 Вт.
4. Электрическое напряжение командных сигналов (постоянный ток) - 24 В.
5. Температура окружающей среды - от -40 до +50 °С.
6. Атмосферное воздействие (ветер, дождь, снег, лед) - без ограничений.
7. Масса агрегатов и деталей комплекса, навешиваемая на газовую трубу, не более - 200 кг.



Блок управления зажиганием факела



Факел

**DIGEST****OPENING A NEW PAGE**

"KBNA" Design Bureau is a world-recognized leader among designers of liquid-propellant rocket engines (LREs). The company began its way from the development of direct fuel injectors for aircraft piston engines. Recently, in addition to LREs, the company is designing advanced equipment for heat power complex. Since 1990s, the design bureau is conducting such conversion projects as the heat power generating unit for crude oil production, the development of a nitrogen-vapor complex supplying working medium as a mixture of 72 % nitrogen + 28 % vapor in the generator.

Today, as requested by gas-oil industry, the design bureau in cooperation with "Cosmos-Neft-Gaz" Co. is manufacturing APS-3 and APS-6 mixing mobile installations for hydropneumatic blasting complex which high efficiency makes possible to increase oil well output by 10-20 times.

The works are under way aiming at the development of GNG1000 mobile neutral gas generator with 1000 m<sup>3</sup>/hr output to improve fire safety and explosion proofness of oil-gas plants. These works are contracted by "Gazprom" and "Cosmos-Neft-Gaz".

The design bureau has successfully completed the project ordered by "Mostransgas" on the development of a new air preheater for living quarters and production buildings ensuring high airflow - 15000 m<sup>3</sup>/hr at T = 120 °С, small overall dimensions and weight of the preheater (~ 650 kg) fueled by natural gas.

Upgrading of combustion chambers of gas-turbine installations such as GT-6-750 and GTN-6 aiming at improvement of fuel efficiency, a decrease in emissions and achieving a uniform temperature field of combustion products is under way. Within the next few years it is scheduled to provide CO and NO<sub>x</sub> emission lesser 50 mg/m<sup>3</sup> and 25 °С temperature stability at the turbine inlet.

"Cosmos-Neft-Gaz" Co. and "Astrakhangazprom" Co. placed orders on manufacturing of different import replacing systems: SFK 60 fountain control station, KMEV60 gas dehumidifier with -40 °С dew point, the ignition system for unauthorized discharges of gas in gas and oil wells, and burners for gas preheaters.

The design bureau is making first trials of feed systems for ICEs fueled by liquefied and compressed gas (up to 25 МПа). The most advanced technologies are used in manufacturing of equipment meeting ISO 9001 international quality standards; all products are certified and serviced, if necessary.



**Виктор Зазулов,**  
генеральный директор, главный конструктор НПП "ЭГА"

# УНИФИЦИРОВАННАЯ САУ ГАЗОТУРБИННЫХ ПРИВОДОВ

В начале девяностых годов в РАО "Газпром" была принята программа модернизации и автоматизации технологических процессов на газокompрессорных станциях с широким использованием компьютерной техники. К этому периоду на газокompрессорных станциях эксплуатировалось более 1 000 газотурбинных приводов на базе авиационных двигателей, в основном это были НК-12СТ и НК-16СТ.

Гидропневмомеханические системы автоматического управления (САУ) этих приводов были разработаны НПП "ЭГА" в начале семидесятых годов. Перевооружение газокompрессорных станций поставило перед нашим предприятием задачу радикального изменения структуры системы управления с учетом внедрения новых возможностей: адаптации САУ к любым условиям управления газокompрессорными станциями, оперативной замены в процессе эксплуатации старой системы управления приводом новой, значительного повышения надежности, эксплуатационной технологичности, быстрого развертывания серийного производства и т.д.

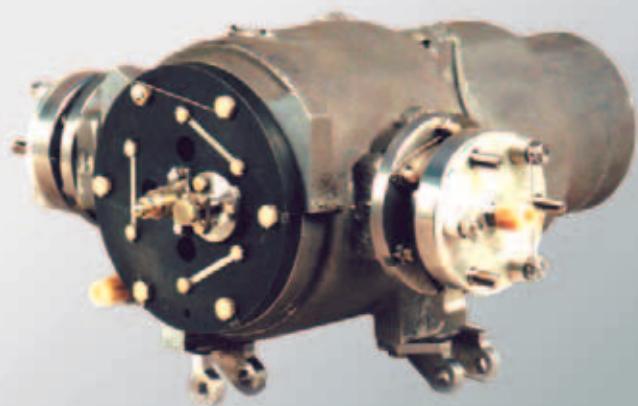
Сжатые сроки и повышенные требования технических заданий на новое поколение САУ привели к тому, что возникла необходимость их унификации для широкого спектра газотурбинных приводов различного назначения.

Для сокращения сроков развертывания серийного производства еще на стадии проектирования и разработки технической документации был определен серийный изготовитель исполнительных элементов - МПО им. И. Румянцева. Таким образом, разработка новых САУ с самого начала велась с учетом имеющихся технологических процессов и оборудования завода. Такое решение позволило значительно сэкономить затраты, сократить сроки внедрения и поставки серийных образцов САУ приблизительно на два года. Поскольку внедрение в эксплуатацию унифицированной системы проводилось в условиях конкуренции как с зарубеж-

ными фирмами, среди которых американская "Компрессор контрол корпорейшн", германская "Сименс", итальянская "Нуово Пеньоне", так и отечественными предприятиями, то это обстоятельство сыграло немаловажную роль.

Известно, что газотурбинные силовые приводы различной мощности широко используются не только для газокompрессорных станций, но и для привода электрогенераторов, а также в составе судовых силовых установок. Новая унифицированная система управления для такого рода силовых приводов включает в себя электронный блок, гидравлические, электромеханические и струйные узлы управления. Она выполняет основные функции управления приводом на всех режимах работы, включая подготовку к пуску, запуск, поддержание заданных режимов управления, аварийный останов, управление механизацией компрессора, а также обеспечивает диагностику технического состояния САУ и привода в целом. Ее проектирование велось с учетом последних достижений науки и техники. В системе использована современная электроника, а ее производство базируется на прогрессивных технологиях предприятия-разработчика. Архитектура созданной электронной САУ позволяет решать задачи управления как самостоятельно, так и в составе интегрированных систем с централизованным диспетчерским пунктом и телеметрическими каналами.

Универсальный цифровой регулятор такой системы управления имеет блочную структуру, он легко адаптируется под различные типы двигателей и выполняемые функции управления. Адаптация достигается, в основном, путем соответствующего изменения системного программного обеспечения и заключается в коррекции или замене прикладного программного обеспечения (законов управления), а также набора исполнительных механизмов. К примеру, имея стандартный набор узлов управления и обвязку двигателя, адаптацию САУ к новому приводу и ввод его в эксплуатацию можно выполнить за 2-4 недели.



Дозатор газообразного топлива (для малых перепадов давления)



Дозатор газообразного топлива

На рисунке представлена типовая блок-схема САУ для силового привода, работающего на жидком и газообразном топливе с возможностью перехода с одного вида топлива на другой без останова изделия. Управление приводом может проводиться как самостоятельной САУ, так и САУ, входящей составной частью в систему верхнего уровня (систему управления энергетической установкой или газокompрессорной станцией - АСУТП). Типовая система автоматического управления содержит:

- электронный цифровой регулятор ЭЦР;
- дозатор жидкого топлива ДТО и два дозатора газообразного топлива ДУС, приводимые шаговыми двигателями ШД через блоки управления КДЦ по сигналам от ЭЦР;
- два электроприводных шестеренных насоса подачи жидкого топлива ЭНТ (основные режимы управления, кроме запуска) и ЭНТЗ (режим запуска);
- клапаны стравливания воздуха КСВ;
- стопорный клапан СК;
- распределитель жидкого топлива РТ.

Использование нескольких дозаторов газообразного топлива позволяет реализовать сложные законы распределения топлива по коллекторам, обеспечить оптимальное горение и минимальный уровень токсичности выхлопных газов.

В настоящее время в эксплуатации находятся более двенадцати модификаций электронных регуляторов и ежегодно по требованию заказчиков их номенклатура увеличивается. Заказчиками нового поколения САУ выступают ведущие разработчики и производители ГД наземного применения, такие как ОАО "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", ГУП "Завод им. В.Я. Климова", ФНПЦ ММП "Салют", ГНПП "Мотор", АО "КМПО", ТМКБ "Союз", НПП "Машпроект" и др.

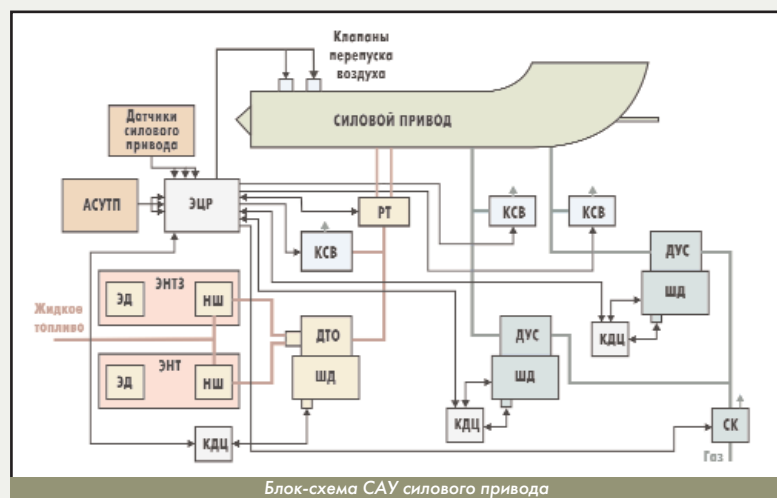
Для приводов, работающих на газообразном топливе, создан ряд дозаторов с электронным управлением. В качестве исполнительного механизма используется шаговый двигатель с цифровым блоком управления. В серийное производство внедрены несколько типов дозаторов для газотурбинных приводов различной мощности. Среди них и дозатор ДГС, предназначенный для работы на малых перепадах давления газа. Дозатор такого типа может применяться и на газораспределительных станциях.

Более шестидесяти унифицированных систем управления нового поколения успешно эксплуатируются на компрессорных станциях газопроводов России, стран СНГ и Болгарии, их суммарная наработка превышает 240 тыс. часов. Гарантийный ресурс

САУ газотурбинных приводов составляет 6000 часов при назначенном ресурсе 30 тыс. часов. В настоящее время отдельные экземпляры системы управления наработали более 11 тыс. ч и после выработки гарантийного ресурса переведены на эксплуатацию по техническому состоянию в соответствии с регламентом по обслуживанию привода.

Внедрение нового поколения приводов с электронными системами управления позволило повысить качество управления, экономичность, снизить затраты на техническое обслуживание, обеспечить необходимый уровень объема телеметрической информации и самодиагностики, выполнить жесткие международные экологические требования благодаря повышенной точности поддержания режимов работы привода.

Важно отметить, что современные электронные САУ могут быть использованы не только совместно с силовыми приводами нового поколения, но и применяться для замены чисто гидромеханических систем управления при регламентных работах на ранее выпущенных газотурбинных приводах. ◀



Блок-схема САУ силового привода

125015, Россия, Москва, ул. Правды, 23  
**ОАО НПП "ЭГА"**  
 Тел.: (7+095) 285-9140  
 Факс.: (7+095) 257-1606

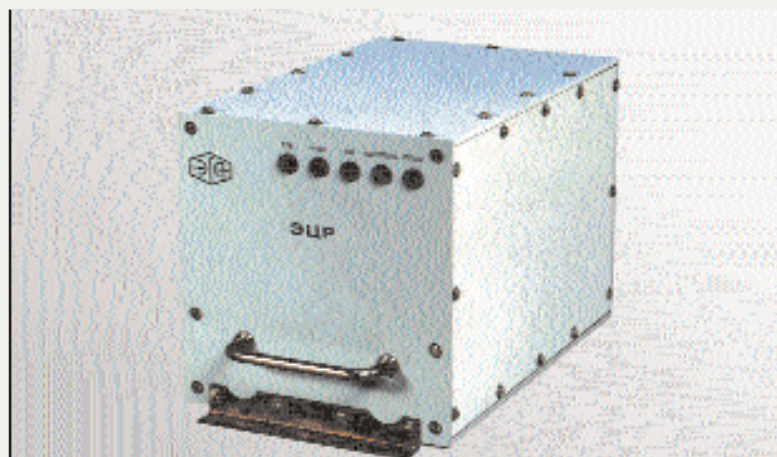
**DIGEST**

An universal digital controller of automatic control systems (ACS) developed by "Ega" Co. has a block structure and can be easily tailored to various types of engines and control functions. This is achieved, mainly, by appropriate setting of the system software and consists in corrections or replacement of software applications, control laws, as well as a set of basic actuators. The developed ACS architecture makes possible to solve problems of control independently or in integrated systems with a central supervisory console and telemetering channels. Among customers of this new ACS generation are leading design bureaus and manufacturers of industrial GTEs. The use of new installations equipped with electronic ACS made possible to improve control and effectiveness, decrease maintenance cost, ensure a required volume of telemetering data and self-diagnostics, meet strict international ecological requirements owing to increased accuracy in maintaining engine operating conditions.

**UNIFIED ECS OF GAS-TURBINE DRIVES**



Контроллер дозатора топлива



Электронный цифровой регулятор

# "ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ"

## ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

ФГУП "ММПП "Салют":

**Юрий Елисеев**, генеральный директор

**Вячеслав Беляев**, главный конструктор промышленных ГТУ

**Светлана Серeda**, ведущий конструктор

Значительно возросшая в последнее время конкуренция среди производителей газотурбинной техники для энергетики, газоперекачки, морского и железнодорожного транспорта требует резкого уменьшения сроков создания новых двигателей. Оптимальным способом решения данной проблемы является адаптация лучших образцов авиационной техники к новым задачам с использованием современных "высоких" вычислительных технологий. К таким технологиям можно отнести комплекс программ FlowER, предназначенный для расчета трехмерных вязких течений в многоступенчатых лопаточных машинах. Конструкторское бюро промышленных газотурбинных установок ФНПЦ "ММПП "Салют" получило опыт использования данного комплекса программ для расчета трехмерных вязких течений в многоступенчатом компрессоре, одном из главных элементов авиационного двигателя.

До сих пор основными средствами, применяемыми при проектировании лопаточных машин, были квазиодномерные и осесимметричные методики аэродинамического расчета. Эти методики, незаменимые на этапе предварительного проектирования, требуют априорного знания коэффициентов потерь и расхода, но не позволяют учесть пространственную картину течения в решетках. Поэтому после окончания проектных работ неизбежно наступал этап длительной и дорогостоящей доводки изделий. Сегодня стало очевидно, что при создании конкурентоспособных турбомашин в короткие сроки нельзя обойтись без использования современных методов расчета трехмерных течений вязкого газа в лопаточных аппаратах. Огромную роль для практического применения этих методов имеют не только математическая точность и согласование расчета с экспериментом, но и вопросы надежности, простоты и удобства работы с программным обеспечением.

В конструкторском бюро промышленных газотурбинных установок ФНПЦ "ММПП "Салют" впервые в России был получен ценный опыт применения программного комплекса FlowER для расчета газодинамических характеристик многоступенчатых лопаточных машин. Результаты внедрения нового программного обеспечения позволили во много раз сократить объемы дорогостоящих натуральных экспериментов, заменив их численными.

В программном комплексе FlowER реализованы передовые вычислительные технологии пространственного профилирования лопаточных аппаратов. Дальнейшее повышение эффективности ступеней турбин и компрессоров непосредственно связано с возможностями численных методов расчета вязкого трехмерного потока.

Течение газа в многоступенчатой турбомашине в программном комплексе FlowER описывается осредненными по Фавру уравнениями Навье-Стокса. Для моделирования турбулентности привлекаются алгебраическая модель Болдуина-Ломакса или двухпараметрическая дифференциальная модель переноса сдвиговых напряжений Ментера.

Необходимо подчеркнуть, что модель Ментера объединяет лучшие черты популярных двухпараметрических моделей, лишена многих их недостатков и считается в настоящее время одной из лучших

Визуализация трехмерного вязкого течения воздуха в многовенцовом компрессоре АЛ-21 в изолиниях по числам Маха

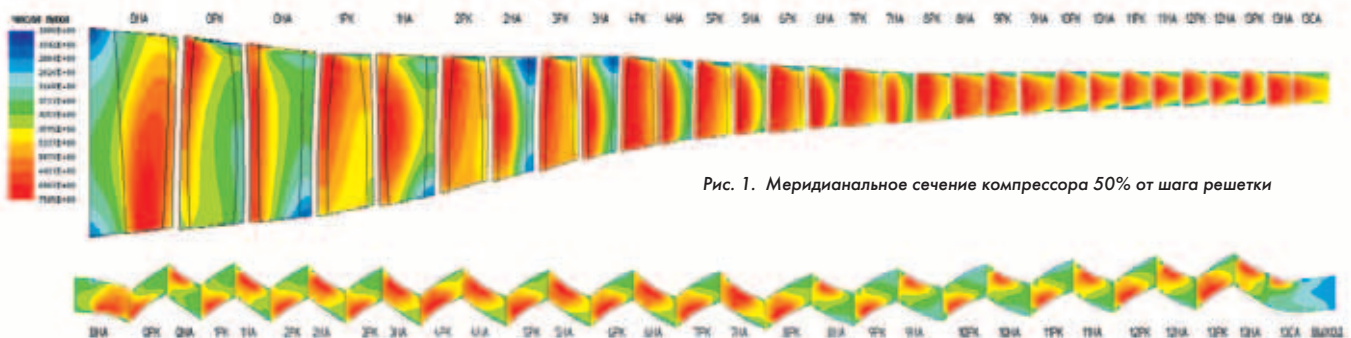


Рис. 1. Меридианальное сечение компрессора 50% от шага решетки

Рис. 2. Межлопаточный канал 50% от высоты лопатки

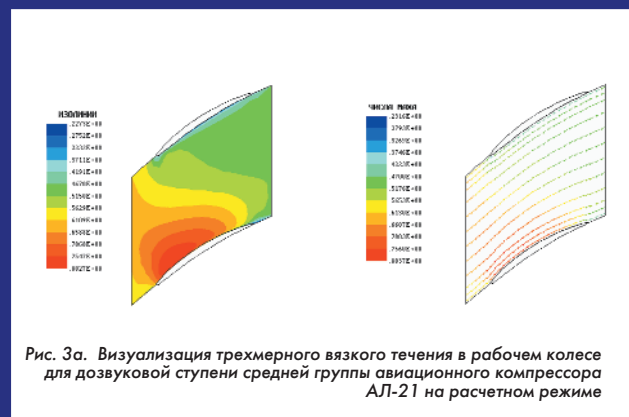
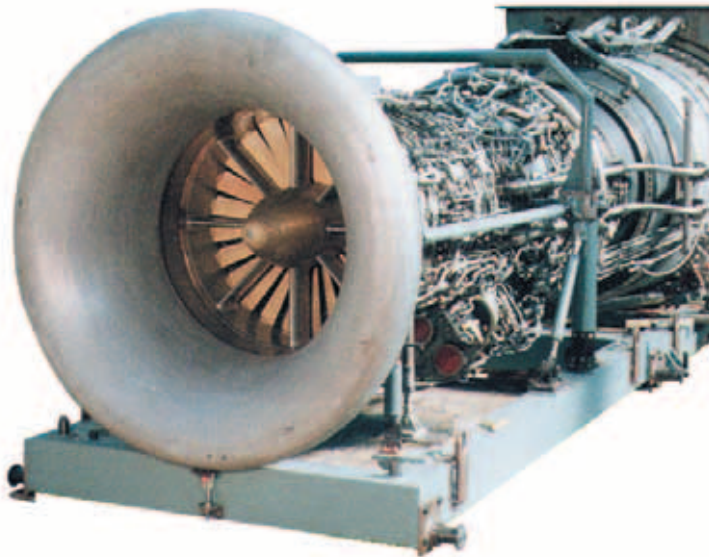


Рис. 3а. Визуализация трехмерного вязкого течения в рабочем колесе для дозвуковой ступени средней группы авиационного компрессора АЛ-21 на расчетном режиме

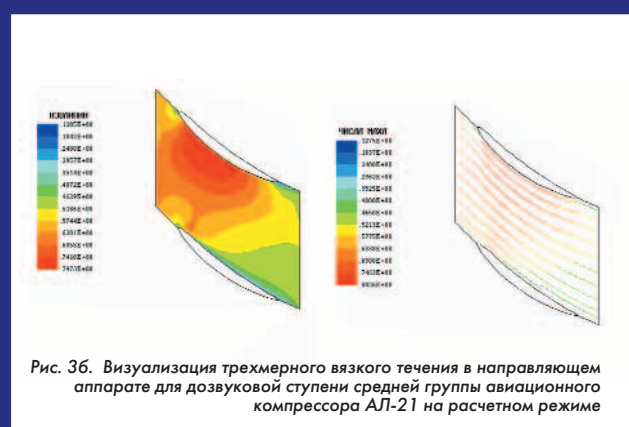


Рис. 3б. Визуализация трехмерного вязкого течения в направляющем аппарате для дозвуковой ступени средней группы авиационного компрессора АЛ-21 на расчетном режиме

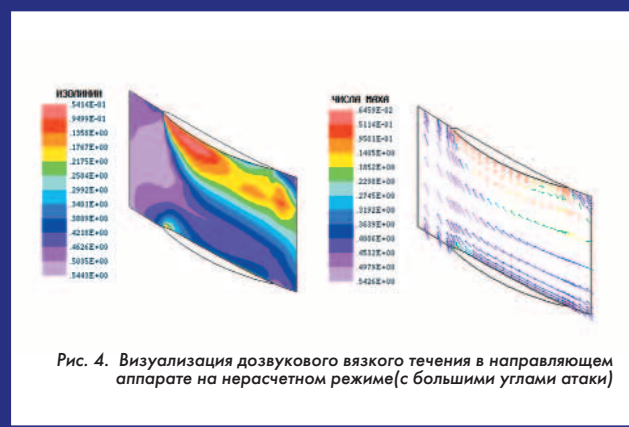


Рис. 4. Визуализация дозвукового вязкого течения в направляющем аппарате на нерасчетном режиме (с большими углами атаки)

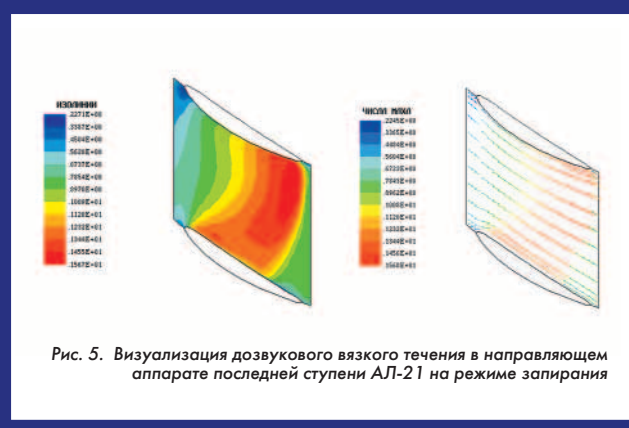


Рис. 5. Визуализация дозвукового вязкого течения в направляющем аппарате последней ступени АЛ-21 на режиме записания

моделей турбулентности для широкого класса внутренних и внешних течений с отрывами, скачками уплотнения и теплообменом.

Постановка граничных условий в основном традиционная. На входе в проточную часть турбомашины задаются распределения углов потока, полного давления и температуры, а на выходе - статического давления. В качестве альтернативного граничного условия в выходном сечении предлагается задавать инвариант Римана, рассчитанный по осевой скорости и скорости звука на выходе. В обоих случаях распределение параметров по радиусу на выходе может быть либо задано, либо определено из условия радиального равновесия.

Отличительной особенностью программного комплекса является возможность задания радиального зазора и протечек рабочего тела через осесимметричные отверстия в ограничивающих меридиональных обводах проточной части. Интенсивность этих протечек определяется задаваемым расходом.

Осредненные в окружном направлении параметры на выходе лопаточного венца используются в качестве условий на входе в следующий венец. Подобным же образом определяются условия на выходе предыдущего венца. В обоих случаях используется принцип не отражающих граничных условий, что позволяет уменьшить погрешности, вызванные применением процедуры осреднения вблизи кромок лопаток.

Исходные уравнения, включая уравнения модели турбулентности, решаются численно с применением неявной разностной схемы повышенной точности.

Комплекс программ FlowER снабжен пре- и постпроцессорами, которые обеспечивают возможность работы с базой данных проточных частей, разностных сеток и результатов расчетов обтекания. Графическое представление геометрии лопаточных аппаратов, подробная визуализация течений, диалоговый режим работы и развитая система справок позволяют конструктору в кратчайшие сроки подготовить исходные данные для расчета и обработать его результаты.

В конструкторском бюро ММП "Салют" выполнены многочисленные расчеты трехмерного вязкого течения для широкого спектра компрессорных ступеней.

На рис. 3а, б приведена визуализация трехмерного вязкого течения в изолиниях по числам Маха для дозвуковой ступени средней группы авиационного компрессора АЛ-21 на расчетном режиме. При безотрывном течении с небольшим местным разгоном по спинке рабочего колеса и направляющего аппарата получено практически безградиентное поле скоростей на выходе из обоих венцов.

На рис. 4 приведена картина дозвукового течения в направляющем аппарате на нерасчетном режиме с большими углами атаки на входе в венец. Развитие срывные зоны приводят к образованию обратного течения и потере устойчивости в венце. На рис. 5 - течение в направляющем аппарате последней ступени АЛ-21 на режиме записания, со скачком уплотнения, охватывающим весь лопаточный канал.

На рис. 6 а, б представлен трансзвуковой вращающийся венец со скачками уплотнения и интенсивными срывными явлениями в ло-

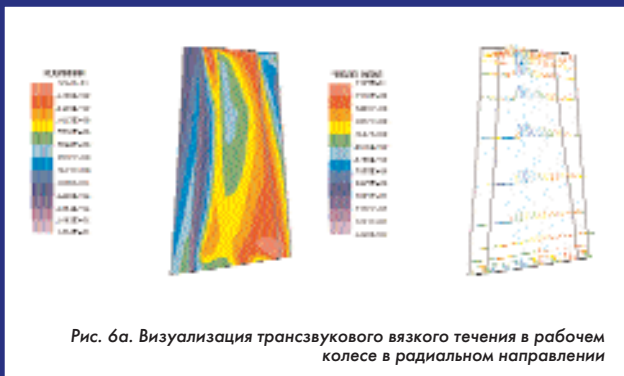


Рис. 6а. Визуализация трансзвукового вязкого течения в рабочем колесе в радиальном направлении

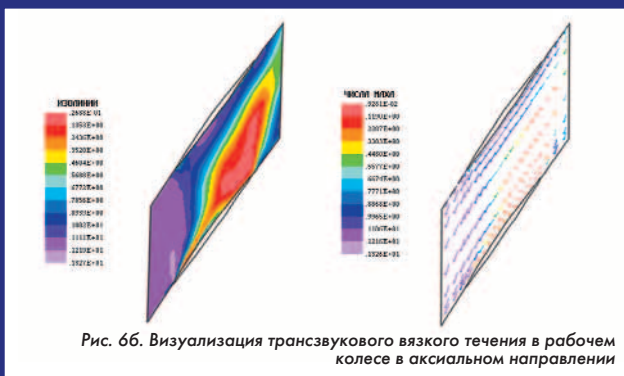


Рис. 6б. Визуализация трансзвукового вязкого течения в рабочем колесе в аксиальном направлении

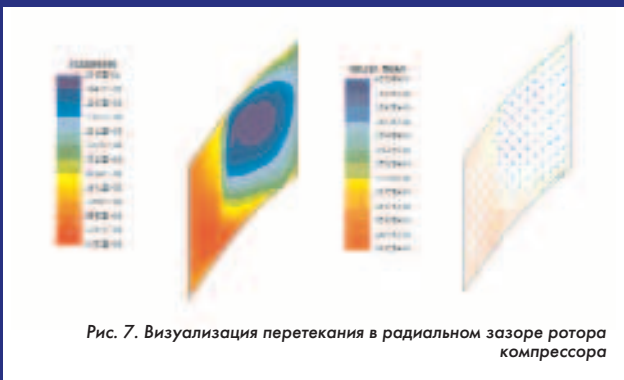


Рис. 7. Визуализация перетекания в радиальном зазоре ротора компрессора

паточном канале и радиальными перетечками, что приводит к образованию вращающегося срыва.

Пример расчета перетекания в радиальном зазоре ротора компрессора представлен на рис. 7. Вектора скорости ориентированы от стороны давления ротора к стороне разрежения по окружному направлению и в соответствии с градиентом давления в потоке - по осевому направлению от выхода к входу.

Приведенные примеры расчета компрессорных лопаточных венцов с помощью программного комплекса FlowER говорят о хорошем воспроизведении физики трехмерного вязкого течения в широком диапазоне работы компрессорных ступеней.

В рамках проектных работ по созданию парогазовой установки (ПГУ) МЭС-60 новой схемы на базе авиационного изделия АЛ-21 с помощью программного комплекса FlowER были проведены вычислительные эксперименты, позволившие уточнить представления о процессах, протекающих в многоступенчатом компрессоре.

Компрессор изделия АЛ-21 - осевой четырнадцатиступенчатый. Для обеспечения устойчивой работы компрессора при одновальном конструктиве ротора применены две группы регулируемых направляющих аппаратов:

- входная группа, включающая в себя входной направляющий аппарат (ВНА) и направляющие аппараты (НА) "нулевой", первой, второй и третьей ступеней;
- выходная группа, включающая НА восьмой, девятой, десятой, одиннадцатой и двенадцатой ступеней.

Суммарные газодинамические характеристики компрессора были рассчитаны для тридцати венцов одновременно на режимах работы, близких к номинальному, со штатным законом углов регулирования поворотных направляющих аппаратов. Рис. 1 и 2 иллюстрируют картину трехмерного вязкого течения в компрессоре. Результаты расчетов, выполненных с помощью программного комплекса FlowER, хорошо согласуются с экспериментальными данными во всем рассматриваемом диапазоне по расходу для степени повышения полного давления. Благоприятные итоги тестирования комплекса позволили перейти к прогнозированию параметров менее изученных газотурбинных установок. Так, в установке МЭС-60 потребовалось изменить рабочую точку компрессора, существенно сдвинув влево границу устойчивой работы при сохранении достаточно высокого коэффициента полезного действия. Экспериментальные данные в этой зоне работы компрессора отсутствовали.

Постановка вычислительного эксперимента по расчету вязкого трехмерного течения в тридцативенцовом авиационном компрессоре с помощью программного комплекса FlowER проводилась в несколько этапов. На первом этапе выполнялась идентификация параметров установки при штатных углах регулирования входной и выходной группы направляющих аппаратов по результатам натурных экспериментов. При этом рабочая точка компрессора оказалась за границей устойчивой работы. На следующем этапе был выбран закон регулирования входной группы направляющих аппаратов, при котором обеспечивается устойчивая работа компрессора в требуемом диапазоне по расходу воздуха, степени повышения давления и коэффициента полезного действия.

Таким образом, применение более совершенного математического аппарата в программном комплексе FlowER позволило существенно повысить достоверность вычислительных экспериментов и укрепить уверенность конструкторов в получении требуемых газодинамических характеристик компрессора, а также ощутимо сократить объем необходимых испытаний. ◀

## DIGEST

Up to now, basic techniques applied in designing of turbomachines were quasi one-dimensional and axi-symmetric aerodynamic calculations. These techniques couldn't take into account specific features of 3D flow in cascades. Therefore, upon completion of the designing phase there was a long and expensive operational development phase of the project. Today, it is clear that competitive turbocompressor can't be developed within a short time period without advanced computations of three-dimensional viscous gas flow in a turbomachine.

The design bureau of industrial gas-turbine installations at "Salute" Moscow Machine-Building Company for the first time in Russia applied "FlowER" software package for calculations of gasdynamic characteristics of multi-stage turbomachines. Gas flow in a multi-stage turbomachine in this software is described by Navier-Stokes equations averaged by Favre. Implementation of new software allowed to reduce workscope of expensive full-scale testing by replacing trials with numerical calculations.

## ADVANCED TECHNOLOGIES FOR ENGINE DEVELOPMENT

# ГТН-6У

## СТАЦИОНАРНЫЙ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЙ АГРЕГАТ

### ОАО "Турбомоторный завод":

**Арнольд Колчанов**, главный конструктор по газотурбостроению  
**Георгий Проскураков**, к.т.н.

- возможность выполнения технического обслуживания и ремонтов в условиях компрессорной станции определяется наличием площадей для ремонта и квалифицированного персонала ремонтников.

Технические характеристики ГТН-6У	
Мощность на муфте вала турбины НД, МВт	6,5
Расход воздуха, кг/с	33
Степень сжатия	12
Температура газа перед турбиной ВД, К	1193
Габаритные размеры турбоблока, м	9,5 x 3,3 x 3,25
Частота вращения вала, об/мин	турбины ВД
	турбины НД
К.п.д., %	31
Масса турбоблока, т	25

Указанные обстоятельства наложили отпечаток на конструкцию агрегата ГТН-6У, выполненную в виде отдельных универсальных модулей. Модульность агрегата позволяет провести реконструкцию цехов с различными отметками установок ГПА и с минимальным объемом строительно-монтажных работ.

Для применения в составе агрегата ГТН-6У разработан ряд нагнетателей, в конструкции которых применено полное запираение газовых уплотнений давлением масла.

Система автоматизированного управления и регулирования ГТН-6У предусматривает электронно-механическое регулирование подачи топливного газа. Аналогичная система типа МСКУ 4510К будет испытана в эксплуатации на серийных агрегатах ГТН-16М-1.

При изготовлении головного образца ГТН-6У осуществлялась широкая кооперация с конверсионными предприятиями. В настоящий момент проводятся испытания агрегата на заводском стенде. С ОАО "Газпром" согласован вариант установки ГПА ГТН-6У на компрессорной станции Елец (Мострансгаз). ◀

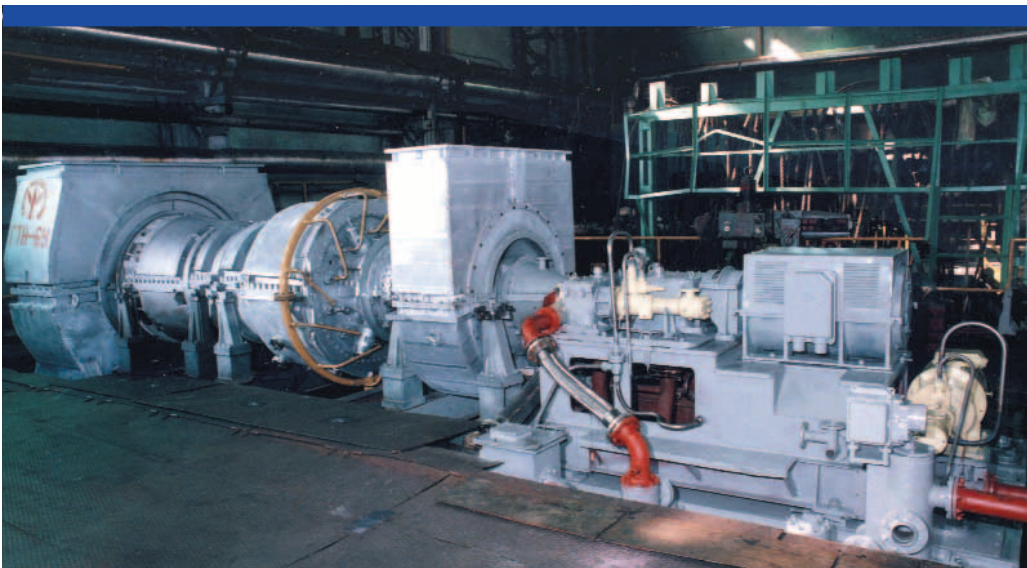
Изменение важнейших направлений развития газовой отрасли России и обусловленное этим снижение темпов строительства новых газопроводов в сочетании с принятым курсом на модернизацию существующих газотранспортных систем поставили перед ОАО "Турбомоторный завод" задачу создания и освоения в серийном производстве современного стационарного газоперекачивающего агрегата (ГПА) мощностью 6,5 МВт.

Новый ГПА ГТН-6У предназначен для оснащения вновь вводимых и реконструкции существующих компрессорных станций с заменой агрегатов. Последнее, в первую очередь, относится к цехам, оснащенным агрегатами производства ОАО "Турбомоторный завод" типа ГТ-6-750 и ГТН-6, которые морально устарели (их к.п.д. составляет 24 %,  $T_1=1033\text{K}$ ,  $\pi_k=6$ ) и сохраняются в эксплуатации лишь благодаря высокой надежности и большому ресурсу (120 тыс. ч, наработка на отказ  $T_o=5700$  ч).

При создании нового агрегата учитывались следующие обстоятельства:

- цехи с агрегатами ГТ-6-750 выполнены в виде капитальных зданий с установкой ГПА на отметке 5,8 м, цехи с агрегатами ГТН-6 выполнены в виде каркасно-панельных бесподвальных укрытий с установкой агрегата на отметке 2,5 м;

- существующие цехи оснащены грузоподъемной техникой и механизмами (мостовыми кранами, кран-балками) грузоподъемностью от 5 до 20 т, использование которых накладывает определенные ограничения на массогабаритные характеристики ГПА;



### DIGEST

A new gas-pumping station dubbed as GTN-6U was developed by "Turbomotorniy Zavod" Co. It is destined for new compressor stations or modernization. First of all, it is intended for compressor stations equipped with GT-6-750 and GTN-6 GTUs which morally have become outdated but are kept in operation only due to high reliability and long service life. GTN-6U power unit has a modular structure composed of separate universal modules making possible to conduct modernization with minimal scope of construction-and-assembling works. Its automatic control system is electronic-mechanical. Today, GTN-6U is under testing. A new version of the GTN-6U has been approved by "Gazprom" for installation at one compressor station.

### GTN-6U GAS PUMPING STATION

# ГАЗОТУРБИННЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

**Юрий Решетников**, генеральный директор ОАО "Пермский моторный завод"  
**Даниил Сулимов**, главный конструктор ОАО "Авиадвигатель"

Природный газ относят к невозобновляемым источникам энергии, запасы газа являются конечными, из чего вытекает необходимость его эффективного использования как наиболее ценного и экологически чистого вида топлива. В 2000 г. дефицит природного газа в России составил 11 млрд  $\text{nm}^3$ , в ближайшие два года, даже при закупке газа в среднеазиатских государствах, он обещает еще увеличиться: в 2001 г. - до 36,6 и в 2002 г. - до 67 млрд  $\text{nm}^3$ .

Основными потребителями природного газа в России являются ГРЭС, ТЭЦ и котельные (муниципальные и промышленные). Моральное и физическое старение энергетических объектов РФ при дефиците природного газа и дефиците финансовых ресурсов будет только усугублять ситуацию и может привести к неуправляемому выбытию энерго мощностей.

Энергетикам хорошо известно, что в себестоимости электроэнергии и тепла доля затрат на топливо составляет 65 % и выше. Поэтому магистральным направлением энергосбережения следует считать повышение топливной эффективности установок.

К системам, дающим максимальную экономию природного газа и приносящим максимальную прибыль, относятся муниципальные и промышленные системы совместного производства тепла и электроэнергии, создаваемые на основе газовых турбин (ГТУ-ТЭЦ и ПГУ-ТЭЦ). Эффективный коэффициент использования топлива в таких системах достигает 90 % и не имеет себе равных среди других технологий.

Убедительным свидетельством перспективности газотурбинных технологий в энергетике является принятый в США ещё в 1978 г. закон, в соответствии с которым на территории страны запрещалось использование природного газа на вновь вводимых и реконструируемых ТЭЦ и крупных котельных, если они не оснащались газовыми турбинами. Аналогичные меры были предприняты и в странах ЕЭС. Следует ожидать, что в обозримом будущем подобная норма неизбежно будет принята и в России.

Для демонстрации преимуществ газотурбинных теплоэлектростанций по сравнению с существующими паротурбинными установками, используемыми для производства электроэнергии, на рис. 1 представлены графики удельного расхода условного топлива, потребного для выработки электроэнергии и тепла, в зависимости от к.п.д. использования топлива.

Из рисунка видно, что разница в средних удельных расходах условного топлива на лучших ГРЭС России (Костромская ГРЭС) и наибо-

лее эффективных предлагаемых ГТУ-ТЭЦ составляет 170,8 г у.т./кВт·ч.

Заметим также, что разница между средней величиной удельного расхода топлива по ТЭЦ РАО "ЕЭС России" и удельным расходом топлива на предлагаемых ГТУ-ТЭЦ при одном и том же удельном расходе топлива на выработку единицы тепловой энергии, равном 144,6 кг/Гкал, составляет 163,6 г у.т./кВт·ч. На сегодняшний день в мире нет более эффективных технологий, позволяющих экономить энергоресурсы.

При стоимости природного газа 382 руб. за 1000  $\text{nm}^3$  и его удельном весе  $\gamma = 0,7 \text{ кг/нм}^3$ , стоимость топливной составляющей  $C_m$  в себестоимости электроэнергии и тепла в зависимости от к.п.д. использования топлива приобретает вид:

$$C_m = (382 \cdot C_g) / (1000 \cdot \gamma) = 0,04 / \eta_e, \text{ руб./кВт·ч,}$$

где  $\eta_e$  - к.п.д. станции.

На рис. 2 приведены зависимости стоимости топлива в себестоимости производства электроэнергии и тепла при росте цен на газ в период до 2010 г. (прогноз). При повышении цены газа до уровня 2005 г. снижение себестоимости 1 кВт·ч электроэнергии, произве-

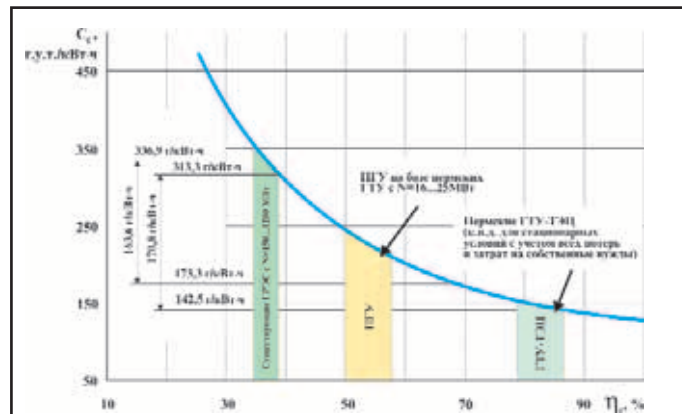


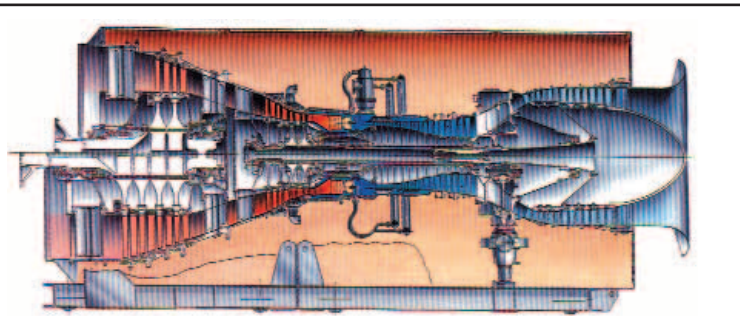
Рис. 1. Зависимость удельного расхода условного топлива от к.п.д. установки

денной на ГТУ-ТЭЦ благодаря снижению потребления топлива возрастет с 0,064 до 0,205 руб./кВт·ч. Таким образом, чем выше стоимость топлива, тем более выгодно применять ГТУ-ТЭЦ и ПГУ.

Внедрение ГТУ-ТЭЦ позволит увеличить прибыль энергопроизводящих предприятий (в том числе муниципальных котельных при преобразовании их в ГТУ-ТЭЦ) благодаря снижению себестоимости электроэнергии и тепла, будет способствовать уменьшению потребностей в дотировании из региональных бюджетов, даст возможность направить сэкономленные материальные ресурсы на другие цели и на внедрение более совершенных технологий.

Проанализировав сложившуюся в регионе ситуацию, администрация Пермской области приняла решение о разработке проекта Региональной программы "Пермские газотурбинные технологии для систем тепло- и электроснабжения". Такое решение принято, учитывая следующие обстоятельства:

- проблема технического перевооружения теплоэлектроэнергетики затрагивает основы надежности и живучести всех регионов страны и единую энергетическую сеть России в целом;



Установка ГТУ-25П



- отечественная энергетика построена на российском оборудовании, поэтому очень важно сохранить такое положение в будущем для обеспечения энергетической безопасности Российской Федерации;

- производственные возможности промышленных предприятий Пермской области по поставкам энергосберегающего оборудования для высокоэффективных газотурбинных систем тепло- и электроснабжения позволяют изготовить примерно 85 % всего оборудования ГТУ-ТЭЦ. Остальное оборудование (котлы-утилизаторы, дожимные компрессоры, САУ высшего уровня и ряд другого оборудования) должно изготавливаться российскими предприятиями других регионов.

Внедрение газотурбинных технологий в электроэнергетике Прикамья началось в декабре 1997 г. после ввода в эксплуатацию на территории ОАО "Пермские Моторы" первой промышленной газотурбинной электростанции "Янус" мощностью 4 МВт. Блочно-модульная теплоэлектростанция ГТЭС-4 разработки ОАО "НПО "Искра" введена в эксплуатацию "под ключ" на ОАО "Пермский газоперерабатывающий завод" специализированным Пермским предприятием ЗАО "Искра-Энергетика" - совместным предприятием ОАО "НПО "Искра" и компании Turbo Power & Marine Systems, Inc (США).

Тесное и плодотворное сотрудничество промышленных предприятий Прикамья по созданию и вводу "под ключ" газотурбинных теплоэлектростанций послужило основой для создания в Пермской области демонстрационной зоны энергоэффективных проектов "Западный Урал".

Пермскими предприятиями за семь лет разработано и введено в эксплуатацию 85 ГТУ мощностью от 2,5 до 16 МВт, которые к марту 2001 г. наработали более 614 тыс. ч. Лидерные образцы имеют наработку более 35 тыс. ч.

Реконструкция муниципальных и промышленных котельных в ГТУ-ТЭЦ выполняет четыре основные функции энергосбережения:

1. Котельные, дающие населению до 62 % тепловой энергии,

превращаются из потребителей электроэнергии в поставщиков дешевой электроэнергии как в пиковом, так и в базовом режимах.

2. Существенно снижаются удельные расходы топлива как на производство электроэнергии, так и на производство тепла.

3. Снижается себестоимость тепловой энергии, что очень важно, поскольку появляется возможность дотации превратить в инвестиции.

4. Уменьшаются потери в сетях, т. к. местные источники электроэнергии расположены вблизи потребителей.

Параллельно с энергосбережением улучшаются экологические показатели, существенно снижаются выбросы в атмосферу загрязняющих веществ ( $NO_x$ ,  $CO$  и  $CO_2$ ). Происходит это вследствие действия двух факторов: во-первых, благодаря экономии топлива, и во-вторых, по причине существенно лучших экологических параметров газотурбинных установок (Пермские ГТУ мощностью 2,5 и 4,0 МВт имеют экологические сертификаты) по сравнению с морально устаревшими топками существующих котельных. ◀

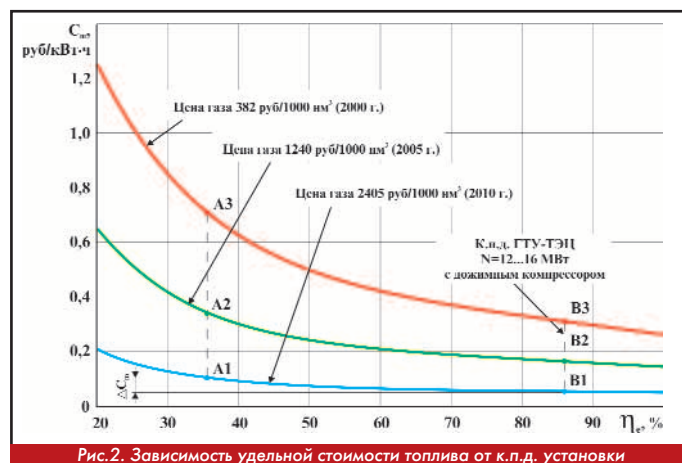


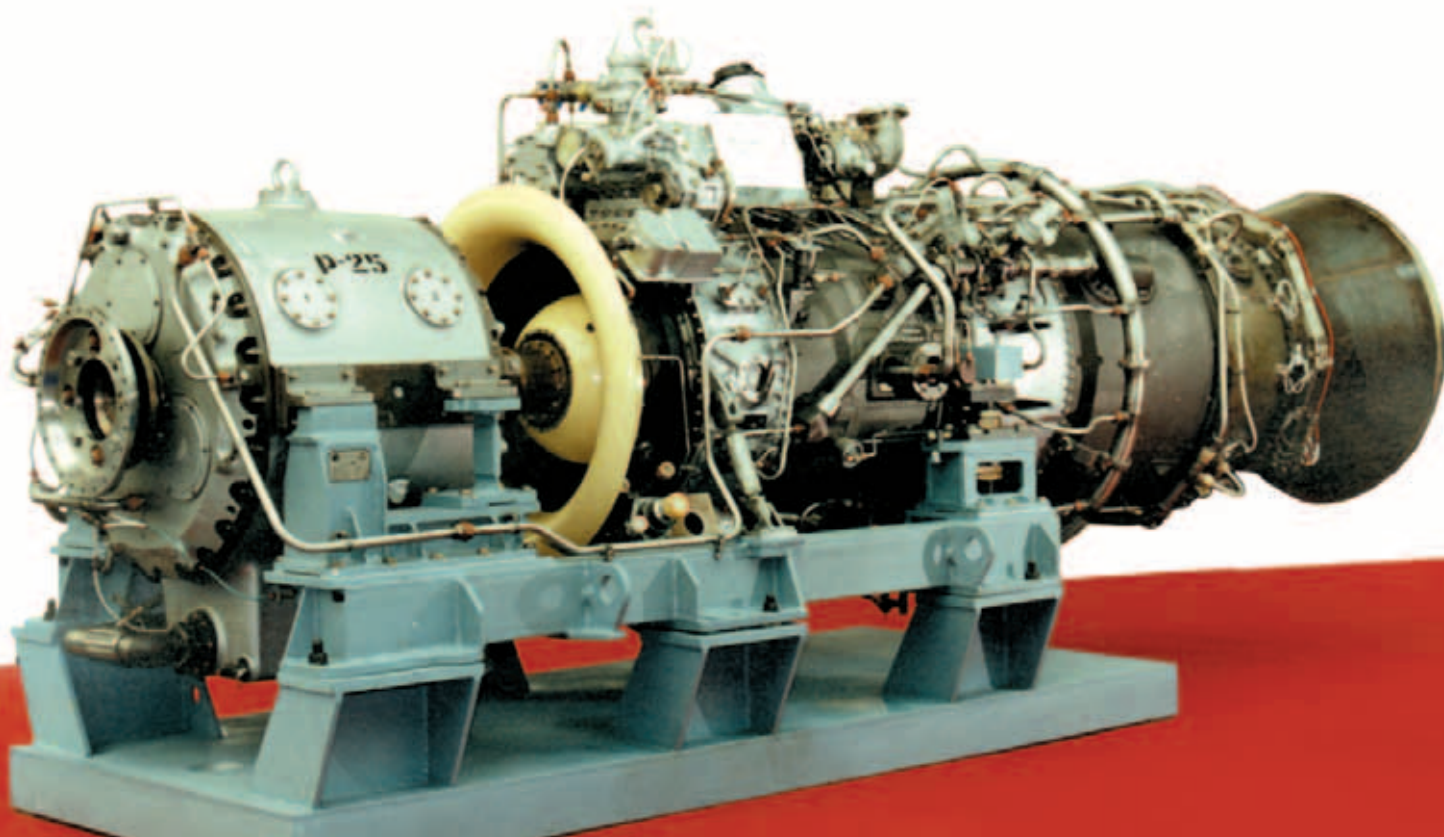
Рис.2. Зависимость удельной стоимости топлива от к.п.д. установки

**DIGEST**

Local public and industrial power systems of combined generation of heat and electric power developed on the basis of gas-turbines are considered as systems providing minimum natural gas consumption and maximum profit. The difference between an average SFC of conventional power- and -heating plants (PHP) and SFC of proposed GTU-PHP is 163,6 g/kW-hr. Fuel efficiency of the proposed systems is 90 % that is unrivaled among other technologies.

Within 7 years Perm Motor-Building Facility has developed and put into service 85 GTUs within 2.5-16-MW power range. By March 2001, they accumulated over 614,000 hours. Leader samples have accumulated over 35,000 hours. Along with energy saving they improve environmental parameters and decrease  $NO_x$ ,  $CO$ , and  $CO_2$  emissions.

**A GAS-TURBINE ENGINE AND HEAT POWER INDUSTRY**



# МАСШТАБНЫЕ ПРОЕКТЫ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



**Малая энергетика сегодня готова предоставить энергоемким предприятиям высокоэкономичные газотурбинные электростанции (ГТЭС), способные обеспечивать потребителей электрической и тепловой энергией и существенно при этом снизить затраты. В мире ежегодно продается около 800 промышленных газотурбинных электростанций. Россия за 10 лет реформ приобрела лишь 200 штук. Но с 1999 г. картина стала быстро меняться, наметилось более интенсивное внедрение средств малой энергетики. В настоящее время пермские предприятия фактически формируют новое рыночное пространство. Можно сказать, что малая энергетика входит в новый этап развития. Уже видна реакция рынка, поведение промышленных предприятий, включившихся в разработку аналогичных газотурбинных электростанций и намеревающихся стать нашими конкурентами.**

**Анатолий Васильев**, генеральный директор ЗАО "Искра-Энергетика"

"Искра-Энергетика" - один из немногих успешно реализованных проектов создания совместных предприятий, который прошел проверку на прочность в условиях трудно прогнозируемого российского рыночного пространства. Сегодня ЗАО "Искра-Энергетика" контактирует более чем с 200 организациями и заводами, в том числе с лучшими пермскими энерго- и газотурбинными машиностроительными предприятиями, использует опыт авторитетных уральских энергетических институтов, современные достижения российского приборостроения и строительных организаций Урала и Сибири. Целый ряд объективных обстоятельств способствовало появлению в Пермской области такого консорциума.

Прежде всего, это желание крупнейших промышленных предприятий, главным образом, оборонного комплекса, адаптироваться на рынке гражданской продукции. А также, их профиль, позволивший обеспечить практически полную комплектацию высокотехнологичного оборудования. В кооперации, где "Искра-Энергетика" как головное предприятие занимается комплектацией газотурбинных электростанций, сборкой и поставкой их "под ключ", участвуют несколько крупнейших заводов Прикамья и ряд других российских научно-производственных объединений и научно-исследовательских институтов. Немалую роль сыграл и интерес западного инвестора, американской компании Turbo Power & Marine Systems Inc., дочернего предприятия международного холдинга Pratt & Whitney. Именно с этой компанией на протяжении уже многих лет поддерживает деловые контакты НПО "Искра" - российский учредитель ЗАО "Искра-Энергетика".

Наше предприятие уже несколько лет работает на территории Прикамья, выпуская продукцию на уровне между-

народных стандартов. ЗАО "Искра-Энергетика" - это новое рыночно ориентированное производство, где 100 % персонала - российские высококвалифицированные специалисты. Новый корпус "Искры-Энергетики" даже отдаленно не напоминает отечественный среднестатистический завод. На сегодняшний день Пермь опередила своих ближайших конкурентов - соотечественников, работающих в сфере малой энергетике, года на полтора-два. Если этот отрыв сохранится, у нас будут все основания для того, чтобы занять достойное место на российском рынке.

Газотурбинные электростанции, которые уже установила "Искра-Энергетика", играют роль "лакмусовой бумажки", которая демонстрирует эффективность российской продукции. Их наглядный пример заставляет потенциальных потребителей обратить более пристальное внимание на пермские ГТЭС.

Так, первая станция, установленная на Пермском газоперерабатывающем заводе, уже отработала около 11 тыс. часов. Вторая будет большей мощности - до 50 МВт. Станция ГТЭС-4



Первый энергоблок электростанции Приразломного месторождения НК "Юкос"

мощностью 4 МВт, поставленная ЗАО "Искра-Энергетика" в ЗАО "Сибур-Химпром" и введенная в строй в начале февраля 2000 г., наработала около 12 000 ч, что подтвердило ее высокие технические и эксплуатационные показатели. Электростанции типа ГТЭС-4 производятся в рамках промышленной кооперации, в которой помимо ЗАО "Искра-Энергетика" участвует ряд пермских предприятий: НПО "Искра", "Авиадвигатель", "Пермский моторный завод", "Привод", "Редуктор-ПМ", "Стар", "Камсталь", "Судоверфь Кама", "Уралхиммонтаж" и др. Коэффициент готовности станций ГТЭС-4 составляет 0,96, а коэффициент



Конитлорское месторождение НК "Сургутнефтегаз". Строительство первой очереди электростанции собственных нужд мощностью 12 МВт

использования - 0,95. Опыт эксплуатации подтверждает высокие показатели надежности пермских ГТЭС, которые вполне соответствуют характеристикам газотурбинных энергетических станций, производимых мировыми лидерами - компаниями Pratt & Whitney, Alstom, General Electric и другие.

Замечу, что ЗАО "Искра-Энергетика" - предприятие не большое по сравнению со многими российскими заводами, осваивающих аналогичную продукцию. Именно современная модель высокотехнологичной кооперации, включающая комплектацию, сборку, строительство и монтаж "под ключ", инжиниринг и полный комплекс послепродажного обслуживания позволяют нам уверенно конкурировать с крупными зарубежными и российскими производителями ГТЭС. Кооперация, на которую опираются пермские ГТЭС, включает десятки ведущих предприятий Прикамья и России с общей численностью более 100 тыс. человек. Мы отчетливо представляем: 2001 г. будет для "Искры-Энергетики" очень напряженным. В минувшем году предприятие удвоило портфель заказов. Почти двукратный рост объемов производства наш консорциум сможет поддерживать в течение еще двух-трех лет. Возможности "Искры-Энергетики" и ее партнеров позволяют выйти на производство 50..60 электростанций в год. Это с учетом переходящих заказов, поскольку циклы изготовления достаточно продолжительные, они колеблются от 9 до 15 месяцев. Такие показатели - вполне достижимая цель.

Одним из крупнейших потенциальных заказчиков ЗАО "Искра-Энергетика" является Газпром. Собственно, он был первым в этом проекте. Потом по ряду объективных причин, главным образом, финансовых, Газпром замедлил внедрение ГТЭС на газоперекачивающих станциях. Однако имеются основания считать, что в этой области в ближайшее время произойдут положительные сдвиги. Еще один перспективный потребитель пермских газотурбинных электростанций - промышленные предприятия, которые находятся на подъеме. Особенно в установке ГТЭС заинтересо-

ваны те заводы, у которых велика доля энергоресурсов в себестоимости продукции. Примером может служить предварительная договоренность с руководством акционерной компании "Сибур" об установке второй ГТЭС на территории газонефтехимического комплекса "Сибур-Химпром".

Самым серьезным конкурентом остается зарубежная техника. Одним из наглядных примеров соперничества пермяков с крупнейшими зарубежными компаниями, стало строительство ГТЭС для ОАО "Сургутнефтегаз" на Конитлорском месторождении. Аналогичная станция с использованием энергоблоков известной фирмы Alstom строится в том же "Сургутнефтегазе" иностранными конкурентами, на расстоянии 200 км от пермской. Таким образом, заказчик может наглядно сравнить нашу технику и зарубежную. Это позволит ему сделать правильный выбор для последующих заказов.

"Искра-Энергетика" конкуренцией со стороны отечественных и иностранных фирм не смущается. Не случайно она стала победителем в целом ряде крупных тендеров, где принимали участие и западные, и российские компании. Пермская продукция убедительно продемонстрировала свою конкурентоспособность. Мы полагаем, что другого такого региона, где так удачно подобрались бы предприятия, разрабатывающие и производящие и двигатель, и генератор, и пэкидж, а к тому же были бы привлекательными в плане инвестиций, на территории России просто нет. Безусловная заслуга ЗАО "Искра-Энергетика" заключается в том, что ее создатели первыми увидели перспективные возможности формирования на территории Прикамья новой промышленной отрасли - энергетической.

Наступило время, когда отечественная энергетика просыпается, многие российские машиностроительные предприятия стали развивать аналогичные производства. Однако они находятся в самом начале пути. У нас ситуация несколько другая. Благодаря пермской кооперации, а также ОАО "Газпром", которое первым осознало необходимость создания собственной энергосистемы, нам просто удалось развернуться раньше. И мы полны решимости в полной мере использовать преимущества лидера. ◀

## DIGEST

About 800 gas-turbine industrial power installations are annually sold in the world. Russia has acquired only 200 units within last ten years of reforms. From 1999, the situation is tending to growth rapidly. Perm "Iskra-Energetika" Co. is one among a few successful projects in Russia on establishing joint ventures (its partner is Turbo Power & Marine Systems Inc., USA, - a subsidiary of Pratt & Whitney International Holding). "Iskra-Energetika" Co. is engaged in manufacturing of gas-turbine power stations in cooperation with the best Perm machine-building enterprises and well-known Ural power engineering institutes.

Gas-turbine power stations delivered by "Iskra-Energetika" Co. play a role of "litmus paper", which demonstrates effectiveness of Russian products. The first power station installed at Perm gas-pumping plant has accumulated about 11 thousand service hours. 4-MW GTES-4 station being delivered to "Sibur-Khimprom" and put into operation in February, 2000, has generated 33,6-GW-hr within one year and confirmed high technical and operating performances. Last year, "Iskra-Energetika" Co. won 20 orders. Capabilities of the company and its partners make possible manufacturing of 50 ... 60 power stations per year.

## LARGE-SCALE PROJECTS OF SMALL POWER ENGINEERING

# ЭНЕРГИЯ "УМПО"

# "УМПО"



ОАО "Уфимское моторостроительное производственное объединение" хорошо известно во всем мире как производитель авиадвигателей, выпускаемых им с момента своего создания. Сегодня объединение также уверенно входит в сообщество ведущих производителей энергетического оборудования, в кратчайшие сроки наладив выпуск высокоэффективных приводных газотурбинных двигателей для блочно-модульных электростанций, различных узлов для электроагрегатов и мини-ГЭС. Такое решение было сделано на основе тщательного анализа состояния электроэнергетики России и мировых тенденций развития в этой области.

## Валерий Лесунов,

генеральный директор ОАО "УМПО"

Выбор привода электрогенератора - ответственная задача, от точности решения которой зависит успешная работа предприятия в течение десятилетий. После проведенного анализа в качестве привода был выбран двигатель АЛ-31СТЭ, созданный ОАО "А. Люлька-Сатурн" на базе авиационного АЛ-31Ф. Двигатель АЛ-31СТЭ по своим характеристикам, в том числе экологическим, полностью соответствует техническим требованиям заказчика, которым выступило ОАО "Газпром". Новая разработка представляет собой привод электрогенератора мощностью от 16 до 20 МВт для блочно-модульных электростанций. В труднодоступных районах эта электростанция позволяет газавикам и нефтяникам обеспечивать себя электроэнергией, используя в качестве топлива перегоняемый ими же газ.

В городах одна автономная установка подобного типа вырабатывает электроэнергию и тепло для целого микрорайона. Привод выходит на рабочий режим за две минуты, для чего агрегатам "большой энергетики" требуется около суток. Высокая динамичность особенно ценна для крупных населенных пунктов при возникновении пиковых нагрузок.

Серийное производство АЛ-31СТЭ успешно освоено нашим объединением. Следует отметить основные достоинства уфимского газотурбинного привода - экономичность, высокую надежность и топливную эффективность, простоту и низкую стоимость технического обслуживания, а также большой ресурс.

### Основные технические характеристики АЛ-31СТЭ

Характеристика свободной турбины	С редуктором	Без редуктора
Мощность на приводном валу, МВт	16,8	20,0
Эффективный к.п.д. на приводном валу, %	36,0	37,0
Номинальная частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	5300	3000

Привод соответствует международным нормам по эмиссии и шуму. Хорошие экологический показатели достигнуты благодаря

использованию низкоэмиссионной камеры сгорания, позволившей уменьшить выбросы оксидов азота до 40 ppm, оксида углерода - до 30 ppm.

Привод АЛ-31СТЭ выполняется в двух вариантах:

- с пятиступенчатой турбиной с выходной частотой вращения 3000 мин<sup>-1</sup>;
- с трехступенчатой турбиной и редуктором, выходной вал которого имеет такую же частоту вращения.

Помимо работ по АЛ-31СТЭ объединением "УМПО" совместно с ФГУП "НПП "Мотор" (Уфа) изготовлен энергоблок мощностью 10 МВт на базе газотурбинного двигателя ГТП-10/953-002 для ГТЭС города Ишимбая (Башкортостан). Опыт его эксплуатации подтвердил также высокую эффективность, топливную экономичность и хорошие экологические показатели.

Ближайшие основные задачи, которые стоят перед нашим объединением по развитию энергетического направления: ввод в эксплуатацию ГТП-АЛ-31СТЭ на уфимской ТЭЦ-5; изготовление совместно с ФГУП "НПП "Мотор" привода ГТП-10/953-002 для Шакшинской ТЭС (Уфа). Планируется также совместно с разработчиками (ОАО "А. Люлька-Сатурн" и ФГУП "НПП "Мотор") провести широкий комплекс работ по дальнейшему улучшению экологических характеристик и надежности приводных двигателей. В энергетической тематике объединения помимо газотурбинного присутствуют и иные направления работ, связанные с производством комплектующих для бытовых электроагрегатов и мини-ГЭС.

ОАО "УМПО" обладает полувекковым опытом массового производства карбюраторных двигателей. В пятидесятые годы нами был освоен выпуск бензинового двигателя ЗИД-4,5. Около 30 лет непрехотливые "ЗИДы" безотказно трудились в народном хозяйстве страны. Затем на смену им пришли двигатели более широкого спектра применения из семейства УМЗ-5, на-

шедшие широкий спрос у отечественного потребителя и поставлявшиеся на экспорт. В 1999 г. объединение приступило к изготовлению карбюраторного двигателя нового поколения УМЗ-341, разработанного заводскими специалистами. Этот одноцилиндровый четырехтактный двигатель мощностью 8 л.с. по всем параметрам соответствует лучшим мировым аналогам, а в России подобных ему просто нет. Первоначально он создавался для мотоблока "Агрос". Выпускается также модификация УМЗ-341Э, предназначенная для привода бытовых электроагрегатов мощностью не более 4 кВт.

Электроагрегаты АБ4-230В производства Уфимского агрегатного ПО и АБ4-Т230 производства ОАО "Калужский завод транспортного машиностроения" с двигателем УМЗ-341Э сертифицированы.

В соответствии с республиканской программой строительства в течение трех лет в Башкортостане предстоит принять в эксплуатацию минимум двадцать экологически чистых и весьма экономичных мини-ГЭС типа ПР20/1-Г-51 (мощностью от 45 до 100 кВт) и ПР20/1-Г-100 (от 200 до 400 кВт). В связи с этим в "УМПО" приступили к освоению комплектующих для гидротурбин таких мини-ГЭС. Работа ведется в кооперации с ФГУП "НПП "Мотор" и ОАО "Башкирэнерго". К настоящему времени пакет заказов пополнился еще четырьмя мини-ГЭС, которые будут поставлены в ближайшие месяцы. Учитывая просторы России и положение дел в энергетике, можно смело прогнозировать устойчивый спрос на такого рода продукцию.

Таким образом, сегодня в ОАО "УМПО" делается акцент на расширение профиля предприятия, освоение новых видов продукции. Это позволяет уверенно говорить о прочном фундаменте будущего роста и процветания. ◀



АЛ-31СТ



УМЗ-341Э



АБ4-230В

**Основные технические характеристики двигателя УМЗ-341Э**

Номинальная мощность на частоте вращения вала 3000 мин <sup>-1</sup> , кВт	5,3...6,0
Рабочий объем, см <sup>3</sup>	333,3
Частота вращения вала при номинальной мощности, мин <sup>-1</sup>	3000 +30
Колебания частоты вращения вала не более, мин <sup>-1</sup> :	
до 1 кВт	+60
от 1 до 4 кВт	+30
Максимальный крутящий момент, Н·м	17,2
Частота вращения вала на холостом ходу, мин <sup>-1</sup> :	
минимальная	1200 +50
максимальная	3150 +60
Удельный расход топлива не более, г/кВт·ч	390
Применяемое топливо	А-76
Расход масла на угар, % от расхода топлива	0,8
Назначенный ресурс, ч	1200
Гарантийный ресурс в составе электроагрегата, месяцев	
со дня получения потребителем	18
с момента отгрузки	24

Примечание: ручная регулировка частоты обеспечивается во всем диапазоне рабочих нагрузок генератора (до 4 кВт).

**DIGEST**

**POWER OF "UMPO"**

"UMPO" Co. is a well-known manufacturer of aircraft engines. Today, it is among manufacturers of the power-generating plants. In the shortest time period the company put into series production highly efficient gas-turbine units (GTUs) for modular power stations, diversified components for power installations and mini-hydropower stations. AL-31STE engine was chosen as a drive of the electric generator. Its performances including environmental characteristics meet requirements of customers. The main advantages of the Ufa drive are high efficiency, reliability, low SFC, simplicity, low maintenance cost, and long service life. The drive meets noise and emission international standards. Good ecological characteristics are determined by the low-emission combustion chamber making possible to achieve 40 ppm and 30 ppm emission of NO<sub>x</sub> and CO, respectively.

"UMPO" Co. is cooperating with "Motor" Scientific & Production Association in the development and manufacturing of 10-KW power generating unit on the basis of "GTP-10/953-002" GTE for a gas-turbine power station. Operation of this power-generating unit testifies its high efficiency, low SFC and improved ecological parameters. Moreover, "UMPO" Co. is launching manufacturing of sub-assembly units and components for 45-100-KW PR20/1-G-51 and 200-400-KW PR20/1-G-100 mini-hydropower stations.

Owing to accumulated long-year experience in manufacturing of carburetor engines, in 1999, "UMPO" Co. launched manufacturing of 8-hp UMZ-341 four-stroke one-cylinder engine. This engine meets the best international standards.

# ЭНЕРГЕТИКА

## ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ

### НОВОГО ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ



**Вячеслав Богуслав**, председатель правления, генеральный директор ОАО "Мотор Сич"

Запорожское открытое акционерное общество "Мотор Сич" широко известно в мировом сообществе производителей авиационных газотурбинных двигателей (ГТД). Предприятие производит 55 типов и модификаций авиационных ГТД, успешно эксплуатирующихся в 105 странах мира.

Более 80 лет создавая самые совершенные авиационные двигатели, ОАО "Мотор Сич" приобрело богатейший опыт и освоило широкий спектр технологических наработок в области газотурбинного машиностроения, что позволяет ему активно участвовать в освоении новых сегментов рынка ГТД. Стремясь к максимальному удовлетворению спроса потребителей и обеспечению предприятия устойчивыми заказами, ОАО "Мотор Сич" приступило к производству разработанных совместно с ЗМКБ "Прогресс" промышленных установок наземного применения и газотурбинных приводов (ГПП). Новые ГПП семейства Д-336 и АИ-336 мощностью от 6,3 до 10 МВт предназначены для газоперекачивающих, газлифтных, нефтеперекачивающих агрегатов, передвижных электростанций, дожимных компрессорных станций, станций подземных хранилищ газа и других промышленных установок.

Эти ГПП по своим параметрам соответствуют современному техническому уровню и могут успешно использоваться как при строительстве новых компрессорных станций, так и при реконст-

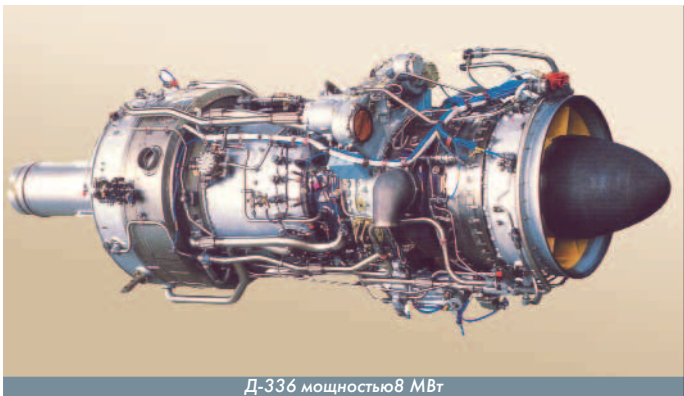
рукции находящихся в эксплуатации. Для наших новых приводов характерны: модульная конструкция, высокий уровень контролепригодности, а также широкий набор средств раннего обнаружения неисправностей, возможность осуществления глубокого визуального и инструментального контроля, что позволяет предупреждать отказы выпускаемых изделий.

По согласованию с клиентом газотурбинные приводы Д-336, АИ-336-8 и АИ-336-10 могут поставляться с силовой турбиной как левого, так и правого вращения. Приводы семейства Д-336, рассчитанные на применение газообразного горючего, могут быть переоборудованы для работы на жидком топливе.

Основным потребителем ГПП семейства Д-336 является ДК "УКРТРАНСГАЗ". Значительное количество газовых турбин импортного производства, применяемых в газоперекачивающих агрегатах этой компании, находится сегодня на грани выработки назначенного ресурса. Сейчас осуществляется плановая замена отработавших свое ГПП при модернизации газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций.

С 1996 г. нашим предприятием было поставлено 35 приводов Д-336 украинским и зарубежным предприятиям. Общая наработка этих ГПП в настоящее время составляет около 76 тыс. ч. Особо следует отметить, что поставка приводов, разработанных "Мотор Сич", осуществляется в Иран и Турцию. Для компрессорных станций этих стран в период с 1997 г. по настоящее время было экспортировано соответственно 12 и 4 привода Д-336 мощностью по 6,3 МВт (в составе газоперекачивающих агрегатов производства ОАО "СМНПО им. М.В. Фрунзе"). Со стороны заказчика не поступило ни одной претензии к этой технике, что служит надежным залогом нашего дальнейшего сотрудничества.

В настоящее время реконструируются несколько компрессорных станций в Украине и России. В процессе модернизации устаревшие двигатели НК-12 заменяются современными, соответствующими всем международным стандартам Д-336 (мощностью 6,3 МВт) и АИ-336-8 (8 МВт). Такая замена позволяет уменьшить затраты топливного газа на 25...30 %, улучшить экологическое состояние в районе компрессорных станций благодаря снижению теплового загрязнения атмосферы,



Д-336 мощностью 8 МВт



Блочно-транспортная электростанция ЭГ-6000

уменьшению генерации оксидов азота, окиси углерода и значительному снижению уровня шума.

Аналогичные описанным газотурбинные приводы семейства Д-336 используются также в составе разработанных ОАО "Мотор Сич" блочно-транспортных электростанций ЭГ-6000 мощностью 6 МВт. Эти системы также обладают значительными экспортными возможностями.

В соответствии с проектом глубокой модернизации передвижной электростанции ПАЭС-2500 была изготовлена газотурбинная электростанция "Мотор Сич ЭГ-2,5Г-Т6,3/10,5-3УХЛ1". Модернизируемая станция оборудуется газотурбинным приводом АИ-20 повышенной надежности и экономичности. В отличие от базовой ПАЭС-2500 на этой станции применен отдельно расположенный редуктор новой конструкции с целью повышения надежности и эксплуатационной доступности. Для предотвращения аварий при возможных перегрузках в машинной линии привода электростанции предусмотрена фрикционная предохранительная муфта. Генератор новой станции рассчитан на два выходных напряжения и оснащен современной системой защиты сети. Система автоматического управления модернизируемой станции строится на базе современных микропроцессорных комплектующих. Весь комплекс мероприятий позволяет обеспечить дальнейшее повышение надежности электростанции, ее ресурса и срока службы и, как результат, значительно повысить ее эффективность.

Используя накопленный опыт, ОАО "Мотор Сич" готово участвовать в новых совместных программах по применению

выпускаемых газотурбинных приводов в различных отраслях народного хозяйства. Мы уверены, что опыт внедрения высоких технологий, приобретенный нами за долгие годы работы с авиационными силовыми установками, сослужит добрую службу и при создании наземных газотурбинных приводов для различных отраслей народного хозяйства. ◀



**ОАО "Мотор Сич", Украина, 69068,  
г. Запорожье, ул. 8 Марта, 15.  
Тел./факс: (380612) 61-49-53.  
Тел.: (380612) 65-69-65.  
Факс: (380612) 65-01-60.  
E-mail: motor@motorsich.com**



Д-336 мощностью 6,3 МВт

## DIGEST

Zaporozhye Motor Sich joint-stock company has been manufacturing the most perfect aircraft engines for over 80 years which are powering aircraft in 105 countries. The company is also partnered with Zaporozhye Progress Design Bureau in the development of industrial power installations meeting up-to-date technical requirements, namely, D-336 and AI-336 with 6.3, 8 and 10 MW power designed for gas and oil pumping stations, mobile power stations, etc. D-336, AI-336-8 and AI-336-10 engines can provide clockwise or anti-clockwise rotation depending on user's demands and can be fuel with liquid or gas. In the process of modernization of Ukraine and Russia compressor stations the out-of-date NK-12 engines are replaced with 6.3-MW D-336 or 8-MW AI-336-8. D-336 family engines are used in 6-KW EG-6000 mobile modular power stations developed by Motor Sich Co. In compliance with the program of radical renovation of PAES-2500 mobile power station Motor Sich is manufacturing "EG-2,5G-T6,3/10,5-3UHL1" gas-turbine power station. The station will replace PAES-2500 and be equipped with AI-20 gas-turbine engine as a drive.

## FOR POWER ENGINEERING OF MILLENIUM



Теплоэлектростанция ГТЭС-2,5. Промплощадка ОАО "РМ".

# В НОВОЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЕ С ГАЗОВЫМИ ТУРБИНАМИ "РЫБИНСКИХ МОТОРОВ"

**Вениамин Межибовский,**

директор по наземным промышленным программам

**В настоящее время ОАО "Рыбинские моторы" представлено на рынке целой гаммой промышленных газотурбинных установок, которые обладают оптимальным соотношением потребительских качеств и цены продукта. Разработка и производство энергоустановок ведутся с использованием авиационных технологий.**

## Перспективный проект ГТД-110

Газотурбинный двигатель ГТД-110 предназначен для работы в составе парогазовых установок различной мощности с общим коэффициентом полезного действия 52,98% (в условиях ISO, в составе ПГУ-170). Также он может работать в качестве электростанции простого цикла для покрытия пиковых электрических нагрузок.

Конструктивно двигатель выполнен одновальным по традиционной для подобных энергетических установок схеме. Отличительными особенностями двигателя ГТД-110 являются его небольшие габариты и малый вес, не превышающий 50 тонн, что позволяет доставлять двигатель на место эксплуатации в полностью собранном и испытанном виде. Перед отправкой заказчику каждый образец двигателя ГТД-110 проходит сдаточные испытания с проверкой его характеристик на номинальной мощности и предъявляется заказчику на соответствие параметров значениям, заданным в технических условиях. Такой метод приемки газотурбинных двигателей и установок принят в авиационной и судостроительной промышленности. Он позволяет резко снизить стоимость и продолжительность монтажных и пусконаладочных работ по сравнению с традиционными энергетическими паросиловыми блоками. Общее время монтажа и пусконаладочных работ двигателя эксперты оценивают в 1...1,5 месяца.

Первый опытный двигатель ГТД-110 был изготовлен в 1998 г. Результаты проведенных испытаний подтвердили правильность заложенных в конструкцию технических решений. В начале 2001 г. ОАО "Рыбинские моторы" и НПП "Машпроект" приступили к совместному изготовлению двигателя ГТД-110 № 2, который будет собран на НПП "Машпроект". С целью проведения дальнейших длительных ресурсных испытаний ГТД-110 № 2 будет установлен на испытательном стенде Ивановской ГРЭС для совместной работы с электрогенератором и выдачи электрической мощности в энергосистему. Ввод в действие стенда состоится в сентябре 2001 г.

В соответствии с планами РАО "ЕЭС России" по техническому перевооружению отрасли, ОАО "Рыбинские моторы" подготови-

ло производственные мощности для выпуска восьми двигателей ГТД-110 в год. В плане развития ИвГРЭС предусматривается последовательный ввод в строй двух блоков ПГУ-325 и перевод станции на базовый режим работы с поставкой высококачественной электроэнергии на рынок ФОРЭМ.

Накопленный опыт создания двигателя ГТД-110 позволяет ОАО "Рыбинские моторы" совместно с НПП "Машпроект" успешно реализовать программу создания целого семейства современных газотурбинных двигателей мощностью 60...160 МВт и парогазовых установок на их основе мощностью 90...500 МВт, что обеспечит энергетикам России и Украины широкий выбор при сооружении новых тепловых электростанций и модернизации существующих, а также будет свидетельствовать о плодотворном сотрудничестве машиностроителей двух стран.

## Блочно-комплектная электростанция ГТЭС-2,5

Газотурбинная электростанция ГТЭС-2,5 предназначена для обеспечения потребителей электрической и тепловой энергией. Электростанция может быть подключена как к автономной сети потребителя, так и к сети "неограниченной" мощности - параллельно с энергосистемой, в т. ч. для коммерческой продажи электроэнергии (и тепла). Номинальная электрическая мощность ГТЭС-2,5 составляет 2,5 МВт, тепловая мощность 4,5 МВт (3,87 Гкал/ч).

Проект ГТЭС-2,5 был разработан при участии Центра проектирования электростанций ОАО "РОСЭП". Конструктивно ГТЭС-2,5 выполнена в виде отдельных транспортируемых блоков полной заводской готовности, что позволяет осуществить быстрый монтаж их как на открытой площадке, так и внутри зданий.

Используемый в составе электростанции газотурбинный двигатель Д049Р сконструирован по одновальной схеме, удовлетворяющей требованиям к качеству вырабатываемой энер-



гии и обеспечивающей хорошую динамику переходных режимов. Одно из преимуществ Д049Р перед отечественными аналогами - высокая эффективность (к.п.д. в условиях ISO 2314 составляет 28,5 % на номинальном режиме).

В октябре 2000 г. двигатель прошел квалификационные (согласно ГОСТ 15.001) и приемочные испытания в присутствии комиссии ОАО "Газпром" в составе ГТЭС-2,5. ОАО "Рыбинские моторы" предусматривают поставки Д049Р заказчикам как в составе электростанций, так и двигателя отдельно для реконструкции или модернизации энергоустановок.

Теплоэлектростанция снабжена современной цифровой системой автоматического управления производства пермского ОАО "СТАР". Утилизационный теплообменник (УТО-4,5) с шумоглушением, изготовленный ЗАО "Ухтинский экспериментальный завод", имеет малые габариты и массу. Его назначение - повысить эффективность использования топлива путем утилизации тепла выхлопных газов, которое затем используется для обеспечения теплоснабжения промзоны и сторонних потребителей.

По сравнению с аналогами ГТЭС-2,5 имеет следующие основные преимущества, делающие теплоэлектростанцию привлекательной для потребителей:

- теплоэлектростанция в перспективе может работать на различных видах топлива: дизельном, биотопливе, попутном нефтяном и пиролизном газе;
- двигатель имеет высокий к.п.д.;
- спроектированный под оптимальные параметры цикла котел-утилизатор обеспечивает высокую эффективность использования топлива - до 80 %, что в целом определяет относительно низкую себестоимость производимой энергии;
- в процессе работы ГТЭС гарантируется стабильность основных электрических показателей (частота тока, напряжение) при колебаниях внешней нагрузки;
- низкие затраты на техническое обслуживание в эксплуатации достигаются за счет автоматизации контроля процесса выработки энергии, диагностики состояния основных узлов ГТЭС, а также за счет эксплуатационной технологичности;
- основные составляющие элементы теплоэлектростанции являются серийно выпускаемыми изделиями, проверенными в эксплуатации, что предопределило повышенную надежность работы ГТЭС и снизило затраты на доводку этих узлов.

По желанию заказчика ГТЭС комплектуется различным вспомогательным оборудованием для автономной работы в различных климатических условиях, в том числе резервной электростанцией мощностью 20...40 кВт для автономного запуска и резервного энергоснабжения, а также дожимным компрессором. По расчетам специалистов при наиболее экономически выгодном способе эксплуатации станции - с утилизацией тепла - затраты на приобретение ГТЭС-2,5 окупятся в короткие сроки.

ОАО "Рыбинские моторы" продолжает дальнейшее развитие проекта ГТЭС-2,5. Оно предполагает модернизацию электростанции с повышением мощности до 3 МВт. Предприятие обладает необходимым производственным потенциалом, способным обеспечить выпуск нескольких десятков ГТЭС-2,5 в год с выполнением всех операций технологического цикла изготовления и поставки заказчикам в полной заводской готовности.

### Создание энергоустановок на базе серийных авиадвигателей

С 2000 г. ОАО "Рыбинские моторы" ведет производство семейства приводов на базе авиационных двигателей Д-30КУ/КП для спроектированных на предприятии газотурбинных энергоустановок.

Размерность газогенератора позволяет создать на его основе наземный ГТД в классе мощности 6...8 МВт. Оценка остаточного ресурса деталей после авиационной эксплуатации однозначно дает возможность обеспечить полный назначенный

ресурс 100 тыс. часов в наземном применении. Целесообразность выхода на рынок с простой, надежной и дешевой газотурбинной установкой на базе газогенератора Д-30КУ/КП с одновальным газогенератором и свободной силовой турбиной определяют четыре основных фактора в порядке их значимости:

- высокая надежность (общая наработка более 35 млн ч);
- низкая стоимость (определяется высокой серийностью двигателей Д-30КУ/КП);
- эффективность использования (к.п.д. при выработке тепловой и электрической энергии до 80 %);
- сопровождение в эксплуатации и сервис (работает сеть представительств по России и в зарубежных странах).

Повышение экономичности установки достигается применением котла-утилизатора для снабжения потребителей промышленным паром или горячей водой. Наиболее выгодно использование установки на малых ГТУ-ТЭС.

Комплектация теплоэлектростанции зависит от конкретной привязки на местности и требований потребителя. Для регионов, не охваченных единой энергетической системой и нуждающихся в автономных инженерных сетях теплоснабжения, проектируется блочно-комплектная теплоэлектростанция с компактным водогрейным теплообменником по типу применяемого в ГТЭС-2,5. Автономная теплоэлектростанция поставляется в виде двух блоков полной заводской готовности: турбоблока и электротехнического блока, а также отдельно транспортируемых устройств. Все оборудование станции поставляется в виде конструкций, готовых к монтажу, и может транспортироваться всеми видами транспорта.

Для промышленных предприятий, нуждающихся в технологическом паре, проектируется теплоэлектростанция с водотрубным паровым котлом-утилизатором башенной компоновки с многократной циркуляцией типа КТГ-20/1,3-250 (производства АО "Белгородский завод энергетического машиностроения").

Ближайшие перспективы предприятия по конвертированию двигателей Д-30КУ/КП связаны с:

- модификацией двигателя ГТД-6/8РМ для работы как на газообразном, так и на жидком топливе в качестве резервного с возможностью перехода с одного топлива на другой без остановки двигателя;
- созданием газотурбинного привода мощностью до 16 МВт.

Предложения ОАО "Рыбинские моторы" по современным газотурбинным установкам наземного применения нашли отражение в проекте программы "Энергосбережение Ярославской области на 2000-2010 годы", предусматривающей улучшение энергоснабжения потребителей, достижение энергетической самодостаточности области, снижение затрат на производство энергии и увеличение энергетического потенциала региона. Широкое внедрение недорогих и надежных ГТЭС-6/8РМ является важнейшим элементом этой программы. ◀





# Двигатели и установки “Машпроекта” для газовиков и энергетиков

НПП “Машпроект”:

**Анатолий Коваленко**, заместитель генерального конструктора

**Анатолий Боцула**, главный конструктор проекта

**Людмила Лимборская**, руководитель рекламной группы

В пятидесятых-шестидесятых годах прошлого века в Советском Союзе были открыты богатые месторождения природного газа. С целью расширения внутреннего потребления нового энергоносителя и наращивания его экспорта было развернуто беспрецедентное для мировой практики строительство магистральных газопроводов. Поставщиками газоперекачивающих агрегатов (ГПА) для газотранспортных сетей первое время являлись два предприятия - Невский завод им. Ленина в Ленинграде (Санкт-Петербурге) и турбомоторный завод в Свердловске (Екатеринбурге). Однако в семидесятые годы возможностей этих предприятий, даже с учетом импорта ГПА, стало недостаточно для дальнейшего наращивания транспортировки газа в европейскую часть страны и далее на Запад. В интересах расширения выпуска ГПА было организовано их производство на Сумском машиностроительном объединении им. М.В. Фрунзе. Проблему нехватки приводов предполагалось решить путем использования транспортных газотурбинных двигателей (ГТД), в первую очередь авиационных.

К началу семидесятых годов газотурбинные двигатели конструкции НПП (тогда СПб) “Машпроект” получили широчайшее распространение на кораблях советского ВМФ, который завоевал мировое лидерство по использованию газотурбинных энергетических установок. С 1975 г. газотурбинные установки, созданные в НПП “Машпроект”, стали использоваться для обеспечения электроэнергией отдаленных районов страны. Стационарные и передвижные электростанции (плавучие станции “Северное сияние” и энергопоезда “Маяк” и “Факел”) с газотурбогенераторами мощностью 12 МВт и 4 МВт в суровых условиях северных и восточных районов продемонстрировали высокую надежность и другие достоинства, присущие транспортным двигателям.

Проанализировав накопленный опыт, Научно-техническая комиссия по развитию газотурбостроения при Академии наук СССР под председательством академика А.М. Люльки рекомендовала использовать газотурбинные двигатели разработки НПП “Машпро-

ект”, серийно выпускаемые ПО “Зоря” (Николаев), для нужд газовой промышленности. Вскоре в Кривом Роге был построен турбинный завод (КРТЗ “Восход”, ныне ОАО “Констар”), который занялся выпуском конвертированных корабельных двигателей для ГПА.

В 1978 г. первые газотурбинные агрегаты ГПА-10 с двигателем ДР59Л (промышленная версия корабельного двигателя ДЕ59Л мощностью 10 МВт) с к.п.д., составлявшим 28 %, были введены в эксплуатацию на компрессорной станции (КС) в Торжке. Всего для ГПА и газотурбинных электростанций изготовили 536 таких двигателей. Нарботка некоторых из них без капитального ремонта достигла 100 тыс. ч.

В агрегатах ГПУ-16 мощностью 16 МВт разработки Сумского машиностроительного НПО им. М.В. Фрунзе использован двигатель ДЖ59Л2 (промышленная версия судового двигателя ДТ59Л) с к.п.д. 30 %. Всего было изготовлено более 150 двигателей ДЖ59Л для ГПА и газотурбинных электростанций. Нарботка двигателей этого типа без капитального ремонта достигла 35 тыс. ч.

С девяностых годов в промышленности (в транспортировке газа, энергетике и в качестве приводов технологического оборудования) используются корабельные конвертированные двигатели третьего и четвертого поколений. Они характеризуются следующим уровнем важнейших параметров: температурой газа перед турбиной 1150...1300 °С, степенью повышения давления воздуха в компрессоре до 21,0 и к.п.д., достигающим 36,5 %. Двигатели имеют свободные силовые турбины с разными направлениями вращения и приспособлены для работы на жидком и газообразном топливах (табл. 1).

Корабельные конвертированные двигатели составили так называемый “промежуточный класс”, поскольку в спектре газотурбинной техники они заняли нишу между конвертированными авиационными и индустриальными (промышленными) двигателями. Такие установки сочетают достоинства авиационных двигателей (небольшой вес и габариты, легкость замены двигателя целиком или его отдельного модуля для выполнения высококачественного ремонта в

Таблица 1

Основные характеристики корабельных конвертированных двигателей			
Тип двигателя	Мощность, МВт	К.п.д., %	Частота вращения выходного вала, об/мин
UGT 3000	3,36	31,0	3000...3600 (на выходе из редуктора), 10 000
UGT 6000 (6000+)	6,7 (8,0)	31,5 (33,0)	3000, 5100, 7200...8200, 9300
UGT 10 000*	10,7	36,0	4800, 6500
UGT 15 000 (15 000)	17,5 (20,0)	35,0 (36,0)	3000, 4800...5300
UGT 25 000*	27,5	36,5	3000...3700, 4670...5000, 7700

\* - двигатели четвертого поколения.

Таблица 2

Основные характеристики двигателей промышленного типа			
Тип двигателя	Мощность, МВт	К.п.д., %	Частота вращения выходного вала, об/мин
ГТД 2500	2,85	28,5	1000, 1500, 1800, 3000, 3600 (на выходе из редуктора), 13 000
ГТД 3200	3,4	31/42*	то же

\* - для варианта с рекуперацией.

условиях специализированного производства, высокая приемистость, что позволяет использовать их в пиковом режиме) с достоинствами двигателей промышленного типа (надежность, большой ресурс). Кроме того, технологии, материалы и покрытия, примененные НПП "Машпроект" при создании этих двигателей, позволяют использовать их в условиях морского климата: на судах, морских платформах, береговых и прибрежных объектах и т.д.

В связи с уменьшением интенсивности строительства новых газопроводов, выработкой ресурса и моральным устареванием ГПА развитой сети действующих газопроводов в настоящее время на передний план вышла задача поддержания в работоспособном состоянии и непрерывного совершенствования используемой техники. В первую очередь это касается приводов, по большей части газотурбинных. В сложившихся условиях наиболее экономичный и широко используемый способ решения этой задачи - модернизация газоперекачивающих агрегатов путем замены устаревших и выработавших ресурс приводов современными высокоэкономичными газотурбинными двигателями.

НПП "Машпроект" является инициатором и разработчиком метода реконструкции газоперекачивающих компрессорных станций путем модернизации ГПА. Разработано уже более 30 проектов модернизации эксплуатирующихся газоперекачивающих агрегатов с заменой устаревших приводов высокоэкономичными двигателями НПП "Машпроект". В результате такой реконструкции на действующей компрессорной станции, иногда даже без ее остановки, обеспечивается современный технический уровень. Наибольший экономический эффект имеет модернизация действующих компрессорных цехов в условиях, когда строительство нового цеха невозможно или чрезвычайно затруднительно (на горных участках газопроводов, на мерзлых грунтах Крайнего Севера, на заболоченных территориях, при наличии проблем с отводом земли и т.д.).

Так, двигатель UGT 3000 (ДГ76) эксплуатируется в составе газоконпрессорного агрегата (СКД-PRAGA-ENERGO для подземного хранилища газа в Штрамбеке (Чешская Республика)). Он же адаптирован для использования в новом агрегате подземной закачки газа ГПА-ЗС "Урал" разработки НПО "Искра" (Пермь, Российская Федерация).

Двигатель UGT 6000 (ДТ71) используется в серийном агрегате ГПА-Ц-6,3С на компрессорных станциях Октябрьская, Гаврилов Ям, Чаплыгинская (Моострансгаз), Диканька (Киевтрансгаз) и др. Его применяют и при модернизации ГПА: в частности, для замены авиационных конвертированных двигателей НК-12СТ в агрегатах ГПА-Ц-6,3 и промышленных двигателей НЗЛ в агрегатах ГТ-750-6. Возможно использование двигателя при модернизации агрегатов ГПН-6, ГТ-6-750 разработки ОАО "Турбомоторный завод".

Двигатель UGT 10 000, разработанный для новых перспективных ГПА (КС Кировоградская), в варианте ДН70Л с силовой турбиной левого вращения (частота 4800 об/мин) применяется для модернизации агрегатов ГТК-10-4 НЗЛ и ГПУ-10, а в варианте ДИ70П с силовой турбиной правого вращения (6500 об/мин) - для замены двигателей MS 3002 разработки фирмы General Electric в импортных агрегатах ГТК-10И фирмы AEG Kanis.

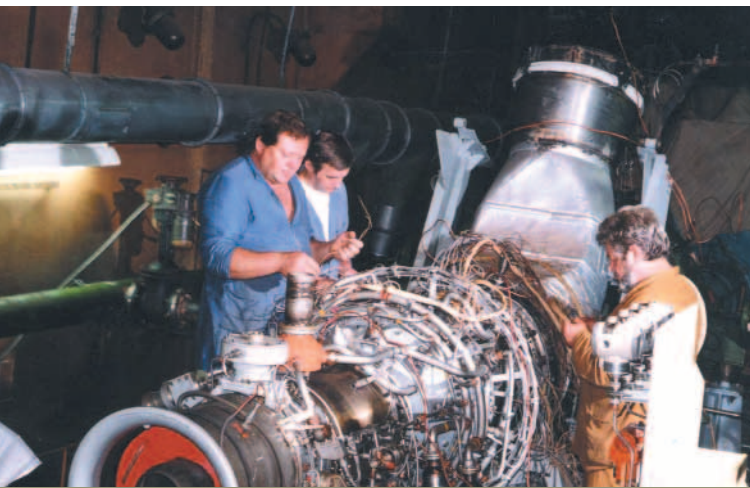
Двигатель UGT 15 000 (ДГ90) применяется в новых агрегатах ГПА-Ц-16С, серийно изготавливаемых СМНПО им. М.В. Фрунзе, в ГПА-16С "Урал" разработки НПО "Искра", в ГПУ-16А разработки НПП "Машпроект" на КС Белтрансгаза, Волготрансгаза, Ноябрьскгаздобычи, Сургутгазпрома, Югтрансгаза, Ямбурггаздобычи. Кроме того, его использование предусмотрено в нескольких проектах модернизации агрегатов ГТК-10-4 с двигателями НЗЛ и Soberra-182 фирмы Cooper Rolls.

Двигатель UGT 25 000 эксплуатируется на КС Бар, Гребеньковская, Ромненская (Киевтрансгаз), Софиевская (Черкасытрансгаз). Он также имеет несколько модификаций силовых турбин по частоте и направлению вращения. Вариант ДН80Л с частотой вращения 3700 об/мин применяется для модернизации агрегата ГПА-25/76 НЗЛ; вариант ДИ80П с частотой вращения 4850 об/мин с турбиной правого вращения предназначен для замены двигателя MS 5003 разработки фирмы General Electric в импортных агрегатах ГТК-25И поставки фирмы Nuovo Pignone; вариант ДУ80Л с частотой вращения 4850 об/мин левого вращения предназначен для создаваемых СМНПО им. М.В. Фрунзе и НПО "Искра" новых агрегатов ГПА-Ц-25С и ГПА-25С "Урал".

Помимо конвертированных корабельных двигателей в НПП "Машпроект" специально для газоперекачки и энергетики создает-



Компрессорная станция



Подготовка двигателя UGT 3000 к испытаниям



Газотурбинный двигатель UGT 10 000

ся ряд двигателей легкого промышленного типа (табл. 2), использование в которых конструктивных решений и технологий, разработанных для корабельных двигателей, позволяет существенно улучшить их массогабаритные характеристики по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами.

Все двигатели, созданные НПП "Машпроект", приспособлены для привода электрогенераторов, причем двигатели мощностью от 6 МВт могут оснащаться силовыми турбинами с частотой вращения ротора 3000 об/мин, обеспечивающими прямой (безредукторный) привод генератора.

На базе двигателей второго-четвертого поколений НПП "Машпроект" разработал ряд электротурбогенераторов и газотурбинных электростанций различной мощности, использование которых при реконструкции газотранспортной сети может обеспечить серьезные преимущества и, прежде всего, повысить устойчивость работы сети при отключении электропитания. Размещение таких турбогенераторов на компрессорных станциях возможно на месте демонтируемых агрегатов при реконструкции цеха с повышением мощности модернизированных агрегатов и, соответственно, с уменьшением их количества. Имея дешевый топливный газ, системы его подготовки, обученный персонал, сложившуюся инфраструктуру по обслуживанию и ремонту двигателей, снабжению их запасными частями, газотран-

спортные предприятия способны обеспечивать выработку дешевой электроэнергии не только для покрытия собственных нужд, но и для передачи во внешнюю сеть. Обычный уровень экономичности эксплуатирующихся газотурбинных двигателей в агрегатах ГТК-10-4, ГТ-750-6, ГПА-Ц-6,3 составляет 18...22%. В случае замены приводов двигателями с к.п.д. порядка 30...36% возможна выработка на сэкономленном топливном газе дополнительной электрической энергии, эквивалентной 50...90% мощности компрессорной станции, расходуемой на перекачку газа.

Метод модернизации с заменой привода может быть вполне применен при реконструкции химических производств. Например, на Одесском припортовом заводе морально устаревшие и изношенные приводы Avon были заменены двигателями UGT 15 000.

НПП "Машпроект" широко применяет накопленный опыт создания газотурбинных установок с утилизацией тепла уходящих газов. Пар, вырабатываемый в котле-утилизаторе, может использоваться для нужд теплофикации и в технологическом цикле различных производств или подаваться в газотурбинный двигатель как дополнительное рабочее тело, повышая к.п.д. и мощность установки, снижая эмиссию вредных веществ в продуктах сгорания. Так, на компрессорной станции Ставищи предприятия "Черкасы-трансгаз" смонтирован газоперекачивающий агрегат ГПА-16К

Электростанция в Мозыре



мощностью 16 МВт (к.п.д. 43 %) с двигателем UGT 10 000, работающим в теплоутилизационной установке типа "Водолей" с энергетическим и экологическим впрыском пара и регенерацией воды из продуктов сгорания (см. схему).

На Мозырском нефтеперерабатывающем заводе (МНПЗ, Республика Беларусь) в январе 1996 г. была принята в промышленную эксплуатацию разработанная и изготовленная в НПП "Машпроект" газотурбинная электростанция ГТЭ-15 мощностью 15 МВт с утилизацией тепла уходящих газов. Помимо электроэнергии, которая в основном идет на покрытие собственных нужд, электростанция вырабатывает около 18 т пара в час с температурой 270 °С и давлением 1,2 МПа.

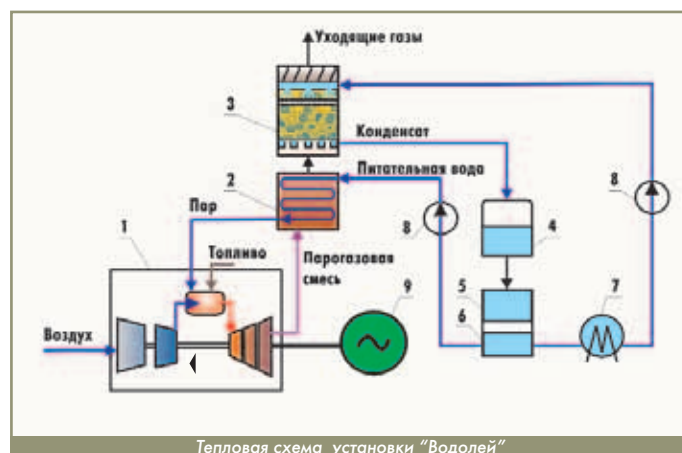
В НПП "Машпроект" специально для МНПЗ был проведен комплекс научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ. В результате удалось разработать и реализовать схему, предусматривающую использование гидроочищенного вакуумного газойля в качестве топлива для газотурбинного двигателя электростанции, причем переход с дизельного топлива на газойль и обратно может осуществляться без остановки двигателя. Годовые объемы производства газотурбинной электростанции Мозырского НПЗ составляют: электроэнергии - 60 млн кВт·ч, а тепловой энергии - 60 тыс. Гкал. Рентабельность работы станции иллюстрируется табл. 3.

Еще одно направление работ НПП "Машпроект" - разработка энергоутилизационных комплексов и детандер-генераторных установок (табл. 4) для производства электроэнергии путем дросселирования природного газа высокого давления на газораспределительных станциях в расширительных турбинах (турбодетандерах). Использование поворотных сопловых лопаток позволяет поддерживать давление на выходе из турбодетандера с точностью ±5 % при изменении давления на входе в пределах 30 %.

Утилизация избыточного для потребителей давления газа в магистральных газопроводах на газораспределительных станциях и газораспределительных пунктах при помощи турбодетандерных агрегатов и энергоутилизующих комплексов позволяет обеспечить выработку 120...150 Вт·ч электроэнергии на 1 нм<sup>3</sup> газа, что эквивалентно экономии приблизительно 50 % энергозатрат на его подачу от месторождений к потребителям.

Создав широкий мощностной ряд современных высокоэкономичных, высокоманевренных газотурбинных двигателей для газопе-

рекачки, энергетики и других технологических нужд, постоянно совершенствуя конструкторские решения, применяемые как в новых агрегатах и установках, так и при модернизации действующих путем замены устаревших приводов, НПП "Машпроект" в состоянии удовлетворить самые строгие требования разнообразных потребителей газотурбинной техники. ◀



- 1 - Газотурбинный двигатель;
- 2 - Котел-утилизатор;
- 3 - Контактный конденсатор водяного пара;
- 4 - Конденсатосборник;
- 5 - Блок очистки конденсата;
- 6 - Расходный бак питательной воды;
- 7 - Внешний охладитель воды;
- 8 - Насос;
- 9 - Генератор (нагнетатель)

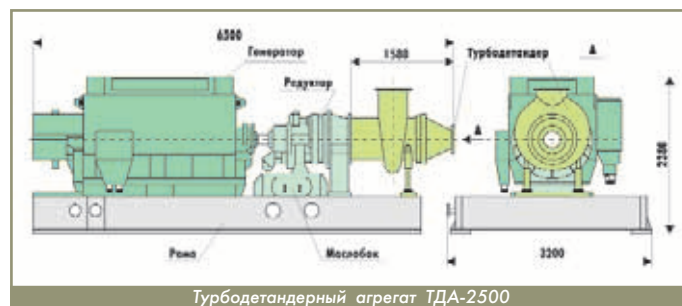


Таблица 3

Рентабельность работы станции			
Вид энергии	Покупная цена, \$	Себестоимость вырабатываемой энергии, \$	Отношение себестоимости к покупной цене, %
Электроэнергия, 100 кВт·ч	3,95	2,47	62,5
Тепловая энергия, 100 Гкал	27,66	16	57,8

Таблица 4

Основные параметры турбодетандеров и энергоутилизационных комплексов									
Характеристики	ЭУК-5	ЭУК-7	ЭУК-12	ЭУК-13	ЭУК-15	ЭУК-30	ТДА-1200	ТГА-2500-ВД	ТГА-2500СД1
Мощность, МВт	3,1	4,6	7	6,8	8,8	13,2	1,15	4,6	2,5
Расход газа: кг/с, нм <sup>3</sup> /ч	14,0	28,0	32,0	32,0	40	50	6	28,0	14
Температура газа на входе в детандер, °С	220	90	170	180	115	235	300	90	180
Номинальное давление газа на входе, МПа	3,3	4,0	5,5	1,1	5,1	5,3	4,9	4,0	2,6
Номинальное давление газа на выходе, МПа	0,1	0,12	0,12	0,25	1,25	1,25	1,85	0,12	0,09

**DIGEST**

**"MASHPORJECT" ENGINES FOR GAS AND POWER INDUSTRY**

By 1970s, gas-turbine engines of "Mashporject" Scientific & Production Association (the former Specialized Design Bureau) were widely used by the USSR Navy. Starting from 1975, gas-turbine installations came into wide use as power stations for far-distant districts of the USSR. The scientific-technical commission organized by Academy of Sciences of the USSR recommended "Mashporject" GTEs for gas industry needs. The converted marine engines formed an "intermediate class" of GTUs between converted aircraft and industrial engines. These installations combine advantages of aircraft and industrial engines.

"Mashporject" S&P Association is the initiator and developer of a method aiming at modernization of gas-pumping compressor stations. More than 30 projects have been completed providing replacement of out-of-date drives by highly efficient Mashporject engines. The renewal of operating compressor stations, sometimes even without stopping, makes possible to meet up-to-date engineering standards. The greatest economic benefit is provided by upgrading operating compressor stations when construction of a new station is impossible or extremely difficult.

Having developed a number of up-to-date highly-efficient mobile GTEs for gas-pumping industry, power stations, and other engineering areas, "Mashporject" S&P Association is day-by-day improving its design solutions as applied to new power stations and installations as well as modernization of operating stations by replacement of out-of-date drives and is striving to meet strict requirements of GTE customers.

# ТЕХНОЛОГИИ

## ОБОРОННОГО КОМПЛЕКСА В МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова:

**Валерий Гуров**, начальник сектора, д.т.н.

**Екатерина Джамай**, ученый секретарь

Проводимая в последнее десятилетие государством научно-техническая политика сохранительного характера, по принципу "помочь всем понемногу", представляется сегодня неправомерной и бесперспективной. В рыночной экономике эффективность использования ресурсов не является самоцелью, а средством повышения производительности и завоевания товарных рынков. В России главными ресурсами роста могущества всегда были интеллектуальный капитал, имеющий в своей основе высокий уровень образования и культурные традиции, и научно-промышленный потенциал, опирающийся на развитую сырьевую и перерабатывающую базу. За годы перестройки этот потенциал был частично утрачен, однако в большей части он только начинает раскрываться по-настоящему, порой совершенно неожиданным образом, поэтому сегодня есть настоятельная потребность его правильно сориентировать. По нашему мнению, в рамках конверсии оборонно-промышленного комплекса (ОПК) было бы целесообразно организовать Национальный банк прорывных научно-технических решений, направленных на сохранение и развитие высокотехнологического потенциала промышленности. На конкурсной основе банк должен финансировать не более 10-15 актуальных и перспективных проектов. Подобная финансовая организация позволила бы сосредоточить интеллектуальный потенциал страны на решении наиболее актуальных задач при государственной приоритетной поддержке.

В качестве одного из примеров прорывных научно-технических решений конверсионного направления можно привести концепцию уменьшения затрат при реконструкции системы газоснабжения. Дело в том, что срок эксплуатации многих отечественных

газопроводов сегодня существенно превышает нормативный, но замена их затруднена из-за высокой стоимости нового оборудования. Поэтому органически необходимой стала разработка и внедрение новой концепции дальнейшего развития системы газоснабжения.

В интересах повышения надежности и безопасности газопроводов сегодня считается целесообразным снижение давления природного газа в трубах. Это возможно осуществить путем перевода части транспортных магистралей, работающих под давлением порядка 50 атм, в разряд распределительных с давлением не выше 12 атм. Одновременно следует заменить газораспределительные станции газорегуляторными пунктами, оснащенными вместо традиционных редукторов давления высокоэффективными энергоустановками на базе турбодетандеров. При этом оставшиеся в земле старые газопроводы рационально использовать в коммерческих целях как аккумуляторы энергии сжатого воздуха, которую затем можно использовать в турбонасосах, турбоэлектростанциях, газотурбинных установках и др. Тогда финансовые затраты на реконструкцию газопроводов могут быть частично скомпенсированы внебюджетными поступлениями, получаемыми при реализации коммерческого продукта (например, электроэнергии или другого ресурса).

Имеющийся опыт работы со сжатым воздухом для обеспечения технологических потребностей различных производств применительно к газораспределительным станциям позволил изготовить опытный образец установки с энергоблоком, преобразующим избыточное давление природного газа в избыточное давление воздуха. Компрессор высокого давления указанной установки способен сжимать воздух до давления 6 атм при расходе до 7,4 кг/с и температуре от 335 до 400К. Как показали исследования, оптимальный диапазон давления воздуха не превышает указанного предела. Таким образом, давление рабочей среды в газопроводах, преобразуемых в хранилища сжатого воздуха, снижается более, чем в 8 раз: с 50 атм (давление транспортируемого газа) до 6 атм (давление воздуха), что в значительной мере гарантирует безаварийную многолетнюю службу реконструируемых газопроводов.

Заметим, что некоторые технические решения, связанные с использованием сжатого воздуха путем применения средств и агрегатов авиационных и ракетных систем, по сути, являются конверсионными. Так, на основе ротора турбонасосного агрегата (ТНА) кислородно-водородного двигателя РД-0120 системы "Буран" специалистами КБХА, ЦИАМ и ВНИИЭМ был создан турбонасос ТН-45 с магнитными опорами, частотой вращения ротора 11 000 об/мин и мощностью до 45 кВт. При расходе воздуха через турбину, равном 1,5 кг/с, его температура на выходе снижалась до 265К, в то время как исходная температура составляла  $T = 293\text{К}$ .



В России последнего десятилетия термин "конверсия" стал одним из самых затертых и почти лишенным смысла. Тем не менее, конверсия – процесс, который при правильном выборе направления, определении наиболее перспективных решений позволяет поддерживать "на уровне" высокотехнологичное производство, а в условиях конкуренции оптимизировать его ресурсное обеспечение, наращивать общие объемы работ предприятий и повышать качество продукции.

#### Технические характеристики агрегата ТН-45

Масса ТН-45, кг	200
Габариты, мм	500/600
Давление воздуха на входе в турбину, МПа	0,55
Напор насоса, м	40
Расход воды, м <sup>3</sup> /с	0,057
Тип смазки	Отсутствует

Основное назначение агрегата ТН-45 - обеспечение глубоким холодом холодильной камеры емкостью до 400 т без применения фреона. В разработке системы приняли участие специалисты ЦИАМ, ВНИИХОЛОДМАШ и Гипрохолод. Турбонасос ТН-45 не нуждается в масляной смазке, что расширяет возможности его применения для непосредственного охлаждения помещений и овощехранилищ с общим температурным уровнем вблизи 0 °С. При установке на выходе из турбины ТН-45 эжектора, работающего от источника сжатого воздуха при давлении 6 атм с расходом 0,5 кг/с, возможно "протягивание" через турбину (за счет разряжения в 0,3 атм на выходе из турбины) дополнительного объема воздуха из атмосферы. Температура суммарного воздушного потока ( $G_{\Sigma} = 1,5$  кг/с при расходе воздуха через турбину 1 кг/с) при этом снижается на 20К при температуре окружающей среды 300К.

Специалистами ЦИАМ совместно с работниками СНТК им. Н.Д. Кузнецова была апробирована схема совмещения эжектора с турбиной применительно к холодильной камере объемом 21,5 м<sup>3</sup> на базе турбонасосного агрегата воздушно-реактивного двигателя НК-89, предназначенного для работы на сжиженном природном газе. Результаты демонстрационных испытаний свидетельствуют: за 40 с работы установки при давлении 30 атм перед активной частью эжектора и среднем расходе воздуха 0,1 кг/с снижение температуры воздуха в камере составило 6К. При этом частота вращения ротора ТНА не превышала 5000 об/мин, а мощность на валу достигала 2 кВт. Насос ТНА двигателя НК-89 работал на замкнутый контур, заполненный водой. Повышение температуры воздуха в камере после прекращения работы ТНА происходит за 20 мин.

Совмещение эжектора с турбиной в агрегатах ГЭТА (газо-эжекторный турбинный агрегат) является наиболее эффективным решением при целевом проектировании турбины под указанные агрегаты, если ставится задача снижения давления природного газа для нужд потребителя. Обычно давление понижают с помощью редукторов, что приводит к бесполезному рассеиванию избыточного потенциала давления. Применение турбодетандеров взамен редукторов критикуют в связи с тем, что при этом понижению надежность функционирования системы редуцирования давления газа из-за прохождения его через устройство, содержащее вращающиеся элементы. Основания для критики можно заметно уменьшить, если применить агрегаты ГЭТА, в которых через турбину пропускается только воздух, а природный газ снижает свое давление в эжекторе - неподвижном узле.



На наш взгляд, еще одной перспективной областью применения агрегатов ГЭТА по критериям простоты, стоимости и экологичности может стать выработка энергии для станций катодной защиты газопроводов (СКЗГ). Другими словами, избыточное давление магистрального газа следует утилизировать в ГЭТА для получения электроэнергии в генераторе постоянного тока мощностью до 1 кВт. Такие генераторы широко применяются на автомобилях. Замена колеса вентилятора электрогенератора алюминиевым рабочим колесом турбины позволяет до предела упростить конструкцию ГЭТА, стоимость основного агрегата которого не превышает \$350. Опытный образец такого ГЭТА изготовлен и прошел испытания в НИЦ ЦИАМ.

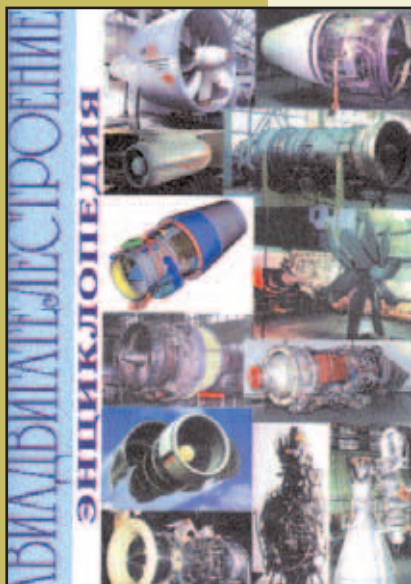
#### Технические характеристики агрегата ГЭТА

Мощность, кВт	до 1,0
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	5000
Масса, кг	<10
Расход газа через эжектор при давлении 5,0 МПа, м <sup>3</sup> /ч	60

Гомогенную газозвудушную смесь (с содержанием газа не менее 25 % по массе), которая формируется после эжектора, можно подавать в теплогенераторное устройство. В целях безопасности такое устройство целесообразно удалить от СКЗГ на расстояние 1...2 км. При замене газа сжатым воздухом с давлением 5,0 МПа агрегат ГЭТА может стать для потребителя источником электроэнергии мощностью до 1 кВт и хладоресурсом 1,3 кВт, снижая температуру воздуха в эжекторе на 17К по сравнению с температурой окружающей среды ( $T = 300K$ ).

Таким образом, предложенные устройства способны обеспечить более полное использование потенциальной энергии природного газа, а косвенно - повышение к.п.д. газоперекачивающих агрегатов. ◀





## ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

Уникальный справочник, содержащий исчерпывающую и достоверную информацию не только о двигателях различного назначения, выпускавшихся в нашей стране в различное время, но и о ведущих авиадвигателестроительных предприятиях (заводах, конструкторских бюро), научно-исследовательских учреждениях и объединениях, а также о выпускавших эти двигатели: видных конструкторах, инженерах, ученых, руководителей промышленных предприятий и организаций - людях, внесших значительный вклад в становление и развитие отечественного авиадвигателестроения.

Энциклопедия собрана специалистами ЦИАМ, ЦАГИ, организаций авиационной промышленности и предназначена для профессионалов отрасли, студентов ВУЗов и техникумов авиационного профиля, а также для заинтересованного круга читателей.

### Энциклопедия Авиадвигателестроение

Общая редакция и предисловие профессора В.М. Чуйко  
Москва.: Изд. дом "Авиамир", 1999. - 300 с.: 160 ил., 154 портр.



## КАТАЛОГ

### Уважаемые коллеги, господа!

Вышел в свет новый Каталог "Дизельные и газовые двигатели" (228 страниц, текст на русском и английском языках, цветные иллюстрации). В Каталоге представлена информация по выпускаемым специализированными и дизелестроительными предприятиями России, стран СНГ и Балтии: - судовым, тепловозным, автотракторным, общепромышленным и другим двигателям;

- агрегатам (дизель-редукторам, дизель-компрессорам и т.п.);  
- комплектующим узлам, деталям и агрегатам (турбокомпрессорам, топливной аппаратуре, фильтрам и др.).

По вопросу приобретения каталога обращаться в ЦНИДИ:  
196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 25.  
Тел.: (812) 448-6581.  
Факс: (812) 448-2273.



## ЖУРНАЛ

### Внимание! "ДВИГАТЕЛЕ СТРОЕНИЕ" - межотраслевой научно-технический и производственный журнал

Продолжается подписка на межотраслевой научно-технический и производственный журнал "Двигателестроение" на 2001 год.

Журнал выходит 1 раз в квартал. Стоимость годовой подписки - 200 руб. (с доставкой по России - 220 руб., с доставкой по странам СНГ - 300 руб.)

Подписка на журнал оформляется:

1. На 2001 год в почтовых отделениях связи, индекс в каталоге агентства Роспечать 70259 (каталожная цена годовой подписки с доставкой для России и стран СНГ - 220 руб.);
2. В редакции журнала "Двигателестроение" по адресу: 196158, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 25, корп. 1, ЦНИДИ, тел.: (812) 448-6581, факс: (812) 448-2273 или почтовым переводом на имя главного редактора журнала.
3. Платежным поручением. Реквизиты для оплаты: ИНН 7810350126, Благотворительный фонд "Инфомотор", текущий счет 40703810168000000032, ОАО Промышленно-строительный банк, филиал "Меридиан" г. Санкт-Петербурга, корреспондентский счет 3010181020000000091, БИК 044030791.

Адрес банка: 196066, Санкт-Петербург, Московский пр., 212.

Назначение платежа: "На журнал "Двигателестроение".

Копию платежного поручения просим направить в редакцию с указанием адреса для доставки журнала.



# АЛЕКСАНДР МИКУЛИН, ЧЕЛОВЕК - ЛЕГЕНДА

"Талант - это страсть". Г. Нейгауз



Лев Берне,  
Владимир Перов

Начальный этап создания мотора АМ-37 прошел довольно успешно. Постановлением ЦК ВКП(б) и СНК СССР от 30 октября 1940 г. завод № 24 обязывался провести 100-часовые государственные испытания мотора АМ-37 к 1 февраля 1941 г. Однако доводка мотора до надежной работы в течение 100 ч на заводе № 24 задержалась. В результате проведенных длительных испытаний были выявлены серьезные дефекты:

- а) прогар выхлопных клапанов (после 70 ч работы);
- б) трещины головки блока;
- в) трещины картера (в одном случае после 90 ч режимной работы, во втором случае после 116 и в третьем после 197 ч).

Практически эти же недостатки были присущи и моторам АМ-35А с ресурсом 150 ч, а также АМ-38 с ресурсом 50 ч. Со временем при внедрении в серию удалось избавиться от перечисленных недостатков.

В середине декабря 1941 г. нарком Шахурин в письме И.В. Сталину писал: "...считаю необходимым принять решение о выпуске моторов АМ-37. Учитывая потребность московского и омского заводов по предлагаемой программе выпуска самолетов "103" в моторах АМ-37, завод нужно ориентировать на выпуск 3500 моторов в 1942 году..."

Известно, что АМ-37 в серию так и не был внедрен и работы по нему Микулин со временем прекратил. Попробуем разобраться в причинах этого. Первой причиной была перегруженность ОКБ работами по доводке АМ-35А и внедрению в серию мотора АМ-38. Второй, и скорее всего основной, была та, что основная ставка Микулина на внедрение мотора АМ-37 была

ориентирована на самолет "103", успешно проходивший госиспытания. Работы по другим самолетам разворачивались менее энергично. Представляя мотор на соискание премии им. Чкалова, он делал упор на то, что мотор успешно летает на самолете "103". Однако премию Микулин не получил.

События развивались следующим образом. Правительство в своем постановлении от 20 января 1941 г. приняло решение о подготовке серийного производства АМ-37. Микулин рассчитывал довести мотор АМ-37, окончательно завершить госиспытания и приступить к его серийному производству. Госиспытания мотор АМ-37 со 100-часовым ресурсом прошел в июне 1941 г.

При решении вопроса о подготовке к серийному производству самолета "103" на заводе № 22 в Казани А.Н. Туполев принял решение об оснащении машины моторами М-82А. По оценкам специалистов ОКБ Туполева, у самолета с мотором М-82А повышалась живучесть, улучшались взлетные характеристики, увеличивалась дальность полета и, самое главное, повышались горизонтальные скорости до высоты 3000 м, что и требовалось для фронтового бомбардировщика. С мнением Туполева согласились.

Этот факт опровергает расхожее утверждение о том, что самолет "103" (будущий Ту-2) лишился моторов АМ-37 по вине В.С. Ильюшина, добившегося запуска в массовую серию самолета Ил-2 (будто бы АМ-37 был снят с производства ради расширения производства мотора для штурмовика). ГКО принял решение о выпуске самолета "103" с моторами М-82А по предложению главного конструктора, но одновременно в проекте нового постановления Микулину было предложено "во изменение постановления от 23 декабря 1941 г.:

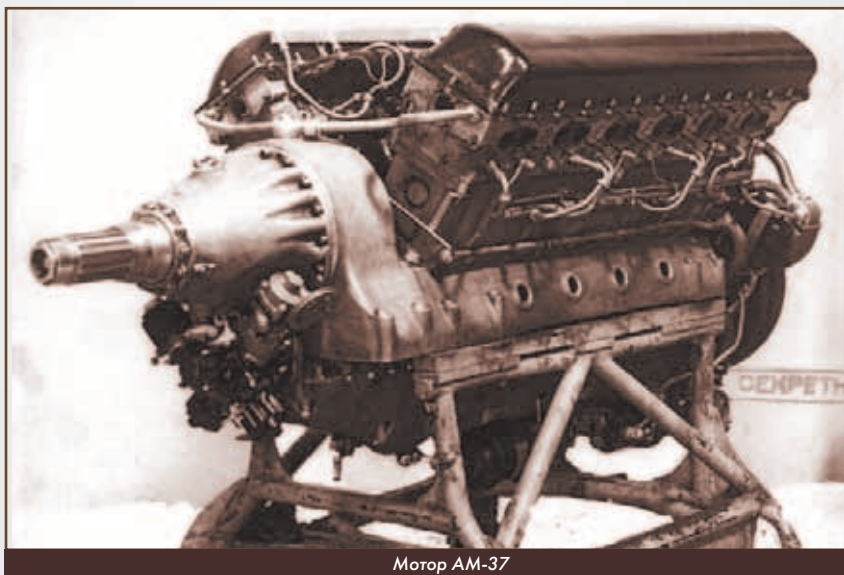
1. Снять с программы завода № 24 в первом квартале 1942 г. задание по выпуску моторов АМ-37.

2. Обязать директора завода № 24 тов. Жезлова и главного конструктора тов. Микулина обеспечить доводку и провести государственные испытания мотора АМ-37 с двухскоростным нагнетателем, обеспечивающим взлетную мощность не менее 1600 л.с., не снижая других данных мотора к 15 апреля 1942 г.

3. Обязать директора завода № 24 тов. Жезлова и главного инженера тов. Куинджи обеспечить выпуск 20 моторов АМ-37 с двухскоростным нагнетателем к 15 мая 1942 г."

В условиях войны при снятии практической потребности в моторах АМ-37 работы по ним и в этом варианте фактически были прекращены.

Справедливости ради следует отметить, что реально практически все летные данные (кроме дальности полета) у Ту-2 не только с моторами



Мотор АМ-37

М-82А, но и даже с АШ-82ФН оказались хуже, чем у самолета "103У" с моторами АМ-37.

Но вернемся в 1939 г. В то время остро ставился вопрос о целесообразности создания бронированного самолета-штурмовика. Микулин по своей инициативе разработал уникальный низковысотный мотор АМ-38 с взлетной мощностью 1625 л.с., специально предназначенный для использования на штурмовиках. Работы над опытным образцом АМ-38 были начаты без наличия соответствующего постановления Правительства, необходимого финансирования и материально-технического обеспечения, почти полностью, в тайне от директора завода.

Лишь позже инициатива Микулина нашла официальную поддержку. В соответствии с постановлением СНК СССР и ЦК ВКП(б) "О выпуске моторов АМ-38 на заводе № 24" предусматривалось:

1. С 1 января 1941 г. на заводе № 24 поставить производство моторов АМ-38 со следующими данными: взлетная мощность 1600 л.с.; номинальная мощность 1500 л.с.

2. Обязать Главного конструктора завода тов. Микулина А.А. и директора завода тов. Дубова В.М. собрать и сдать первый экземпляр мотора АМ-38 на совместные испытания к 15 января 1941 г. Стендовые испытания закончить к 1 февраля 1941 г.

Поскольку АМ-38 создавался на базе мотора АМ-35А, ему были присущи и недостатки последнего. Из-за увеличившейся мощности и возросших усилий на некоторых узлах и деталях первые АМ-38 имели ресурс всего 50 ч. С целью увеличения ресурса до 100 ч пришлось пойти на конструктивные изменения ряда деталей и агрегатов, что привело к увеличению массы двигателя на 30 кг. В июне 1941 г. мотор удовлетворительно прошел 100-часовые государственные испытания.

Мощный низковысотный мотор оказался впрямую не только Ил-2. Конструкторы-вооруженцы Венидов и Можаровский предложили оснастить им собственный вариант штурмовика БШ-МВ. АМ-38 планировалось использовать также на двухдвигательном штурмовике Ил-6 (ранее в эскизном проекте, выпущенном в апреле 1941 г., предусматривался вариант с АМ-37).

В приказе наркома авиационной промышленности № 518 от 13 июня 1941 г. отмечалось, что постановлением Правительства от 10 июня было принято к сведению заявление председателя комиссии по госиспытанию мотора АМ-38 Левина, главного конструктора Микулина и директора завода Жезлова о том, что мотор АМ-38 удовлетворительно прошел 100-часовые государственные испытания и может быть поставлен на серийное производство, а также о том, что мотор АМ-38 со 100-часовым ресурсом на 30 кг тяжелее мотора с 50-часовым ресурсом.

Приказом предписывалось с 22 июня 1941 г. начать выпуск моторов АМ-38 со сроком службы 100 ч. Микулину и Жезлову было рекомендовано поставить усиленные детали на мотор

АМ-35А и к 1 июля 1941 г. провести 150-часовые испытания такого двигателя. При положительных результатах испытаний давалось указание незамедлительно запустить моторы с увеличенным ресурсом в серию. В постановлении от 10 июня фиксировалось заявление Микулина и Жезлова о том, что мотор АМ-35А со 150-часовым ресурсом будет на 18...20 кг тяжелее мотора АМ-35А со 100-часовым ресурсом.

Создание мотора АМ-38 было очередным стратегическим прорывом в отечественном моторостроении. Подобные моторы не существовали ни в одной стране мира! А между тем идея, использованная при создании мотора АМ-38, технически была очень несложной. Поскольку для мотора штурмовика большая высотность не нужна (расчетная высота не более 2000 м), то его приводной центробежный нагнетатель не требовал отбора значительной мощности, что было эквивалентно получению прироста мощности на валу мотора. Диаметр крыльчатки нагнетателя конструкторы уменьшили, зато пришлось усилить колена мотора и его опоры.

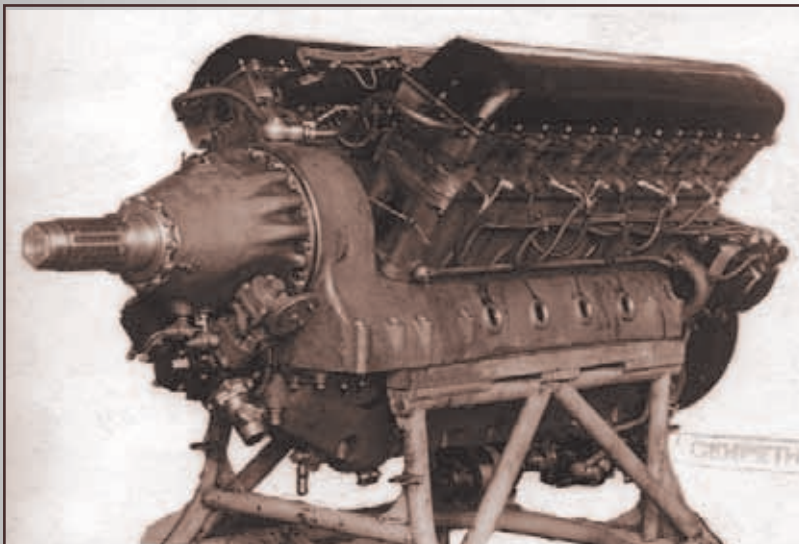
Поскольку с началом войны ожидалось неизбежное обострение проблем с поставками высокооктанового бензина, при создании мотора АМ-38 Микулин поступил дальновидно и уменьшил степень сжатия до 6,8, что позволило использовать топливо с более низким октановым числом. Вначале серийные моторы АМ-38 имели целый ряд серьезных дефектов, основными из которых являлись трещины блоков, прогар поршней и клапанов, массовый отказ в работе свечей, повышенный износ винтовых шестерен в приводе газораспределения и др. Эти дефекты устранялись путем внесения изменений в конструкцию мотора в процессе его доводки.

За выдающиеся заслуги в деле создания авиационных моторов еще 28 октября 1940 г. Президиум Верховного Совета СССР присвоил Александру Александровичу Микулину звание Героя Социалистического Труда. Микулин стал обладателем "Золотой Звезды" с номером 8. Высокая награда укрепила авторитет Микулина на заводе № 24, но, в определенной степени, вызвала у него "головкружение от успехов" и повышенную обидчивость. Последовавший вскоре отказ от награждения мотора АМ-37 премией имени В.П. Чкалова вызвал у Микулина неадекватную реакцию. "Ах, так, - сказал он. - Тогда я просто перестаяю им заниматься". И он выполнил эту угрозу, не посчитавшись с последствиями. Все внимание Микулина в 1941 г. переключилось на АМ-38 и перспективный АМ-39, который, впрочем, являлся дальнейшим развитием АМ-37.

Вскоре после начала войны моторостроительный завод № 24 был эвакуирован в Куйбышев. Туда же отправилась и большая часть ОКБ А.А. Микулина. Александр Александрович отлично понимал, что становление завода и ОКБ на новом месте потребует нескольких месяцев работы, а потребности фронта требовали немедленного совершенствования конструкции двигателя. Поэтому

Микулин выделил из состава конструкторского бюро группу, занимавшуюся перспективными разработками, и добился в Наркомате авиапромышленности разрешения на отправку ее для работы на действующий моторостроительный завод № 19 в Молотов (ныне Пермь).

Главным конструктором этого предприятия был Аркадий Дмитриевич Швецов, с которым у Микулина еще в двадцатые годы сложились особые отношения. Швецов с пониманием отнесся к проблемам москвичей; на заводе для них выделили все необходимое для успешной творческой деятельности. Одной из бригад конструкторов руководил Владимир Иванович Базаров, еще в 1923 г. получивший патент на конструкцию многоступенчатого компрессора с турбиной (фактически это был воздушно-реактивный двигатель). Микулинцы работали по 12...14 часов в сутки, именно в "пермский" период определились основные направления дальнейшего совершенствования моторов семейства "АМ". В частности, ими была выполнена компоновка будущего двигателя АМ-42. Кроме того, бригада П.Ф. Зубца занималась разработкой нового приводного центробежного нагнетателя, а



Мотор АМ-38

бригада В.Н. Сорокина - газовыми турбинами, турбокомпрессорами и реактивными выхлопными патрубками.

Основную часть коллектива ОКБ, эвакуированную вместе с серийным заводом № 24 в Куйбышев, возглавил Михаил Романович Флиссский. Зима 1941-1942 гг. выдалась невероятно холодной, что отнюдь не способствовало развертыванию экспериментальной и испытательной базы на новом месте. Около половины конструкторов вынуждены были заниматься проблемами серийного производства, остальные в труднейших условиях занимались строительством и монтажом вывезенного оборудования. Тем не менее, уже в январе 1942 г. ОКБ возобновило интенсивную работу по форсированному варианту двигателя для штурмовика, получившему наименование АМ-38Ф.

В мае 1942 г. конструкторская группа Микулина переехала из Перми в Куйбышев. Свежие идеи, возникшие в "пермский" период, благотворно сказались на деятельности всего коллектива: началось их интенсивное внедрение в конструкцию двигателей "АМ".

По инициативе ВВС в 1941 г. на один из серийных МиГ-3 был установлен мотор АМ-38. Самолет испытывался в ЛИИ НКАП с 19 августа 1941 г. Второй опытный вариант самолета МиГ-3 с мотором АМ-38 был построен в ОКБ Микояна. Он продемонстрировал уникальные скоростные характеристики на высотах менее 4000 м. Несколько улучшились взлетные свойства самолета, но маневренные характеристики самолета оказались невысокими, хотя и несколько лучшими по сравнению с серийной машиной. Небольшое количество таких самолетов с двумя синхронными пушками ШВАК в 1942 г. приняло участие в боях под Сталинградом.

Сделаем небольшое отступление. В ходе войны завод № 24 совместно с ЦИАМ вел работы по повышению высотности мотора АМ-38 до 8000 м путем использования турбокомпрессора ТК-3, в разработке которого принимал участие видный ученый В.И. Дмитриевский. Номинальная мощность двигателя с ТК-3 на расчетной высоте составляла 1500 л.с. Такие моторы планировалось использовать на втором варианте двухмоторного "истребителя обороны пунктов" П.О. Сухого, обладавшем весьма высокими расчетными летно-тактическими характеристиками. В июне 1944 г. конструктор В.Г. Ермолаев проработал вариант самолета Ер-2 с мотором АМ-38 и турбокомпрессором ТК-3. Летные данные самолета (расчетные) получались очень неплохими: максимальная скорость полета 550 км/ч, дальность полета с бомбовой нагрузкой 1000 кг составила 4000 км, а практический потолок - 11 000 м.

Отметим, что эта работа ОКБ Микулина положила начало оригинальному направлению создания эффективных силовых установок для высотных самолетов на базе низковысотных моторов, обладавших большой взлетной мощностью. По-существу, она явилась очередным важным достижением, позволившим Микулину успешно разрабатывать такие установки в конце войны и непосредственно по ее окончании для стратосферных истребителей и высотных бомбардировщиков.

Но вернемся в трудный 1942 г. Опыт войны со всей очевидностью показал, что штурмовик Ил-2 должен быть двухместным. Однако в результате соответствующей переделки самолета, законченной в начале октября, летно-тактические характеристики штурмовика заметно ухудшились. Прежде всего, уменьшилась бомбовая нагрузка (до 200 кг), заметно худшими стали и взлетные характеристики.

Еще в начале года, когда появилось требование заказчика о переделке Ил-2, А.А. Микулин начал работу по повышению взлетной мощности мотора АМ-38 для улучшения взлетных качеств штурмовика. За счет форсирования мотора по наддуву и частоте вращения удалось увеличить взлетную мощность на 100 л.с. Новый вариант мотора получил название АМ-38Ф. Конструкторам

пришлось несколько повысить напорность нагнетателя, но при меньшей расчетной высоте. Затрачиваемую на это дополнительную мощность скомпенсировали увеличением оборотов. Одновременно для снижения требований к топливу была дополнительно уменьшена до 6,0 степень сжатия.

Создавая новую модификацию мотора, конструкторы ОКБ Микулина внесли ряд важных конструктивных изменений. Так, в маслосистему ввели специальную центрифугу, очищавшую масло от загрязнений. Одновременно были усилены некоторые детали, в том числе клапаны и вал редуктора. Головку блока цилиндров стали отливать из силумина.

Установка мотора АМ-38Ф на двухместный Ил-2 позволила сократить длину разбега на 35 %. Максимальная скорость на расчетной высоте 750 м увеличилась на 17 км/ч, бомбовая нагрузка была доведена до прежней величины (400 кг - как на одноместном варианте).

Как и нефорсированный вариант, мотор АМ-38Ф разрабатывался Микулиным в инициативном порядке. За основу был взят двигатель АМ-35А, его детали и узлы соответствующим образом усиливались. Но если по мотору АМ-38 сначала была разработана вся конструкторская документация, а затем производилось его изготовление, то АМ-38Ф был построен в двух экземплярах... без предварительной разработки всего объема рабочих чертежей, по эскизам! На совещании в Кремле Сталин потребовал от Шахуринна и Микулина разработать чертежи в невероятно короткий срок - за 3 месяца, а еще через месяц закончить подготовку к серийному производству, с тем чтобы в апреле 1943 г. начать серийный выпуск мотора.

В конце февраля 1943 г. ОКБ Микояна получило задание разработать и построить малую серию (шесть экземпляров) улучшенного истребителя МиГ-3У (И-230) с мотором АМ-35А. Поскольку моторы АМ-35А тогда серийно уже не выпускались, было принято решение собрать их из деталей мотора АМ-38Ф. Шестерку МиГ-3У построили, первая машина поднялась в воздух 31 мая 1943 г. Впрочем, особых успехов с этими самолетами достичь не удалось.

Совершенно оригинальной являлась идея Микулина, высказанная в декабре 1941 г., об использовании поршневого двигателя в качестве газогенератора для преобразования тепловой энергии выхлопных газов мотора в специальных турбореакторах. Газовая турбина, сочлененная с валом винта через шестеренчатый редуктор, позволяла преобразовать энергию газов в дополнительную мощность. По расчетам Микулина можно было ожидать при этом получения прироста мощности на 30...50 % и при этом добиться снижения удельного расхода топлива. О своей новой идее Микулин сообщил Сталину шифровкой, предложив реализовать ее на моторах АМ-37 и АМ-38. Шахурин поддержал идею и дал соответствующие распоряжения Микулину и директору завода Жезлову. По существу, это было очередным важнейшим достижением в направлении радикального повышения удельных мощностей



Штурмовик Ил-2, вооруженный 37-мм пушками



Опытный МиГ-3 с мотором АМ-38

тей поршневых моторов. Правда, из-за технологических трудностей в ходе войны реализовать идею Микулина не удалось. Она нашла воплощение в сверхмощных поршневых моторах, разработанных уже после войны А.Д. Швецовым и В.А. Добрыниным. Забегая вперед, отметим, что к идее поршневого газогенератора Микулин вернулся в конце своей жизни.

Другим важнейшим направлением деятельности А.А. Микулина с 1939 г. была разработка мотора АМ-39. Мы уже упоминали, что первым шагом по созданию мотора АМ-39 было предложение снабдить мотор АМ-37 двухскоростным нагнетателем и охладить воздух на входе в нагнетатель с помощью водо-воздушного радиатора. В ходе выполнения этой работы возникли противоречия по выбору путей дальнейшего совершенствования мотора АМ-37 между Микулиным и его заместителем М.Р. Флисским. Флисского поддержали директор завода № 24 Жезлов, главный инженер завода Куинджи и начальник конструкторского отдела Юдин. 17 января 1942 г. они направили письмо Сталину, в котором писали, что "в течение ряда лет моторы семейства АМ-35А развивались по мощности, главным образом, за счет наддува. Путь этот был наиболее легким, т.к. мотор АМ-35 обладает большим литражем, позволившим снять с мотора довольно большие мощности.

В настоящее время возможность форсирования мотора по наддуву исчерпана по трем причинам:

- а) Мотор термически напряжен до предела;
- б) Дальнейшее увеличение наддува влечет за собой применение топлива с октановым числом выше 95, что повлечет за собой перенапряжение топливных ресурсов нашей страны;
- в) Сильно возрастут нагрузки от сил газов и усложняется разрешение конструктивных задач по уплотнениям и доводке клапанного механизма.

В связи с этим группа конструкторов завода № 24 по инициативе авторов письма, с разрешения Наркома Авиационной Промышленности, начала работать по развитию мощности мотора в основном за счет увеличения числа оборотов".

Далее они писали: "Поэтому авторы мотора решают эту задачу, опираясь на производственную базу завода № 24 и оставляют существующий литраж двигателя, улучшив наполнение двигателя, повысив его литровую мощность, по которым моторы АМ-35А и АМ-38 отстают от современных авиационных двигателей... Развитие мотора (которому авторы дали название ЗИФ - завод имени Фрунзе) разделяется на 2 этапа:

1. Данные мотора (ЗИФ-1 - прим. авт.): 1600 л.с. на высоте 6000 м, 1850 л.с. взлетной мощности, при числе оборотов 2500 и октановом числе топлива не более 92.

В этом моторе пересмотрены все узлы с точки зрения повышения оборотности, улучшено наполнение и предусматривается установка двухскоростного нагнетателя.

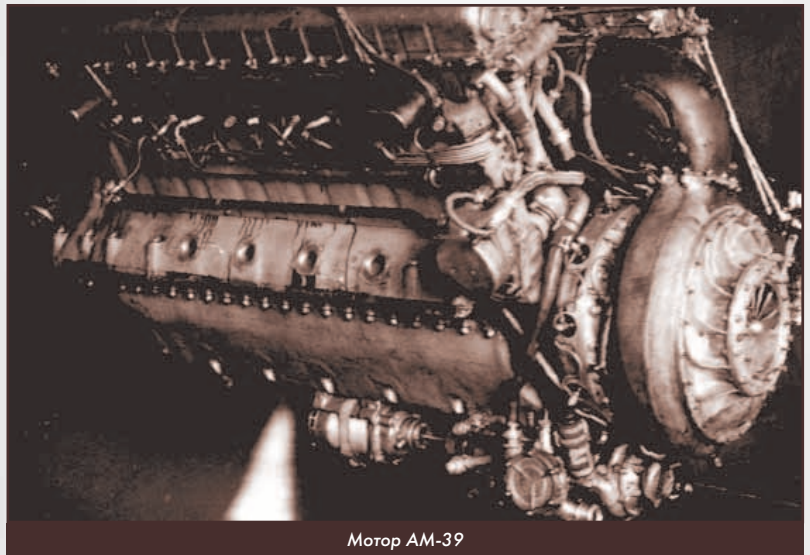
2. Данные мотора (ЗИФ-2 - прим. авт.): 1800 л.с. на высоте 6000 м и 2000 л.с. взлетной мощности.

На этом моторе устанавливается пушка. Повышение мощности по сравнению с ЗИФ-1 получено за счет постановки новых блоков с максимально улучшенным наполнением и поршневого нагнетателя. Поршневой нагнетатель уменьшает мощность, идущую на нагнетатель, на 100-150 л.с., и значительно уменьшает температуру воздуха, выходящего из нагнетателя.

Это допускает возможность выпускать моторы без охлаждения воздуха, выходящего из нагнетателя и, тем самым, уменьшить значение сопротивления на самолете... Моторы ЗИФ-1 и ЗИФ-2 проконсультированы с тов. Микояном и тов. Ильюшиным. По их мнению, эти моторы представляют очень большой интерес и требуют постройки в кратчайшие сроки как для истребителей, так и для штурмовиков... Работы по этим моторам могут быть выполнены в следующие сроки: окончание длительных испытаний ЗИФ-1 к 1.07.1942 г., ЗИФ-2 - к 1.11.1942 г. Работы по моторам ЗИФ-1 и ЗИФ-2 начаты и проводятся без участия тов. Микулина", - сочли необходимым подчеркнуть авторы письма. И далее: "...просим разрешить постройку опытных моторов ЗИФ-1 и ЗИФ-2 на заводе № 24".

Сталин направил письмо на отзыв Шахурину. В своем ответе Сталину, датированном 28 января 1942 г., нарком авиационной промышленности выразил согласие с предложением авторов письма. Он писал: "Так как это предложение не поддерживается Главным конструктором завода № 24 тов. Микулиным, и его работы по опытным моторам пойдут параллельно с постройкой указанных двух моторов, то обеспечение базы для работ тов. Микулина прошу оговорить специальным пунктом, записанным в проекте". Шахурин представил Сталину проект постановления ГКО по этому вопросу.

В проекте постановления соответствующий пункт был изложен в следующей редакции: "Обязать директора завода № 24 тов. Жезлова, главного инженера завода тов. Куинджи постройку указанных моторов производить не за счет сил и средств опытной базы главного конструктора завода тов. Микулина, сохранив за работами тов. Микулина опытную базу, необходимый ему конструкторский коллектив и обеспечив помощь серийного производства в его работе". Отметим, однако, что разработка моторов ЗИФ-1 и ЗИФ-2 успехом не увенчалась. Предложение руководителей предприятия оказалось блефом. В то же время Микулин лишился поддержки со стороны завода № 24. Естественно, что это не способствовало развитию работ по совершенствованию высотного мотора для истребителей, мотора средних высот для бомбардировщиков и низковысотного мотора для штурмовиков. Микулина снова пришлось



Мотор АМ-39

ставить вопрос о создании самостоятельной конструкторской базы. Первый раз он выдвинул эту идею еще в 1935 г. В 1940 г. Микулин вместе с главными конструкторами моторов В.Я. Климовым и С.К. Туманским выступил с инициативой развития ОКБ при серийных моторных заводах в самостоятельные структуры. И в дальнейшем именно Микулин был наиболее настойчивым в достижении этой цели.

Нынешнему поколению это может показаться удивительным, но в конце 1942 г., когда Сталинградская битва была еще в самом разгаре, в ОКБ Микулина и других организациях промышленности думали только о Победе. Стали возвращаться из эвакуации конструкторские коллективы С.В. Ильюшина, А.С. Яковлева, А.И. Микояна. Организационно они стали оформляться в виде опытных заводов, вне структур серийного производства. Вскоре после этого встал вопрос и о эвакуации микулинского ОКБ.

А.А. Микулин понимал, что решение о создании опытного моторостроительного предприятия могло быть принято только на самом высоком уровне. Поэтому он обратился лично к Сталину. Не беремся судить о степени компетентности Иосифа Виссарионовича в других вопросах, но в области авиации все важнейшие сведения о самолетах, моторах, авиационном вооружении он черпал "из первых рук", из личных бесед с конструкторами, руководителями производства, авиационными командирами. Поэтому Микулину, авторитет которого был необычайно высок, попасть на прием к Сталину было не сложнее, чем к наркомму Шахурину. Известно, что Александр Александрович помимо конструкторского дара обладал отличными организаторскими способностями. Он прекрасно понимал: чтобы получить "добро" от Сталина надо предложить глубоко продуманное, всесторонне обоснованное и аргументированное решение.

В конце декабря 1942 г. Микулин приехал в Москву и лично изучил обстановку с "бесхозными" производственными мощностями. Затем, в самом начале 1943 г. он вызвал в столицу группу молодых сотрудников, перед которой поставил задачу: в кратчайший срок подыскать площадку, на которой можно создать первый в стране опытный моторостроительный завод. Конструкторы и инженеры микулинского ОКБ с раннего утра до наступления комендантского часа рыскали по городу и, в конце концов, на его окраине нашли подходящее местечко. В Лужниках, где в то время располагались поля колхоза-миллионера "Смычка", они обнаружили полузаброшенные корпуса завода № 8 "Оргавиапрома", эвакуированного в Куйбышев.

История этого предприятия уходила в дореволюционное время. Здесь, в излучине реки Москвы, где земля была относительно дешевой, в начале XX века возникла красильная фабрика. Дела ее хозяев, очевидно, продвигались успешно: фабрика постепенно наращивала мощности. И сегодня, въезжая на новый Андреевский мост, можно увидеть на заводской площадке сохранившиеся корпуса, на которые "положили глаз" сотрудники Микулина. После революции фабрика была национализирована и преобразована в знаменитый "Гознак". Впрочем, это предприятие вскоре перебралось в новые помещения, а в его корпусах обосновалась "оборонка".

Площадка обладала целым рядом достоинств. В частности, она имела достаточные размеры, обладала необходимыми эле-



Опытный истребитель И-224 с мотором АМ-39

ментами инфраструктуры: собственной котельной, литейной, кузницей, энергетическим хозяйством, независимым водоснабжением, собственной железнодорожной веткой. В перспективе имелась возможность расширения территории завода в сторону Лужников. Все эти соображения были сформулированы в виде докладной записки Сталину. Вскоре было получено его согласие на создание нового опытного предприятия. Постановлением ГКО № 2916 от 18 февраля 1943 г. "для обеспечения опытных, конструкторских и экспериментальных работ по созданию авиационных двигателей" был развернут моторостроительный завод № 300.

Микулин всегда стремился привлечь к работе в своем коллективе сильные, творческие личности. Должность первого заместителя он предложил Сергею Константиновичу Туманскому, в недалеком прошлом главному конструктору запорожского завода № 29. Накануне войны на заводе шло внедрение моторов М-87 и М-88. Освоение сопровождалось большими трудностями, и когда их уже удалось в основном устранить, как это у нас иногда бывало, Туманского сняли (его предшественнику А.С. Назарову пришлось еще хуже - он был репрессирован)...

Зная, что ряд крупнейших в стране мотористов находится в заключении, Микулин не побоялся обратиться к Сталину с просьбой о назначении своим заместителем по научной и экспериментальной части одного из таких "зэков" - Бориса Сергеевича Стечкина. В знаменитой впоследствии "казанской шаргае" вместе с ним проходили "трудовое перевоспитание" будущие академики, основоположники отечественной космонавтики С.П. Королев и В.П. Глушко. На письме Микулина относительно судьбы Стечкина Верховный написал: "Передать Микулину. Сталин". Как это распоряжение выполнить, "энкведэшники" не очень понимали, но раз приказано - надо выполнять. Через пару недель у проходной завода появилась необычная группа: лейтенант НКВД, два стрелка и между ними - седоволосый человек в телогрейке и валенках. Лейтенант потребовал провести всех непосредственно к главному конструктору: "Вы - Микулин? Приказано Вам передать..." Так на заводе № 300 появился создатель теории воздушно-реактивного двигателя.

(Продолжение следует).

## DIGEST

The initial phase of AM-37 engine development was rather successful. However, the operational development to accumulate 100 hours of reliable operation at Plant № 24 was delayed. The reasons was overworking of the design bureau with operational development of the AM-35A and putting into series manufacturing of the AM-38. In war years the AM-37 development was shelved because of slack demands. In 1940, Mikulin on his own initiative launched the development of a unique low-altitude AM-38 engine with 1625-hp take-off thrust, specially intended for powering attack airplanes. These works were conducted without an appropriate governmental approval, funding, material and technical support, i.e. it was almost an "underground" work, behind the director's back. Only later, the Mikulin's initiative was officially supported.

The low-altitude high-thrust engine was found useful not only for Il-2. It was scheduled to power Il-6 twin-engined attack aircraft (in April 1941, the earlier draft project proposed AM-37 engines for powering the aircraft). As we shall see later, the AM-38 is powering prototype fighters developed by Mikoyan Design Bureau.

## ALEXANDER MIKULIN - A LEGENDARY PERSON

# ЖРД

## АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ФИРМ ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЫ

Военная академия РВСН им. Петра Великого:

**Александр Башилов**, доцент, к.т.н

**Геннадий Самарин**

Сегодня в Западной Европе созданием и эксплуатацией жидкостных реактивных двигателей (ЖРД) для ракет-носителей (РН) занимаются два ведущих двигателестроительных концерна – французский SEP (Societe Europeene de Propulsion – "Европейское общество силовых установок") и немецкий MBV (Messerchmitt-Bolkow-Blohm – "Мессершмитт-Бельков-Блом"). Технический уровень всех этих двигателей соответствует уровню аналогичных американских ЖРД, созданных 5...10 годами ранее, а их конструкция основана как на собственных оригинальных разработках, так и на американских лицензиях. Остановимся на наиболее интересных особенностях этих двигателей.

### Азотно-кислотные ЖРД

Созданием мощных однокамерных ЖРД на азотно-кислотных окислителях концерн SEP занимается с начала 1960-х гг. Им разработаны ЖРД VEXIN и VALOIS для РН типа Diamant, а также серия ЖРД VIKING для РН семейства Ariane. Все эти двигатели просты по конструкции, надежны, но не отличаются высокой экономичностью (по сравнению с аналогичными российскими и американскими образцами).

Особенностью данных двигателей являются камеры сгорания без наружного регенеративного охлаждения. Они состоят из стальных сферических смесительных головок и сварных корпусов, изготовленных из жаропрочных сталей. Изнутри корпуса камер покрыты теплозащитными покрытиями из циркона (ЖРД VEXIN и VALOIS) или окиси циркония (ЖРД VIKING), а в их критических сечениях установлены тугоплавкие вставки соответственно из графита или фенопласта, армированного окисью кремния.

Смесительные головки всех камер сборные. Они образованы внутренней литой стальной полусферой и покрывающим ее стальным штампованным коническим днищем. В основании полусферы по окружности расположены однокомпонентные смесительные элементы (форсунки), обеспечивающие столкновение струй впрыскиваемых компонентов. Подача компонентов топлива осуществляется на 10...12 поясов радиальных отверстий, размещенных на кольцевых, чередующихся по окислителю и горючему рядах. Горючее к элементам поступает из коллектора, приваренного по периферии голо-



Двигатели Viking для ракеты-носителя Ariane 4

вки, а окислитель подводится через центральное отверстие в наружном днище и зазор между ним и полусферой. Соотношение компонентов в камерах составляет: 3,2 (ЖРД VEXIN); 2,05 (ЖРД VALOIS); 1,87 (ЖРД VIKING). До 10 % горючего в каждом из этих ЖРД расходуется на внутреннее завесное охлаждение камеры.

ЖРД VEXIN и VALOIS имеют вытеснительную систему подачи топлива. Для наддува вырабатывается газ с большим содержанием паров воды (парогаз). Его получают при смешивании воды с горячим генераторным газом, произведенным в пороховом твердотопливном газогенераторе (ЖРД VEXIN) или в жидкостном двухкомпонентном газогенераторе на основных компонентах (в ЖРД VALOIS). Такой способ получения низкотемпературного газа является уникальным и больше нигде, кроме ЖРД концерна SEP, не применяется. Параллельно этот же парогаз используется в пневмоприводах, осуществляющих отклонение камер ЖРД в карданных подвесах на углы до 4° в плоскостях тангажа и рыскания, а также в четырех поворотных рулевых соплах, обеспечивающих управление полетом РН Diamant по крену. Запуск обоих ЖРД производится двумя ступенями с помощью двухпозиционных пироклапанов пуска на входе в двигатель. Выключение одноступенчатое, с помощью пироклапанов отсечки. На ЖРД VEXIN, основная топливная пара которого является несамовоспламеняющейся, применяется химическое зажигание. Оно осуществляется с помощью пускового химического горючего (фурфуролового спирта), размещенного в

герметичной капсуле, которая установлена в магистрали подачи основного горючего в камеру.

В ЖРД серии VIKING используется насосная подача всех компонентов с помощью одного одновального моноблочного турбо-насосного агрегата (ТНА). Он содержит двухступенчатую активную осевую газовую турбину, расположенную на валу консольно, и три одноступенчатых центробежных насоса - горючего, окислителя и воды. Расход воды, обеспечивающей охлаждение корпуса газогенератора и разбавление произведенного газа, составляет около 1,5 % суммарного расхода основных компонентов. Все насосы имеют односторонние радиальные входы и выходы, а также крыльчатки открытого типа. В конструкции насосов применены алюминиевые сплавы, а в конструкции турбин использованы жаропрочные и жаростойкие стали.

Привод ТНА обеспечивает охлаждаемый водой газогенератор, работающий на основных компонентах. Полученный высокотемпературный газ разбавляется водой для снижения его температуры примерно до 1100К. Отработав на турбине, парогаз повторно разбавляется водой до температуры около 480К. На первых ступенях всех РН серии Ariane с ЖРД VIKING-2 и VIKING-5, а также на жидкостных стартовых ускорителях PAL с ЖРД VIKING-6 этот дважды разбавленный парогаз применяется для наддува баков. На вторых ступенях данных РН с ЖРД VIKING-4, баки которых наддуваются гелием от специальной газобаллонной системы, парогаз поступает в систему рулевых сопел, обеспечивающих управление полетом по крену.

Во всех ЖРД серии VIKING разбавленный парогаз используется также для привода плунжерных насосов вспомогательной масляной гидросистемы, питающей рулевые машинки отклонения двигателей. На первых ступенях отклоняются все четыре ЖРД (максимальный угол 5°), установленные в шарнирных подвесах, что обеспечивает управление полетом РН по всем осям стабилизации. На вторых ступенях, оснащенных одним ЖРД в карданном подвесе, отклонение осуществляется в двух взаимно перпендикулярных плоскостях на углы до 4°. Оно обеспечивает управление полетом РН по осям тангажа и рыскания, а управление по крену берет на себя система рулевых сопел, работающих на низкотемпературном парогазе.

Запуск и выключение ЖРД серии VIKING осуществляется с помощью пуско-отсечных клапанов на входе в насосы ТНА. Начальной раскрутки последнего не требуется, поскольку двигатель запускается по принципу "самозапуска" от давления компонентов на его входе. В процессе работы производится регулирование тяги (путем изменения подачи компонентов в газогенератор) и стабилизация соотношения компонентов в камере (путем перепуска части окислителя с выхода соответствующего насоса ТНА на его вход). Выключение - двухступенчатое, сначала газогенератора (отсечкой подачи окислителя), затем всего ЖРД (отсечкой подачи в двигатель всех компонентов).

С 1983 г. в совершенствовании конструкции газогенератора и ТНА ЖРД VIKING принимает участие концерн MBV, который также обеспечивает производство и модернизацию камер, автоматики и узлов общей сборки. В целом, азотно-кислотные ЖРД серии VIKING являются достаточно мощными, имеют простую конструкцию, низкую стоимость и высокую надежность. Они обеспечивают успешное выполнение большинства западноевропейских космических программ, а также коммерческие пуски РН Ariane.

Еще одним азотно-кислотным ЖРД, созданным концерном MBV для третьей ступени РН Europa в 1971 г., является небольшой однокамерный ЖРД L-5 многократного включения с вытеснительной системой подачи обоих компонентов топлива. Необходимый для этого наддув баков РН (до давления 1,82 МПа по окислителю и 1,92 МПа по горючему) обеспечивается соответствующей гелиевой газобаллонной системой.

В состав двигателя входят: камера, агрегаты автоматики, шарнирный узел качания и сварная трубчатая рама. Камера состоит из трех блоков - смесительной головки, двухстенного оболочечного корпуса (до степени расширения 28) и неохлаждаемого соплового насадка. Смесительная головка - плоская, литая из алюминия. Ее однокомпонентные смесительные элементы в виде наклонных отверстий обеспечивают столкновение струй впрыскиваемых компонентов. Корпус - паяно-сварной, титановый, охлаждаемый горячим. Сопловой насадок из титанового сплава. Степень расширения сопла с насадком равна 77. Шарнирный подвес допускает возможность отклонения камеры в двух взаимно перпендикулярных плоскостях на углы до 8°. Свободу этих отклонений обеспечивают гибкие сильфонные участки трубопроводов.

Управление запуском и выключением ЖРД осуществляются пневматические многоходовые пуско-отсечные клапаны, установленные на головке камеры. Двигатель допускает до 20 включений в одном полете при значительном (до 6000 с) ресурсе работы. В настоящее время он дорабатывается для третьей ступени перспективной РН Ariane-5.

### Кислородно-водородные ЖРД

Разработку небольших кислородно-водородных ЖРД для верхних ступеней РН Europa концерны SEP и MBV начали в середине 1960-х гг. независимо друг от друга. Концерн SEP разрабатывал четырехкамерный ЖРД SEPR с тягой около 60 кН, насосной подачей обоих компонентов топлива и простой схемой без дожигания при низком (порядка 3 МПа) внутрикамерном давлении. Двигатель должен был допускать трехкратное включение в полете. Концерн MBV создал альтернативный однокамерный ЖРД ORHOS практически с такими же характеристиками. Но обе компании в ходе своей работы встретились со значительными трудностями, и к моменту прекращения работ над РН Europa оба ЖРД проходили только стендовую отработку.

После создания в 1975 г. Европейского Космического Агентства и начала работ над новыми РН серии Ariane, концерны SEP и MBV решили объединить свои усилия в создании кислородно-водородных ЖРД. Это позволило к 1979 г. закончить разработку первого западноевропейского ЖРД указанного типа, получившего индекс HM-7. Он объединил в себе лучшие конструктивные и схемные решения двигателей SEPR и ORHOS и явился первым в мире ЖРД, созданным в рамках международной кооперации.

HM-7 является однокамерным двигателем без дожигания. Он имеет насосную подачу обоих компонентов одним ТНА, привод которого обеспечивает восстановительный газогенератор на основных компонентах топлива. Двигатель устанавливается в карданном подвесе и отклоняется в двух взаимно перпендикулярных плоскостях тангажа и рыскания на углы до 3°. Для управления по крену используется система подвижных рулевых сопел на газообразном водороде.

### Характеристики западноевропейских азотно-кислотных ЖРД

Тип ЖРД	VEXIN	VALOIS	VIKING-2	VIKING-5	VIKING-4	L-5
Год создания	1965	1967	1979	1984	1984	1971
Фирма	SEP	SEP	SEP	SEP, MBV	SEP, MBV	MBV
Ракета-носитель	Diamant-A	Diamant-B	Ariane-1	Ariane-3	Ariane-3	Ariane-5
Компоненты топлива	AK+скипидар+ вода	AT + НДМГ+ вода	AT + НДМГ+ вода	AT + НДМГ + вода	AT + НДМГ + вода	AT+AZ-50
Тяга у земли, кН	247	348	610	677	790(в пустоте)	23(в пустоте)
Удельный импульс, Н·с/кг	1990	2143	2390	2470	2900	3040
Давление в камере, МПа	1,76	2,05	5,4	5,85	5,85	1,0
Расширение сопла	3,6	5,2	14	14	21	77
Масса, кг	390	415	695	750	760	214 (ДУ)
Время работы, с	95	120	140	205	130	6000
Высота/диаметр, м	1,8/1,0	2,2/1,2	2,9/1,2	3,1/1,2	3,9/1,7	1,4/1,2



Подготовка к старту Ariane 5

Камера, разработанная MBB, имеет современную разборную конструкцию, аналогичную примененной в американском ЖРД SSME. Камера состоит из смесительной головки и двух охлаждаемых водородом блоков корпуса. Первый блок (до степени расширения 7) имеет двухстенную оболочечную паяно-сварную конструкцию. Его внутренняя стенка из медного сплава содержит продольные фрезерованные каналы для прохода охладителя. Сопловой блок (до степени расширения 60) выполнен из спаянных между собой никелевых трубок с постоянным прямоугольным сечением.

Оба блока охлаждаются водородом, 95 % которого поступает в охлаждающий тракт первого блока, направляется к головке и в виде испаренного и нагретого газа через форсунки попадает в камеру. Небольшая часть газа перед смесительной головкой отбирается и используется в системе рулевых сопел крена и для наддува бака горючего. Оставшиеся 5 % водорода направляются в трубки сопла, охлаждают его, нагреваются до температуры 900...950K и через открытые концы трубок выбрасываются в окружающее пространство, создавая дополнительную тягу.

Смесительная головка - литая, выполнена из стали. Она имеет три днища - плоское внутреннее, коническое среднее и полутороидальное наружное. К последнему с помощью конического переходника крепится узел карданного подвеса. Головка содержит 90 двухкомпонентных струйных коаксиальных форсунок типа "трубка в трубке", размещенных на пяти концентрических окружностях. Газообразный водород поступает в головку из тракта охлаждения корпуса и попадает в полость между средним и внутренним пористым днищами. Последнее выполнено из нескольких слоев спрессованной и спеченной стальной сетки. Большая часть водорода через кольцевые межтрубные щели в форсунках впрыскивается в камеру, а меньшая часть (около 10 %) "выпотевает", охлаждая внутреннее (огневое) днище. Жидкий кислород подводится через патрубок на наружном днище и поступает в камеру по внутренним трубкам форсунок. Крепление стальных трубок к огневому и среднему днищам осуществляется диффузионной пайкой.

ТНА двигателя - редукторный, с двумя параллельными валами. Он аналогичен ТНА американского ЖРД RL-10. Турбина - осевая двухступенчатая реактивная, с двумя лопаточными венцами на одном диске. Насос - шнекоцентробежный двухступенчатый, с осевым входом и двумя одинаковыми односторонними крыльчатками закрытого типа. На втором валу установлен одноступенчатый шнекоцентробежный насос кислорода с осевым входом и односторонней крыльчаткой закрытого типа. В конструкции насосов использованы алюминиевые сплавы. Валы, подшипники и шестерни редуктора стальные, большинство элементов турбины выполнено из жаростойких никелевых сплавов.

Питание ТНА обеспечивает охлаждаемый водородом двухкомпонентный газогенератор оболочечной паяно-сварной конструкции. Он вырабатывает восстановительный газ с температурой около 900K. Расход через газогенератор составляет около 1,8 % суммарного расхода топлива через двигатель. Отработавший на турбине газ поступает в теплообменник, где нагревает газообразный гелий для наддува бака окислителя РН и управления автоматикой ЖРД, а затем выбрасывается через неподвижное сопло, создавая тягу около 0,7 кН. Запуск двигателя - одноступенчатый, пиростартерный. Газы пиростартера, работающего около 1 с, раскручивают ТНА и воспламеняют компоненты топлива в газогенераторе. Воспламенение в камере также пиротехническое. Тяга ЖРД регулируется с помощью пневмоуправляемого редуктора окислителя, установленного в магистрали газогенератора. Управление расходом топлива в двигателе нет. Выключение - двухступенчатое, сначала газогенератора (с помощью пневмоуправляемых пуско-отсечных клапанов), затем камеры (с помощью аналогичных клапанов).

В 1988 г. для РН Ariane-4 был создан форсированный вариант данного ЖРД, получивший индекс НМ-7В. Он имеет увеличенное до 3,5 МПа давление в камере, большую степень расширения сопла, повышенную до 950K температуру в газогенераторе и ТНА увеличенной мощности. По экономичности данный вариант приближается к лучшим мировым образцам.

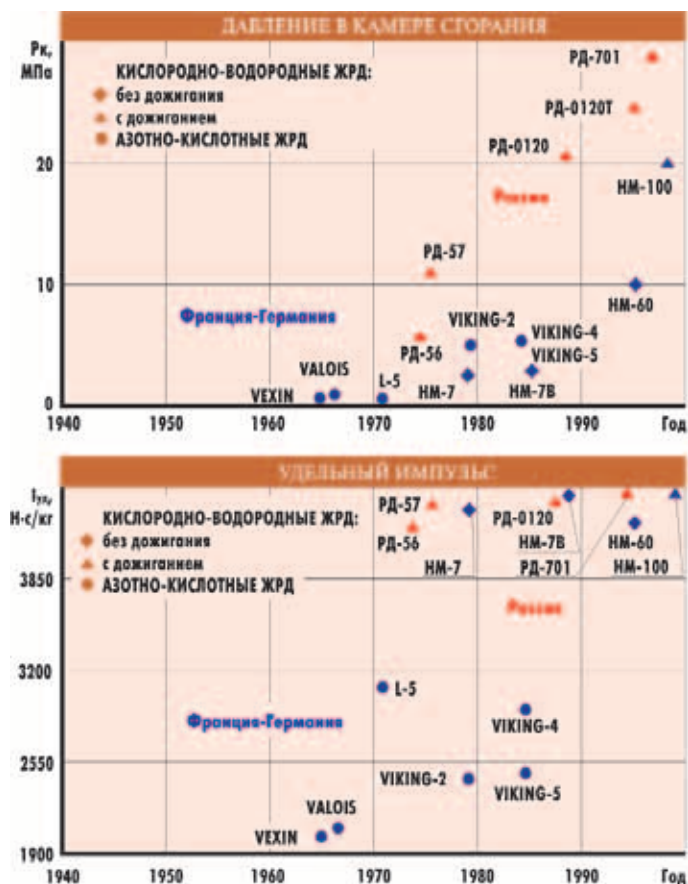
Вторым западноевропейским кислородно-водородным ЖРД, созданным концернами SEP и MBB, является мощный маршевый двигатель НМ-60 VULCAIN для первой ступени перспективной РН Ariane-5.

Однокамерный двигатель ЖРД НМ-60 открытой схемы имеет два автономных ТНА подачи кислорода и водорода (по типу американского ЖРД J-2). Оба ТНА приводятся во вращение восстанови-

### Характеристики западноевропейских кислородно-водородных ЖРД

Тип ЖРД	НМ-7	НМ-7В	НМ-60	НМ-100
Год создания	1979	1988	1995	1998
Фирма	SEP	SEP, MBB	SEP, MBB	SEP, MBB
Ракета-носитель	Ariane-1	Ariane-4	Ariane-5	Ariane-5
Тяга в пустоте, кН	60	63	1070	1220
Удельный импульс, Н·с/кг	4323	4442	4240	4450
Давление в камере, МПа	3,05	3,5	10	20
Расширение сопла	60	83	45	40
Мощность ТНА, кВт	420	485	3030(O <sub>2</sub> ), 11 900(H <sub>2</sub> )	14100(O <sub>2</sub> ), 35 200(H <sub>2</sub> )
Масса, кг	150	155	1450	1200
Время работы, с	545	725	500	550
Высота/диаметр, м	1,7/1,0	1,9/1,1	4,0/2,3	3,9/2,1





тельным газом, полученным в двухкомпонентном газогенераторе, работающем на основных компонентах топлива. При создании НМ-60 использованы многие решения, опробованные в двигателе НМ-7. Так, НМ-60 также установлен в карданном подвесе, обеспечивающем его отклонение в плоскостях тангажа и рыскания на углы до  $6^\circ$ , а управление по крену производится системой рулевых сопел на газообразном водороде, отбираемом после тракта охлаждения камеры.

Камера НМ-60 подобна камере НМ-7, хотя и работает при значительно большем давлении 10 МПа. Она состоит из трех узлов: блока литой смесительной головки с форсунками типа "трубка в трубке", блока двухстенного паяно-сварного корпуса (до степени расширения 5) и блока трубчатого сопла. Сопло охлаждается водородом, который затем сбрасывается в окружающее пространство. В отличие от НМ-7, в камере НМ-60 значительно увеличено число форсунок. Их 516 штук, причем 93 из них выдвинуты внутрь камеры и создают антипульсационные перегородки в виде кольца с пятью радиальными лучами (по аналогии с американским SSME). Форсунки периферийного ряда обеспечивают создание в камере пристеночного завесного слоя. Удельный тепловой поток в критическом сечении достигает  $60 \text{ МВт/м}^3$ , но максимальная температура внутренней стенки камеры в этом сечении не превышает  $680\text{K}$ .

Газогенератор НМ-60 двухзонный, с температурой в первой зоне около  $1500\text{K}$ , снижаемой затем до  $920\text{K}$  путем разбавления газа жидким водородом. Давление в газогенераторе 8 МПа, расход через него составляет около 3,5 % от суммарного расхода топлива через двигатель. Отрабатанный в ТНА газ выбрасывается через два неподвижных сопла, размещенных диаметрально противоположно около среза сопла камеры.

ТНА кислорода и водорода двигателя НМ-60 существенно отличаются по конструкции от соответствующих агрегатов НМ-7. Оба ТНА безредукторные. Первый из них - одновальный с одноступенчатой активной осевой турбиной и одноступенчатым шнекоцентробежным насосом кислорода. ТНА вращается с частотой около 70 об/с и обеспечивает на выходе давление кислорода 13,3 МПа. Подшипники ТНА кислорода - шариковые, сдвоенные. Их охлаждение и смазка производится перекачиваемым компонентом.

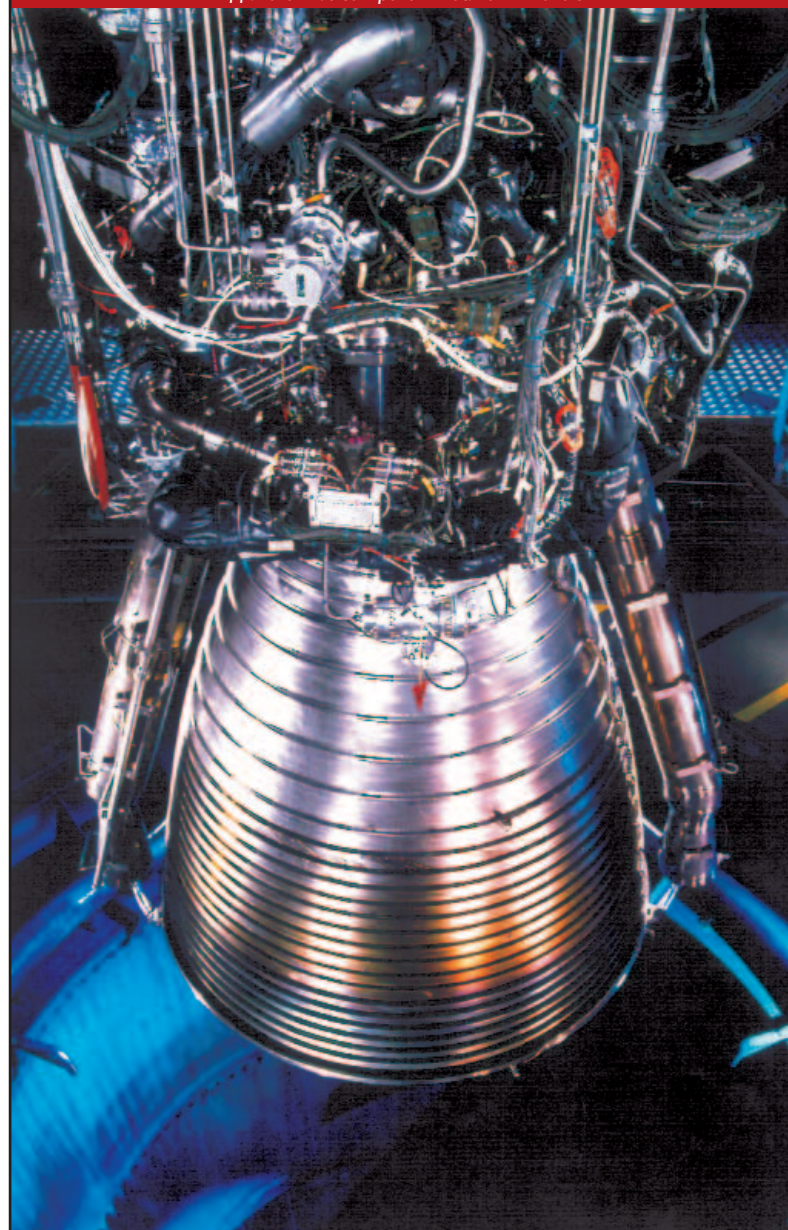
ТНА водорода - блочный двухвальный, с соосным расположением валов. На них расположены двухступенчатый шнекоцентробежный насос горючего и двухступенчатая активная осевая турбина. Насос имеет две односторонние крыльчатки закрытого типа. ТНА водорода вращается с частотой около 190 об/с и обеспечивает на выходе давление водорода около 16,4 МПа. В конструкции обоих ТНА широко применяются алюминевые, титановые и жаропрочные сплавы.

Запуск ЖРД НМ-60 одноступенчатый, с первоначальной раскруткой ТНА от порохового пиростартера. Зажигание в камере и газогенераторе - пиротехническое (средства электрического зажигания только разрабатываются). Регулирование тяги двигателя производится путем синхронного изменения подачи окислителя и горючего в газогенератор. Аппаратно оно осуществляется, наряду с пуском и отсечкой газогенератора, с помощью шаровых клапан-регуляторов. Одновременно для синхронизации опорожнения баков РН производится регулирование соотношения компонентов топлива с помощью газового дросселя, изменяющего распределение потоков газа между турбинами ТНА.

По своей конструкции ЖРД НМ-60 является современным кислородно-водородным ЖРД, обеспечивающим высокую надежность и значительный ресурс (до 7000 с при 20 включениях).

В 1998 г. концерны SEP и MBV приступили к разработке кислородно-водородного ЖРД НМ-100. Он имеет аналогичную американскому ЖРД SSME схему с дожиганием восстановительного водородного газа, который вырабатывается в двух одинаковых газогенераторах и обеспечивает привод двух автономных ТНА кислорода и водорода. ◀

Двигатель Vulcain ракеты-носителя Ariane 5



## ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ КАК ФУНКЦИЯ ТОЧНОСТИ.

### ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЕ СТАНКИ С ЛИНЕЙНЫМИ ПРИВОДАМИ УСТАНАВЛИВАЮТ НОВЫЕ СТАНДАРТЫ ЗЕРКАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

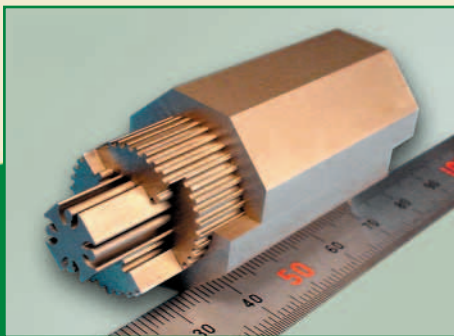
Что нужно для получения особо качественных зеркальных поверхностей в электроэрозионной вырезке? Прежде всего, качественный генератор с "зеркальными" импульсами и станок высокой точности, одной из важнейших составляющих которой является точность приводов. Для получения зеркальных поверхностей требуется несколько проходов, в ходе которых поверхность выглаживается шаг за шагом. Один и тот же контур обходится несколько раз по задаваемым "эквидистантам", и чем выше точность станка, тем меньше таких проходов требуется. Любая погрешность позиционирования, любое самое ничтожное отклонение

проволоки в ходе выхаживающих проходов приводит к браку.

На станках "СОДИК" всегда получались поверхности с шероховатостью значительно лучшей, чем на любых других станках. Высочайшее качество поверхности обеспечивали и обеспечивают по меньшей мере две исключительные особенности станков "СОДИК":

- уникальные "зеркальные" генераторы, гарантирующие малую шероховатость как при резании в масле, так и в воде;
- рабочая зона с несущими конструкциями из керамики с тепловым расширением, значительно меньшим, чем у гранита. ◀

**НОВАЯ УНИКАЛЬНАЯ ОСОБЕННОСТЬ ЭЭ СТАНКОВ "СОДИК" - ЛИНЕЙНЫЕ ПРИВОДЫ (ВПЕРВЫЕ В ОТРАСЛИ). С ВНЕДРЕНИЕМ ЗНАЧИТЕЛЬНО БОЛЕЕ ТОЧНЫХ УЛЬТРАМОМЕНТНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ПРИВОДОВ ЭЭ СТАНКИ "СОДИК" СТАЛИ ДАВАТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЕЩЕ БОЛЕЕ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА ЗА ЗНАЧИТЕЛЬНО МЕНЬШЕЕ ВРЕМЯ (И ЧИСЛО ПРОХОДОВ). ПРИ ЭТОМ, ЧЕМ СЛОЖНЕЕ КОНТУР, ТЕМ ОЧЕВИДНЕЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СТАНКОВ С ЛИНЕЙНЫМИ ПРИВОДАМИ, ЧТО НАГЛЯДНО ИЛЛЮСТРИРУЮТ ПРИВЕДЕННЫЕ НИЖЕ ПРИМЕРЫ ОБРАБОТКИ.**



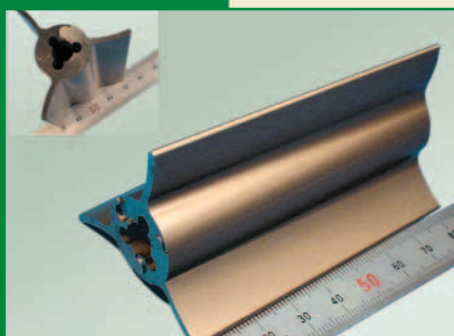
#### Погружное резание в воде. Тестовая комбинация пуансонов. Шероховатость 8-го класса всего за два прохода!!!

Модель ЭЭ станка	AQ325L LN1W
Число проходов	2
Материал	сталь SKD11 (аналог X12M)
Толщина заготовки	40 мм
Диаметр проволоки	0,2 мм
Тип проволоки	KHW-20TH (латунная, производства KHS)
Общее время обработки	7 ч
пуансон № 1 (1 шт.)	1 ч
пуансон № 2 (4 шт.)	3 ч 20 мин
пуансон № 3 (2 шт.)	2 ч 40 мин
Точность обработки:	±0,003мм
Шероховатость:	3,19 mmRy (0,47 μmRa / C класс 8)



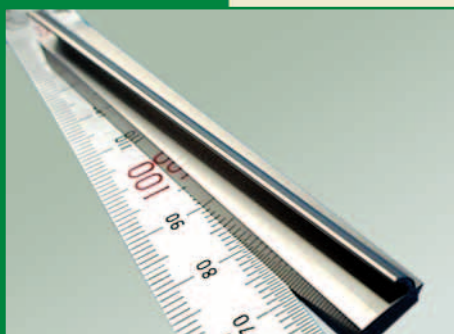
#### Погружное резание в масле. Зеркальная вырезка матрицы и пуансона из карбида вольфрама. Сложный контур с ребрами толщиной 0,3 мм. Шероховатость 12-го класса!!!

Модель ЭЭ станка	AP200L
Число проходов	10
Материал	карбид вольфрама G5
Толщина заготовки	20 мм
Диаметр проволоки	0,1 мм
Тип проволоки	KHW (латунная)
Общее время обработки	7 ч 40 мин (каждая из частей)
Точность обработки:	±0,001мм
Шероховатость:	0,28mmRy (прим. 0,035 mmRa / C класс 12)



#### Погружное резание в воде. Тестовая комбинация пуансонов в форме лопасти из сопрягаемых частей. Шероховатость 9-10 класса.

Модель ЭЭ станка	AQ550L LN1W
Число проходов	4
Материал	сталь SKD11 (аналог X12M)
Толщина заготовки	80 мм
Диаметр проволоки	0,25 мм
Тип проволоки:	KHW-20TH (латунная, производства KHS)
Время обработки:	5 ч 20 мин
Точность обработки:	-0,002 мм, +0,001 мм
Шероховатость:	1,36mmRy (0,15-0,16mmRa / C класс 9-10)



#### Погружное резание в масле. Зеркальная конусная вырезка пуансона в форме лопасти.

Модель ЭЭ станка	AP200L
Число проходов	16
Материал	SKD11 (X12M)
Толщина заготовки	80 мм
Диаметр проволоки	0,2 мм
Тип проволоки	H-BZS (латунь, производство HITACHI)
Общее время обработки	10 ч 12 мин
Точность обработки	±0,001мм
Шероховатость	0,4 mmRy (0,052 mmRa / C класс 11)

# Sodick

## "ФОРМУЛА—1"

### В ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

КОМПАНИЯ "СОДИК" –  
ПЕРВЫЙ И ЕДИНСТВЕННЫЙ В ОТРАСЛИ  
ИЗГОТОВИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ  
СТАНКОВ С ЛИНЕЙНЫМИ  
СЕРВОПРИВОДАМИ



линейные  
сервоприводы –  
будущее станкостроения!

# Будьте первыми!

#### Конструкция станков с линейными двигателями



Конусный механизм с  
линейными двигателями  
по U/V станка AQ800LF



Измерительная  
линейка SONY  
(дискретность 0,1 мкм)



Статор линейного  
двигателя оси X



Измерительная  
линейка двигателя оси Y  
станка AQ325L

Статор линейного  
двигателя оси X

Измерительная  
линейка фирмы SONY

#### Координатно-прошивочная ЭЭ обработка

Один "линейный"  
ЭЭ станок вместо  
двух станков с  
обычными приводами



#### Проволочно-вырезная ЭЭ обработка

Поверхность 7-го класса  
шероховатости всего за  
два прохода вместо трех!  
Поверхность 9-го класса  
шероховатости за три  
прохода вместо  
четырёх-пяти!

**Высочайшая точность!**



#### ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО ИЗ ЯПОНИИ

Прошивочные и вырезные ЭЭ установки SODICK с высокоточными и динамичными линейными сервоприводами, ЭЭ "супердрели". ГАРАНТИЯ - 2 ГОДА. Поставка со складов в Гамбурге или в Москве (за рубли) в течение 2 - 3 недель. Организация лизинга.

Представительство в Москве:

Тел.: (095) 725-3603, 214-9801.

Факс: 214-1842.

E-mail: [sodicom@sodick-euro.ru](mailto:sodicom@sodick-euro.ru)

[www.sodick-euro.ru](http://www.sodick-euro.ru)

Технический центр: (095) 964-2598



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ  
ЦЕНТР МОСКОВСКОЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРЕДПРИЯТИЕ "САЛЮТ"

### **Производим:**

авиационные газотурбинные  
двигатели разного назначения;

стационарные  
газоперекачивающие  
установки;

стационарные  
энергетические установки и  
узлы к ним;

товары народного потребления  
и гражданскую продукцию;

мусоросжигающие заводы;

### **Проектируем:**

энергетические и  
газоперекачивающие  
установки;

модернизированные  
газотурбинные двигатели;

### **Поставляем:**

конверсионный вариант  
мирового уровня  
высокоэффективного  
двигателя 3 поколения для:

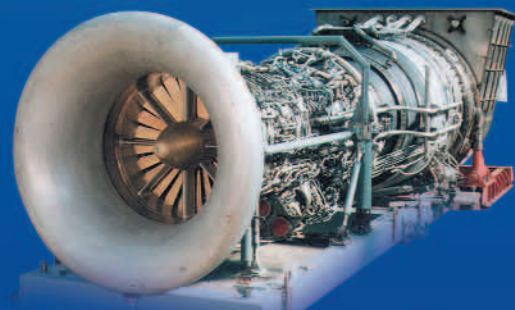
энергетических систем  
энергоёмких промышленных  
предприятий;

электрических и тепловых  
систем любого регионального  
уровня;

систем магистральной  
транспортировки жидкостей и  
газов.



Свободная турбина



ГТУ89-СТ-20

# НАШИ ДВИГАТЕЛИ—ЭТО КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ



Россия, 105118, Москва, пр-т Буденного, 16  
тел.: +7 (095) 369-8001, факс: +7 (095) 365-4006  
[www.salut.ru](http://www.salut.ru)