

№6 (6) ноябрь–декабрь 1999

# Двигатель

Научно–технический журнал



В 1824 г.  
на железной дороге появился паровоз.  
Ровно через сто лет  
- локомотив нового типа - тепловоз



## Даймлер-Крайслер

Уважаемые коллеги,

с российскими партнерами мы успешно сотрудничаем еще с 1882 года.

В интересах:

- подготовки инновационных технологий будущего
- повышения качества изделий, удобства их использования и обслуживания
- снижения производственных и эксплуатационных расходов
- экологического совершенства продукции
- доведение совместных разработок до серийного производства

Московское технологическое бюро концерна Даймлер-Крайслер приглашает Вас к обсуждению и разработке совместных проектов. Мы знаем себе цену, поэтому уважаем своих партнеров: авторские права полностью сохраняются.

Даймлер-Крайслер АГ  
Research and Technology Office Moscow  
Большая Ордынка, 40  
109017, Москва

Тел. +7(095) 797 5372  
Факс. +7(095) 797 5373  
E-mail: [Thomas.gaertig@rtom.ru](mailto:Thomas.gaertig@rtom.ru)



*В XXI век - с новыми идеями  
и взаимоотношениями*



# *"Двигатели - 2000"*

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

с 18 по 22 апреля 2000 г. в павильоне №20 ВВЦ

Ожидается участие более 360 фирм из России и зарубежных стран

В рамках выставки 19-20 апреля  
научно-технические симпозиумы:

**"История двигателей в XX веке"**  
**"Двигатель и экология"**

**ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ И СИМПОЗИУМОВ - АССАД  
- АССОЦИАЦИЯ "СОЮЗ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ"**

105118, Москва, проспект Буденного, 19, АССАД тел./факс: (095) 366-09-16, 366-45-88

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА "ДВИГАТЕЛЬ"

**Абрамов Г.А.,**

директор Российского Речного Регистра

**Анисин Д.Д.,**

зам. руководителя Департамента мореплавания Минтранспорта РФ

**Высоцкий М.С.,**

директор Научного центра проблем механики машин НАН Республики Беларусь

**Галко В.Г.,**

первый зам. министра промышленности Республики Беларусь

**Глухих В.К.,**

председатель Совета директоров ОАО "Рыбинские моторы"

**Грибакин В.И.,**

ген. директор Внешнеэкономического АО "Интерпрофавиа"

**Гриценко Е.А.,**

ген. конструктор СНТК им. Н.Д. Кузнецова, Самара

**Данилов О.М.,**

ген. директор ЗАО "Центральная компания МФПГ "БелРусАвто", Москва

**Долецкий В.А.,**

президент АО "Русские моторы", Ярославль

**Зазулов В.И.,**

гл. конструктор ОКБ "ЭГА", Москва

**Каблов Е.Н.,**

директор ГНЦ ВИАМ

**Клименко В.Р.,**

гл. инженер ОАО "Аэрофлот – РМА"

**Книвель А.Я.,**

руководитель Департамента авиационной промышленности Минэкономики РФ

**Коржов М.А.,**

гл. конструктор двигателей ОАО "АвтоВАЗ", Тольятти

**Крымов В.В.,**

гл. инженер ФНПЦ ММП "Салют", Москва

**Кузнецов А.Н.,**

начальник Управления средств выведения и наземной космической инфраструктуры РАКА

**Кутенев В.Ф.,**

ген. директор ГНЦ НАМИ

**Леонтьев Н.И.,**

ген. конструктор, ген. директор КБХМ им. А.М. Исаева

**Муравченко Ф.М.,**

ген. конструктор МКБ "Прогресс", Запорожье

**Мышелов Е.П.,**

декан фак. № 2 МАИ, ректор Международного инженерного университета

**Новиков А.С.,**

технический директор, ген. конструктор ОАО "Рыбинские моторы"

**Романов В.И.,**

ген. директор НПП "Машпроект" им. С.Д. Колосова", Николаев

**Симонов К.М.,**

начальник Департамента локомотивного хозяйства МПС РФ

**Скибин В.А.,**

директор ГНЦ ЦИАМ им. П.И. Баранова

**Степанков В.Г.,**

председатель Совета директоров ОАО "Пермский моторный завод"

**Троицкий Н.И.,**

директор НИИ двигателей

**Чепкин В.М.,**

ген. конструктор ОАО "А. Лялька-Сатурн"

**Чуйко В.М.,**

президент Ассоциации "Союз авиационного двигателестроения"

**Шапошников Е.И.,**

советник Президента РФ по авиации и космонавтике

## 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,

Алексей Межуев

**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, Томаса Гэртига

Александра Медведа,

Владимира Романова

**Адрес редакции журнала "Двигатель":**

111250, Россия, Москва,

ул. Авиамоторная, 2

Тел.: (095) 362-39-25

Факс: (095) 362-39-25

E-mail: engine@ilm.net

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

Рег. № 018414 от 11.01.1999 г.

Отпечатано на фабрике офсетной печати  
г. Москва

Тираж 5000 экз.

Цена свободная

## СОДЕРЖАНИЕ

### **4 Дизели для транспорта (и не только)**

Е. Никитин

### **8 По магистральному пути**

В. Смольский

### **10 Главный конструктор ракетных двигателей**

В. Рахманин

### **12 Газофазные ядерные двигатели для космических аппаратов**

Г. Лиознов

### **15 Что делать? (чтобы обеспечить ЕВРО-2)**

И. Хамидуллин, Д. Валеев, Н. Гатауллин,  
Е. Борисенков, Р. Хафизов, Н. Исхаков,  
В. Зеленин, С. Кучев, Л. Горюнов, С. Ниязов

### **18 Звезда "Мерседес"**

Т. Гэртиг

### **22 В-2: путь в серию**

В. Березкин

### **26 ГТУ — основа будущей энергетики России**

О. Фаворский

### **30 Математическое моделирование — ключ к созданию двигателей**

В. Скибин, А. Крайко, Б. Блинник, И. Браилко,  
М. Иванов, В. Копченков, В. Макаров,  
А. Секундов, Ю. Темис

### **32 "Дайте мне точку опоры..."**

Л. Франкштейн

### **34 Первый турбовальный**

П. Изотов, Д. Изотов

### **37 Доктор Ганс фон Охайн и его рычащие творения**

Н. Александров

### **43 Сердце истребителя**

Д. Хазанов

### **47 О паровозной логике**

В. Смольский



# ДИЗЕЛИ (и не только)

## ДЛЯ ТРАНСПОРТА

**Евгений Никитин,**

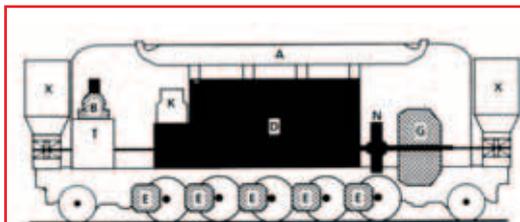
главный конструктор по машиностроению ОАО "Коломенский завод", д.т.н., профессор

*В 1924 г. мир отметил столетие применения на железной дороге первого паровоза конструкции английского инженера Джорджа Стефенсона. Менее известно, что в ноябре того юбилейного года на железной дороге появился локомотив нового типа - тепловоз. Идея его создания была высказана еще до Первой мировой войны и принадлежит российским инженерам и ученым. По проектам Ю<sup>3</sup>001 инженера-механика Ю.В. Ломоносова и Ю<sup>3</sup>002 инженера-электрика Я.М. Таккеля были построены два первых в мире поездных тепловоза. После проведенных испытаний с 4 февраля 1925 г. началась регулярная эксплуатация одного из них - тепловоза Э<sup>3</sup>Л2 (Ю<sup>3</sup>001).*

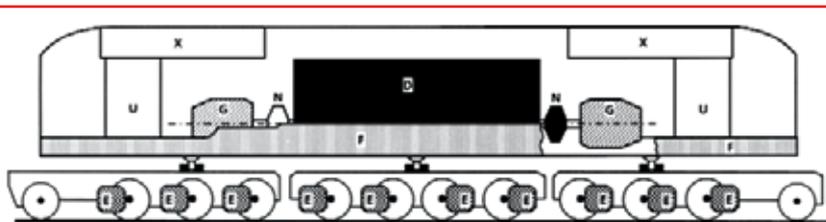
Прошедшие после этого 75 лет можно разделить на три заметных, отличающихся друг от друга периода.

Первые 30 лет - время научного поиска, отработки конструкций, накопления производственного опыта. Следующие 35 лет, начиная с 1955 г., - рост тепловозостроительного производства и

Началось все с изготовления мостов, затем вагонов, паровозов и пароходов, а с 1903 г. - двигателей Дизеля. Конструкторы созданного в 1902 г. отдела "тепловых двигателей дизеля и насосов" разработали конструкции одно-, двух-, четырех- и шестицилиндровых двигателей мощностью от 10 до 750 л.с. Коломенские



1. Проектный эскиз тепловоза Ю<sup>3</sup>001



2. Проектный эскиз тепловоза Ю<sup>3</sup>002

широкое распространение тепловозной тяги на железных дорогах СССР. Последний период (с 1990 г.) непосредственно связан с известными изменениями в политике и экономике страны и возникшими в связи с этим трудностями и проблемами.

Тем не менее, многим заводам после реструктуризации производства удалось сохранить научно-технический и производственный потенциал, обновить номенклатуру выпускаемой продукции. Однако достичь этого смогли только те предприятия, которые имели давние традиции и богатый опыт создания железнодорожной техники. К ним относится и Коломенский завод, основанный еще в 1863 г. инженерами братьями Струве.

дизели, отличавшиеся удачной конструкцией и качеством исполнения, пользовались широким спросом в промышленности и транспорте. К 1917 г. суммарная мощность дизелей, выпущенных заводом, составила свыше 125 тыс. л.с.

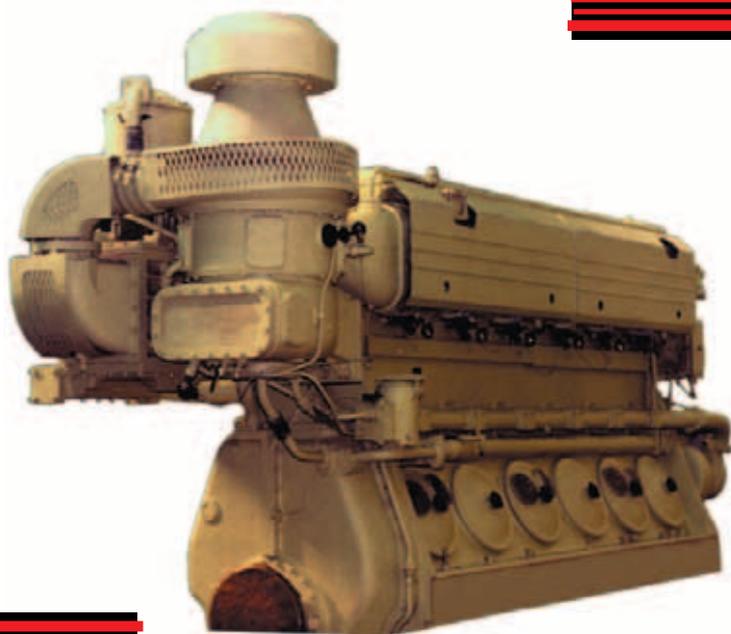
В 1930 г. завод впервые в стране применил на двигателях ЧН30/38 систему газотурбинного наддува, повысившую мощность на 25 %. Двигатели этого семейства широко использовались в ВМФ.

Заметной вехой в развитии судового дизелестроения на заводе явилось создание и передача в серийное производство в 1950 г. двухтактного дизеля 37Д (ДН39/45) с прямоточно-клапанной продувкой, определившего развитие целого поколения кораблей ВМФ.

В 50-е гг. была завершена прерванная войной доводка двухтактного V-образного реверсивного дизеля 30Д (12УДН23/30) мощностью 2000 л.с., по многим параметрам превосходившего лучшие зарубежные образцы аналогичного класса.

На базе конструкции этого дизеля были разработаны и запущены в серийное производство судовые дизели 40Д с газотурбинным наддувом, а также тепловозные дизель-генераторы 14ДГ (12УДН23/30) мощностью 2000 л.с. и 11Д45 (16УДН23/30) мощностью 3000 л.с., устанавливавшиеся на тепловозах М62 и ТЭП-60. Почти 12 тыс. дизелей этого типа изготовлено заводом.

Расширение диапазона мощностей рядов и необходимость удовлетворения специфических требований различных потребителей должны были быть увязаны с возможностями организации современного крупносерийного производства. Важная проблема при этом - создание максимально агрегатированной конструкции двигателя, что позволяет организовать высокооснащенное специализированное производство узлов двигателя как на базовом предприятии, так и на заводах-смежниках. Цель агрегатирования — создание таких конструкций узлов, которые, будучи изготовлены, протестированы и испытаны до общей сборки двигателя, не нуждаются в дополнительных проверках и подгонках при об-





щей сборке.

Оптимальное агрегирование и модульность дают большие преимущества и потребителю, так как сокращают время сборки и позволяют организовать у него специализированные участки ремонта, что прямо влияет на качество и производительность труда.

Удачное решение компоновочных проблем двигателей Коломенского завода позволяет на длительное время сохранить преимущество и развитие технологического обеспечения производства двигателей, обстоятельно изучить вопросы прочности и надежности, а высокая модульность конструкции - разместить все вспомогательное оборудование, обслуживающее дизель, на силовом дизельном агрегате.

Значительное внимание уделено вопросам подбора материалов, покрытий и химико-термической обработки. Для втулок цилиндров и поршневых колец на заводе созданы специальные марки чугунов, отличающихся высокими антифрикционными и прочностными свойствами в рабочих условиях. Крышки цилиндров на заводе (одном из первых в стране) отливаются из высококачественного легированного чугуна с глобулярным графитом собственного химического состава.

Используются почти все современные методы химико-термической обработки и покрытий для обеспечения износостойкости и высоких ресурсных показателей. Коленчатые валы азотируются, а галтели их накатываются. В коренных и шатунных подшипниках применяется трехкомпонентное покрытие (Pb, Sn, Cu) с подслоем Ni. Для антифрикционного покрытия тронков поршней отработана специальная технология нанесения дисульфида молибдена.

Приведенные примеры лишь раз подчеркивают огромное влияние технологической подготовки и оснащенности производства на качество и долговечность двигателей. Оптимальное сочетание возможностей конструкции и технологии - главное требование создания работоспособной конструкции.

Поузловая доводка - необходимое условие создания работоспособной конструкции форсированного двигателя в целом. С этой целью на заводе был создан комплекс лабораторий, оснащенных специальными стендами для снятия характеристик, оценки долговечности и прочности узлов. Благодаря принципам агрегирования, заложенным в конструкцию дизелей, практически любой его узел может быть подвергнут испытаниям на безмоторном стенде. Созданы специальные программы, позволяющие с имитацией реальных условий работы оценить необходимые параметры, надежность и долговечность узлов при ускоренных в 5...10 раз по времени испытаниях. Таким испытаниям подвергаются все основные узлы двигателя.

Опыт показывает, что поузловые испытания с необходимой имитацией и разделением рабочих нагрузок часто являются един-

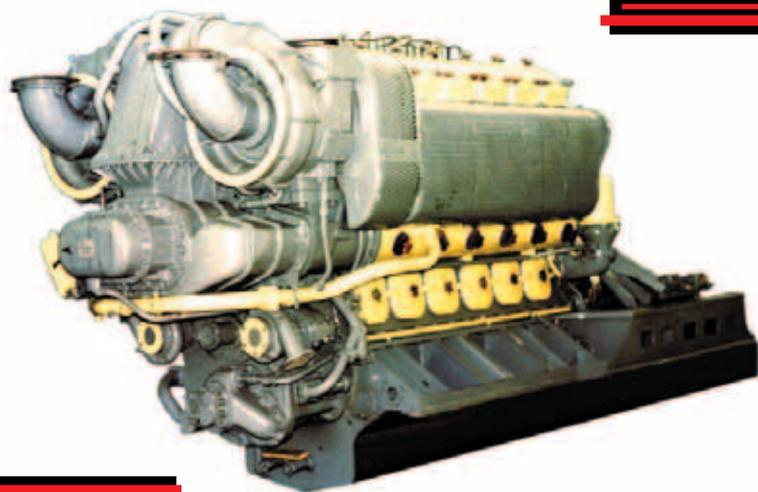
ственным способом для подробной оценки характеристик и доводки узла.

Характерными примерами являются методы испытания блоков с помощью силовых цилиндров, нагружаемых от гидропульсаторов, и испытания коленчатых валов на гидропульсационной установке. При этом величина перегрузки выбирается исходя из необходимости обеспечения требуемого запаса прочности.

Применявшийся ранее заключительный этап создания двигателя основывался на длительных стендовых испытаниях полноразмерной модели.

В связи со значительным увеличением ресурсов, в том числе и до первой переборки, ростом стоимости ГСМ и обслуживания, начали разрабатываться методы ускоренных испытаний, которые в настоящее время достаточно широко используются в дизелестроении. Однако анализ известных отечественных и зарубежных программ таких испытаний показал, что для транспортных форсированных двигателей указанные программы не могут быть использованы без серьезного риска заказчика из-за неполноценности режимов испытаний.





Типовые программы ускоренных испытаний включают:

- 1 - проверку долговечности деталей и узлов
  - на термическую и механическую прочность;
  - на износ;
- 2 - проверку безопасности испытуемого образца двигателя, включая его экологические характеристики;
- 3 - проверку стабильности параметров и характеристик двигателя, его штатных агрегатов, механизмов и устройств на период работы до первой переборки;
- 4 - оценку срока службы масла.

Продолжительность каждого испытания определяется характером проверки. Например, термоусталостные разрушения связаны с накоплением остаточных напряжений при циклах "нагрев - охлаждение" деталей камеры сгорания. Величины остаточных напряжений зависят от максимального уровня и перепада температур, количества теплосмен. При проверке на термоусталость создается максимальное количество теплосмен, равное их числу при работе двигателя в условиях эксплуатации, с учётом коэффициента запаса на возможные отклонения. Оценка ресурса деталей проводится по заводской методике по уровню остаточных напряжений в деталях.

Усталостная прочность проверяется выработкой базового количества циклов, необходимого для оценки долговечности по условиям механических нагрузений. При этом учитывается, что реально детали двигателя работают в сочетании механических и термических нагрузок, воздействия агрессивных сред и увеличивающихся зазоров, что меняет характер нагружения и приводит к уменьшению количества циклов нагружения до появления повреждений при отсутствии достаточных запасов прочности. Анализ статистических данных, полученных при эксплуатации двигателей, позволяет разделить дефекты на конструкторские, технологические и эксплуатационные и правильно выбрать базовое число циклов нагружений.

Проверка деталей двигателя на износ и оценка срока службы до предельного износа заключается в нахождении коэффициента эквивалентности износа при ускоренных испытаниях и при работе на эксплуатационных режимах, что определяется сравнением скоростей поступления характерных изнашиваемых металлов в масло.

Важным требованием программы ускоренных испытаний транспортные дизели является впервые введенная оценка срока службы масла. Специальная методика позволяет определить скорость и глубину окисления масла и выбрать величину коэффициента эквивалентности ускоренной проверки сроков службы масла. Надо отметить, что ранее этому вопросу при выборе программ ускоренных испытаний обычно не придавалось серьезного значения.

Ускоренные испытания осуществляются с помощью многоуровневых систем, в которых для управления режимами работы объекта и систем стенда, а также для регистрации, накопления, обработки и оформления результатов испытаний используются

управляющие вычислительные комплексы на базе ЭВМ. Следует отметить, что первый автоматизированный стенд для ускоренных испытаний тепловозных дизель-генераторов мощностью до 4000 л.с. был создан на Коломенском заводе в 1972 г.

Эта методика была разработана и проверена при доводке форсированных дизелей семейств 30/38 и 26/26. Она позволила в 4...6 раз сократить продолжительность испытаний на срок до первой переборки и получить полную характеристику двигателя по надежности и ресурсу без риска для заказчика. В настоящее время методика согласована со всеми потребителями коломенских дизелей.

Сегодня заводом выпускаются дизели двух мощностных рядов: типа 26/26 (Д49) и 30/38 (Д42).

Дизели Д49 - четырехтактные с газотурбинным наддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха. Диаметр цилиндра и ход поршня 260 мм, число оборотов 750...1000 об/мин.

В рядном исполнении выпускаются 4- и 6-цилиндровые двигатели, а в V-образном - 8-, 12-, 16- и 20-цилиндровые.

Двигатели могут быть оборудованы для работы по газодизельному циклу или для работы на газе.

#### ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЕЙ И ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ Д49

Диапазон мощности, кВт	360...5000
Расход топлива (при условиях ISO 3041/1), г/кВт·ч	178...185
Расход масла на полной мощности, г/кВт·ч	1,0
Среднее эффективное давление, бар	≤22,9
Ресурс до первой переборки (в зависимости от режимов работы), тыс. ч	12...25
Ресурс до капитального ремонта, тыс. ч	64...100

Примечание: экологические показатели соответствуют требованиям европейских норм цикла F (ISO 8178-4).

Конструкция двигателей является патентно чистой в отношении ведущих зарубежных стран - производителей дизелей. Сертифицированы 13 моделей дизелей и дизель-генераторов ЧН 26/26. Эти дизели используются в тепловозостроении, на карьерных автосамосвалах большой грузоподъемности, стационарных и морских буровых установках, передвижных и блочно-транспортных электростанциях, судовых дизель-генераторах и др.

Заводом освоено производство блочно-транспортных электростанций, работающих по дизельному циклу мощностью от 315 до 4000 кВт, и по газодизельному циклу мощностью 1000 и 1500 кВт.

Из 12 тысяч дизелей Д49, выпущенных заводом, более 20 % поставлено на экспорт. Они хорошо зарекомендовали себя во Франции, Египте, Сирии, Пакистане, Иране, Германии и ряде других стран. Коломенский завод выиграл тендер на поставку Германии своих дизелей: в сравнительных испытаниях на однотипных тепловозах 232-й серии немецких железных дорог с дизелями Коломенского завода 1-26ДГМ и дизелями M232 MAK KRUPP (Германия) и CAT 3608 Caterpillar (США) дизели Д49 показали свои преимущества по экономичности, надежности и экологическим характеристикам.

В связи с тем, что тепловозный парк МПС РФ насчитывает значительное число магистральных грузовых тепловозов ТЭ10 и М62, а также чешских маневровых тепловозов ЧМЭЗ, дизели которых морально и физически устарели, не соответствуют современным требованиям и, вследствие выработки ресурса, подлежат замене, ОАО ХК "Коломенский завод" и Всероссийским научно-исследовательским институтом тепловозов и путевых машин (ГУП ВНИТИ МПС РФ) разработаны и осуществлены проекты модернизации тепловозов указанных типов.

В основу проектов положена замена дизелей устаревшей конструкции на сертифицированные современные четырехтактные дизели типа Д49 Коломенского завода с сохранением главного генератора, электро- и вспомогательного оборудования. При этом решаются основные задачи: продление срока службы тепловозов на 15-20 лет и снижение стоимости их жизненного цикла.

Межведомственные испытания и эксплуатация модернизированных тепловозов показали, что при сохранении их основных параметров - мощности, конструкционной скорости и касательной

силы тяги длительного режима:

- эксплуатационный расход топлива снижен на 10...20 %;
- расход моторного масла снижен в 2...3 раза;
- межремонтные сроки увеличены в 1,5 раза;
- улучшены экологические показатели.

Тем не менее, продолжается работа над двигателем Д49, направленная на:

- увеличение цилиндровой мощности до 260 кВт;
- улучшение топливной экономичности до 3 % в широком диапазоне эксплуатационных режимов;
- снижение расхода масла на угар на 15...20 %;
- оборудование дизелей системами электронного управления и топливоподдачи.

Что касается четырехтактных дизелей ЧН 30/38 в рядном исполнении, то они изначально создавались для нужд судостроения и удовлетворяют требованиям, предъявляемым к двигателям данного назначения. Двигатели неоднократно модернизировались и в настоящее время характеризуются высокой надежностью и износостойкостью деталей и сборочных единиц. Достигнуто это азотированием коленчатых валов и втулок цилиндров, хромированием поршневых колец, покрытием тронков поршней дисульфидом молибдена, трехкомпонентным покрытием тонкостенных вкладышей шатунных и коренных подшипников и многим другим. Конструкция этого двигателя также проверена на патентную чистоту.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЕЙ И ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ Д42			
Параметр	Количество цилиндров		
	4	6	8
Мощность, кВт	450...1450	800...2170	3150...2800
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	300...750		
Расход топлива (в условиях ISO 3046/1), г/кВт·ч	178...185		
Расход моторного масла, г/кВт·ч	1		
Среднее эффективное давление, бар	<=23,4		
Ресурс до первой переборки, ч	15 000		
Ресурс до капитального ремонта, ч	75 000		

ОАО ХК "Коломенский завод" получена "Лицензия на разработку и производство судовых дизелей и дизель-генераторов для кораблей военно-морского флота" а также "Свидетельство о признании" Российского Речного Регистра. Коломенский завод является крупнейшим в России производителем среднеоборотных дизелей - к 2000 г. заводом выпущено свыше 37 тысяч дизелей и дизель-генераторов суммарной мощностью около 80 миллионов лошадиных сил. Служба сервиса ОАО ХК "Коломенский завод" действует как в пределах России, так и в ближнем и дальнем зарубежье. Необходимо отметить, что

**DIGEST**

A marked milestone in the progress of ship diesels at Kolomna Manufacturing Facility was the development in 1950 and putting into series production a two-stroke diesel engine dubbed as 37D (DN39/45). The development of 2000-h.p. two-stroke V-type reversible engine dubbed as 30D (12VDN23/30) was completed in 1950s because of a delay caused by World War II. Based on this engine design, 40D ship diesels with turbosupercharging as well as 2000-h.p. 14D (12VDN23/30) and 3000-h.p. 11D45 (16VDN23/30) diesels installed on M62 and TEP-60 locomotives were developed and put into commercial production. Almost 12,000 diesels of this type were manufactured by the company.

The thoroughly studied and carefully developed configuration of Kolomna diesels helps to keep continuity; it is a contributing factor in progress of diesel technologies and makes possible to study extensively such problems as reliability and strength; the modular structure of the diesels facilitates mounting of all accessories to the diesel-generator set.

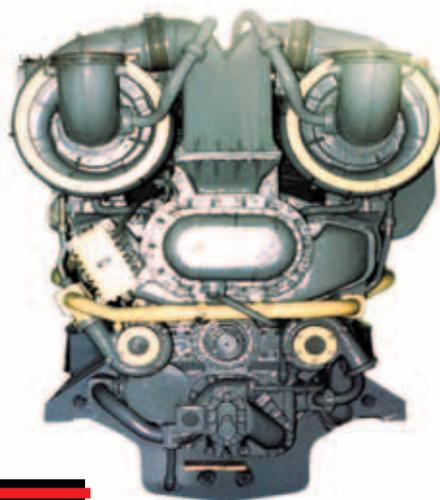
Much attention is paid to a choice of materials, coatings and chemical-heat treatment. Special cast irons were developed for cylinder bushings and piston rings distinguished by high antifriction and strength properties under operating conditions. The company was among the first to cast high-quality cylinder covers from alloy irons containing globular graphite. Almost all up-to-date methods of chemical heat treatment and coatings are used at the company and guarantee high wear-resistance and service life of components, e.g. crankshafts are nitrided and their bearing fillets are work-hardened. Pb-Sn-Cu coatings with Ni-sublayer are used in main and crankpin bearings. A special technology of MoS2 deposition was developed to make antifriction coatings on piston trunks.

The detailed test development of every component is a necessary condition for good operation of the engine as a whole. A laboratory complex was built for this purpose. This complex is equipped with test rigs for measurements of characteristics, assessment of service life and strength of components. Owing to a modular structure of diesel engines, any sub-assembly unit can be tested separately. Engineers developed special softwares simulating actual operating conditions and making possible to estimate required parameters, reliability and service life by shortcut test methods (5-10 times lesser). All main engine components are subjected to these tests.

Nowadays, diesels of 2 power classes are manufactured by the company - the D49 and the D42.

The D49 is a four-cycle turbosupercharged diesel with interim air cooling. 4- and 6- cylinder in-line diesels and 8-, 12-, 16-, and 20- cylinder V-type diesels are produced by the Company.

Initially the D42 - a four-cycle in line diesel - was specially designed for the shipbuilding. The engine has passed several modifications and today is characterized by high reliability and wear resistance of components and sub-assembly units. The advances have come about through nitriding of crankshafts and cylinder bushings, chrome-plating of piston rings, MoS2-coating of piston trunks, Pb-Sn-Cu coating of thin-shell crankpin and main bearings, etc.



ожидаемый в 2000 г. рост речных грузовых перевозок приведет к необходимости модернизации существующих судов и постройке новых. В любом случае без современных дизельных двигателей не обойтись.

Что касается железных дорог России, то подготовлен проект федеральной программы "Разработка и производство в России грузового подвижного состава нового поколения", предусматривающий создание в 2003-2005 гг. тепловозов третьего поколения.

Эти тепловозы будут оснащаться высокоэкономичными четырехтактными дизелями с электронным регулятором частоты вращения и впоследствии (по мере доработки) с электронным управлением впрыска топлива. Предусматривается использование микропроцессорных систем поосного регулирования силы тяги, электрического торможения и вспомогательных нужд.

МПС России выдало ОАО "Коломенский завод" техническое задание на разработку такого пассажирского тепловоза мощностью 3309 кВт (4500 л.с.), и готовятся технические требования на постройку таких грузовых тепловозов в ОАО "Брянский машиностроительный завод".

Работы по совершенствованию тепловозов продолжаются, и тепловозная тяга на железных дорогах еще долго будет обеспечивать перевозку грузов и пассажиров.

**ДИЗЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ТРАНСПОРТА (НО НЕ ТОЛЬКО ДЛЯ НЕГО)**

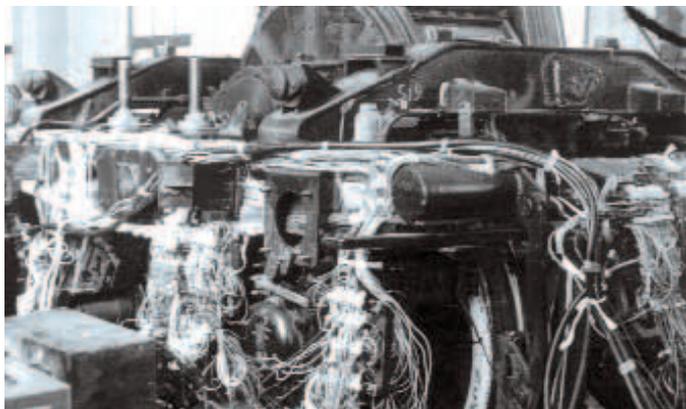
# ПО МАГИСТРАЛЬНОМУ ПУТИ



**Виталий Смольский,**  
ведущий инженер ЦИАМ

*Увеличение энергетических мощностей во всем мире послужили основой для массовой электрификации железных дорог, а необходимость водить как пассажирские, так и тяжеловесные составы с большими скоростями в свою очередь потребовало использования новых более мощных и скоростных электровозов. В середине 50-х годов двумя французскими электровозами - СС7107 и ВВ9004 - был установлен рекорд скорости в 331 км/ч. Весь мир приступил к проектированию новых локомотивов.*

На первых электровозах долгое время господствовал принцип "мотор - колеса". При этом минимизируется трансмиссия от двигателя до движителя (колес), что удешевляет проектирование привода, упрощает его конструкцию, облегчает обслуживание. Именно так спроектированы все моторные вагоны метро и электричек. Для оптимизации нагрузки по осям приходилось иметь столько двигателей, сколько пар приводных колес у электровоза, при этом мощность мотора определяется его размерами, которые лимитированы диаметром колеса локомотива. Кроме того, все толчки и удары от неровности пути непосредственно передаются на сильно нагруженные двигатели.



Одномоторная двухосная тележка разработки ВНИИЭМ на испытательном стенде

Переход на одномоторный привод в локомотивах, по сути, - возврат на уровне электрической тяги к принципу единого привода на несколько пар колес, применявшегося на всех паровозах. В последних общий шатун объединял ведущие колеса (от двух до четырех пар), вследствие чего они работали синхронно. Движители, выполненные с единым приводом, наиболее компактны, у них лучшая динамика, они не боятся толчков и ударов, поскольку все одинаково поддрессорены и лучше сохраняют полотно: оси не пробуксовывают. На электровозах такой ("паровозный") принцип долгое время был неосуществим, поскольку отсутствовали компактные и мощные электродвигатели и тяговые редукторы, с помощью которых можно было бы передать на колеса всю потребную энергию.

Расчеты подтверждали эффективность применения одного тягового электродвигателя с приводом на две или три оси. При этом возможно опорно-рамное подвешивание привода, что снижает динамическое воздействие на путь, улучшает коммутацию элект-

родвигателя и облегчает работу зубчатой трансмиссии. Уменьшение на 10...12 % массы общего тягового электродвигателя по сравнению с двумя двигателями половинной мощности снижает общую массу и стоимость локомотива (при установке двигателя на три оси эффект еще больше, хотя передача оказывается сложнее). Уменьшается количество вентиляторов тяговых двигателей и вспомогательных агрегатов: линейных контакторов, реверсов, тормозных переключателей и др. Сокращение длины кабельной проводки уменьшает затраты меди. Снижение осевых нагрузок на рельсы при использовании одного тягового электродвигателя на несколько колесных пар уменьшает износ рельсов. Улучшается использование сцепного веса локомотива, вследствие чего нагрузка от оси на рельсы может быть снижена при той же величине тягового усилия. Коэффициент сцепления колес с рельсами повышается в среднем на 20 % (при трогании с места с 0,35...0,4 до 0,45; при движении со скоростью 50...55 км/ч - с 0,2 до 0,3).

При индивидуальном приводе внешний диаметр тягового электродвигателя зависит от диаметра круга катания движущих колес, чего нет в одномоторной тележке, поскольку тяговый электродвигатель, являющийся самым тяжелым узлом, располагается в

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИВОДА

Конструкционная скорость, км/ч	160
Мощность тягового двигателя в часовом режиме, кВт	1600
Передаточное отношение	2,21
Скорость часовая, км/ч	85
Диаметр колеса по кругу катания, мм	1250
Давление от оси на рельс, тс	21
Расчетная долговечность всех роликоподшипников на пробег, тыс. км	>800

центре блока колес. Этим достигается идеальная компоновка массы тележки относительно ее вертикальной оси, и при этом мощность тягового двигателя не ограничивается габаритами ходовых частей. Одноводный привод для двух или трех осей дает возможность достаточно простым способом изменять передаточное число зубчатого редуктора, обеспечивая универсальность использования таких локомотивов для пассажирской и грузовой службы. Между двигателем и редуктором может устанавливаться переключающее устройство, как, например, на французских электровозах серии ВВ16500. Это делает локомотивы универсальными и в итоге приводит к сокращению их парка.

В одномоторных тележках, где тяговый электродвигатель занимает центральное положение, компоновка основных узлов решается в комплексе с тяговым электродвигателем. В свою очередь, конструкция электродвигателя должна соответствовать конструктивным решениям узлов тележки: рамы, опор кузова, систем подвешивания и передачи тягового усилия. Особенно важной и необходимой является взаимосвязь конструкции тягового электродвигателя с конструкцией редуктора и привода движущих осей, так как она определяет принятую схему

тока ЭТ-1600. Анализ показал, что двигатель мощностью 1600 кВт целесообразно выполнить 8-полюсным с напряжением на коллекторе 950 В. Сравнение вариантов показало, что для двигателя пульсирующего тока целесообразно принять исполнение без компенсационной обмотки, так как последняя значительно уменьшает индуктивность двигателя и требует увеличения продуктивности сглаживающего реактора. Тяговый электродвигатель ЭТ-1600 был выполнен на уровне лучших зарубежных образцов.

ПАРАМЕТРЫ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ							* Электродвигатели для одномоторного привода
Параметры	НБ 412 СССР	НБ 414 СССР	ТАО 649В1 Франция	ЭТ-1600* СССР	ТАО 646 *Франция	GRLM 1532* Франция	
Мощность, кВт	690	810	790	1600	1325	1325	
Напряжение, В	1450	950	750	950	1100	1100	
Скорость вращения, об/мин	755	1030	890	800	760	760	
Масса, кг	5000	4000	3270	6300	4680	4680	
КПД	0,93	0,947	0,937	0,947	0,94	0,94	
Относительная масса, кг/кВт	7,25	4,94	4,14	3,94	3,53	3,53	
Коэффициент Балдина	0,308	0,442	0,51	0,478	0,518	0,518	
Машинная постоянная	26,2·104	17,6·104	16,8·104	15,7·104	14,1·104	14,1·104	
Относительная производная масса	31,2	27,2	20,5	21,2	17,6	17,6	

раздачи мощности от вала тягового электродвигателя к осям колесных пар, систему опоры тягового электродвигателя в тележке, условия зацепления шестерни с зубчатыми колесами, систему угловой скорости вращающихся масс. От удачного комплексного решения узла "тяговый двигатель - привод" зависит надежность работы тележки в целом, так как он является наиболее напряженным и уязвимым.

Здесь показана на испытательном стенде одномоторная двухосная тележка ВНИИЭМ, которая разрабатывалась для отечественного пассажирского магистрального электровоза переменного тока ВЛ40, фотографию которого также приводим.

Главное отличие одномоторной тележки конструкции ВНИИЭМ заключается в выделении тягового электродвигателя, редуктора и привода в отдельный от рамы тележки блок. Блочность конструкции позволяет упростить технологию изготовления редуктора и рамы тележки и улучшить работу зубчатой передачи и коммутацию тягового электродвигателя. Автором настоящей статьи под руководством и при консультационной поддержке доктора технических наук проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана Л.Н. Решетова были выполнены расчеты по выбору параметров прочности и динамике тягового зубчатого редуктора одномоторного привода, в том числе расчет геометрических параметров односторонней зубчатой передачи. Шарнирно-карданная муфта привода имеет съемные снаружи резинометаллические блоки, играющие роль амортизаторов, а подшипники ведомого зубчатого колеса не воспринимают осевых усилий. При эксплуатации уменьшается влияние динамических сил на зубчатую передачу и тяговый электродвигатель, поскольку он разгружен от действия тормозных и тяговых сил. Главная цель, которая достигается посредством этого обособления - повышение надежности работы тягового электродвигателя и зубчатой передачи. Кроме того, создается возможность регулирования радиального зазора между осью колесной пары и полым валом привода независимо от первичного рессорного подвешивания тележки.

Для одномоторного привода двухосных тележек электровоза ВЛ40 ВНИИЭМ впервые в стране разработал и изготовил мощные тяговые электродвигатели пульсирующе-

После проведения испытаний на катковом стенде работа завершилась успешными ходовыми испытаниями электровоза ВЛ40 с одномоторными тележками конструкции ВНИИЭМ и электродвигателями ЭТ-1600 при скорости до 160 км/ч. Испытания проводились на опытном скоростном испытательном участке МПС Белореченская - Майкоп, характерном как протяженными прямыми участками, так и крутыми подъемами и спусками. По результатам исследований была дана рекомендация по запуску в серию пассажирских электровозов с таким оснащением.

В создании конструкций мощного тягового электродвигателя пульсирующего тока ЭТ-1600 и тележек с одномоторным приводом движущих осей для скоростных магистральных электровозов активное участие принимали сотрудники тяговой лаборатории ВНИИЭМ: Е.С. Аватков, В.С. Владимиров, В.С. Волобуев, Э.Г. Головашкина, Ю.М. Косой, Ю.А. Мазнин, Ю.А. Шибяев, Н.В. Родионов, А.А. Шаццлло, А.В. Андреев и др.

К сожалению, развития в нашей стране такая система не получила. На высоком уровне было принято политическое решение приостановить в СССР на неопределенное время дальнейшие работы в области создания скоростных пассажирских электровозов, в том числе и с одномоторными тележками. Доводку и серийное производство та-

кой техники, а также поставку для советских железных дорог пассажирских локомотивов решено было осуществлять из ЧССР.

Пролетели десятилетия, а в России (в отличие от всего мира) оборудование по одномоторному приводу так и не производится. Мы, обогнавшие в свое время всех мировых разработчиков по уровню доведенной до промышленного образца конструкции, вынуждены теперь либо довольствоваться тем, что было произведено и закуплено до середины 80-х годов, либо втридорога приобретать то, что имеется на мировом рынке. Однако, смею надеяться, что жизнь неминуемо заставит нас идти по магистральному пути, который мы уже начали преодолевать во ВНИИЭМ, и рано или поздно вновь заняться конструированием и выпуском современных тяговых систем. Уверен, впрочем, что наши наработки еще будут востребованы.

Пассажирский магистральный электровоз переменного тока ВЛ40



## DIGEST

The "motor-wheels" concept has been prevailing in first electric locomotives for a long time period. Based on this concept, it is possible to minimize the transmission from the motor to the wheels that makes the drive designing cheaper, simplifies its structure, facilitates maintenance. However, calculations show that installation of one traction electric motor with a drive for 2 or 3 shafts is more efficient. As a result, there is a decrease in dynamic forces on rails, an improvement of the electric motor wiring and better operation of the gear transmission. Consequently, total weight and cost of a locomotive equipped with single-motor trucks decrease by 10-12%. The development of this type locomotive was completed by successfully testing of VL40 electric train equipped with single-motor trucks designed by VNIIEM and powered by ET-1600 electric motors. The VL40 was successfully tested at 160 km/hr.

## BY MAIN ROADS



*Юбилей - это всегда повод для анализа прожитых лет, пройденного пути, достижений и утрат, звездных взлетов и огорчительных неудач. И это всегда основание рассказать о человеке, живущем рядом с нами.*

*Виталий Петрович Радовский, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий, член-корреспондент АН СССР, награжденный пятью орденами и тремя медалями, многие годы был персоной, "закрытой" для широкой общественности. И позже, когда пришла пора гласности и были сняты всевозможные запреты и ограничения, его имя продолжило находиться в мощной тени академика В.П. Глушко. А ведь В.П. Радовский с 1974 по 1991 гг. являлся главным конструктором КБ Энергомаш, старейшего отечественного предприятия в области ракетного двигателестроения, и именно в эти годы здесь наряду с другими разработками были созданы самые мощные в мире ракетные двигатели 11Д521 для ракеты-носителя (РН) "Энергия" и 11Д520 для РН "Зенит". Неоценимый вклад В.П. Радовского в ракетную технику, по нашему мнению, достоин внимания читателей.*

Жизненные интересы В.П. Радовского, родившегося 11 мая 1920 г. в Улан-Удэ, формировались в период расцвета авиации и под впечатлением рекордных перелетов "сталинских соколов", эпопеи спасения челюскинцев. Он хотел научиться строить самолеты, наиболее прогрессивную технику первой половины XX века, и после окончания в 1937 г. в Севастополе средней школы поступил в Московский авиационный институт. Но жизнь рассудила иначе: грянула война.

Лозунг "Все для фронта, все для победы!" не оставил безучастным двадцатилетнего студента, окончившего четыре курса МАИ. Движимый патриотическим порывом, в августе 1941 г. он поступает на ускоренные курсы авиационных техников, развернутые при Центральном аэроклубе им. В.П. Чкалова, но... в соответствии с постановлением ГКО его вместе со многими студентами четвертых-пятых курсов военно-технически специальностей возвращают доучиваться обратно в институт, эвакуированный в 1941 г. в Алма-Ату, а после окончания его в 1943 г. направляют в подмосковные Химки на завод № 456. Здесь начинающему инженеру пришлось ремонтировать самолеты практически при полном отсутствии специального инструмента и оборудования. Работая конструктором в отделе главного технолога, Радовский демонстрирует обязательность при выполнении порученных заданий и завидные способности в использовании подручных средств. И скорее всего, именно эти суровые условия работы создали у него устойчивую твердость характера, воспитали умение не пасовать перед трудностями, выковали уверенность в возможностях решения любых технических задач.

Кстати, эту закалку - работать до полной победы - он пронес через все свои трудовые годы. В самые сложные моменты (а их у заместителя главного конструктора, а затем и главного конструктора ОКБ было немало) он никогда не подавал даже намек на возникшее у него сомнение в успешном решении порученного дела. Что на самом деле творилось у него в душе, знает только он сам - Виталий Петрович никогда не делился этим даже с близкими к нему по духу работниками ОКБ.

В середине 1946 г. завод № 456 был определен в качестве изготовителя двигателя немецкой ракеты А-4 (Фау-2). Поэтому В.П. Радовского, как наиболее подготовленного и перспективного инженера, направили в Германию (г. Нордхаузен) для изучения ракетной техники. Вернулся он на завод в феврале 1947 г. Тогда же для конструкторского обеспечения производства ЖРД в Химки в ноябре-декабре 1946 г. из Казани было переведено ОКБ-РД под руководством главного конструктора В.П. Глушко. Так встретились Глушко и Радовский, ставший в 1961 г. заместителем

Глушко по конструкторской части, а в 1974 г. его преемником на посту главного конструктора ОКБ.

Сейчас, по прошествии многих лет, можно с полной уверенностью утверждать, что Радовский был идеальным заместителем Глушко. Наилучший заместитель тот, кто при полном согласии с начальником по главным, стратегическим вопросам имеет свои взгляды на отдельные технические решения и способен их аргументированно отстаивать. Так было у Радовского и Глушко. Они имели много общего в характерах и привычках: оба не курили, практически не пользовались в служебной обстановке ненормативной лексикой, не испытывали тяги к "зеленому змию" (впрочем, это не значит, что они были убежденными трезвенниками). Оба были технически грамотны, беззаветно преданы выбранному делу, принципиальны и бескомпромиссны при принятии решений.

Отличительным качеством Радовского было умение и желание вникать в так называемые "мелочи" конструкции и технологии, которые на самом деле порою определяли работоспособность агрегатов, а то и всего разрабатываемого ЖРД. Сложилось такое разделение обязанностей: Глушко занимался перспективными вопросами двигателестроения (исследованиями возможности использования новых компонентов топлива, таких как фтор, аммиак, водород, перекись водорода, пентаборан и др.), он также взаимодействовал с главными конструкторами ракетных ОКБ - М.К. Янгелем, В.Н. Челомеем, В.П. Макеевым и формировал портфель заказов на разработку новых двигателей, проводил предварительную проработку конструкции будущих ЖРД, определяя их оптимальные характеристики. Радовский отвечал за работы с двигателями, создаваемыми в соответствии с уже полученными техническими заданиями от головных разработчиков. Под его руководством велись разработки двигателей 11Д43 для первой ступени РН "Протон", 8Д723 и 8Д724 для ракетного комплекса Р-36 и всех его модификаций, включая вариант для космической РН "Циклон". Он внес большой творческий вклад в разработку двигателей 15Д119 и 15Д168 для жидкостных ракетных комплексов последнего поколения. За участие в разработке принятых на вооружение указанных комплексов Радовскому в 1976 г. было присвоено звание Героя Социалистического Труда.

Полнее всего талант разработчика ЖРД, умение вести работу в условиях жесточайшего прессинга со стороны руководства министерства и активного противодействия некоторых представителей науки проявились у Радовского на посту главного конструктора КБ Энергомаш при разработке двигателей 11Д520 и 11Д521 для первых ступеней РН "Зенит" и "Энергия". Задуманная Глушко конструкция однокамерного 4-камерного

На встрече коллектива КБ Энергомаш с космонавтами в январе 1965 г.



# ГЛАВНЫЙ КОНСТРУКТОР РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Вячеслав Рахманин, главный специалист НПО "Энергомаш", (зам. главного конструктора КБ Энергомаш в 1978-1999 гг.)



В рабочем кабинете

двигателя тягой 800 тс не имела прецедентов в мировой практике. Кроме небывалой размерности двигателя, для КБ новизной явилось применение давно не используемых в наших двигателях таких компонентов топлива, как кислород-керосин. Радовский отчетливо понимал, сколь трудную техническую задачу предстоит ему решить, особенно с учетом сроков сдачи двигателей, которые были назначены по опыту прежних лет. Для обеспечения этих сроков была разработана новая оригинальная методика доводки двигателей.

Однако отработка двигателей продолжалась необычно для КБ Энергомаш долго: ТЗ на разработку двигателя 11Д520 КБ "Южное" выдало в 1976 г., а первый запуск РН "Зенит" был проведен лишь в апреле 1985г. Первые четыре года подготавливалась конструкторская и технологическая документация, оснащалось производство, отработывались отдельные агрегаты. Первое огневое испытание двигателя 11Д520 состоялось 25 августа 1980 г. Начался длительный процесс доводочных испытаний, сопровождавшийся, к сожалению, авариями. Доводка 11Д520 и 11Д521 имела характерную особенность: если весь предыдущий опыт разработки ЖРД показывал, что наибольшие трудности связаны с обеспечением устойчивости горения в камере (иногда и в газогенераторе), то у этих двигателей основным камнем преткновения стал турбонасосный агрегат. Это не удивительно, поскольку подобных двигателей, у которых турбина массой 800 кг развивала мощность почти 190 МВт, никто в мире не разрабатывал.

За уникальность конструкции и исключительно высокие параметры этих ЖРД пришлось заплатить временем отработки. Затянувшаяся полоса аварий при огневых испытаниях привела к недоверию в возможности создания столь мощных двигателей. На коллежиях министерства, на технических совещаниях от Радовского жестко требовали успешного завершения доводки или признания несостоятельности принятого решения по модульной схеме двигателя. По приказу министра С.А. Афанасьева в КБ "Энергомаш" был организован внеструктурный конструкторский отдел для разработки альтернативного однокамерного двигателя МД-185, в противовес 4-камерному двигателю. Все это усиливало и без того нервную обстановку в КБ и отрицательно сказывалось на ведении доводочных работ.

И здесь необходимо подчеркнуть твердость характера главного конструктора В.П. Радовского, мужественно выдерживающего крити-

ку министерского начальства и "подпевающих" ему специалистов всех рангов. В самые критические моменты он ни разу не дрогнул, не отошел от ранее принятой концепции конструкции двигателя. По большому счету, за эту концепцию боролись только Глушко и Радовский, остальные участники того же уровня этих драматических событий были либо в открытую против, либо, поддерживая конструкторов в частных беседах, на официальных совещаниях отмалчивались.

И все же Радовский и Глушко победили! 13 апреля 1985 г. состоялся первый полет РН "Зенит", а 15 мая 1987 г. - первый полет РН "Энергия". Стоит упомянуть, что С.А. Афанасьев после успешного полета "Зенита" обнял Радовского, расцеловал и признался, что был не прав, когда разделял недоверие некоторых ученых в возможности создания двигателя 11Д520.

Однако первый успешный полет РН "Зенит" не стал завершением создания двигателей, потребовалось дальнейшее повышение их надежности. В.П. Радовский вложил много труда для обеспечения безотказной работы 11Д520 и 11Д521. И признаваемая многочисленными "пророками" порочной конструкция двигателя была успешно отработана на 17-кратный полетный ресурс.

Трудные годы доводки двигателей, постоянное нервное напряжение отрицательно сказались на здоровье Радовского, и он был вынужден в марте 1991 г. уйти на пенсию.

В девяностых годах XX века отечественная ракетная техника вышла на международный рынок космических услуг: продолжается успешное использование ракеты-носителя Р-7, первопроходца мировой космической техники; хорошие перспективы дальнейшей эксплуатации у второго нашего космического долгожителя - РН "Протон"; на-



В.П. Радовский вручает В.Ф. Рахманину памятный знак КБ Энергомаш

шла свое место в программе "Морской старт" РН "Зенит". На базе 11Д521 разработан двигатель РД-180 для первой ступени модернизируемой американской РН "Атлас III". И на всех указанных ракетах используются двигатели, в разработку которых вложил свой недюжинный талант инженер-конструктор Виталий Петрович Радовский.

Работники НПО Энергомаш хорошо помнят Виталия Петровича, энергичного, жизнерадостного, всегда готового вникнуть в любые технические вопросы и откликнуться на бытовые проблемы сотрудников. Поздравляя его с восьмидесятилетием, желаем ему здоровья, спокойного отдыха и долгих лет жизни.

# ГАЗОФАЗНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

## ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Григорий Лиознов,  
главный специалист  
НПО Энергомаш

(Окончание. Начало в № 5)

Габаритно-компоновочная схема марсианского экспедиционного комплекса (МЭК), в котором предусмотрено использование блока из двух ядерных двигательных установок на основе ГФЯР, описанных ранее, показана на рис. 1. При полезной нагрузке 150 т, предполагаемой обычно для выполнения подобной задачи, расчетная стартовая масса МЭК на околоземной орбите составляла бы 520...540 т (в зависимости от даты старта). Для сопоставления можно указать, что в случае применения ЯРД с твердофазным реактором стартовая масса МЭК составляла бы 730...800 т, а с химическим ЖРД - 1700...2500 т.

Конкуренцию газифазным ядерным двигателям открытой схемы (возможное преимущество в стартовой массе) составляли бы электроракетные двигатели с ядерными или солнечными источниками энергии. Но из-за неизбежной низкой тяговооруженности таких двигателей (отношение силы тяги к весу аппарата на Земле составляет приблизительно  $10^{-4}$ ), продолжительность полета значительно бы увеличилась. Особенно возрастало бы (до нескольких десятков суток) время прохождения радиационных поясов Земли, что создавало бы чрезвычайно трудные проблемы для обеспечения безопасности космонавтов. В этом случае представляет интерес применение газифазных ядерных двигателей замкнутой схемы.

Была выполнена концептуальная проработка ЯКЭУ замкнутой схемы массой 125 т и электрической мощностью 150 МВт. В этой установке применены:

- 19-твэлный струйный реактор без магнитной стабилизации;
- фарадеевский коаксиально-вихревой МГД-генератор со сверхпроводящей системой возбуждения и холодильной машиной с излучателем;
- контур циркуляции с сепарацией ядерного горючего от рабочего тела (гелий с добавкой NaK).

Удельная масса установки составила 0,83 кг/кВт, что является весьма хорошим показателем. При этом масса реактора составила 35 % от массы установки, МГД-генератора - 17 %, систем теплосброса - 35 %.

Если энергетическую установку подобного типа использовать для питания электрореактивных плазменных двигателей, то при удельном импульсе 5000 с можно реализовать тягу примерно 450 кгс. МЭК с такой двигательной установкой имел бы тяговооруженность порядка  $10^{-3}$ , что во много раз превосходило бы значение этого параметра для ядерных

двигательно-энергетических установок, использующих твердофазные твэлы.

Приведенные данные по концептуальным разработкам НПО Энергомаш доказывают принципиальную возможность обеспечения существенного превосходства двигателей на основе высокотемпературного ГФЯР над двигательными установками других типов, особенно для дальних ускоренных полетов или для многократных челночных перелетов.

Стратегия разработки ГФЯР и двигательной энергетической установки на его основе опиралась на три основных этапа. На первом этапе был задействован функционирующий до настоящего времени уникальный испытательный комплекс на основе импульсного графитового реактора (ИГР) на Семипалатинском полигоне. Он предусматривал кратковременные (до 5 с) натурные испытания малоразмерных моделей газифазных тепловыделяющих элементов диаметром до 100 мм и длиной до 250 мм.

На втором этапе предполагалось сооружение нового реактора "Нефрит" типа ИГР для обеспечения на порядок более длительных испытаний образцов, габаритные параметры которых в три раза превосходили параметры малоразмерных образцов.

На третьем этапе предусматривалось сооружение стендового прототипа натурального ГФЯР, точнее, комбинированного газифазно-твердофазного реактора "Лампа" с размерами рабочей камеры, соответствующими застойному газифазному твэлу.

Для выполнения последних этапов разработки проектировался стендовый комплекс "Байкал-2" на территории того же Семипалатинского полигона. По "Байкалу-2" был проведен большой комплекс исследований. При этом огромное внимание уделялось проблемам безопасности, в первую очередь, радиационной и ядерной; в частности, выхлоп из объектов испытаний планировался только закрытого типа.

Параллельно с отработкой элементов конструкции ГФЯР и подготовкой натурных испытаний разрабатывались другие ключевые системы двигательной энергетической установки: МГД-генератор, электропривод насосов, магнитной стабилизации и др.

После завершения основополагающих исследований и проведения всего комплекса испытаний предполагалось приступить непосредственно к созданию опытного образца штатной двигательной энергетической установки на основе ГФЯР.

Подготовка первого этапа натурных испытаний в реакторе ИГР малоразмерной модели газифаз-

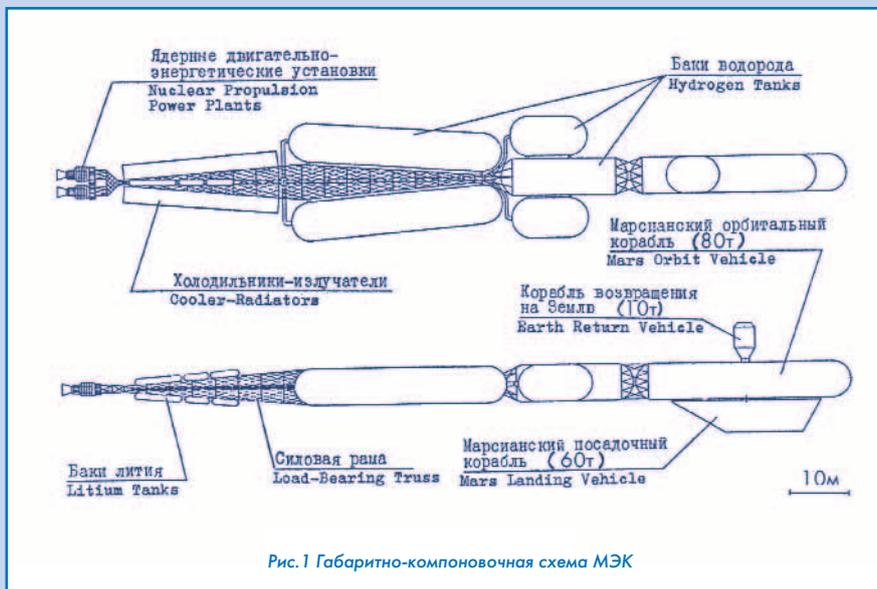


Рис. 1 Габаритно-компоновочная схема МЭК

ного твэла в течение всего периода разработки потребовала наибольших затрат времени и средств. Экспериментальную ампулу, содержащую модельный газофазный тепловыделяющий элемент и все необходимые системы, предполагалось разместить в вертикальном центральном канале реактора (рис. 2). В

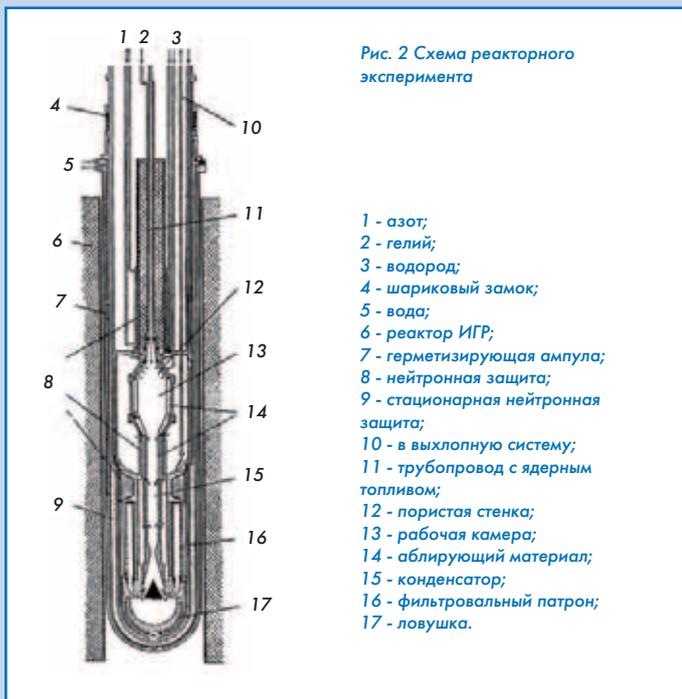


Рис. 2 Схема реакторного эксперимента

- 1 - азот;
- 2 - гелий;
- 3 - водород;
- 4 - шариковый замок;
- 5 - вода;
- 6 - реактор ИГР;
- 7 - герметизирующая ампула;
- 8 - нейтронная защита;
- 9 - стационарная нейтронная защита;
- 10 - в выхлопную систему;
- 11 - трубопровод с ядерным топливом;
- 12 - пористая стенка;
- 13 - рабочая камера;
- 14 - абляционный материал;
- 15 - конденсатор;
- 16 - фильтровальный патрон;
- 17 - ловушка.

процессе эксперимента система вытеснительного типа должна была подавать ядерное топливо в рабочую камеру, месторасположение которой совпадало с центром активной зоны реактора ИГР. Топливо могло использоваться либо в виде пасты, содержащей мелкодисперсный урановый порошок и щелочные металлы, либо в виде расплава урана, разогреваемого непосредственно перед подачей в камеру. Тракт подачи ядерного горючего обладал эффективной компактной нейтронной защитой, исключавшей перегрев топлива и окружающих оболочек. Ос-

#### РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГАЗОФАЗНОГО ТВЭЛА

Давление в рабочей камере, кгс/см <sup>2</sup>	200
Расход урана, г/с	200
Расход водорода в рабочей камере, г/с	10
Скорость топлива на входе в камеру, м/с	1,7
Мощность, кВт	1000
Доля испаренного урана в выходном сечении, %	80
Температура урановой плазмы, К	$8 \cdot 10^3$
Поток тепловых нейтронов, нейтрон/см <sup>2</sup> ·с	$10^{15}$

новные размеры внутренней полости рабочей камеры: диаметр 80 мм и длина 240 мм. Ураносодержащая струя, поступающая в камеру, под действием нейтронного потока высокой интенсивности разогревалась, испарялась и переходила в плазменное состояние. Излучение от этой плазмы нагревало рабочее тело. Внутренняя стенка входного конического участка рабочей камеры была выполнена из тугоплавкого сплава. Эту стенку изготавливали проницаемой, что позволяло вдувать водород и гелий вместе со струей ядерного топлива. Тем самым исключались образование рециркуляционной зоны на участке испарения топлива и турбулизация потока. Вдуваемый водород, в свою очередь, давал периферийный спутный поток, отделяющий стенки камеры от центральной струи урановой плазмы.

Цилиндрический участок рабочей камеры имел внутреннюю стенку из абляционного материала, что позволяло обеспечить внешней силовой металлоконструкции надежную защиту, в том числе, и в случае конденсации на поверхности абляционного материала металлического урана (путем удаления капель обратно в поток продуктами абляции).

На выходе из камеры высокотемпературный поток рабочего тела должен был поступать в конденсатор. Стенки конденсатора имели щелевые пояса, через которые подавался для разбавления газообразный водород. Кроме того, внутренняя поверхность конденсатора также покрывалась абляционным материалом, исключающим накопление конденсирующегося урана. Для снижения тепловыделения в уране на участке конденсации предусматривалась нейтронная защита по внешней поверхности конструкции конденсатора. Образовавшаяся газовая смесь с продуктами деления должна была подаваться через звуковое сопло на фильтр, расположенный в зоне нижнего торцевого отражателя реактора. Крупные частицы улавливались бы в инерционной ловушке, а мелкие — в пористых фильтровальных металлокерамических патронах. Использование звукового сопла стабилизировало бы давление в рабочей камере при изменении в процессе испытаний гидравлического сопротивления осадка на фильтровальных патронах. Газообразные продукты по трубопроводам удалялись в закрытую стендовую систему выхлопа. С целью снижения тепловыделения и нагрева фильтра предусматривалась его внешняя стационарная кольцевая и торцевая нейтронная защита.

Когда ядерное топливо заканчивалось и истекало время испытаний, наступал заключительный этап расхолаживания тепловыделяющего осадка в фильтре ампулы с помощью потока газа.

Для контроля и диагностики процессов в модельном газофазном твэле помимо стандартных устройств (расходомеров, датчиков давления и его пульсации, датчиков нейтронного потока и специально разработанных термопар) использовались специальные методы измерения и соответствующие системы, регистрирующие расход ядерного горючего, тепловые потоки на стенки рабочей камеры, электропроводность потока, а также фоторегистрация струи ядерного горючего. В связи с необходимостью обработки больших массивов измерительной информации потребовалась разработка соответствующих методов и алгоритмов.

Экспериментальная ампула (рис. 3, 4), изготовленная на опытном заводе, имела диаметр 185 мм и длину 6500 мм и включала следующие функциональные элементы: систему подачи ядерного горючего, рабочую камеру, конденсатор и фильтр. Все это вместе с коммуникациями, средствами измерений и элементами общей сборки размещалось внутри герметичного корпуса. Предполагалось, что необходимый для проведения испытаний запас ядерного горючего будет заправляться в тракт подачи ампулы непосредственно перед началом работ. После испытаний все твердые и жидкие продукты остаются в фильтре. Таким образом, радиационная безопасность на всех стадиях



Рис. 3 Экспериментальная ампула в сборе

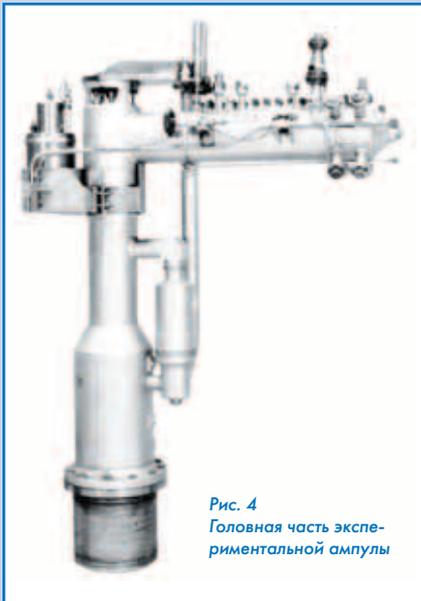


Рис. 4  
Головная часть экспериментальной ампулы

ней части ампулы находились соединители, обеспечивавшие сопряжение со стендовыми коммуникациями.

Особое внимание было уделено мерам, направленным на обеспечение безопасности испытаний для исключения повреждения реактора ИГР и радиоактивного загрязнения стендовых помещений в случае возможных аварийных разрушений функциональных элементов экспериментальной ампулы.

Были полностью собраны и подготовлены к отправке на стендовую базу два испытательных комплекта с малоразмерными твэлами (рис. 5). На полигон были отправлены комплекты специального стендового оборудования и транспортно-технологической оснастки для работы с радиоактивными изделиями после завершения испытаний.

Помимо изготовленной экспериментальной ампулы был разработан эскизный проект новой модификации с моделью газофазного твэла застойного типа с магнитной стабилизацией процесса.

Итак, несмотря на многолетние усилия, натурные испытания высокотемпературных газофазных твэлов начать не удалось, финансирование работ было прекращено. Работы в

СССР и США по ГФЯР были начаты в романтическую пору на заре космической и ядерной эры в условиях соперничества сверхдержав. Быстрейшая реализация уникальных характеристик высокотемпературного ГФЯР казалась тогда вполне достижимой, хотя не было ясности, для каких конкретных задач все это необходимо. Анализируя итоги исследований, следует отметить, что Энергомаш смело взял на себя функции головного разработчика ЯРД и ЯКЭУ на основе ГФЯР при недостаточности сильной расчетно-теоретической и технологической подготовленности этого направления. Роль и ответственность научного руководства были нивелированы, а роль головного КБ, наоборот, сильно возвышена. Неоднократно ставился вопрос о консолидации научного и проектно-конструкторского коллективов под эгидой НИИ тепловых процессов, но так и не был решен. Следствием этого стала недостаточная целеустремленность и координация работ.

СССР и США по ГФЯР были начаты в романтическую пору на заре космической и ядерной эры в условиях соперничества сверхдержав. Быстрейшая реализация уникальных характеристик высокотемпературного ГФЯР казалась тогда вполне достижимой, хотя не было ясности, для каких конкретных задач все это необходимо. Анализируя итоги исследований, следует отметить, что Энергомаш смело взял на себя функции головного разработчика ЯРД и ЯКЭУ на основе ГФЯР при недостаточности сильной расчетно-теоретической и технологической подготовленности этого направления. Роль и ответственность научного руководства были нивелированы, а роль головного КБ, наоборот, сильно возвышена. Неоднократно ставился вопрос о консолидации научного и проектно-конструкторского коллективов под эгидой НИИ тепловых процессов, но так и не был решен. Следствием этого стала недостаточная целеустремленность и координация работ.

По опыту прошедших лет можно констатировать, что создание высокотемпературного ГФЯР и двигатель-энергетических установок на его основе требует очень крупных инвестиций и эффективно только в рамках международного сотрудничества. Использование такого рода сложных и дорогих систем будет востребовано и экономически оправдано лишь тогда, когда на повестку дня встанет вопрос об индустриализации космоса с интенсивными транспортными потоками научно-производственного персонала при большом наборе характеристических скоростей (например, многократные межорбитальные перемещения Земля — Луна, Земля — Марс и т.п.).

Хотелось бы высказать пожелание, чтобы, несмотря на существующие проблемы финансирования, работы по ГФЯР имели бы в России дальнейшее продолжение в качестве научного направления, способствующего сохранению и развитию научно-технических заделов. В частности, благодаря достигнутому в настоящее время уровню вычислительной техники и накопленным знаниям в отношении отдельных рабочих процессов в ГФЯР стали бы реальными и весьма актуальными разработка комплексной математической модели газофазного твэла вместе с выходным каналом и соплом, проведение численных исследований характеристик рабочих процессов и обоснование достижимости ожидаемых уникальных параметров газофазных ЯРД.



Рис. 5 Рабочая часть ампулы

## DIGEST

### GAS-CORE NUCLEAR ENGINES FOR SPACE FLIGHT VEHICLES

In 1963, "Energomash" Co. (the department headed by Dr. R.A. Glinik) launched the development of nuclear rocket engines and nuclear space rocket powerplants on the basis of a gas-core nuclear reactor. "Keldysh Research Center" was a supervisor of these studies (namely, V.M. Ievlev - corresponding member of USSR Science Academy). "Energomash" Co. developed a general configuration of a space research complex to Mars. Its power block was composed of 2 nuclear powerplants on the basis of a gas-solid reactor of a transformable structure weighing as much as 57.5 tons and having 2.14-GW power (as described earlier). With the supposed 150-ton payload, the design launching mass of the Mars space complex on the near-earth orbit would be about 540 tons. The launching mass of the Mars space complex powered by a nuclear rocket engine with a solid reactor would be 730-800 tons as compared with 1700-2500 tons when powered by a chemical rocket engine. The company made the conceptual designing of the closed-cycle nuclear space rocket powerplants weighing about 125 tons and having 150-MW power equipped with a reactor without magnetic stabilization and with a Faraday MHD generator provided with a superconductive energizing system. Its specific mass was 0,83 kg/kW.

The preparation to the 1st stage of the test program took much time and efforts. The tests were proposed to perform in a pulse graphite reactor of a scaled-down fuel element which was to be installed in a vertical central channel. A pressure feeding system was to supply nuclear fuel into a working chamber (DxH=80x240 mm). The internal wall was permeable to ensure hydrogen and helium injection together with nuclear fuel jets. A cylindrical section of the wall was produced from ablative materials. Outgoing high temperature flow of a propulsive mass was proposed to direct into a condenser. When test time period was over and all nuclear fuel was consumed, the tests should enter the final stage of cooling by gas flow.

The investigation results proved possibilities to attain considerable advantages of these engines on the basis of high-temperature gas nuclear reactor over other type engines, in particular in long-range space flights or shuttle flights of non-expandable rockets.

# ЧТО?

## (чтобы обеспечить ЕВРО-2)



ОАО "КАМАЗ":

**Игорь Хамидуллин,**

первый заместитель генерального директора

**Данис Валеев,** главный конструктор

**Наил Гатауллин,** главный конструктор по двигателям

**Евгений Борисенков,** начальник отдела НТЦ

**Ринат Хафизов,** начальник бюро НТЦ

**Наиль Исхаков,** заместитель главного конструктора

**Владимир Зеленин,** начальник КБ НТЦ

**Сергей Кучев,** инженер НТЦ

Казанский ГТУ им. А.Н. Туполева:

**Лев Горюнов,** заведующий кафедрой турбомашин, д.т.н.

Университет Дружбы народов:

**Сергей Ниязов,** аспирант кафедры "Комбинированные ДВС"

*Совершенствование конструкции дизельных двигателей зарубежных и отечественных изготовителей происходит в условиях стремительно ужесточающихся экологических нормативов - за последнее десятилетие предельные значения выбросов вредных веществ снизились в 2...3 раза.*

*Учитывая эти тенденции, на ОАО "КАМАЗ" особое внимание уделяют работам, проводимым в рамках программы "Создание двигателей, отвечающих требованиям норм ЕВРО-2". На КАМАЗе убеждены, что разработка модернизированных двигателей, отвечающих современным требованиям Европейской экономической комиссии (ЕЭК) ООН, позволит не только поднять престиж и конкурентоспособность выпускаемой продукции, но и поставить ее в один ряд с ведущими зарубежными фирмами по экологическим характеристикам.*

Количественная оценка выбросов вредных веществ (ВВВ) с отработавшими газами (ОГ) дизелей сегодня выполняется по стационарному 13-ступенчатому циклу (ЕВС) в соответствии с Правилами 49-02 ЕЭК ООН. Замерам подлежат объемные концентрации газообразных выбросов оксидов углерода CO, углеводородов CH, оксидов азота NO<sub>x</sub> и твердых частиц. Для определения CO, CH, NO<sub>x</sub> применяется современное газоаналитическое оборудование. Величина выбросов твердых частиц может определяться двумя методами: с помощью микротоннеля с частичным разбавлением ОГ и тоннеля с полнопоточным разбавлением ОГ.

В настоящее время на КамАЗе для определения величины газообразных выбросов используется газоаналитическая система АМА-2000 немецкой фирмы PIERBURG, а выбросы твердых частиц измеряются с помощью микротоннеля SPS-472 австрийской фирмы AVL.

Кроме того, в соответствии с Правилами 24 ЕЭК ООН у двигателей оценивается дымность ОГ. Согласно методике Правил 24 определению подлежит коэффициент поглощения светового потока при работе двигателя по внешней скоростной характеристике и на режиме свободного ускорения. Измерение осуществляется дымомерами, работающими по методу просвечивания. Для этого на КамАЗе применяются автоматизированные приборы английской фирмы Hartridge.

оптимизацией рабочего процесса: топливоподачи, воздухоподготовки, смесеобразования и сгорания.

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА

#### Впускной канал головки цилиндров

Важную роль в формировании процессов смесеобразования и сгорания в цилиндре дизеля играет организованное вихревое движение заряда, создаваемое впускными каналами головки цилинд-



Рис. 1 Типы опытных камер сгорания:  
а - цилиндрическая КС (двигатель мод. 7403.10); б - цилиндрическая КС (двигатель OM-447h); в - цилиндрическая КС с турбулизаторами;  
г - цилиндрическая КС с наклонной стенкой и конусом на днище

#### ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ВВВ

Норма	Год	СО, г/кВт·ч	СН, г/кВт·ч	NO <sub>x</sub> , г/кВт·ч	Твердые частицы, г/кВт·ч
ЕВРО-0 (Правила 49-01)	1990	11,2	2,4	14,4	-
ЕВРО-1 (Правила 49-02А)	1992	4,5	1,1	8,0	0,36
ЕВРО-2 (Правила 49-02В)	1995	4,0	1,1	7,0	0,15
ЕВРО-3 (Проект)	2000	2,1	0,66	5,0	0,10

Совершенствование экологических характеристик дизелей КАМАЗа достигается в основном через повышение их индикаторного и механического к.п.д., что, в свою очередь, обеспечивается

ров (ГЦ). Критерием оптимизации работы впускного канала (ВК) являлось снижение выбросов твердых частиц и оксидов азота. На КамАЗе проводилось исследование тангенциальных и винтовых впускных каналов. Преимуществом тангенциального впускного канала является его пониженное сопротивление и, как следствие, больший коэффициент наполнения двигателя. Снижение угловой скорости движения заряда в цилиндре двигателя  $\omega_z$  способствует снижению NO<sub>x</sub> и затрат на газообмен, однако при определенном значении  $\omega_z$  начинается рост дымности и твердых частиц. В результате исследования ГЦ с различными вихревыми соотношениями были выбраны характеристики ВК. Для дизелей КамАЗ, соответствующих нормам ЕВРО-1 и ЕВРО-2, оптимальным является впускной канал, обеспечивающий снижение интенсивности вихревого движения воздушного заряда на 50 % по сравнению с впускным каналом двигателей, удовлетворяющих требованиям ЕВРО-0.

### Выпускной канал

Оптимизация работы выпускного канала приводит к снижению затрат на выпуск отработавших газов из цилиндров, улучшению их очистки и, как следствие, повышению эффективного к.п.д. двигателя. Профилирование седла выпускного клапана тремя фасками, дополнительная фаска на клапане под углом 30°, измененная форма профиля выпускного канала позволяют повысить эффективное проходное сечение выпускного канала двигателей при среднем подъеме клапана на 20...22 % и на 11...12 % при максимальном подъеме. При этом снижается удельный расход топлива.

### Поршень. Камера сгорания

Особенностью конструкции поршня двигателя КамАЗ (уровня ЕВРО-1, 2) является измененное положение компрессионных и маслосъемного колец. Канавки поршневых колец подняты на 8 мм относительно днища поршня, что уменьшает выбросы продуктов неполного сгорания (СО, СН и твердых частиц), причем без снижения ресурса цилиндро-поршневой группы.

Исследованиями, проведенными зарубежными фирмами на рубеже 90-х гг., установлено, что при многофакторной оптимизации рабочего процесса на ВВВ влияет форма камеры сгорания (КС). В связи с этим при разработке перспективных двигателей был проведен глубокий патентный поиск (за 15 лет), позволивший установить перспективность цилиндрической формы камеры сгорания. На рис. 1 показаны формы камер сгорания, которые исследовались на опытных образцах дизелей КамАЗ. Результаты этих работ свидетельствуют о том, что оригинальные формы КС, например, с зауженной горловиной или с турбулизаторами не обеспечивают снижения ВВВ. Наилучшей, с точки зрения снижения токсичности ОГ, оказалась тороидальная форма КС, показанная на рис. 1,г (с конусом на днище и наклоном вертикальной стенки под углом 7°). Камеры сгорания подобного типа позволяют сохранять организованное движение воздушного заряда в цилиндре не только в процессе сжатия, но и при расширении, что способствует повышению полноты сгорания топлива и снижению ВВВ. Конструктивные особенности данной КС:

- диаметр горловины 68...70 мм;
- форсунка смещена относительно центра цилиндра на 10 мм;
- КС смещена на 5 мм в сторону форсунки.

### Совершенствование процессов топливоподачи

Повышение давления впрыскивания топлива  $P_{впр}$  является одним из основных средств решения противоречивой задачи снижения ВВВ и обеспечения приемлемой топливной экономичности двигателей. Если у дизельных двигателей 80-х гг. максимум давления впрыскивания топлива был на уровне 50...80 МПа, то у дизелей, отвечающих требованиям ЕВРО-2, он достиг 150 МПа. Такое давление позволило формировать рабочий процесс дизеля с минимальными статическими углами опережения впрыскивания топ-

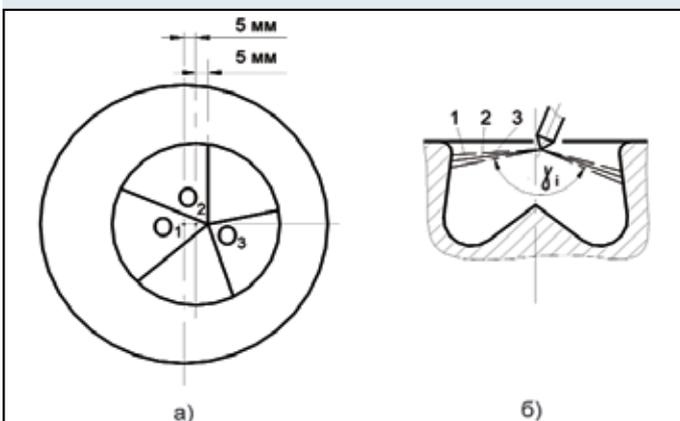


Рис. 2 Расположение факелов в камере сгорания двигателей КамАЗ: а - положение факелов в плане ( $O^1$  - центр цилиндра,  $O^2$  - центр КС,  $O^3$  - точка пересечения оси форсунки с плоскостью поршня); б - угол конуса распыливающих отверстий

лива  $q_{впр}$ . Примером могут служить двигатели, отвечающие нормам ЕВРО-2: у ЯМЗ  $\theta_{впр}$  составляет 6...8° до верхней мертвой точки (ВМТ), а у MAN мод. 2866LF20  $\theta_{впр} = 0 \pm 1^\circ$ . Регулирование  $q_{впр}$  обеспечивает низкие концентрации  $NO_x$ , а высокие значения  $P_{впр}$  позволяют получить удельные выбросы твердых частиц, соответствующие нормам ЕВРО-2 и ЕВРО-3.

На двигателях КамАЗ моделей 740.30-260, 740.52-260, 740.53-290, 740.51-320, 740.50-360 нормы ЕВРО-2 достигнуты при комплектации их топливными насосами высокого давления (ТНВД) типа 337 производства ОАО "ЯЗДА". Использование в этих насосах плунжерной пары размерности  $d_n/h_n = 11/13$  мм, усиленной конструкции кулачкового вала, много радиусного профиля кулачка, а также оптимизация конструктивных и регулировочных параметров узла нагнетательного клапана позволили добиться необходимых запасов прочности при  $P_{впр} < 100$  МПа и высокого качества топливоподачи. В топливной аппаратуре типа 337 корректирование параметров топливоподачи выполняется прямым и обратным пружинными корректорами, а согласование этих параметров с давлением наддува обеспечивается пневмогидравлическим корректором. У двигателей КамАЗ, отвечающих нормативам ЕВРО-1, 2, статическое опережение угла начала впрыскивания топлива не зависит от типа топливного насоса и составляет  $9 \pm 1^\circ$  до ВМТ.

Совместная работа с немецкой фирмой BOSCH привела к установке на двигателях КамАЗ мод. 740.51-320 и 740.50-360 рядного насоса типа 7100 размерности  $d_n/h_n = 12/12$  мм, обеспечившего топливоподачу с давлением до 120 МПа. А комплектация этого ТНВД всережимным регулятором типа RQV-K позволила достичь высоких внешних скоростных характеристик дизелей КамАЗ. Кроме того, электрический клапан выключения стартовой подачи топлива способствует снижению дымности на режимах свободного ускорения, а пневмокоректор ТНВД в зависимости от давления наддувочного воздуха регулирует количество впрыскиваемого топлива.

### ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВВВ ОТ $P_{\phi}$

Параметры распылителей	СО, г/кВт·ч	СН, г/кВт·ч	NO <sub>x</sub> , г/кВт·ч	Твердые частицы, г/кВт·ч
$P_{\phi} = 220$ кгс/см <sup>2</sup>	1,03	0,46	7,05	0,195
$P_{\phi} = 250$ кгс/см <sup>2</sup>	0,96	0,38	7,25	0,181

Примечание: исследования проводились на опытной комплектации двигателя мод. 740.51-320 в момент подъема иглы форсунки при диаметре распыливающих отверстий  $d_c = 0,34$  мм.

Из рассмотрения таблицы следует, что увеличение  $P_{\phi}$  приводит к снижению выбросов СО и твердых частиц на 7 %, СН на 17 % и незначительному возрастанию выбросов  $NO_x$  (на 3 %). Поэтому в производстве форсунок рекомендуется их регулирование на уровень 250 кгс/см<sup>2</sup>.

### Количество и ориентация распыливающих отверстий форсунки

Дальнейшее повышение качества рабочего процесса двигателя при выбранных форме и размерах камеры сгорания, интенсивности вихревого движения воздушного заряда в КС и интенсивности топливоподачи достигается выбором количества сопловых отверстий распылителя и их ориентации в КС, а также оптимизацией регулировочных характеристик форсунки.

Для оптимизации рабочего процесса по оптической плотности, оксидом азота и удельному расходу топлива на двигателях уровня ЕВРО-1, 2 были проведены сравнительные испытания опытных вариантов 4-, 5- и 6-сопловых распылителей с одинаковой пропускной способностью. Испытания выявили преимущество 5-сопловых распылителей с распыливающими отверстиями диаметром  $d_c = 0,33...0,34$  мм. Кроме того, при неизменной ориентации распыливающих отверстий в плане (рис. 2,а) из условий оптимального соотношения между выбросами оксидов азота и оптической плотностью ОГ осуществлялся выбор угла конуса  $\gamma$  (рис. 2,б). Моторные испытания проводились при  $\gamma = 152^\circ, 148^\circ$  и  $144^\circ$ . Наилучшие результаты получены при  $148^\circ$ .

Эффективным средством снижения выбросов несгоревших углеводородов и твердых частиц является уменьшение объема под

конусом иглы распылителя. У дизельных двигателей уровня ЕВРО-0 этот объем составляет 1,5...2,0 мм<sup>3</sup>. Исследования показали, что снижение указанного объема до 0,5 мм<sup>3</sup> сокращает концентрацию несгоревших углеводородов на 40...50 % и снижает долю топлива, впрыскиваемого с малыми скоростями. В оптимизации конструктивных параметров распылителей для двигателей КамАЗ, соответствующих требованиям ЕВРО-1, 2, непосредственное участие принимали различные производители топливной аппаратуры: ЯЗДА (Ярославль), АЗПИ (Барнаул), ВЗТА (Вильнюс) и BOSCH. После сравнительных испытаний опытных комплектов распылителей в серийном производстве двигателей КамАЗ было решено применять распылители ЯЗДА и BOSCH.

Рис. 3

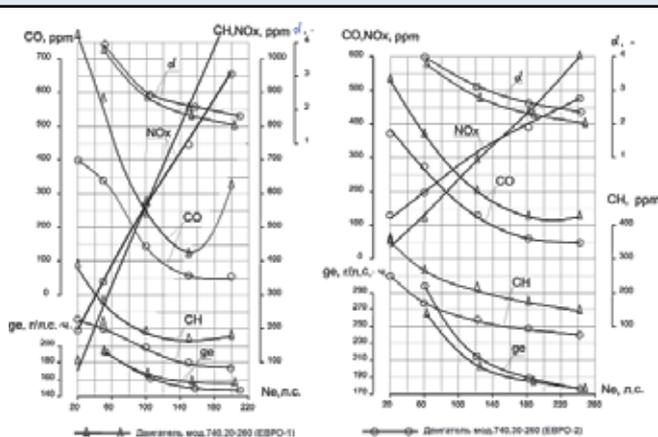


Рис. 3 Нагрузочные характеристики двигателей КамАЗ мод. 740.20-260 (уровень ЕВРО-1) и мод. 740.30-260 (уровень ЕВРО-2) при частотах вращения  $n = 1400$  и  $2200$  об/мин

**Фазы газораспределения**

При разработке конструкции дизельных двигателей, отвечающих требованиям ЕВРО-1, 2, особое внимание уделяется оптимизации фаз газораспределения. Увеличение времени предварения открытия впускного клапана до ВМТ способствует снижению затрат при впуске и обеспечивает лучшее наполнение цилиндров свежим зарядом. Увеличение времени запаздывания закрытия выпускного клапана после ВМТ ведет к уменьшению остаточных газов и снижению затрат на очистку цилиндра. Однако увеличение времени перекрытия клапанов сопровождается возрастанием "мертвых" или активно неиспользуемых объемов в пространстве сжатия цилиндра, что в свою очередь приводит к снижению эффективного к.п.д. дизеля. Отрицательный эффект, возникающий при увеличении времени перекрытия клапанов, снижается увеличением отношения радиуса начальной окружности кулачка к высоте подъема клапана.

При разработке конструкции двигателей КамАЗ, отвечающих требованиям ЕВРО-1, 2, максимальные усилия направлялись на оптимизацию их характеристик на режиме максимума крутящего момента. Снижение фазы закрытия впускного клапана у двигателей КамАЗ с 49° после нижней мертвой точки (уровень ЕВРО-0) до 34° (ЕВРО-1, 2) способствует достижению наилучших характеристик при максимуме крутящего момента. При оптимизации рабочего процесса на такте выпуска ОГ по аналогии с впуском проведение коррективки профиля выпускного кулачка. Результаты моторных испытаний подтвердили правильность выбранных направлений. Конструкция распредвала (ЕВРО-1) со скорректированными фазами газораспределения способствует снижению ВВВ и выполнению нормативов ЕВРО-1 и ЕВРО-2.

**Турбонаддув. Охлаждение наддувочного воздуха**

Газотурбинный наддув является наиболее эффективным способом форсирования дизеля по среднему эффективному давлению. Мощность дизелей при применении газотурбинного наддува может быть повышена более чем на 50 %, а токсичность ОГ снижена вследствие протекания рабочего процесса при большем коэффициенте избытка воздуха. Однако у двигателя с наддувом с

ростом давления воздуха после турбокомпрессора (ТКР) возрастают выбросы окислов азота из-за увеличения температур цикла и большого избытка кислорода. Для выполнения требований ЕВРО-1, 2 применяется система охлаждения наддувочного воздуха (ОНВ) типа "воздух-воздух". Исследования, выполненные на КамАЗе, показали, что для обеспечения требований ЕВРО-2 общий к.п.д. ТКР должен быть не ниже 0,5, а тепловая эффективность системы ОНВ не менее 0,85. Настройка ТКР и системы ОНВ осуществляется на режиме максимума крутящего момента. Положительная роль ОНВ в снижении выбросов NO<sub>x</sub> подтверждается результатами испытаний, полученными при оптимизации системы турбонаддува и ОНВ двигателя мод. 740.20-260.

**ВЛИЯНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТКР НА ВЫБРОСЫ NO<sub>x</sub>**

Комплектация двигателя	NO <sub>x</sub> , г/кВт·ч		
	А/Р-0,76	А/Р-0,85	А/Р-1,00
с ТКР	9,6	9,1	7,9
с ТКР и ОНВ	8,63	8,2	7,1

**ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ОХЛАЖДЕНИЯ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА НА ВЫБРОСЫ NO<sub>x</sub>**

Тепловая эффективность системы ОНВ, %	8	45	70	70
NO <sub>x</sub> , г/кВт·ч	7,86	7,45	6,85	6,85

Необходимо отметить положительную роль ОНВ в снижении выбросов твердых частиц (РТ), а также в повышении топливной экономичности и надежности двигателей.

На рис. 3 приведены нагрузочные характеристики двигателей КамАЗ мод. 740.20-260 (уровень ЕВРО-1) и мод. 740.30-260 (уровень ЕВРО-2) при частотах вращения  $n = 1400$  и  $2200$  об/мин.

Применение на двигателях уровня ЕВРО-2 турбокомпрессоров ТКР7С-6 и системы ОНВ с высокой тепловой эффективностью позволяет организовывать рабочий процесс при большем, чем у двигателей уровня ЕВРО-1, коэффициенте избытка воздуха. В результате снижаются концентрации вредных веществ в ОГ. Так, объемные концентрации NO<sub>x</sub> и СН при частоте вращения 1400 об/мин и полной нагрузке снижаются примерно на 20 %, а концентрация СО сокращаются в несколько раз.

Сегодня для ОАО "КамАЗ", обладающего многолетним опытом по формированию рабочего процесса двигателей, выполнение нормативных значений ЕВРО-1 и ЕВРО-2 по СО и СН, а также требований Правил 24-03 по дымности особой сложности не представляет. Однако определенные усилия требуются для выполнения нормативных значений ЕВРО-1 и ЕВРО-2 по выбросам твердых частиц и NO<sub>x</sub>. Это в первую очередь обусловлено характером обратной взаимозависимости NO<sub>x</sub> и РТ. На рис. 4 приведены обобщенные зависимости удельных выбросов оксидов азота и частиц при выполнении нормативов ЕВРО-1 и ЕВРО-2. Поскольку любое воздействие на рабочий процесс дизеля с непосредственным впрыском топлива, в частности, уменьшение угла опережения впрыскивания топлива, вызывающее снижение NO<sub>x</sub>, приводит к возрастанию РТ по гиперболической зависимости, то задача выполнения нормативов по РТ и NO<sub>x</sub> есть поиск рационального компромисса.

Рис. 4 Зависимость выбросов РТ и NO<sub>x</sub> при испытаниях дизельных двигателей по 13-ступенчатому циклу Правил 49-02:  $\Delta$  - двигатель мод. 740.20-260 (ЕВРО-1);  $\circ$  - двигатель мод. 740.30-260 (ЕВРО-2)

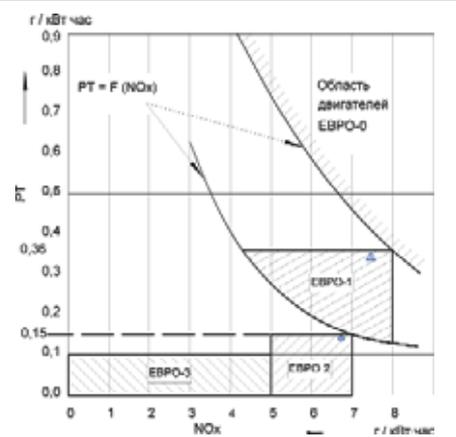


Рис. 4

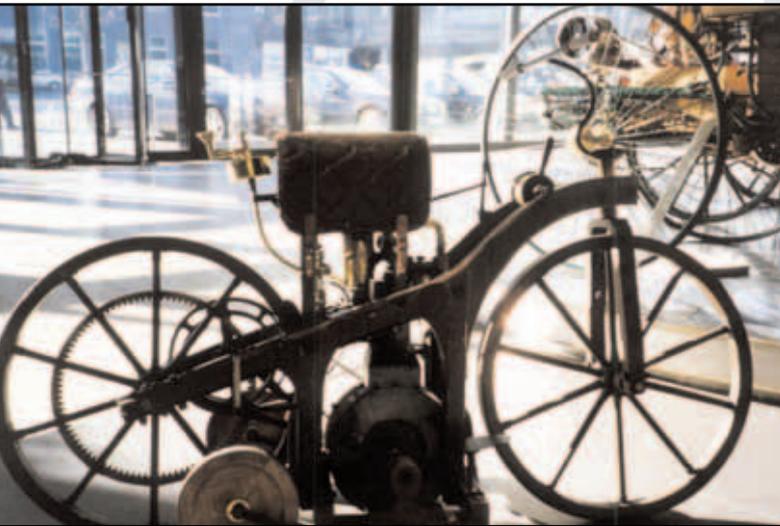
# ЗВЕЗДА

д-р Томас Гэртиг,  
глава Технологического бюро  
концерна "Даймлер-Крайслер" в России и СНГ

## "МЕРСЕДЕС"

(Окончание. Начало в № 5)

Можно сказать, что с появлением двигателя внутреннего сгорания (ДВС) мир пришел в движение. Прежде всего, новая силовая установка обеспечила саму возможность движения, не зависящего ни от капризов погоды, ни от здоровья лошади, ни от наличия рельсового пути к предполагаемой цели поездки. Кроме того, конструирование, производство и эксплуатация самого ДВС стали распространяться по всему миру. Мир "заболел" моторостроением. Так, американец Стейнвей (немец Штайнвай по происхождению и известный изобретатель роялей) основал 29 марта 1888 г. в Нью-Йорке "Даймлер Мотор Компани". В 90-х гг. во Франции основана фирма "Пежо". На британских островах "Бритиш Мотор Синдикат Лтд" закупила лицензию на производство двигателей Даймлера, а



Первый мотоцикл

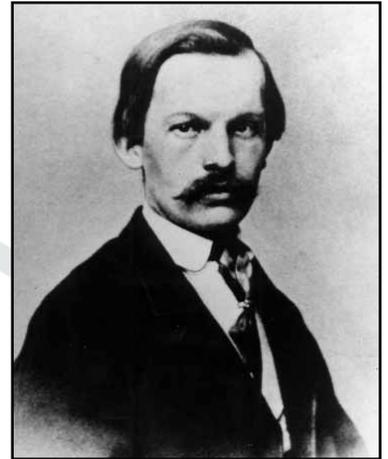
в 1893 г. появился "Даймлер Мотор Синдикат Лтд".

Несмотря на стремительное распространение автомобиля по всему миру далеко не везде его встречали с распростертыми объятиями. Дело доходило до курьезов: так, только в 1896 г. британский парламент отменил постановление: "...перед каждым экипажем без лошади должен скакать человек с красным флагом и предупреждать об...".

Тем не менее, уже в конце 1899 г. Бенц владел самым большим в мире автомобильным заводом с имуществом, оцениваемым в 3,25 млн марок золотом! На тот момент на заводе было произведено 603 автомобиля (из

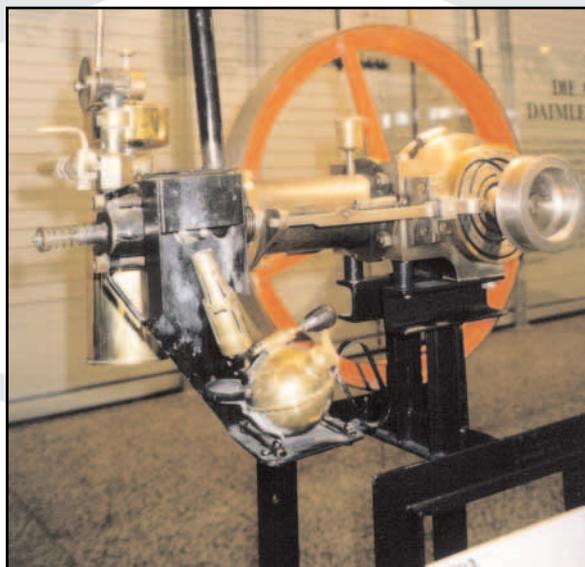
них 341 на экспорт). Даймлер выпустил к тому времени 96 машин. Это был пример, достойный для подражания: в 1903 г. Генри Форд основал компанию "Форд мотор", которая к концу 1919 г. изготовила миллион машин! В 1916 г. появилась компания "Дженерал Моторс", в 1925 г. - "Крайслер" и т.д. Автомобиль покорила Америку, однако из рекламных буклетов (например, от 05.01.1889, Нью-Йорк) потенциальные покупатели узнавали, что, оказывается, новое транспортное средство создано на основе "английских и американских патентов на производство экипажей и моторов. Патентовладелец Бенц и Ко. Рейнский завод по производству моторов, Мангейм (Баден)" и далее (теперь такое заявление может вызвать у нас только улыбку): "Полная замена экипажа с лошадью!"

Предпосылка для бурного развития компании "Даймлер Моторен Гезельшафт", созданной 28.11.1890 г., пришла из-за границы. Купец Эмиль Еллинек из Вены (родился в Лейпциге в 1853 г. в еврейской семье), разбогатевший на заказах и сбыте рекламной продукции, прекрасно знал, что хороший товар нуждается в эксклюзивном маркетинге, а не в чрезмерной секретности. Поэтому, решив заняться автомобильным бизнесом, он принимает участие



Молодой инженер Готтлиб Даймлер

Первый автомобильный двигатель



в гонках, но записывается на них под именем своей дочери Мерседес. И ровно сто лет назад его водитель В. Бауер 6 марта 1900 г. выигрывает приз на гоночном автомобиле - модель "Даймлер-Феникс", 23 л.с., средняя скорость 34,7 км/ч. Через год после этой победы генеральный секретарь французского автомобильного клуба Поль Мейян бросает фразу: "Мы вступили в эру "Мерседес". В 1902 г. это название было зарегистрировано в качестве товарного знака фирмы, и вот уже Рокфеллер покупает свой первый "Мерседес"...

Первый "Мерседес" был оснащен всеми, и по сегодняшний день существующими, основными узлами: трансмиссией, работающей через сцепление с дифференци-



## (к созданию первых автомобилей)

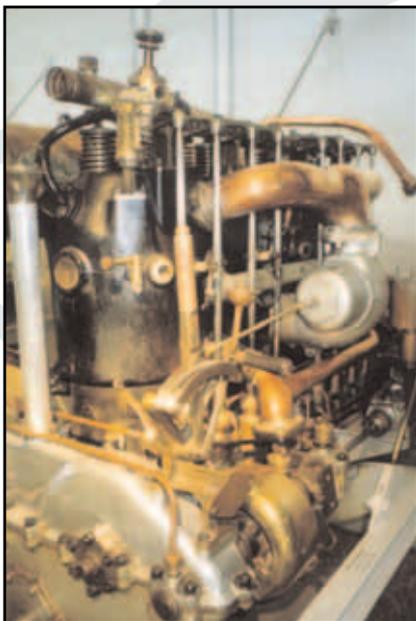


Мерседес Еллинек

альным приводом; системой смазки; двумя тормозными системами и т.д. Тогда же он приобрел современный внешний дизайн. Четырехцилиндровый двигатель объемом 5319 см<sup>3</sup> и мощностью 29 кВт (40 л.с.) позволял машине развивать 75-километровую скорость. Во время поездки набегающий поток воздуха был слишком сильным, поэтому все последующие автомобили снабжались ветровым стеклом (также новинкой для автомобилей).

Известно, что на рубеже веков, когда небо уже бороздили первые дирижабли (сто лет назад был построен дирижабль графа Цеппелина LZ 1, оснащенный двумя четырехцилиндровыми моторами Майбаха общей мощностью 32 л.с.), в воздух поднялся первый самолет. Но чей? Существуют бесспорные доказательства первого в мире моторного полета самолета братьев Райт, осуществленного в 1903 г. На лавры покорителя пятого океана претендует и русский изобретатель Александр Можайский (известно, что его самолет с двумя паровыми двигателями был построен в 1882 г., не осталось лишь подтверждений полетов). Но совсем недавно обнаружены документы, в которых подтверждается факт полета летом 1901 г. моторного аэроплана с четырехцилиндровым мотором Даймлера мощностью 35 л.с. Имя пилота - Вильгельм Кресс.

Первый авиационный двигатель



В 1909 г. "Даймлер Моторен Гезельшафт" начал выпуск четырехцилиндровых моторов для самолетов D4F (59 л.с., 1400 об/мин). Бенц в том же году создал впоследствии ставший легендой автомобиль "Блиц-Бенц" ("Молния-Бенц"), который в 1911 г. с установленным на него четырехцилиндровым двигателем мощностью 200 л.с. достиг скорости 228,1 км/ч. В том же году символом фирмы "Даймлер" стала трехлучевая звезда.

После того, как Рудольфу Дизелю удалось построить двигатель, работающий на тяжелом топливе, к созданию аналогов подключились изобретатели всего мира. В 1911 г. Бенц получил свой первый патент на дизель. Год спустя то же самое удалось фирме "Даймлер", ее двигатель предназначался для морских судов.

С появлением автомобиля в конце прошлого века зародился новый вид спорта - автогонки. Проходили они и в России. На одной из них в 1911 г. присутствовал Николай II, вручивший "Приз Царя" победителю петербургской гонки - водителю Карла Бенца, фамилию которого установить пока не удалось.

В 1913 г. деловой мир облетела очередная новость - д-р Бергнер, сотрудник фирмы "Бенц", получил престижную кайзеровскую премию за новый сверхлегкий четырехцилиндровый бензиновый авиационный двигатель. Необходимо отметить, что в конкурсе приняло участие 44 (!) модели - огромное по тем временам количество. Выпуск мощного 12-цилиндрового авиационного двигателя (259 л.с.), весившего всего 425 кг, начался еще в 1914 г. Благодаря конвейерному производству до 1918 г. был выпущен 19 601 авиационный двигатель, а также тысячи двигателей для подводных лодок. Технические достижения были активно использованы в ходе Первой мировой войны.



Первый V-образный ДВС

Когда война закончилась, перед обеими фирмами ("Даймлер" и "Бенц") встал вопрос удержания рынка, так как только в Германии в 1919 г. было 75 производителей автомобилей. Выход был единственным - объединение, и руководство фирм

приступило к решению этой проблемы.

Тем временем Карл Бенц получил в 1919 г. свой очередной патент, теперь уже на плуг, оснащенный мотором. По сути, это был трактор, причем изобретатель специально предусмотрел широкие шины, создающие небольшое давление на почву и таким образом сохраняющие пашню. Это изобретение стало огромным подспорьем для развития сельского хозяйства. Фирма "Даймлер" не отставала от своего основного конкурента и в 1924 г. представила свой первый в мире грузовик с дизельным мотором. И это тоже был революционный шаг, но уже в направлении совершенствования грузового транспорта.

Надо отметить, что успехи обеих фирм зависели не только от технического таланта руководителей, но и от высокого ка-

чества работы и технической культуры рабочих, мастеров и инженеров. Точность и чистота были неизменными атрибутами имиджа фирм. Добиться этого можно было также благодаря целенаправленной социальной политике. Поэтому Карл Бенц еще в 1902 г. на своем заводе за счет прибыли создал социальный фонд для финансовой поддержки рабочих в случае болезни, а в 1911 г. основал первое товарищество по строительству жилья для рабочих. Так же было и на фирме Готтлиба Даймлера. Недаром, когда в 1900 г. он умер, рабочие и мастера несли его гроб от завода до Каннштадского кладбища на руках. Такой же любовью и уважением пользовался д-р Карл Бенц, скончавшийся 4 апреля 1929 г. Его жена (героиня первой части статьи) умерла 5 мая 1944 г. в возрасте 95 лет.

Но я немного отвлекся. Неоспоримое лидерство обеих фирм стало окончательным доводом целесообразности их слияния, и 28 июня 1926 г. появилось акционерное общество "Мерседес-Бенц". Объединение усилий позволило в дальнейшем решить многие технические проблемы, из которых следует выделить три:

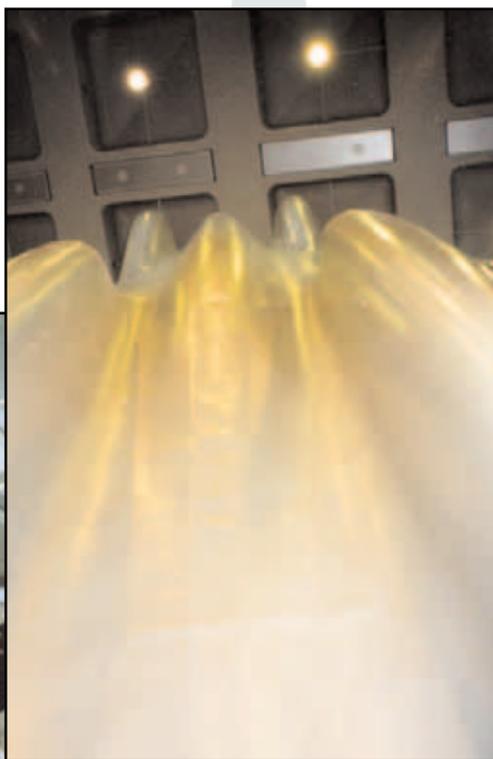
- в 1935 г., через два года после прихода Гитлера к власти, был выпущен DB 600 (Даймлер-Бенц) - жидкостный 12-цилиндровый авиационный двигатель, конструкторы, которого достигли "магической" границы мощности 735 кВт (1000 л.с.). "Мессершмитт-109", "Хенкель-111", "Дорнье-17" - эти и другие самолеты получили широкую известность (печальное достижение войны) только благодаря этому двигателю;

- в 1938 г. гонщик Р. Карачьолла на гоночном автомобиле "Даймлер-Бенц" W-125 установил не побитый до сих пор мировой рекорд скорости на автостраде - 432,7 км/ч. Несомненная заслуга в этом достижении

Первый автобус



Первый "Мерседес"



T-80

принадлежит 12-цилиндровому двигателю мощностью 542 кВт (736 л.с.) при 5800 об/мин (диаметр цилиндра 82 мм, ход поршня 88 мм, объем двигателя 5577 см<sup>3</sup>);

- в 1936 г. был сконструирован го-

ночный автомобиль T-80 с тремя мостами и приводом на четыре задние колеса. На нем был установлен двигатель DB 603 V3 - последнее слово в двигателестроении для авиационной промышленности. Объем 12-цилиндрового двигателя составил 44 522 см<sup>3</sup> (диаметр поршня 180 мм). Мощность DB 603 V3 достигла 2053 кВт (2800 л.с.) при 2500 об/мин. В октябре 1939 г. на специальном стенде этот автомобиль "развил" скорость 650 км/ч. В создании T-80 принимал участие конструкторский коллектив Фердинанда Порше.

Начавшаяся Вторая мировая война поставила крест на экспериментах, да к тому же, к 1945 г. были разрушены 75...84 % конструкторских бюро и промышленных центров. Вместе с немецким персоналом предприятий компании "Мерседес-Бенц"

все ужасы воздушных налетов пережили и направленные на принудительные работы граждане Восточной и Западной Европы. После войны немало патентов было передано странам-победительницам в качестве компенсации. Тем не менее, сразу же после окончания войны "Мерседес-Бенц" приступила не только к восстановлению производства, но и к разработке нового, первого с 1936 г. легкового автомобиля, на создание которого потребовался



Первая пожарная машина

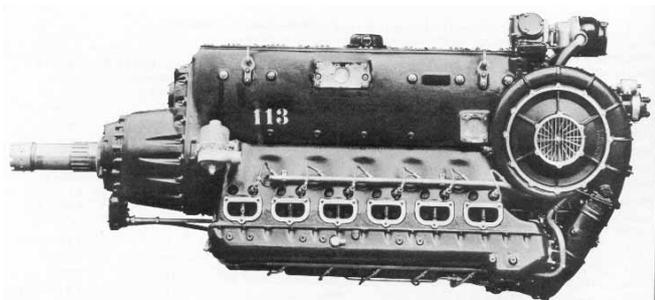
всего один год. Немалая заслуга в этом и 2860 женщин, разбивавших завалы, и 17 850 рабочих (1946 г.), прекрасно понимавших, что без "das Werk" (завода) не будет и самой жизни.

В 1946 г. возникает идея создания универсального автомобиля, т.н. "унимога" ("светоч мира"), способного работать с различными навесными приспособлениями, необходимыми для промышленности, городского и сельского хозяйства.

Послевоенный серийный выпуск легковых автомобилей начался в 1949 г. с модели 170 S. Параметры четырехцилиндрового двигателя были следующими: диаметр цилиндра 75 мм, ход поршня 100 мм, объем 1762 см<sup>3</sup>, мощность 38 кВт (52 л.с.) при 4000 об/мин. Максимальная скорость "Мерседеса" 170 S составила 122 км/ч. В том же году выпуск серийной продукции достиг 1000 легковых автомобилей в месяц - мощная предпосылка

для динамичной инвестиционной политики. Это было ещё одно экономическое чудо, основанное, прежде всего, на компетентности рабочих, инженеров и менеджеров и их стремлении сделать все для процветания фирмы.

Через девять лет после окончания войны (5 февраля 1954 г.) был выпущен "Мерседес-Бенц" 300 SL купе. Его шестицилиндровый двигатель имел диаметр цилиндра 85 мм, ход поршня 88 мм, объём двигателя 2996 см<sup>3</sup>, мощность 158 кВт (215 л.с.) при 5800 об/мин. Максимальная скорость "трехсотого" - 250 км/ч. Серий-



Авиационный двигатель DB 603

ное производство началось через 7 месяцев.

Сорок лет назад заводы концерна работали 44 ч в неделю. Значительные успехи в области автомобильного производства были достигнуты благодаря стратегии концерна: никакого копирования - всё должно быть самым лучшим "сегодня и сейчас". Следуя стратегии дальнейшей глобализации рынка в 1998 г. руководство пошло на слияние концернов "Даймлер-Бенц" и "Крайслер". Критерием успеха в научно-исследовательской области было и остается "...плодотворное претворение в жизнь научных основ для выпуска серийной продукции, предлагающей нашим клиентам безопасность, комфорт и радость" (проф. Фёрингер, член правления концерна "Даймлер-Крайслер", ответственный за исследования и технологии).

Как и раньше, создаваемые сегодня испытательные и гоночные модели служат для отработки технологий будущей высококачественной серийной продукции на суше, воде и в воздухе. Вот пример научной и производственной тематики будущего: "Зебра", "автомобиль 2000 г.", Nebus, Nesar 5 и другие -

с автоматическим выключением цилиндров, электроникой, active body control, Doppel Stick, хромированными стеклами с электрическим подогревом, СФК-поршнями, с электронной системой управления впрыском бензина и применением лазерной сварки, альтернативные двигатели (электрические и другие, предназначенные в первую очередь для удовлетворения экологическим требованиям) и т.д.

Председатель правления "Даймлер Крайслер АГ" господин д-р Юрген Е. Шремпп сформулировал стратегию фирмы в 1999 г.: "Наше будущее базируется на технологиях, инновациях и качестве. Это наши каждодневные обязательства".

Этой стратегии служат 442 тысячи сотрудников фирмы (1998 г.). Этому посвящает свою работу и Технологическое бюро концерна в Москве, которое в общих интересах, в том числе для получения прибыли, занимается подготовкой проектов в области высоких технологий, направленных на выпуск серийной продукции и высококвалифицированный сервис на уровне требований третьего тысячелетия.

Фотографии и рисунки предоставлены архивом и музеем концерна "Даймлер-Крайслер АГ" и автором статьи



Первый грузовик Даймлера  
На водительском месте - автор статьи



300 SL

# В-2? ПУТЬ В СЕРИЮ

Виктор Березкин

Вскоре после начала разработки в Харькове мощных дизельных моторов БД-2 (быстроходный дизель) и получения первых обнадеживающих результатов в конце 1934 г. было принято правительственное решение - параллельно с доводкой перспективных машин начать подготовку к их серийному производству. На руководство страны произвел соответствующее впечатление "трудовой рапорт" заводчан - прошло немногим более трех лет с момента выдачи задания, а на параде 7 ноября 1934 г. уже прошла первая пара танков БТ-5, оснащенных новыми дизелями. В декабре того же года, в соответствии с постановлением о создании на Харьковском паровозостроительном заводе мощностей по производству танковых дизелей, институту Спецмаш-проект поручили разработку проектного задания на строительство корпусов и цехов для крупносерийного производства. Таким образом, ХПЗ, помимо выпуска гражданской продукции, становился ведущим центром советского танкостроения. Масштабы нового начинания поражали беспрецедентностью: чтобы удовлетворить потребности механизации и моторизации Красной Армии, предстояло с нуля создать производство, способное обеспечить годовой выпуск 10000 дизелей, а также дополнительное снабжение их 25 % запасных частей.

Не дожидаясь утверждения проекта и сметы, уже в 1935 г. на собственные средства завода началось строительство новых цехов. Сам проект подвергся длительной экспертизе в Наркомтяжпроме и был принят только в начале 1936 г., однако настойчивый и энергичный директор завода И.П. Бондаренко заранее начал обеспечивать будущее производство оборудованием. Заказы на него по правительственному заданию размещались на станкостроительных заводах, многое приобреталось за границей, в первую очередь - в США, Германии, Швеции - признанных центрах мирового моторостроения. Отбирать оборудование в Америку вместе с группой инженеров и производственных мастеров выехал и директор завода. При этом закупались не только станки, инструменты и оснастка, но и патенты и передовые технологии. Вместе с тем разворачивание производства задерживалось из-за продолжавшейся доводки "сырого" мотора и постоянных изменений техдокументации. Планы то и дело приходилось корректировать, а оснащение нового моторостроительного корпуса 400 затягивалось.

С.Н. Махонин



Несмотря на приказы, к 4 февраля 1937 г. в корпусе 400 не был запущен ни один станок. Требовалось срочно изготовить 1610 единиц оснастки, а также 3175 наименований специнструмента. К концу полугодия сдали 46 000 м<sup>2</sup> производственных площадей, но в стадии строительства находились еще 38 000 м<sup>2</sup>. В корпусе успели смонтировать 255 станков (из 314), но запустили только 150 из них; в то же время предстояло получить еще

около 900 станков. В таком виде производство досталось присланному из ЦИАМ новому руководству - вновь назначенному начальником дизельного отдела 400 Т.П. Чупахину и заместителю главного инженера отдела 400 М.П. Поддубному. Им необходимо было проявить максимум организаторских способностей для налаживания производства, занимаясь при этом и не менее безотлагательной задачей по доводке мотора, все еще не удовлетворявшего ни требуемым параметрам, ни условиям массового выпуска.

Для этого специалисты ЦИАМ имели должный опыт: Т.П. Чупахин, несмотря на молодой возраст, уже поработал инженером по монтажу и производству авиадизеля АН-1, в успешной доводке которого участвовал и М.П. Поддубный. Незаменимой стала также привнесенная ими определенная культура авиационного моторостроения, полностью использованная при доводке В-2 (такое обозначение с середины 1937 г. получил БД-2). Работы начались с главного - обеспечения нормального рабочего процесса двигателя с требуемыми показателями, что явилось самым узким местом. Несмотря на достигнутую устойчивую работу, В-2 продолжал страдать повышенным расходом топлива и масла, а также сильно дымил. Для устранения этих дефектов была применена своеобразная методика, позволявшая "технологическими способами" одновременно решать и производственные проблемы. Решением этих проблем занялись в лабораториях Украинского института авиадвигателестроения (как видим, авиационное влияние оказалось существенным в судьбе будущего самого массового советского двигателя), в сентябре 1937 г. включенного в состав завода в качестве его "внутреннего" НИИ-466 (затем НИИ-1600). Коллектив НИИ тут же получил опытный отсек дизеля и начал его доводку, попутно занимаясь ремонтом, испытаниями узлов и перспективными разработками. Одним из существенных новшеств стало тщательное выполнение радиусов, фасок и повышение точности изготовления деталей. На эти "мелочи" раньше не обращалось внимания, что в итоге приводило к появлению мест концентрации напряжений и повышенного износа.

После ареста главного конструктора КБ К.Ф. Челпана в начале 1938 г. (он был обвинен во "вредительстве" и "создании дефектов") на его должность назначили Т.П. Чупахина. Теперь ему пришлось отвечать и за конструкцию мотора. Начальником отдела 400 стал С.Н. Махонин, прежде начальник ОТК завода, но не надолго - вскоре его выдвинули на должность главного инженера и замдиректора ХПЗ.

И.П. Бондаренко





Несмотря на все планы, затянувшаяся доводка В-2 заставила несколько раз отодвигать сроки проведения Государственных испытаний. Они состоялись только в апреле-мае 1938 г., но результаты были далеки от желаемых. При испытании трех дизелей В-2 второй серии (все они были собраны опытным производством) комиссия выявила следующие дефекты: первый мотор, отработав 72 часа 25 минут, вышел из строя из-за заедания поршня; второй отработал требуемые 100 часов, но при осмотре в его головках цилиндра оказались трещины; третий также проработал норму, но показал повышенный расход масла, а при осмотре - и сквозные трещины в верхнем картере. По замечаниям комиссии конструкторы оперативно усилили верхний картер и головки цилиндров, повысили жесткость рубашки цилиндров, изменили в поршне форму юбки на коническую, добавили маслосъемное кольцо, фетровый масляный фильтр и установили маслонасосы повышенной производительности.



У-1 - прототип КВ

С этими доработками изготовили новую опытную партию В-2, три из которых подвергли заводским стендовым испытаниям. Один из них без существенных замечаний наработал 234 часа 42 минуты, другой - требуемые 100 часов, но на третьем после 127 часов 52 минут работы вновь обнаружили трещину, и опять-таки, в верхнем картере. Госиспытания вновь пришлось отложить. Положение усугублялось еще и тем, что государственным заданием уже были установлены сроки и план выпуска дизелей на следующий год, причем объемы следовали с нарастанием: январь - 40 штук, февраль - 50, март - 60. Заводские испытания надлежало завершить до 15 января 1939 г., государственные - до 1 февраля.

Серьезные улучшения обеспечил новый топливный насос собственной конструкции. При опробовании насос успешно отработал требуемые нормативы на стенде и в танке. Благодаря нормализации подачи топлива дымность снизилась на 3/4, повысилась экономичность мотора. К концу 1938 г. завод изготовил 50 дизелей. Дальнейшую сборку тормозило отсутствие поршневых колец и гильз, которые неритмично поставлял по кооперации завод № 26. Заводской цех поршневых колец по плану намечалось пустить только через три месяца.

Все это время продолжалось оснащение моторостроительного производства. Сроки поджимали, но отсутствие необходимого оборудования и рабочих, оснастки и инструмента вынудило до середины 1938 г. все узлы и агрегаты дизелей изготавливать по временной технологии в других цехах и лишь затем проводить окончательную сборку в корпусе 400.

На 1 июня 1938 г. в корпусе стояли 774 станка, из них по причине неподготовленности электросети корпуса в работу пустили 605. В корпусе работали 2603 человека. Через месяц, к 1 июля, из списка оборудования "первой очереди" внедрили 454 из 1121 приспособления, 1089 из 2931 наименования инструмента и ни одного специального станка. Особенно много проблем доставляло изготовление техоснастки, часто единичной и уникальной: при мощности цеха приспособлений максимум в 100 единиц в месяц требовалось 1759 индексов только по одному экземпляру. Для спешного исправления положения, признанного "катастрофическим", Главк перебросил часть заказов на другие заводы.

Первый дизель В-2, полностью изготовленный в новом корпусе, был собран 12 августа 1938 г. С этого времени отдел 400 начал входить в график выпуска моторов, а собранные дизели имели меньше дефектов. В январе 1939 г. на ХПЗ произошли существенные перемены: ввиду важности дизельного производства для обороны страны из состава завода № 183 постановлением правительства были выведены только что построенные главный корпус 400, цветно-литейный, кузнечный и штамповочный цехи, в которых сосредоточился выпуск дизеля В-2. К ним присоединили модельный и инструментальный цехи ХПЗ, образовав новый дизельный завод. В него вошел и исследовательский НИИ-466.

В главном корпусе были объединены все механические цехи. Здесь же находился сборочный цех и испытательная станция. Сборка моторов велась поточным методом - на линиях и конвейерах. На заводе были освоены новейшие для того времени технологические процессы: горячая штамповка с минимальными припусками, сверловка отверстий в блоках и картерах на многошпindelных станках, расточка шатунов и вкладышей на алмазно-расточных станках и другие.

Завод, в силу упомянутых "авиационных" причин, получил наименование Государственный дизелестроительный завод 18-го ГУ НКАП. Его первым директором стал авиаинженер из ЦИАМ



КВ-2

Г.Д. Брусникин, главным инженером П.Д. Лаврентьев. Управление главного конструктора возглавил Т.П. Чупахин, его заместителем стал Я.Е. Вихман. Серийное КВ возглавил И.Я. Траштуин. Вскоре завод переименовали в Государственный союзный завод № 75 НКАП, а затем, сохранив свой номер, он перешел в ведение Наркомата среднего машиностроения, где находился и завод № 183.

Первоначальным заданием завода № 75 был выпуск дизелей В-2 для легкого танка БТ-7М и В-2В для артиллерийского тягача "Ворошиловец". Программа на 1939 г. составляла 1000 дизелей. В то же время шла подготовка В-2 к повторным госиспытаниям. Для этого собрали 12 дизелей-эталонов. В мае-июне 1939 г. три из них, "серийно-эталонных", смонтировали для испытаний на

Т-34 образца 1941 г.



стенде, тягаче и танке. Первый отработал установленный моторесурс в 100 часов без замечаний, показав максимальную мощность 500 л.с. при хорошем удельном расходе топлива - 165...166 г/л.с.ч. Второй мотор испытывался в танке БТ-7М в течение 130 часов, после чего был передан на стенд для снятия параметров. Проблемами сопровождалась лишь испытания третьего дизеля, дефорсированного до 345 л.с. для работы на арттягаче, впрочем, из-за частых поломок самого "Ворошиловца". По итогам испытаний все дизели получили оценку "хорошо". Главным заключением госкомиссии было: "дизель-мотор В-2 может быть внедрен в серийное производство". Все дизели проходили Государственные испытания с топливной аппаратурой заводского изготовления, сменившей прежнюю импортную (немецкую).

Перед запуском в серию эталон 1939 г. получил более жесткую головку блока и новое уплотнение, обеспечивающее надежный газовый стык. Приказ Наркомата за подписью И.А. Лихачева о передаче дизеля В-2 в серийное производство появился 1 сентября 1939 г., совпав с началом Второй мировой войны.

Помимо основного варианта, завод № 75 изготовил более мощный двигатель В-2К для тяжелых танков КВ. В результате увеличения частоты вращения от 1800 до 2000 об/мин и среднего эффективного давления от 6,5 до 7,0 кгс/см<sup>2</sup> была достигнута мощность 600 л.с. В августе и в октябре 1940 г. дизели В-2К были испытаны на установочной партии танков КВ.

Однако еще раньше, во время советско-финской войны (1 декабря 1939 г. - 13 марта 1940 г.), дизели В-2 прошли настоящую проверку боем. Уже 17 декабря 1939 г. первый из выпущенных КВ пошел в бой, затем к нему присоединились еще два танка. "Тридцатьчетверки" с дизелями В-2 тогда испытывались на полигоне и готовились к опробованию в первом длительном пробеге. Решением Комитета обороны дизель В-2 в 1939 г. был принят на вооружение РККА в трех модификациях: В-2 - 500 л.с., В-2К - 600 л.с., В-2В - 375 л.с.

На заводе шли опытно-конструкторские работы над другими проектами. Коллективом НИИ-1600 в сентябре 1939 г. был предложен проект рядного шестицилиндрового дизеля В-4 ("половинки" В-2) мощностью 250...300 л.с. при 1800...2000 об/мин; прохо-

дил испытания серийный В-2, форсированный до 650 л.с.; изготавливались опытные образцы танкового инерционного стартера; шла разработка нового дизеля моноблочного типа с несущим нижним картером.

К 1 сентября 1939 г. в НИИ-1600 собрали первые два рядных дизеля В-4, один из которых прошел 100- часовые испытания; за ним последовали еще три мотора, обкатанных на стенде. В 1940 г. в институте изготовили мотор, рассчитанный на повышенный ресурс 250 часов. Дизель, предназначенный для "тридцатьчетверки", получил обозначение М-250. Его экземпляр № 2 на стенде отработал около 350 часов. Такого резкого роста ресурса потребовала комиссия НКО по испытаниям Т-34. Приходилось спешить и, несмотря на отмеченный при работе "заброс" температуры масла и возросший расход топлива, два дизеля было решено предъять на госиспытания, установив их на танки Т-34. Однако "волевое решение" вдвое увеличить моторесурс при напряженной работе танкового мотора себя не оправдало: испытания танков, проведенные в августе-сентябре 1940 г., закончились серьезными поломками обоих моторов. Эта работа требовала более тщательного под-

хода.

В конце 1940 г. НИИ-1600 подготовил для ходовых испытаний в танке Т-34 другой опытный дизель В-5 с изменением регулировки в нефорсированном (мощностью 500 л.с. при 800 об/мин) и форсированном (до 650 л.с. при 2100 об/мин) вариантах. Последние были отправлены в Ленинград на Кировский завод для испытаний в танках КВ.

Летом 1940 г. завод № 75 получил значительную помощь: было увеличено финансирование строительства, снабжение завода переведено в ранг приоритетного, с других предприятий переведены около 500 квалифицированных рабочих. На тот момент за-

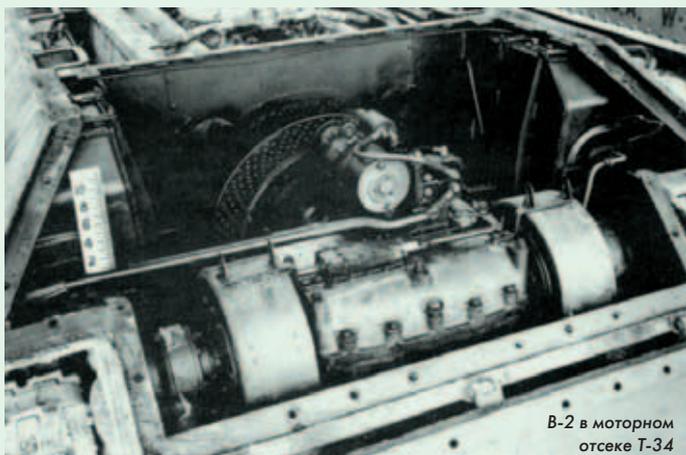


КВ-1

вод был единственным изготовителем танковых дизелей, и Наркомсредмаш приказал выпускать их круглосуточно, в три смены. Для этого цех топливной аппаратуры перевели из главного корпуса в отдельное пятиэтажное здание, однако это решение не было удачным - работе точного оборудования мешала вибрация междуэтажных перекрытий. В конце концов пришлось начать строительство нового цеха площадью 30 000 м<sup>2</sup>. Его возвели очень быстро, но пустить в эксплуатацию помешала война.

В связи с тем, что постановлением ЦК ВКП(б) и СНК СССР предусматривался значительный рост выпуска новых танков с подключением других заводов, производственный план заводу

№ 75 утвердили в количестве 2000 дизелей, а затем увеличили до 2700. Фактически из-за недооснащенности цехов и значительно-го процента брака выпустить удалось 1933 мотора. Тем не менее, на I квартал 1941 г. план по выпуску В-2 составил 2500, а на II квартал - 3280 моторов. Для расширения производства и удовле-



В-2 в моторном отсеке Т-34

творения возрастающих потребностей в узлах и агрегатах при заводе № 75 был организован филиал, размещавшийся также в Харькове на бывшем танкоремонтном заводе № 48. Однако, через полгода, в связи с началом войны, его пришлось вернуть наркомату обороны для ремонта бронетехники.

Завод № 75 наращивал темпы. В I квартале 1941 г. выпуск дизелей типа В-2 возрос по сравнению с тем же периодом 1939 г., начального года производства, в 19 раз. Параллельно шло их интенсивное конструкторское и технологическое совершенствование. В 1940 г. пошла в производство улучшенная третья серия, с начала 1941 г. ее сменила четвертая.

Наряду с базовым дизелем, была изготовлена техдокументация на производство рядного 300-сильного дизеля В-4. После успешного прохождения им ходовых испытаний в январе-марте 1941 г. харьковские дизелисты передали все наработки по В-4 на ленинградский завод № 174, где разворачивалось производство танков Т-50, для которых они предназначались. На должность заместителя главного конструктора завода № 174 из Харькова был командирован М.П. Поддубный.

Для нужд судостроения завод № 75 срочно изготовил модификации В-2 правого и левого вращения - В-2Л и В-2П (встречное направление вращения компенсировало гироскопический момент гребных винтов в спаренных силовых установках кораблей). В феврале 1941 г. они успешно прошли официальные 100-часовые испытания, подтвердив заданные параметры при работе по винтовой характеристике. Судовые модификации были приняты кораблями для эксплуатации в военном судостроении.

Наиболее впечатляющие результаты были достигнуты при испытаниях модификации В-2СН, оборудованной системой наддува от приводного нагнетателя, заимствованного от авиадвигателя АМ-38: мощность модифицированного двигателя достигла 850 л.с. Один такой дизель отправили на Кировский завод, где в июне 1941 г. он прошел ходовые испытания в опытном тяжелом танке КВ-3.

Одновременно шла работа по повышению ресурса и надежности мотора, отлаживались "блохи": отказы и мелкие дефекты. За месяц до начала войны на заводах № 183 и № 75 побывал новый нарком среднего машиностроения В.А. Малышев. Нарком потребовал увеличения моторесурса и повышения характеристик двигателя, особо заметив, что "мотор должен обладать сверхнадежностью!", словно предчувствуя, в каких сложнейших условиях войны вскоре предстоит работать дизелю.



Прототипы танка ИС

К июню 1941 г., через 20 месяцев после начала серийного производства, завод № 75 освоил пять модификаций дизеля: В-2 - для легкого танка БТ-7М; В-2/34 - для среднего танка Т-34; В-2К - для тяжелого танка КВ; В-2В - для арттягача "Ворошиловец"; В-4 - для легкого танка Т-50.

## DIGEST

Two BT-5 tanks powered by V-2 experimental diesel engines were demonstrated during the military review on November 7, 1934. Next year Kharkov Locomotive-Building Co. launched the construction of new manufacturing departments aiming at expanding their series production. By June 1, 1938, there were 2603 employees in the assembling departments operating 774 machines. In January 1939, the diesel manufacturing branched from the locomotive-building company and a new diesel company dubbed as Manufacturing Facility #75 was established.

The initial task of the new company was manufacturing of V-2 diesels for BT-7M light tanks and V-2V diesels for "Vorosholovets" artillery tractors. The program called for manufacturing of 1000 diesels in 1939. The order of People's Commissariat "About the V-2 series production" was issued on September 1, 1939, i.e. just at the beginning of World War II.

On December 17, 1939 first KV tanks powered by V-2 diesels appeared on Karelian Isthmus where Red Army was at war with Finland. Those days the V-2 powered tanks were passing through proving-ground tests and were under preparation to their first long-range trial run. In September, 1939, just before the completion of the tests, Defense Committee issued an order to arm the Soviet Army with 3 modifications of the V-2: 500-h.p. V-2, 600-h.p. V-2K and 375-h.p. V-2V.

The joint resolution passed by Central Committee of Communist Party and the USSR Council of Peoples Commissars called for a considerable enlargement of new tanks manufacturing by enrolling other manufacturing companies. Therefore, the plan for Manufacturing Facility #75 called for manufacturing of 2000 diesel engines in 1940 but a little later the total number was increased to 2700. The plan for the 1 quarter of 1941 was 2500 diesel engines, for the 2nd quarter - 3280 diesel engines. So intensive plans promoted the duly organization of mass production of the tank diesel engines during World War II.

## V-2: ITS WAY TO SERIES PRODUCTION

# ГТУ - ОСНОВА БУДУЩЕЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Олег Фаворский,  
действительный член РАН

*Население Земли в ближайшие 50 лет увеличится (по различным оценкам) с 6 до 12...15 млрд человек, что неизменно повлечет и существенное увеличение потребления энергии. В первую очередь, это рост производства электрической энергии как основы комфорта в быту и на работе, базы широко развивающейся информационной техники и любых систем автоматизации и организации труда. Другой областью безусловного экстенсивного роста будет транспорт, в первую очередь, авиационный и автомобильный с соответствующим увеличением объемов потребления топлива. Уже только эти две отрасли для своего развития требуют значительного увеличения объема соответствующих машиностроительных производств, дополнительных кадров и опять-таки энергетических затрат. Надо помнить, что, учитывая приведенные тенденции, высокоразвитые индустриальные государства согласились одной из главных задач начала XXI века считать энергосбережение во всех областях жизни и производства. Действительно, в последнее десятилетие в ряде стран при заметном росте валового национального продукта наблюдалось некоторое снижение потребления энергии (топлива). Этот опыт, конечно, будет учтен развивающимися странами, но, тем не менее, потребности Мира в энергии будут заметно расти.*

При использовании термина "энергия" сейчас обычно понимают четыре составляющие:

- природное органическое топливо: основное (нефть, газ, уголь) и второстепенное по объему использования (сланцы, древесина и отходы быта и производств). Они идут на производство электроэнергии и механической работы (включая транспорт), на получение бытового и промышленного тепла (горячая вода и пар) и как сырье в промышленности;

- электроэнергия и тепло от атомных электростанций;
- электроэнергия от гидравлических электростанций;
- электроэнергия и тепло от так называемых возобновляемых источников энергии - ветряных, солнечных, геотермальных.

Преобразование энергии топлива (его теплотворной способ-

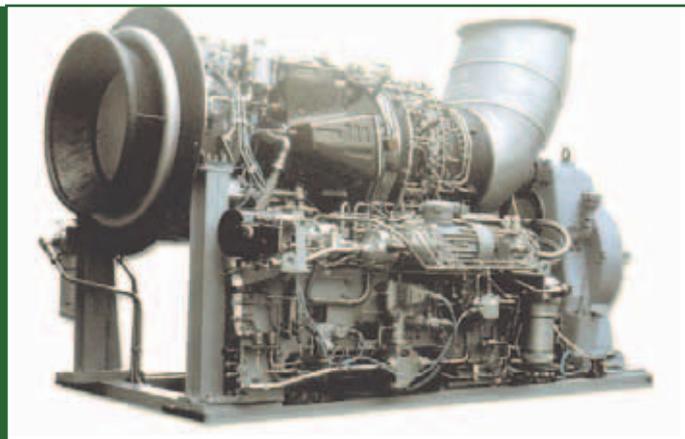
прогнозам, даже к 2050 г. вряд ли превысит 2...3 %. Иначе говоря, главными все-таки будут органические топлива.

Обеспечение электроэнергией и теплом в современном мире является основной благосостояния и развития общества и любого государства. Стабильность существования и возможность работы любых отраслей деятельности населения определяются, в первую очередь, безопасностью и надежностью систем теплоэнергетики. И подтверждением этому служат периодически проявляющиеся в различных регионах мира нарушения их работы, когда целые области остаются без электроэнергии, люди застревают на часы в метро и лифтах, замерзают системы отопления в домах и т.п.

Абсолютно ясно, что как экономические затраты на теплоэнергетику, так и ее воздействие на природную среду и самого человека не-



ГТД110



ГТП-1.5

ности при сжигании в воздухе) в механическую работу обеспечивает комфортность нашей жизни и возможность работы большей части человечества. Механическая работа при этом понимается как приведение в движение любых объектов - от газонокосилок до автомобилей, самолетов и генераторов электрической энергии.

Как известно, из всей энергии, используемой населением Земли, 90 % обеспечивается сжиганием органических топлив (угля - 28 %, нефти - 39 % и газа - 23 %). Почти 10 % от этого количества дают атомные и гидроэлектростанции и очень небольшую часть (доли процентов) - так называемые возобновляемые источники энергии - ветряные установки, солнечные, геотермальные и приливные электростанции. Безусловно, их роль будет расти, но, по

обходимо предельно снижать. Для всего человечества это дело не только сегодняшнего дня, но и ближайшего будущего. Без громких слов и лозунгов надо просто работать для обеспечения возможности нормальной жизни наших детей, внуков, т.е. следующих поколений.

Жидкое топливо для транспорта (бензин, дизельное топливо, авиакеросин) пока останется основным, хотя человечеству необходимы и оно будет осваивать экологически более выгодные топлива: в первую очередь - основная часть природного газа, метан (в сжиженном виде), а затем и самое лучшее топливо - водород.

Природный газ - пока лучшее органическое топливо из широко используемых, так как в нем меньше углерода и больше водорода, чем в нефти, тем более, - в угле. В связи с этим в продуктах его сго-

# БУДУЩЕЙ РОССИИ

рания меньше углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) и практически нет сернистой составляющей ( $\text{SO}_x$ ). При его использовании легче избавиться от сажи (С) и окиси углерода (СО), и максимально снизить выброс вредных окислов азота ( $\text{NO}_x$ ). Водород по тем же причинам - экологически максимально чистое топливо. Насущная задача техники ближайших поколений - обеспечение широкого использования таких топлив с максимальными коэффициентами полезного действия.

Все изложенное выше показывает, что стремление обеспечить достойное развитие будущего человеческого общества на Земле требует особо бережного расходования органических полезных ископаемых - основы современных топлив. Это вызвано, прежде всего, стремлением ограничить экологический ущерб от воздействия продуктов сгорания любых топлив: увеличения парникового эффекта (повышение температуры окружающей нас среды) в результате прироста процентного содержания углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в атмосфере. И, что может быть даже более важно, сейчас уже достаточно обоснованно установлено, что при таком потреблении запас нефти может быть исчерпан в ближайшие десятилетия, и лишь чуть позже - природного газа. Это очень скоро остро поставит вопрос перед человечеством об их максимальной экономии.

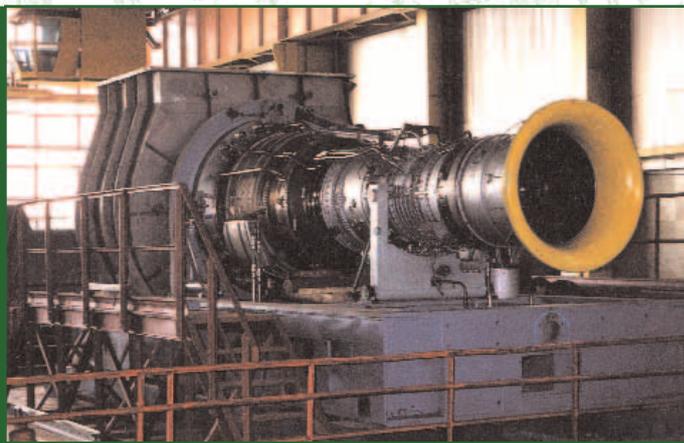
В России создана хорошая, серьезная гидроэнергетика. Она обеспечивает 20 % потребляемой электроэнергии и, что очень важно, возможность регулирования при переменном потреблении. Ее следует бережно поддерживать и дополнительно развивать в регио-

эффективных и безопасных АЭС. В атомной энергетике России надо закончить доработку безопасности как тех АЭС, что уже созданы, так и новых, в которых имеется значительный строительный задел. Особо следует сказать о важности и перспективности новых работ по созданию атомных электростанций с реакторами на быстрых нейтронах и замкнутым топливным циклом. Наверное, надо также активно создавать маленькие атомные станции (десятки МВт) для тех регионов, где нужна энергия, а топливо завозить трудно и дорого. Но это опять-таки все еще не массовая энергетика; массовая - пока и на много лет - на органических топливах.

Законы термодинамики диктуют, что возможность повышения КПД при использовании топлива обеспечивается, в первую очередь, разностью температур в тепловом цикле - максимальной и минимальной (минимальная - это окружающая среда, максимальная - это то, что мы можем реализовать при сгорании топлива). Значит, чем выше максимальная температура, тем естественно выше КПД. И вот, развитием энергетике за 100 лет достигнут уровень максимальной температуры пара  $600^\circ\text{C}$  (при давлении пара до 250 атм), что позволило у лучших паровых турбин получить КПД даже в идеальном цикле равный только 67 % (а в реальном цикле - всего 38...40 %). Но при повышении температуры до  $1300^\circ\text{C}$  КПД цикла достигает уже 82 %. Иначе, переход на другой, более высокотемпературный, не паровой цикл, в принципе дает возможность обеспечить существенное повышение КПД. И



ГТУ-16П



ГТЭ-20/55СТ

нах, где не надо строить больших водохранилищ, а можно использовать, например, горные реки. Однако, нужно очень внимательно рассматривать предложения по строительству ГЭС в равнинных областях, взвешивать экологические последствия такого решения.

Также вряд ли реально говорить сейчас о необходимости и целесообразности массового проектирования и строительства атомных станций. В то же время надо всеми силами поддерживать атомную отрасль. В первую очередь - из-за необходимости сохранения богатейших запасов знаний, которые накоплены в атомной науке и технике. Они могут в достаточно близком будущем (наверно уже через 30-50 лет, когда станет плохо с органическими топливами) создать возможность широкого применения

таким средством увеличения температуры в рабочем цикле установки стали газовые турбины.

Газовые турбины известны давно, но активно используются в энергетике недавно. Особенно эффективными оказались комбинированные, так называемые парогазовые установки (ПГУ), где газовая турбина - первая, высокотемпературная ступень использования тепла. Ее выхлопные газы идут в котел, пар из которого поступает на паровую турбину.

Именно газовые турбины могут и должны стать основой развития (модификации) наших тепловых электростанций (ТЭС), превращая их из паровых в комбинированные. Применение газовых турбин реально при очень небольших объемах строительных работ на

уже имеющихся ТЭС. Они во много раз легче паровых турбин и занимают намного меньше места, поскольку в них нет крупногабаритного и тяжелого парового хозяйства (котлы, насосы и др.). При этом управление ими гораздо легче автоматизируется, т.е. такие станции требуют меньше обслуживающего персонала и т.п.

Экономическая эффективность газовых турбин сегодня может быть весьма высокой и без применения цикла ПГУ. Так, если на выходе газовой турбины в теплообменнике выходящими газами греть воду и паром охлаждать горячий тракт турбины вместо воздуха (который очень дорог в обычном цикле), то при температуре газа 1500 °С, достижение которой ставится сейчас как задача, можно говорить об уровне КПД реального газотурбинного цикла порядка 60...62%. А это в полтора раза лучше, чем в предельном паротурбинном цикле.

В парогазовых установках, которые сейчас интенсивно строятся во всем мире (к сожалению, кроме России), реализованы температуры газа до 1300 °С и уже сегодня поставляются в эксплуатацию агрегаты с электрическим КПД 57...58%. В программах Министерства энергетики США на начало XXI века ставится задача его увеличения до 65%. Рассматривая дальнейшее развитие парогазовых установок с добавлением на входе в газовую турбину высокотемпературных топливных элементов, можно уже сегодня говорить о достижении электрического КПД порядка 70%. Этим тоже занимаются в ряде стран.

Высокоразвитые государства мира всегда вкладывали большие деньги в развитие военной техники и, в частности, авиационной. Совершенствование газовых турбин определяло уровень развития авиации, в первую очередь – авиации военной, причем на гребне прогресса были двигатели для истребительной авиации. В них максимально выжимались скорости полета в результате увеличения тяги и уменьшения габаритов двигателей. Для этого принимались максимально высокие температуры газа, и это допускалось вследствие минимального времени их эксплуатации (ресурса).

Для развития военной авиации с годами были улучшены конструкционные жаропрочные материалы, которые дали возможность повысить примерно на 300 °С температуру газа перед турбиной (против 700...750 °С, имевшихся в довоенных). Громадные успехи за эти же годы были достигнуты в совершенствовании систем охлаждения, т.е. в совершенствовании процессов теплообмена и газовой динамики проточной части двигателей, обеспечивших прирост температуры газа перед турбиной еще на 400...450 °С. Сегодня уровень температур



перед турбиной в авиационных двигателях достигает 1300...1400 °С. Параллельно с военной авиацией, с некоторым запасом по температуре, все эти годы развивалась гражданская авиация. Еще с большим отрывом по температуре продолжалось совершенствование энергетических турбин. Но за последние 7-10 лет в связи с кризисом в военной промышленности (причем во всем мире, а не только в России!), развитие энергетических турбин в мире начало идти очень высокими темпами. Сегодня за рубежом уже продаются газовые турбины с температурой 1300 °С и на подходе с температурой 1400 °С.

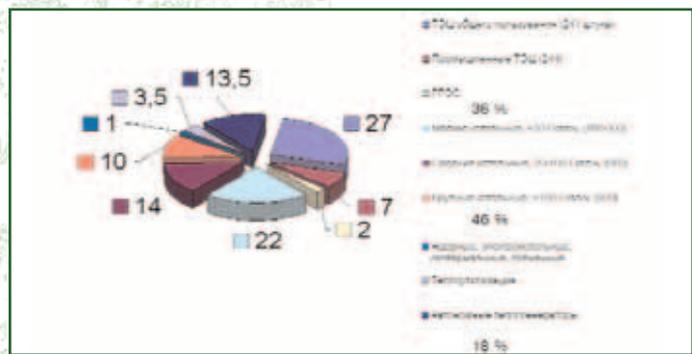
В энергетике очень много занимались совершенствованием газотурбинного цикла. По мере роста температур увеличивалась степень сжатия, рассматривались возможности промежуточного охлаждения при сжатии и промежуточного подвода тепла при расширении, возможность регенерации тепла. В упоминавшейся выше программе министерства энергетики США по развитию газовых турбин в начале XXI века поставлена задача выхода на температуру 1500 °С, т.е. температуру, которую сейчас еще мечтает внедрить и авиационная промышленность.

В массовой энергетике мира широко развернута организация производства и применения газовых турбин. Сейчас заказы, на-

пример, американских фирм на газовые турбины насчитывают 200 комплектов, способных выработать 40 млн кВт, что составляет не менее трети мощности энергетики России! Этот массовый заказ в Америке показывает, что в погоне за экономикой и экологией конструкторы ставят сегодня на первое место газовые турбины.

Теперь о главном - с теплом у России очень плохо. Вместе с тем, если мы используем парогазовую установку, а на ее выходной системе поставим водяной котел для получения пара высокого давления с уровнем температуры порядка 150...170 °С, затем другой - для пара низкого давления, затем горячей воды, тепловой воды, то, совершенствуя этим цикл по линии отвода тепла, можно использовать до 92...93% тепла, которое содержится в топливе.

А России нужно, в первую очередь, тепло. Как только приходит холодный период года, так начинаются неприятности, связанные с



недостатком тепла. В крупных городах России обычно создавались самые простые тепловые электростанции, где комбинировалось получение электроэнергии на паровых турбинах с большой долей выходного тепла (ТЭЦ). Примером такого использования ТЭЦ может служить Москва, где 13 станций обеспечивают город электроэнергией с избытком, хотя теплом только на 80% (остальное - от котельных). Наша страна холодная. У нас большие площади, идет продолжение миграции, растут города. Нам нужно обеспечивать жизнь людей, работу промышленности. Сегодня в России все это покрывается (кроме ТЭЦ) почти 200 тыс. котельных. Они потребляют 46% топлива. При этом теряется высокотемпературный потенциал продуктов сгорания, который можно использовать в газовой турбине до котла. Т.е. применение небольших ПГУ-ТЭЦ может стать эффективным путем решения этой проблемы.

В России, кроме трех заводов, которые производили стационарные турбины - Ленинградский металлический, Невский и Екатеринбургский, - есть 11 заводов и 14 авиадвигательных конструкторских бюро, которые сейчас практически без работы по основному профилю: в 1985 г. в России производилось до 70 типоразмеров авиадвигателей во многих тысячах штук. Эта гигантская производственная база используется в настоящее время очень плохо, так как заказы упали в десятки раз. Создавая же на базе авиадвигателей малые ПГУ-ТЭЦ взамен существующих старых котельных, можно, прежде всего, очень быстро обеспечить страну высокоэффективной, высококачественной, высокоэкологичной энергетикой. Нужно только, что очень важно, государственное поощрение малой энергетики, разработка соответствующих законов и льгот. Это все должно стать стимулом, чтобы государство на базе развитой энергетики вышло на другой экономический и экологический уровень. Следует особо отметить, что при производстве малых турбин (до 20...30 МВт) очень важно их количество. По удельным затратам металла выгодны мощности 10...20 МВт, а по удельной трудоемкости эффективнее большие турбины. Вместе с тем, увеличение выпуска - серийность - существенно снижает удельные затраты, себестоимость, и при значительных количествах (хотя бы десятки турбин) малые турбины становятся выгодны и экономически.

Авиадвигательные конструкторские бюро страны за последние годы проработали большое количество установок различной мощности (от 1 до 60 МВт). Проведены проектные работы, созданы до десятка опытных экземпляров, начато серийное производство нескольких типов электростанций на их основе.

Можно привести наиболее характерные примеры уже созданных и эксплуатирующихся ПТУ. Газотурбинная ТЭЦ мощностью 25 МВт вполне конкурентоспособная с мировыми по экономическим показателям (КПД 37 %) на базе двигателя НК-37СТ Самарского НПО им. Н.Д. Кузнецова сейчас запущена в работу в Самаре. В Перми начаты серийный выпуск и поставка 4-мегаваттной установки. Созданы ПТУ-ТЭЦ в 1,25 МВт в Санкт-Петербурге, 2,5 МВт - в Рыбинске, 10 МВт - в Уфе. Уже реализована станция в 20 МВт, созданная московской фирмой "Энергоавиа".

В России есть хорошая научная и экспериментальная база в Центральном институте авиационного моторостроения и Институте высоких температур РАН, которая может обеспечивать все, что нужно сейчас и на ближайшие годы по совершенствованию теплообмена, экологии сжигания топлив, прочности при проектировании самых перспективных турбин. В Москве в ЦИАМ создана и работает уникальная экспериментальная база для испытания любых газотурбинных энергетических установок мощностью до 25 МВт в любых атмосферных условиях и на любых топливах. Кроме того, относительно небольшие турбины (20...30 МВт) могут быть использованы и для надстройки многочисленных паровых турбин на электростанциях с целью увеличения их мощности и КПД на 5...7 % там, где ресурс этих паровых турбин позволяет их эксплуатировать, по крайней мере, еще 10...15 лет.

Итак, совершенствование и электро- и теплоэнергетики России в ближайшие годы должно вестись с широким применением газовых турбин. Эта энергетическая технология не только обеспечит нужное качество нашей жизни, принципиальную стабильность, безопасность и надежность существования страны, но и даст возможность существенной экономии потребляемого топлива. Как конкретный пример возможности эффективного применения малых ПТУ-ТЭЦ можно привести регион "Москва и область" в системе Мосэнерго. Сейчас здесь

потребляется 12 ГВт электроэнергии и 72 Гкал/ч тепла, из них ТЭЦ Мосэнерго дают 30 Гкал/ч, остальное обеспечивают котельные (большая часть - в области). Если эти котельные заменить малыми ПТУ-ТЭЦ, то можно получить дополнительно 19 ГВт электроэнергии (при прочих равных условиях), т.е. на 55 % больше, чем потребляется сегодня. А это гигантский резерв для развития региона. Первая такая ТЭЦ реализована в подмосковном городе Электросталь.

Широким внедрением газотурбинной техники в энергетике можно обеспечить в ближайшие 15-20 лет снижение расхода топлива в стране на 10...12 %, а газового топлива - на 25 %. Это говорит о снижении на столько же выбросов CO<sub>x</sub>. И хотя у нас есть резерв по выбросам по сравнению с уровнем, установленным международными нормами 1999 г., внедрение газотурбинной техники увеличит этот резерв и позволит в будущем развивать энергетику, спокойно увеличивая долю угля, что очень важно для энергетической безопасности страны. Хотя газ и лучше по всем показателям топлива, но будучи монополистом, он становится ненадежным, а потому - в государственном смысле - опасным. Поэтому одна из важнейших задач науки и техники состоит в том, чтобы через 30-40 лет снова обеспечить широкое применение угля. Но для этого нужно создавать новые эффективные технологии. Необходимо не только исследовать пути наиболее эффективной газификации угля, но и совершенствовать материалы, которые будут при этом применяться. Пора снова вернуться к решению проблем использования керамики и широкого применения композиционных материалов.

Все эти направления, решаемые совместно, дадут реальную возможность перспективного развития энергетики, по крайней мере, на обозримое время и при этом не строить фантастические проекты с использованием экзотических видов энергии, к чему пока реальные подступы не просматриваются.

**ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ РОССИИ**

Тип	Разработчик	Состояние разработки			
		Проект	ОКР	Опытный экземпляр	Серийное производство
ЭТВ-0-100	Омское МКБ	+			
ЭТВД-10Б	Омское МКБ	+			
МЭУ ДСП-1	ГУП "Завод им. В.Я. Климова"	+			
Озон-1	ОАО "Рыбинские моторы"		+		
Мини-ТЭЦ-2,5	ОАО "Рыбинские моторы"			+	
ЭВСУ-10	Омское МКБ	+			
ГТЭ-1500	ГУП "Завод им. В.Я. Климова"			+	
ГТЭ-2500	ГУП "Завод им. В.Я. Климова"			+	
ПТУ-2,5П	ОАО "Авиадвигатель"				+
ПТУ-4П	ОАО "Авиадвигатель"				+
ПТУ-6	ОАО "Рыбинские моторы"			+	
НК-12СТ-6,3	ОАО "СНТК"				+
НК-14СТ	ОАО "СНТК"			+	
ПТУ-95/12	НПО "Мотор"			+	
ПТУ-12П	ОАО "Авиадвигатель"			+	
ПТУ-16П	ОАО "Авиадвигатель"			+	
НК-39	НПП "Труд"			+	
НК-91	НПП "Труд"			+	
ПТУ-55СТ-20	ЦИАМ, Тураевское МКБ "Союз"				+
АЛ-31СТЭ	ОАО "А.Люлька-Сатурн"			+	
ПТУ-89СТ-20	МКБ "Гранит"			+	
НК-36СТ-Э	ОАО "СНТК"				+
НК-37	НПП "Труд"			+	
ПТУ-25ПЭ	ОАО "Авиадвигатель"		+		
ПТУ-60СТЭ	ОАО "Рыбинские моторы"	+			
ГТЭ-65П	ОАО "Авиадвигатель"		+		

**DIGEST**

**GTU - THE BASIS FOR FUTURE OF RUSSIAN POWER ENGINEERING**

Based on various assessments, the population of the Earth will grow within the nearest 50 years from 6 to 12-15 billions, that will inevitably cause an increase in energy consumption. First of all, this is a rapid growth of electric energy generation as the base for comfort at home and office, advances in information technologies, automated systems, and industrial engineering. Another area of extensive growth will be transport, in particular, aviation and automobile with a corresponding increase in fuel consumption. Only these two branches of industry call for considerable enlargement of machine-building facilities, enrolling additional employees and, of course, high energy consumption. Leading industrial countries agreed that energy saving in all spheres of activity is the primary goal of the 21 century. Nevertheless, in one way or another, the world demands for energy will increase.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ — КЛЮЧ К СОЗДАНИЮ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Владимир Скибин, Александр Крайко, Борис Блинный, Игорь Браилко, Михаил Иванов, Валерий Копченков, Владимир Макаров, Александр Секундов, Юрий Темис,**  
ЦИАМ им. П.И. Баранова

(Окончание. Начало в №№ 3, 4 и 5)

Матмоделирование особенно ценно в исследованиях, которые проводятся в связи с программами создания перспективных летательных аппаратов и силовых установок, а также других устройств, призванных обеспечить реализацию новых принципов и конструктивных схем и освоение, например, для воздушно-реактивных двигателей ранее недоступных скоростей полета. Такое положение обусловлено двумя причинами. Во-первых, экспериментальные исследования даже моделей таких объектов, требуют принципиально новых стендов, столь дорогостоящих, что решение об их создании нуждается в серьезном обосновании. Во-вторых, во многих случаях экспериментальные исследования на моделях бессмысленны из-за невозможности соблюдения необходимых критериев подобия.

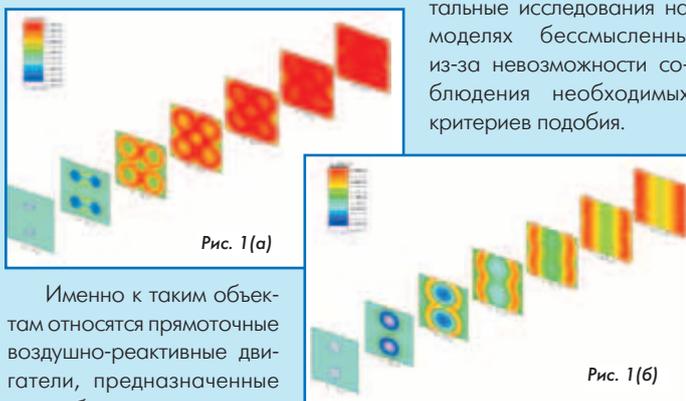


Рис. 1(а)

Рис. 1(б)

Именно к таким объектам относятся прямоточные воздушно-реактивные двигатели, предназначенные для работы на гиперзвуковых летательных аппаратах (ГПВРД), и пульсирующие детонационные двигатели (ПДД). Для описания рабочего процесса и оптимизации (в интеграции с летательным аппаратом) силовых установок с ГПВРД и с ПДД разных типов в ЦИАМ разработаны математические модели и алгоритмы разного уровня. Ниже их возможности демонстрируются на примерах матмоделирования процессов в камере сгорания стационарного ГПВРД.

Камера сгорания ГПВРД является весьма сложным объектом матмоделирования. Горение в ней происходит в сверхзвуковом потоке смеси воздуха и топлива, например, водорода, подаваемого в камеру в виде отдельных сверхзвуковых струй. Процесс горения в значительной степени определяется смешением горючего и воздуха. Однако из-за сверхзвуковой скорости время пребывания горючего и окислителя в камере мало, в силу чего становится существенной конечная скорость химических реакций. Поэтому матмоделирование достаточно сложной ударно-волновой структуры потока многокомпонентной смеси в камере сгорания ГПВРД должно включать турбулентное перемешивание и неравновесные химические реакции.

Для расчета течений в тракте ГПВРД в ЦИАМ создан комплекс математических моделей и алгоритмов, основанных на решении параболизированных и полных уравнений Навье-Стокса и Рейнольдса. Учитываются пограничные слои на стенках. Уравнения Рейнольдса замыкаются дифференциальной моделью  $\nu_t$ -90. Для расчета сверхзвукового горения используются или модель бесконечно тонкого фронта пламени, или упрощенные и детальные схемы химической кинетики. Модификация модели тонкого фронта пламени, предложенной В.Р. Кузнецовым для дозвуковых течений, позволила учесть и при

сверхзвуковом горении влияние турбулентных пульсаций. Численные методы основаны на модификациях схемы С.К. Годунова и ее стационарного аналога.

При больших числах Маха полета ( $M_n$ ), когда поток в камере является преимущественно сверхзвуковым, интегрирование стационарных параболизированных уравнений Рейнольдса для двухмерных и пространственных течений ведется с помощью быстрых маршевых методов. При этом даже в трехмерном случае при расчетах на персональных компьютерах допускается использование детальных схем химической кинетики. Для режимов с большими гиперзвуковыми скоростями при спутной подаче топлива горение лимитируется смешением. Поэтому чрезвычайно важна его интенсификация, в чем существенна роль трехмерных эффектов. В качестве примера на рис. 1, а представлено поле температур, реализующееся при горении струй водорода в спутном сверхзвуковом потоке воздуха при подаче водорода через сверхзвуковые сопла с эллиптическими выходными сечениями. С удалением от среза сопла каждая струя водорода разделяется на две струи меньшего размера, что вызывает интенсификацию смешения. Для сравнения на рис. 1, б показано поле температур при подаче водорода через осесимметричные сопла. Эффект разделения струй подтвердили эксперименты, проведенные в ЦИАМ.

С уменьшением  $M_n$  в камере сгорания возникают сравнительно большие зоны дозвуковых скоростей. На таких режимах приходится решать полные, а не параболизированные уравнения Рейнольдса. В качестве примера такого расчета на рис. 2 представлены поля чисел Маха (а) и массовой концентрации воды (б) при горении струи водорода в круглой трубе в спутном сверхзвуковом потоке воздуха. Возникающие в потоке скачки, взаимодействия с пограничным слоем, вызывают его отрыв с образованием обширной дозвуковой зоны.

При сверхзвуковых скоростях в камере сгорания особого внимания требует матмоделирование воспламенения и стабилизации горения. Важность этой проблемы объясняется тем, что при малых временах пребывания в камере температура на входе может быть недостаточно высокой для самовоспламенения при приемлемых длинах. Предварительные оценки показывают, что это актуально для полета

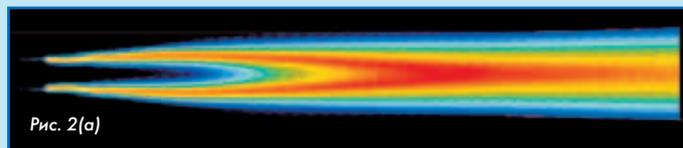


Рис. 2(а)

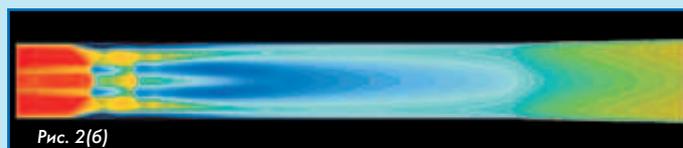
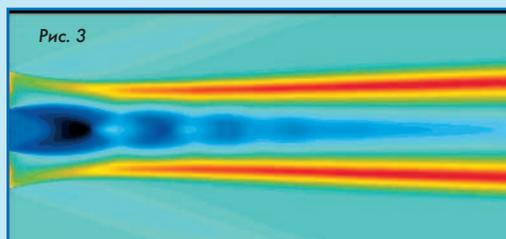


Рис. 2(б)

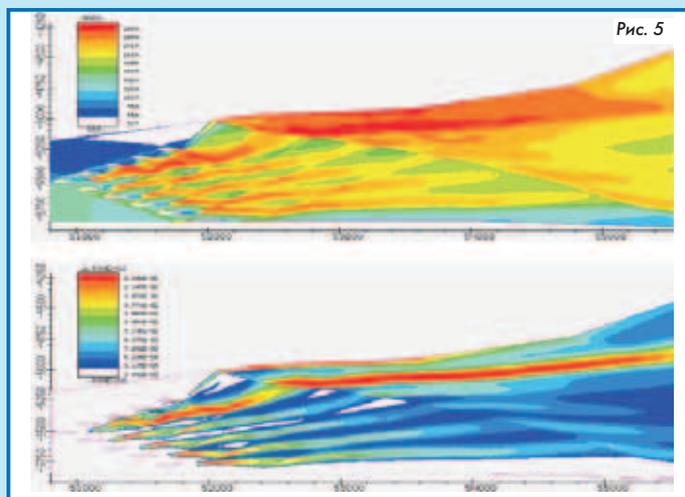
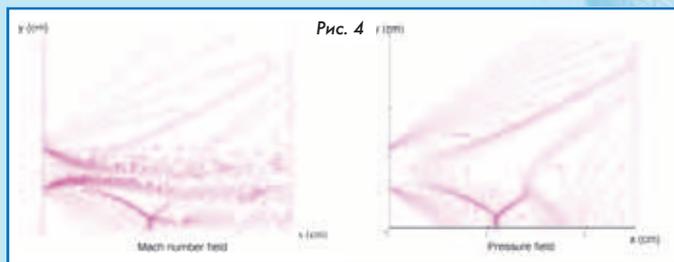
с  $M_n = 6...9$ . Здесь предлагаются специальные меры для обеспечения воспламенения и стабилизации горения, которые включают использование уступов, ниш, подачи топлива по нормали к стенке. Как и в предыдущем примере, моделирование этих ситуаций требует применения моделей, основанных на полных уравнениях Рейнольдса с детальной химической кинетикой. Возможности такого моделирования

демонстрирует расчет выдува осесимметричной струи водорода в спутный сверхзвуковой поток воздуха через инжектор с кромкой конечной толщины. На рис. 3 показано поле температур в области, примыкающей к сечению подачи водорода. При работе воспламеняющего устройства (свечи) в области за донным торцом происходит воспламенение, которое сопровождается горением в основном потоке. Для иллюстрации картины течения в области, примыкающей непосредственно к кромке, на рис. 4 показаны поля чисел Маха и давления при отсутствии свечи.



При расчете характеристик ГПВРД необходимо учитывать как интеграцию силовой установки и летательного аппарата, так и интеграцию элементов силовой установки (воздухозаборник – камера сгорания, камера сгорания – сопло). В качестве примера расчета, выполненного с учетом такой интеграции, на рис. 5

представлены поля массовой концентрации воды в камере сгорания ГПВРД при подаче водорода через систему пилонов. Расчет производился от носа летательного аппарата. Учитывалась неравномерность потока на входе в камеру. Решение получено в рамках параболизированных уравнений Рейнольдса. Показано, что для улучшения характеристик силовой установки необходимо раскрывать концевой участок камеры сгорания, чтобы повысить уровень рекомбинации продуктов сгорания.



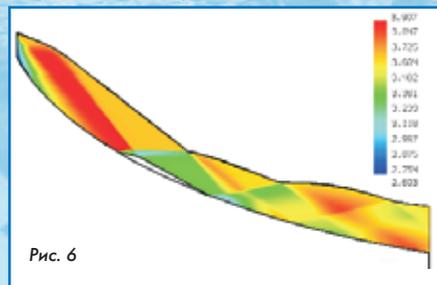
Методы матмоделирования позволяют оптимально профилировать авторегулируемые системы со сравнительно короткими центральными телами, заканчивающимися донным торцом. При заданных: высоте полета, условиях в камерах сгорания ЖРД, расстоянии между ними и максимально допустимой длине центрального тела такие конфигурации реализуют максимум тяги. Определение их тяги в нерасчетных условиях, в частности, при старте с Земли проводится с учетом отрыва пограничного слоя, который может возникать из-за взаимодействия с ним образующегося на таких режимах висячего скачка. На рис. 6 представлено поле чисел Маха в нерасчетной струе около оптимально спрофилированного контура центрального тела на старте с Земли. Видны висячий скачок и граница отрывной зоны. Благодаря развитому способу профилирования и авторегулируемости удается значительно уменьшить потери на старте сопел с центральным телом по сравнению с оптимальными в пустоте осесимметричными соплами той же степени расширения. В типичных случаях они уменьшаются в три-четыре раза (с 11 до 3%).

Как продемонстрировано на примерах моделирования течения в ГПВРД, методы матмоделирования позволяют прогнозировать возможности принципиально новых схем двигателей, силовых и энергетических установок и других устройств до создания “в железе” даже весьма отдаленных их модельных прототипов. К подобным объектам относится волновой ротор (wave rotor) – устройство, предназначенное для повышения максимальной температуры цикла тепловой машины при сохранении неизменной температуры продуктов сгорания перед турбиной, — самый теплонапряженным ее элементом.

Снижение температуры горячих продуктов сгорания в волновом роторе происходит благодаря тому, что до поступления на турбину они сжимают во вращающемся канале ротора холодный воздух, до этого поступивший в канал из компрессора. Воздух, сжатый продуктами сгорания, приходит в камеру сгорания, а охладившиеся продукты сгорания попадают на турбину. Передача энергии от горячих продуктов сгорания к воздуху происходит в нестационарном волновом процессе, который разыгрывается в каждом из десятков каналов ротора. Стенки каналов обтекаются попеременно горячим и холодным газами и поэтому остаются сравнительно холодными.

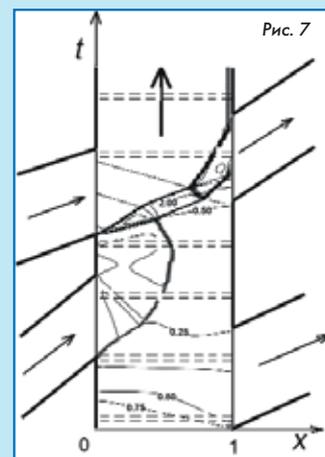
Для выяснения возможностей волнового ротора как потенциально перспективного устройства в ЦИАМ созданы математи-

ческие модели, включающие расчет нестационарного течения газа в его каналах, выход на периодический для каждого канала режим течения, учет трения газа о стенки канала, вращения и конечности



времени открытия и закрытия концов канала при их прохождении мимо подводящих и отводящих каналов (портов) и ряда других эффектов. К достоинствам одной из таких моделей относится явное выделение при счете на неподвижной сетке контактных разрывов, отделяющих воздух от продуктов сгорания. Возможности этой модели демонстрирует рис. 7. На нем для четырехпортового ротора показана развертка изолиний плотности, которую можно было бы наблюдать со стороны кожуха и верхней цилиндрической стенки всех каналов, будь они прозрачными. Кроме изолиний и их сгущений – контактных разрывов и скачков, на рисунке жирными линиями дана развертка боковых стенок кожуха и портов, а стрелками — направления потока в портах и направление вращения ротора. На изображенном периодическом для всех каналов режиме течения в среднем левые порты — входные, а правые — выходные, хотя в отдельные интервалы времени в них возможны допускаемые моделью обратные токи. Из нижнего левого порта воздух попадает в ротор компрессора, а из верхнего — продукты сгорания от камеры сгорания. Через верхний правый порт воздух и часть продуктов сгорания идут в камеру, а через нижний большая часть продуктов сгорания попадает на турбину.

Представленные примеры демонстрируют возрастающие возможности матмоделирования — эффективного инструмента исследователя и конструктора при создании сложнейших образцов техники, включая, авиационные двигатели XXI века.



# "ДАЙТЕ МНЕ ТОЧКУ ОПОРЫ..."

*Проблема опор роторов является одной из наиболее критических среди задач, подлежащих решению при создании авиационного ГТД начала XXI века. За время, прошедшее с начала эксплуатации воздушных судов с ГТД, температура газа перед турбиной была повышена втрое. Это напрямую сказалось на температурах опор роторов и масла: на опорах она возросла с 80 до 260 °С и более, а температура масла выросла с 60 до 200 °С. Дальнейшее развитие ГТД связано с еще большим увеличением температуры перед турбиной.*

Лев Франкштейн, ведущий конструктор ГНЦ ЦИАМ

Если у традиционно применяемых в наших авиационных двигателях подшипников качения из стали ЭИ-347 есть еще достаточно большие резервы для работы при высоких температурах, у масла они почти исчерпаны: предельная температура термостабильности перспективного масла ПТС-225 равна 225 °С. Превышение этой температуры ведет к термической деструкции масла, его возгоранию и отложению кокса на деталях со всеми сопутствующими эффектами.

Однако это не единственная проблема, связанная с опорами. Увеличение степени повышения давления в двигателе приводит к ухудшению условий работы уплотнений полостей опор. Количество пропускаемого туда воздуха возрастает, что приводит к нарушению работы масляной системы.

Одним из возможных путей устранения этих проблем является применение "сухих" подшипников: магнитных или керамических. К сожалению, авиационный вариант таких подшипников находится еще в процессе разработки, поскольку они должны быть доведены до требуемых в авиации уровней надежности и ресурса. По тому, как идет дело, похоже - это займет много времени, поэтому рационально продолжать развитие традиционно применяемых подшипников в направлении частичной реконструкции с целью создания условий для обеспечения нормальной работы масляной системы. Решению этой задачи может помочь критический анализ работ по совершенствованию конструкции опор, проведенных к настоящему времени на ГТД.

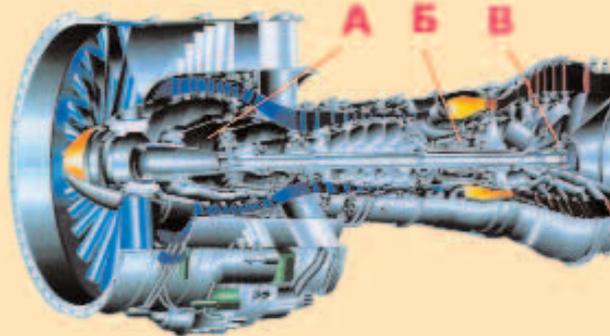


Рис. 1 Расположение полостей подшипников в ТРДД

Условия работы масла в разных опорах двигателя изменяются неодинаково при повышении его рабочих параметров. На рис. 1 показана силовая схема ТРДД. Подшипники роторов расположены в трех полостях: А, Б и В. Полость Б находится между КВД и ТВД - в зоне высоких температур и давлений воздуха. Условия работы масла в этой полости существенно зависят от изменения рабочих параметров двигателя. Повышение температуры в проточной части может вызвать перегрев масла, его возгорание и нарушение работы масляной системы. В полости А, расположенной в передней части двигателя, условия работы масла при повышении температуры газа перед турбиной двигателя дозвукового воздушного судна изменяются незначительно - в результате повышения частоты вращения ротора. В полости В, расположенной в задней части двигателя, условия работы масла при увеличении напряженности цикла ухудшаются, но в меньшей степени, чем в полости Б.

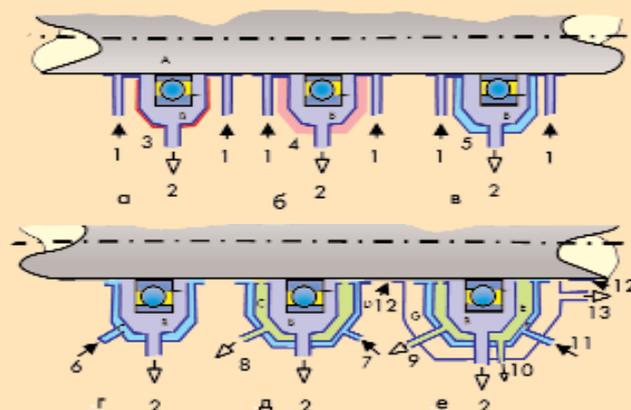


Рис. 2 Развитие тепловой изоляции полости опоры ротора, работающей при экстремальных температурах и давлениях окружающего воздуха.

- а** - твердое изоляционное покрытие стенок;
  - б** - теплоизоляционный материал в зазоре между стенками полости подшипника;
  - в** - воздушная прослойка в зазоре между стенками полости подшипника;
  - г** - протекание воздуха из-за промежуточной ступени компрессора или охлажденного воздуха из-за компрессора через зазор между стенками полости подшипника;
  - д** - протекание охлажденного воздуха из-за компрессора через отдельную полость вокруг полости подшипника;
  - е** - модернизированная схема опоры ротора, рассчитанной на экстремальные условия работы
- На схеме:** 1 - наддув уплотнения полости опоры; 2 - отвод маслотовоздушной смеси; 3 - твердое теплоизоляционное покрытие; 4 - теплоизоляционный материал в зазоре между стенками; 5 - воздушная прослойка в зазоре между стенками; 6, 7 - подача воздуха из-за компрессора; 8, 9 - перепуск охлаждающего воздуха; 10 - дренаж; 11 - вход охлаждающего воздуха; 12 - подача воздуха; 13 - выход воздуха
- А** - вал; **В** - подшипниковая полость; **С** - зазор между стенками подшипниковой полости; **Д** - полость охлаждения; **Е** - промежуточная полость; **Г** - полость проточного охлаждения; **З** - внешняя полость охлаждения.

Таким образом, обеспечение нормальной работы масла и масляной системы в ГТД сводится, в основном, к доводке конструкции полости Б, расположенной в зоне экстремальных условий работы по температуре и давлению окружающего воздуха. Отсюда вытекает и другой вывод. Для сокращения объема работ при переходе на "сухие" подшипники на первое время можно ограничиться их применением только в этой полости.

На рис. 2 показаны последовательные изменения конструкции тепловой изоляции полости опоры ротора ГТД, работающей в экстремальных условиях по температуре и давлению воздуха.

Первоначально тепловая изоляция полости опоры была осуществлена нанесением на наружную поверхность корпуса полости тонкого слоя теплоизоляционного материала (рис. 2, а). В двигателях последующего поколения полости опоры стали выполняться с двойными стенками, в зазоре между которыми закладывался теплоизоляционный материал (рис. 2, б). Однако эта мера оказалась нерациональной. Как известно, после выключения двигателя температура подшипника повышалась из-за перетока в него тепла, накопленного в диске турбины, а теплоизоляционный материал, окружающий подшипниковый узел, затруднял его охлаждение. В результате на по-

верхностях, омываемых маслом, накапливался кокс. Поэтому теплоизоляционный материал был удален. Тепловая изоляция полости подшипника обеспечивалась находившимся в зазоре воздухом (рис. 2, в).

Дальнейшее повышение требований к тепловой изоляции полости опоры привело к организации продувки через зазор между ее стенками воздухом, отбираемого из-за вентилятора или одной из передних ступеней компрессора (рис. 2, г). При этом продувка воздуха через зазор была организационно совмещена с наддувом лабиринтных уплотнений.

В связи с ростом степени давления в ГТД для продувки зазора и наддува уплотнений потребовался воздух более высокого давления. Его стали отбирать для этой цели из-за одной из последних ступеней компрессора, что в свою очередь потребовало охлаждать его в воздушно-воздушном теплообменнике, охлаждающий воздух для которого отбирался из-за вентилятора рис. 2, д.

Этот способ тепловой изоляции полости опоры получил широкое распространение, однако он обладает существенными недостатками:

- повышенной пожарной опасностью при утечках масла из полости опоры;
- чрезмерным перепадом давления на масляном уплотнении из-за высокого давления наддува, что приводит к снижению его долговечности и пропуску большого количества воздуха в масляную полость.

Более рациональным является подшипниковый узел, схема которого показана на рис. 2, е. Этот подшипниковый узел содержит три полости:

- полость В, в которой размещен подшипник вала;
- полость F, через которую протекает воздух охлаждения полости В, используемый также для наддува ее уплотнений;
- полость Е - промежуточная.

В полость F поступает воздух, отбираемый из-за одной из последних ступеней компрессора, охлаждаясь по пути в теплообменнике воздухом, отбираемым из-за вентилятора. Из полости F воздух через предмасляное уплотнение поступает в промежуточную полость Е. Здесь он перепускается через специальный канал, а также наддувает масляное уплотнение полости В. В полости Е имеется также дренажный канал для удаления утечек масла из полости В.

Подшипниковый узел по этой схеме имеет ряд преимуществ:

- повышенную пожарную безопасность, поскольку излишки масла удаляются через дренажный канал;
- возможность регулирования количества протекающего охлаждающего воздуха и перепада давления на масляных уплотнениях.

Ограничение перепада давления на масляных уплотнениях обеспечивается также установкой на выходе маслосодержащей смеси из опоры двухпозиционного клапана. На режиме малого газа клапан не препятствует выходу смеси. На больших режимах клапан частично перекрывает выходное сечение. При этом со стороны полости опоры на уплотнение не воздействует противодавление. В результате уплотнение работает под меньшим перепадом давления. Управление клапаном автоматическое: с помощью давления воздуха от одной из последних ступеней компрессора. Принцип работы схемы показан на рис. 3. Этот способ более универсален. Он не только снижает перепад давления на уплотнении, но и обеспечивает возможность регулировать расход воздуха, охлаждающего опору, а также устраняет пожарную опасность.

В первых авиационных ГТД применялись масляные лабиринтные уплотнения с маслоотражающими дефлекторами (рис. 4, а). По мере повышения степени давления в ГТД требовалось снижение количества проникающего к подшипнику горячего воздуха из газозвдушного тракта двигателя. Перед масляным уплотнением было введено дополнительное (предмасляное) уплотнение. В полость между ними подавался воздух с давлением, превышающим давление воздуха, поступа-

ющего из газозвдушного тракта (рис. 4, б). Поскольку перепад давления на масляном уплотнении при этом оказался довольно высоким, перед предмасляным уплотнением добавлено еще одно уплотнение,

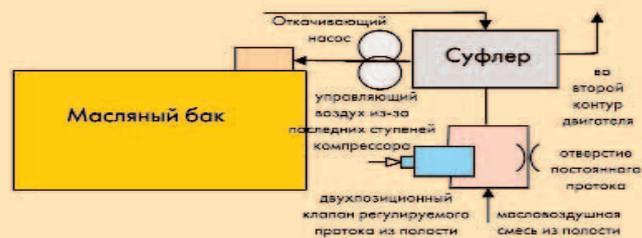


Рис. 3 Поддержание работоспособности опоры ГТД, работающей при экстремальных условиях

и воздух из полости между ними перепускался (рис. 4, в). Это позволило снизить давление воздуха наддува в полости между масляным и предмасляным уплотнениями, что уменьшило количество воздуха, проникающего к опоре. Дальнейшее развитие ГТД потребовало нового снижения количества поступающего в полость опоры воздуха. Эта проблема в большинстве ГТД была решена применением торцевых и радиально-торцевых контактных уплотнений, показанных на рис. 4, г и д. Применение таких уплотнений в теплонапряженном двигателе ограничивается их сложностью, потребностью в охлаждении, чувствительностью к повышению окружной скорости и температуры.

Значительный интерес представляет лабиринтное уплотнение, показанное на рис. 4, е, которое, благодаря регулированию перепада давления на нем, является одновременно малорасходным, простым и надежным. Оно хорошо вписывается в подшипниковый узел и легко монтируется при сборке двигателя. Такими же качествами об-

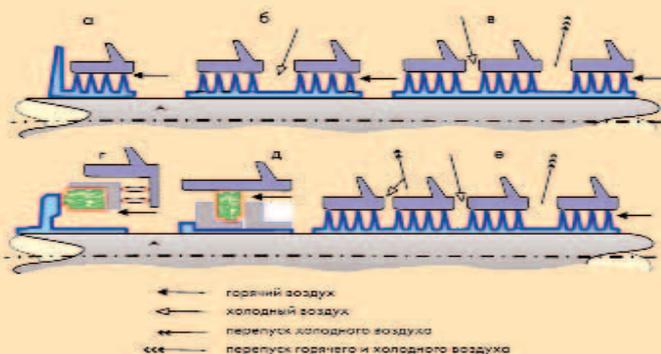


Рис. 4 Развитие конструкции уплотнений полостей опор ГТД, работающей при экстремальных условиях.

- 1- лабиринтное уплотнение с маслоотражателем;
- 2- лабиринтное уплотнение с наддувом;
- 3- лабиринтное уплотнение с наддувом и односторонним перепуском;
- 4- торцевое контактное уплотнение;
- 5- радиально-торцевое контактное уплотнение;
- 6- лабиринтное уплотнение с наддувом и двусторонним перепуском.

ладает и уплотнение с маслоотгонной резьбой. На схеме показана развертка уплотнений. В действительности они располагаются ярусами, что делает узел компактным. В качестве воздушных уплотнений в полостях опор, очевидно, будут применяться щеточные уплотнения, эффективность которых несравненно выше, чем у применяемых ныне.

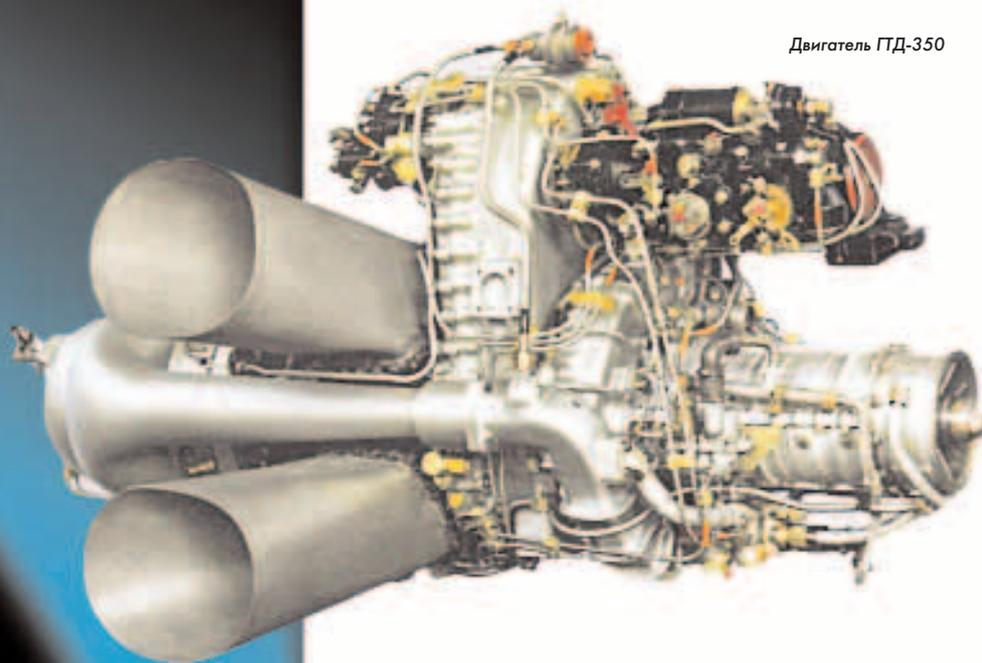
По моему глубокому убеждению, приведенные выше материалы определенно убеждают, что в ГТД ближайшего будущего будут применяться усовершенствованные опоры приведенных или близких к ним типов.

**От редакции: В июне 2000 года Льву Исаевичу Франкштейну, автору данной статьи, исполнится 90 лет. От всей души поздравляем его с грядущим юбилеем, желаем и в дальнейшем столь же крепкого здоровья и длительной плодотворной работы на благо дела его жизни - авиационного моторостроения.**

## DIGEST

If traditional rolling-contact bearings have still rather high reserves for operation at high temperatures, oils have almost exhausted their resources: increase in temperature would result in thermal decomposition of oil, ignition and coke deposition. Aviation variants of "dry" bearings - magnetic or ceramic - are only under study. Therefore, it is reasonable to continue the development of traditional bearings by partial modification of the oil system. "I am sure that GTE of the nearest future will use the improved bearings of above-mentioned types or very similar to them".

"GIVE ME A POINT OF REST..."



Применение ГТД расценивалось в конце 50-х как революция в вертолетостроении. Силовая установка с ГТД в 4...5 раз легче установки с поршневыми двигателями. Поскольку снижение массы силовой установки на один килограмм снижает массу всей машины на 3...4 кг, то в результате вертолет с ГТД в 2 раза легче вертолета с поршневыми двигателями. Высокая весовая отдача в совокупности с улучшенными аэродинамическими качествами вертолета позволяет значительно увеличить удельную мощность и, как следствие, скорость полета и потолок, а также уменьшить вибрации и пожароопасность, упростить эксплуатацию. И, наконец, расход топлива у ГТД на один килограмм груза значительно меньше, чем у поршневых двигателей.

ОКБ В.Я. Климова не имело в то время опыта проектирования малоразмерных газотурбинных силовых установок, да и в стране подобный опыт практически отсутствовал. Поэтому было принято решение взять за прототип американский двигатель Allison-250, схема которого привлекала тем, что камера сгорания располагалась за турбиной, а это значительно сокращало длину вала турбины и общую длину двигателя. Проектировавшийся ГТД должен был развивать мощность в 350 л.с. до высоты 1000 м. Двигателю присвоили индекс ГТД-350, главному редуктору - ВР-2.

Первоначально "милевцы" разработали несколько проектов глубокой модернизации Ми-1, вылившихся в проект вертолета В-5 с одним двигателем ГТД-350. Но в ходе проработки у конструкторов ОКБ сформировалось мнение об использовании на вертолете установки из двух спаренных ГТД, что повышало бы безопасность, предоставляя возможность полета на одном двигателе. Проект двухдвигательного вертолета получил индекс В-2.

Официальное постановление о создании В-2 с двумя двигателями ГТД-350 было принято 30 мая 1960 г. Оно предполагало разработку вертолета в сельскохозяйственном, пассажирском, транспортно-санитарном и учебном вариантах.

После ухода в 1960 г. Владимира Яковлевича Климова на пенсию главным конструктором назначили Сергея Петровича Изотова. В 1963 г., после смерти В.Я. Климова, Ленинградскому машиностроительному заводу было присвоено его имя.

Двигатель и редуктор для новой машины удалось создать за четыре года. Схему компрессора выбрали осецентрибежную (семь осевых ступеней и одна центробежная). Камера сгорания цилиндрическая, турбина компрессора и свободная турбина осевые одноступенчатые. Конструкторы "Климова" осуществили поузловую доводку, в процессе которой выявились принципиально новые проблемы. Трудности были обусловлены специфическими особенностями малоразмерного двигателя, его вы-

# ПЕРВЫЙ ТУРБОВАЛЬНЫЙ

*В 1958 г. главный конструктор завода № 329 (ныне Московский вертолетный завод) Михаил Леонтьевич Миль обратился в ОКБ В.Я. Климова с просьбой разработать силовую установку для легкого вертолета второго поколения на восемь пассажиров. Новый вертолет должен был отличаться от своего предшественника Ми-1, созданного в 40-е гг., использованием в составе силовой установки газотурбинного двигателя (ГТД). Вертолет Ми-1 к тому времени уступал по летно-техническим характеристикам зарубежным аналогам, на которых применялись турбовальные двигатели.*

ГУП "Завод им. В.Я. Климова":

**Петр Изотов**, главный конструктор вертолетных двигателей

**Данила Изотов**, менеджер по рекламе

сокими оборотами. Конструктивные и технологические ограничения не позволяли изготовить малогабаритные элементы прочной части такого рода двигателей. В ходе доводки были исследованы и решены вопросы влияния масштабного фактора компрессора и турбины на основные параметры ГТД, работоспособность высокооборотных подшипников, а также вопросы высокочастотных вибраций, демпфирования, уравнивания, резонансных колебаний высокооборотных роторов и др. Впервые в авиационной промышленности была применена методика раздельной балансировки роторов. В дальнейшем этот опыт пригодился при создании двигателя ТВ2-117.

Доводка двигателя проходила достаточно успешно. 22 сентября 1961 г. состоялся первый 15-минутный полет вертолета В-2, а уже в октябре вертолет поступил на Государственные испытания. В процессе летных испытаний возникла необходимость увеличить мощность двигателя до 400 л.с. Это было осуществлено за счет повышения температуры газов перед турбиной и снижения высоты, на которой поддерживалась мощность.

В первом квартале 1963 г. двигатель ГТД-350 и редуктор ВР-2 успешно прошли Государственные стендовые испытания на ресурс 200 ч и были рекомендованы для серийного производства.

Система регулирования двигателей поддерживала необходимое число оборотов турбокомпрессора, ограничивала обороты силовой турбины и максимальный расход топлива, обеспечивала включение перепуска воздуха, а также автоматическую работу противообледенительной системы. Ограничение максимальной температуры газов производилось вручную.

Создание первого специализированного турбовального двигателя стало знаменательным событием в истории советского вертолетостроения, поскольку эксплуатировавшиеся на вертолете Ми-6 двигатели ТВ-2ВМ и Д-25В являлись вариантами самолетных образцов.

22 сентября 1963 г. по результатам Государственных испытаний было принято решение о серийном выпуске вертолета В-2 под обозначением Ми-2. Вертолеты и силовые установки было решено производить на авиационных заводах WSK PZL в Польше (вертолеты - на заводе в г. Свидник, двигатели и редукторы - на заводе в г. Жешув). Документацию на производство силовой установки передали в Польшу в конце 1963 г. Началась подготовка производства. В соответствии с подписанным в январе 1964 г. межправительственным договором о предоставлении лицензии ответственность за качество изготовления продукции возлагалась на польскую сторону, за конструкцию - на советскую. В Польшу для оказания помощи в налаживании производства направили



М.П. Миль и С.П. Изотов показывают вертолет Ми-2 правительственной делегации во главе с Н.С. Хрущевым



Сборочный цех двигателя ГТД-350



Судно на воздушной подушке с двигателем ГТД-350

группу ленинградских специалистов, которая проработала там около трех лет. Для первой опытной партии, состоявшей из 10 вертолетов, двигатели и редукторы изготавливались на "Климове", но уже в 1964 г. завод WSK PZL начал самостоятельно выпускать силовую установку. 26 августа 1965 г. в воздух поднялся первый серийный вертолет Ми-2, собранный из советских деталей, а 4 ноября того же года - первая машина, изготовленная полностью на заводе WSK Swidnik.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ГТД-350

Мощность на взлетном режиме, л.с.	400
Удельный расход топлива на взлетном режиме, г/л.с.-ч	365
Степень повышения давления	6,0
Расход воздуха, кг/с	2,2
Температура газов перед турбиной, К	1243
Максимальные обороты турбокомпрессора, об/мин	45 000
Обороты силовой турбины, об/мин	24 000
Масса, кг	135

В это время на "Климове" продолжались работы по совершенствованию двигателя. В короткие сроки были осуществлены необходимые доработки и проведен комплекс испытаний на ресурс 1000 ч. Увеличение ресурса потребовало в основном усовершенствования конструкции компрессора, турбины и третьей опоры. В 1967 г. вся документация на двигатель 1000-часового ресурса была передана на WSK PZL. Внедрение двигателя с повышенным ресурсом в серийное производство происходило в несколько этапов путем освоения выпуска двигателей 500-, 750- и 1000-часового ресурса.

К 1967 г. польские специалисты полностью освоили производство двигателя, поэтому на заводе WSK PZL оставался только представитель главного конструктора. С 1974 г. поляки взяли на себя всю ответственность за производство и эксплуатацию двигателей, а с 1978 г. отказались и от представителя-консультанта. На "Климова" возложили только обслуживание и эксплуатацию двигателей в отдаленных районах СССР.

Все эти годы "Климов" продолжал совершенствовать характеристики малоразмерных вертолетных двигателей и совместно с польскими коллегами приступил к разработке двигателя ГТД-550В большей мощности (640 л.с.). По сравнению с ГТД-350 новый двигатель имел лучшие характеристики по экономичности на 34 %, удельной мощности на 80 %, удельной массе на 44 %.

Новый двигатель рассматривался в качестве силовой установки для вертолетов Ми-3, В-20, Ми-2М, В-3, представлявших собой дальнейшее развитие Ми-2. Польская сторона произвела значительные финансовые затраты, выпустила рабочие чертежи, подготовила производство, отработала технологические процессы и даже приступила к изготовлению деталей. Внезапно, по непонятным причинам, все работы по ГТД-550В были прекращены. Жаль, что авиация не получила хорошего, экономичного и легкого двигателя.

В начале 70-х гг. польские конструкторы самостоятельно сделали попытку форсировать двигатель ГТД-350 до мощности 450 л.с. Двигатель получил индекс GTD-350P. Были построены два

опытных вертолета с GTD-350P, но низкая надежность форсированных двигателей заставила отказаться от дальнейших работ.

В 60-х гг. информация о двигателе ГТД-350 распространилась в других отраслях промышленности. Очень заинтересовался установкой двигателя на танк Ж.Я. Котин (об этом мы подробно писали в "Двигателе" № 5-1999). На базе ГТД-350 был разработан целый ряд опытных двигателей морского и транспортного назначения: для катера на подводных крыльях конструкции Ленинградского НИИ судостроительной промышленности, железнодорожного ведущего вагона НИИ железнодорожного транспорта, вездеходов на воздушной подушке разработки Горьковского автозавода, спортивного гоночного автомобиля и др. В настоящее время "Климов" совместно с Институтом радиофизики Армянской Академии наук работает над совершенно уникальной программой по использованию ГТД-350 в приводе ферменной конструкции электростанции, работающей на солнечной энергии. Новизна проекта заключается в том, что зеркала наводятся на теплообменник не индивидуально. Для фокусировки энергии вся ферменная конструкция с зеркалами приводится в движение с помощью ГТД-350. Если строящаяся экспериментальная станция, идеальная с точки зрения экологии, подтвердит теоретические расчеты, то совместное изобретение армянских физиков и российских моторостроителей станет новым словом в энергетике.

Серийное производство Ми-2 и двигателей не прекращено до сих пор. За 35 лет изготовлено более 5400 вертолетов и 11 000 двигателей. Первоначально вертолеты поставлялись в СССР, соци-



Вертолет Ми-2

алистические и дружественные восточно-азиатские и латиноамериканские страны, но сейчас география применения Ми-2 значительно расширилась. Ми-2 стал одной из самых массовых винтокрылых машин. Вертолет выпущен в десятках гражданских и военных модификаций. Он стал первым легким вертолетом с двухдвигательной силовой установкой, и с 70-х гг. схема Ми-2 стала применяться и на зарубежных аппаратах подобного класса, до этого строившихся исключительно с одним двигателем. Правительства Советского Союза и Польши высоко оценили заслуги ленинградских конструкторов в создании и внедрении в производство двигателя ГТД-350, удостоив многих из них государственных наград.

В настоящее время Служба поддержки заказчика "Климова" проводит работы по продлению ресурсов двигателей и редукторов по всему миру.

## DIGEST

## THE FIRST TURBOSHAFT

In 1958, ML Mil, General Designer of Company # 329, authorized V.Ya.Klimov's Design Bureau to develop a powerplant for 8-seat lightweight helicopter of the 2nd generation. A new helicopter was to be distinguished from its predecessor - the Mi-1 developed in 40s - by the powerplant where GTEs should be used. By late 50s, Mi-1 helicopter became out-of-date and ranked below foreign competitors, which were powered by turboshaft engines. Later on, the brand-new helicopter dubbed as Mi-2 became one of the most mass-produced. The helicopter was powered by V.Ya. Klimov's GT-350 engine - the first turboshaft in Russia.

# ДОКТОР ГАНС ФОН ОХАЙН И ЕГО РЫЧАЩИЕ ТВОРЕНИЯ

Николай Александров



В конце 1933 г. двадцатидвухлетний студент Геттингенского университета Ганс-Иоахим Пабст фон Охайн (Hans-Joachim Pabst von Ohain), только что закончивший изучение курсов физики и прикладной механики, заинтересовался проблемами создания турбореактивного двигателя (ТРД). Любопытно, что поводом для этого послужил... невероятный шум, создаваемый поршневым мотором и винтом, что, по его мнению, свидетельствовало о невысоком к.п.д. всей силовой установки. Опираясь на полученные глубоко теоретические знания, Охайн решил, что "гладкое" течение газа в ТРД будет способствовать уменьшению шума, вибраций, нагрузок на агрегаты и массы всей силовой установки. Все это он считал чрезвычайно важным для создания высокоскоростных летательных аппаратов.

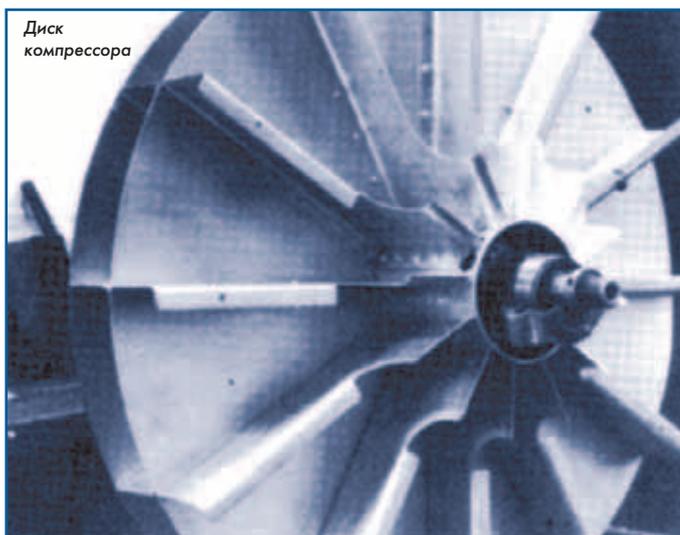
Наставниками молодого человека были известные профессора Л. Прандтль (L. Prandtl) и Р.В. Поль (R.W. Pohl). Однако они могли дать начинающему конструктору лишь самые общие рекомендации - ведь теории ТРД еще не существовало. Ознакомившись с немногочисленными работами предшественников и, в частности, с турбиной Нернста, Охайн решил сделать ставку на схему с центробежным компрессором и центростремительной турбиной, обращенными "спиной" друг к другу и имевшими одинаковый диаметр. Камера сгорания в его первых двигателях размещалась в наддисковом пространстве, что позволило до предела уменьшить

длину ТРД. Уже в то время Охайн вполне осознавал преимущества осевых компрессоров и турбин, однако, он считал многоступенчатые системы слишком сложными, практически недоступными для теоретического расчета и потому предпочел начать с более простых и дешевых колес с радиальным течением газа.

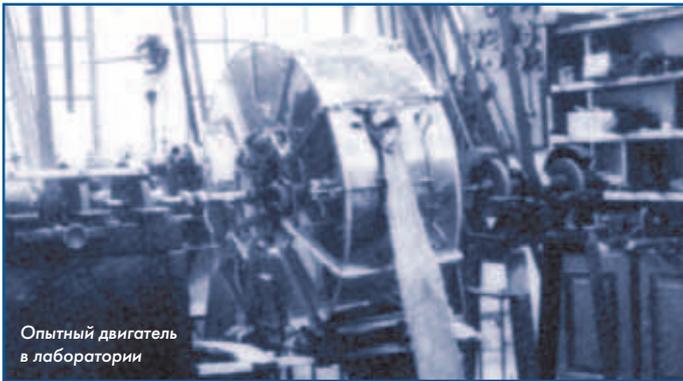
В 1934 г. Охайн разработал эскизный проект, прикинул массу узлов и рассчитал величину тяги своего первого двигателя. Степень повышения давления в компрессоре не превышала трех, а температура на входе в турбину составила 650..760 °С. В дальнейшем "старшие товарищи" указали начинающему ученому, что при указанных значениях параметров и скорости порядка 800 км/ч к.п.д. его двигателя будет раза в полтора меньше, чем у поршневого мотора одинаковой мощности. Угрожающе высокими получились и оценки удельного расхода топлива, зато масса реактивного двигателя по расчетам оказалась вчетверо меньше по сравнению с эквивалентным "поршневиком". В те времена доля двигателя в общей массе силовой установки истребителя была определяющей, тогда как масса топлива составляла не более трети от суммарной. Поэтому, несмотря на невысокий к.п.д. спроектированного реактивного двигателя, Охайн считал его достаточно перспективным.

Первым делом молодой ученый решил запатентовать свою идею, а затем стал обдумывать, каким образом можно ее "продать". Ему было абсолютно ясно, что на "бумажки с формулами и рисунками" никто не клюнет - необходимо иметь хотя бы макет реального двигателя. Охайну пришлось в голову воспользоваться услугами мастерской-гаража фирмы "Бартелс унд Беккер" для изготовления такого макета. Главным механиком мастерской был Макс Хан (Max Hahn), великолепный техник-практик и талантливый изобретатель. Собственно, с "Бартелс унд Беккер" Охайну приходилось иметь дело и раньше, когда он неоднократно ставил в мастерскую-гараж свой маленький автомобиль. Макс Хан любил побеседовать с любознательным студентом об устройстве автомашины и ее агрегатов, а также о других технических проблемах. Вскоре Охайн осознал, что в лице Хана он может приобрести незаурядного конструктора и технолога, если его удастся убедить в реализуемости идеи ТРД.

Ознакомившись с чертежами двигателя, Хан с ходу предложил кое-что усовершенствовать. Изменения были в первую очередь направлены на упрощение технологии изготовления деталей и узлов макетного ТРД. Не слишком богатое оборудование мастерской ограничивало полет фантазии конструкторов, зато совмест-



Диск компрессора



Опытный двигатель  
в лаборатории

ная борьба с трудностями сблизила их, сделав единомышленниками. Изобретательность Хана в совокупности с техническим талантом Охайна обеспечили поразительный результат: стоимость изготовления макета по предварительным расчетам оказалась менее 1000 марок. Реально расходы оказались несколько большими, в основном из-за вынужденных переделок. По оценкам Охайна, в конце восьмидесятых годов изготовление точно такого же макета обошлось бы не менее чем в \$10 000.

Параллельно с практическими работами по ТРД Охайн пытался заниматься и докторской диссертацией, однако уделял ей куда меньше времени, чем раньше. В начале 1936 г. он показал своему руководителю профессору Полю результаты расчетов, основные выводы и эскизы макета ТРД. Стоит отметить, что вся эта деятельность не имела никакого отношения к теме диссертации, однако Поль, широко мыслящий и доброжелательный человек, заинтересовался и высоко оценил новую идею. Он разрешил Охайну и Хану использовать в дальнейшей работе приборы и оборудование, имевшиеся в университете. С помощью Поля удалось замерить температуру и давление в отдельных точках газового тракта работающего макета ГТД. Естественно, "изделие" не желало работать так, как запланировали начинающие конструкторы. Прежде всего, сгорание основной части топлива (бензина) происходило вовсе не там, где надлежало теоретически - в камере сгорания, а на турбине и даже за ней, в выхлопном устройстве. Длинные желтые языки пламени едва не спалили стенд, а вместе с ним и всю мастерскую "Бартелс унд Беккер".

Главной причиной неудачи оказалась примитивная конструкция камер сгорания, в которых не обеспечивалось эффективное распыление топлива и смешение его с воздушным потоком. Турбина не смогла развить мощность, достаточную хотя бы для вращения компрессора - приходилось все время "дожимать" обороты с помощью электрического стартера. Правда, нагрузка на стартер при некоторой частоте вращения начинала уменьшаться, но все же макетный ГТД в целом оказался неработоспособным. Охайн был глубоко огорчен, а Хан, прежде настроенный немного скептически, наоборот, весьма доволен результатами испытаний и, в частности, заметным уменьшением потребляемого тока стартера. "Хорошо, что языки пламени не бьют из компрессора", - шутил он.

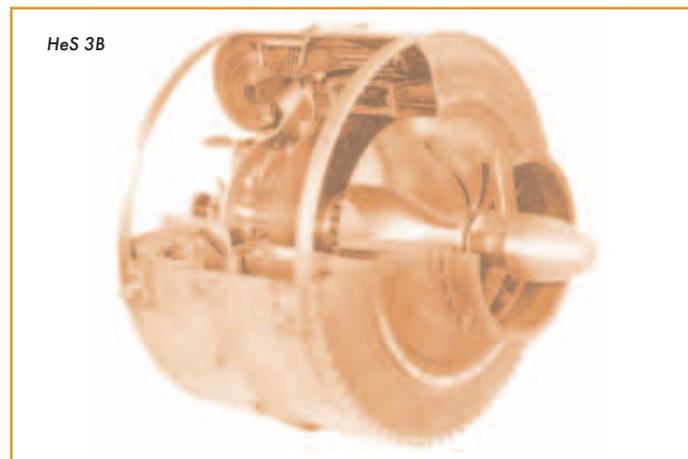
Требовалось поставить исследования "на широкую ногу", затратить соответствующие средства на изучение процессов сжигания топлива в ТРД и на создание эффективной камеры сгорания. Но

собственные деньги у Охайна закончились. Хан также не располагал возможностью финансировать продолжение работ. Тогда, обсудив сложившуюся ситуацию с компаньонами, профессор Поль написал письмо Эрнсту Хейнкелю, авиационному предпринимателю, живо интересовавшемуся реактивным движением, и дал блестящие рекомендации Охайну.

Позднее Хейнкель вспоминал: "Поль заверил меня, что идея Охайна в научном плане безупречна, и воплощение ее в практику вполне возможно. Я в тот же день написал ответ, в котором пригласил Охайна к себе в Варнемюнде.

Охайн оказался симпатичным молодым человеком. Он происходил из знатной берлинской семьи. Мне понравилась его чрезмерная уверенность в своей идее. В ходе разговора с ним я понял, что он больше теоретик и нуждается не только в средствах, но и в людях, которые способны воплотить в металл его идею. Из карандашных набросков, сделанных им, я получил представление о воздушно-реактивном двигателе, который впоследствии получил название газотурбинного. На мой вопрос, сколько ему потребуется денег на изготовление первого образца такого работающего двигателя, он, не задумываясь, ответил: "50 000 марок". Он рассчитывал построить такой двигатель за несколько месяцев. Забегая вперед, скажу, что на эту работу, увы, ушло потом полтора года и несколько миллионов марок.

Я пригласил Охайна с его ассистентом (Максом Ханом - прим. авт.) работать к себе. Зная ученых как любителей широко публиковать результаты своих исследований, я поставил перед ним условие производить разработку двигателя в строжайшей тайне. По моему распоряжению на заводе в Мариензе был построен специальный барак. Я приказал обнести его высоким забором, а у входа поста-



HeS 3B

вить охранника..."

13 марта 1936 г. Хейнкель устроил совещание с участием Охайна, братьев Зигфрида и Вальтера Гюнтер (ведущих конструкторов фирмы) и ряда других ведущих специалистов. Охайн выступил с докладом, по окончании которого его засыпали вопросами. Самолетчиков неприятно изумили высокие расходы топлива, которые он назвал, но зато воодушевило отношение тяги к массе всей силовой установки. Зигфрид Гюнтер подчеркнул, что для получения высоких скоростей следует добиваться получения удельной мощности, отнесенной к площади "лба", на уровне 2000 э.л.с./м<sup>2</sup> и более. Затем он напомнил присутствующим о том, что авиация приближается к скоростному порогу, за которым применение традиционного воздушного винта становится неэффективным. Тут снова выступил Охайн и предложил еще одну возможную область использования своего двигателя - для создания непосредственной подъемной силы. Его ТРД мог принять форму плоского цилиндра, встроенного в крыло. Однако эта идея не нашла сторонников среди инженеров, работавших у Хейнкеля. Они порекомендовали сосредоточить все усилия на доводке камеры сгорания, отбросив всякую экзотику. Эта рекомендация полностью соответствовала намерениям самого Охайна. Уже 3 апреля 1936 г. он подписал контракт, по которо-



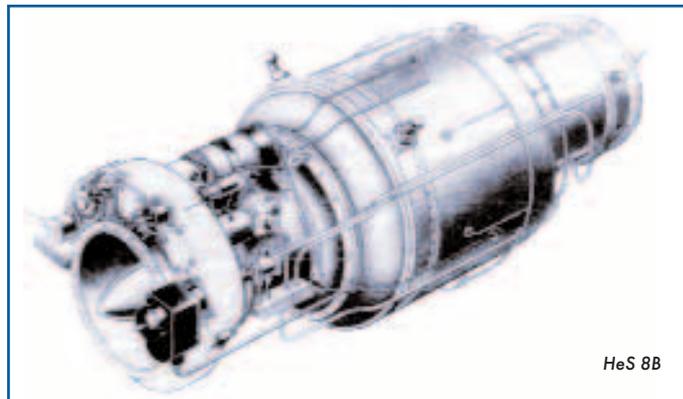
He 178 - первый в мире самолет с ТРД

му с 15 апреля 1936 г. вместе с Ханом начал работу в Мариенэе.

Честолюбивый Хейнкель спешил; он раньше других авиаконструкторов осознал огромные перспективы реактивной тяги и хотел опередить всех, создав первый в мире реактивный самолет. С 1936 г. он уже вел интенсивные исследования, направленные на создание жидкостного реактивного двигателя, а теперь получил в свое распоряжение Охайна с идеей ТРД. Отбросив надежды на государственные субсидии, промышленник финансировал обе "группы изучения реактивного движения" из собственного кармана. И, надо сказать, под его руководством дело двинулось невиданными темпами: в договоре с Охайном оговаривалась не только тяга разрабатываемого двигателя (600 кгс), но и срок его готовности к наземным испытаниям - июнь 1937 г.

Впрочем, очень скоро Охайн понял, что он поступил опрометчиво, согласившись на столь жесткие временные рамки. Он осознал, что созданный второпях второй неработоспособный вариант ТРД лишит его всякой перспективы. В связи с этим он избрал хитроумную "дуалистическую" тактику: во-первых, разрабатывать простенький образец, вобравший в себя минимум технического риска, но способный продемонстрировать безусловную работоспособность газотурбинного "движка"; во-вторых, создавать двигатель, пригодный для установки на самолет и обладающий заданными контрактом характеристиками. Успех "демонстратора", считал Охайн, позволил бы выиграть время, необходимое для доводки полномасштабного ТРД.

Наиболее сложной проблемой, преодолеть которую с ходу не представлялось возможным, была, конечно же, нормально работающая камера сгорания. Так же, как и Уиттл (см. "Двигатель" № 5, 1999 г.), Охайн изрядно намучился с ней. Вскоре ему пришла в голову идея применить в "демонстраторе" в качестве горючего газообразный во-



HeS 8B

1937 г. Два месяца ушло на доводку. В апреле демонстрационный ТРД вышел на запланированный уровень тяги; значение этого факта для преодоления все еще существовавших у самолетчиков предубеждений трудно было переоценить. Напомним, что первый двигатель Уиттла также впервые заработал в апреле 1937 г., но в отличие от охайновского он был "полномасштабным", поскольку использовал жидкое топливо. Впрочем, об успехе англичанина в Германии не знали. Охайн ликовал, Хейнкель казался вполне удовлетворенным, хотя и осознал, что обещанного "летного" варианта ТРД он в июне не получит.

Спустя месяц Хейнкель предложил Охайну три новых контракта. В соответствии с первым глава фирмы возмещал конструктору все расходы, связанные с разработкой и патентованием идеи ТРД. Второй контракт сулил Охайну место начальника конструкторского отдела, подчиненного лично Хейнкелю. Третий контракт представлял собой лицензионное соглашение. Все три договора были подписаны 13 мая 1937 г. И вновь Хейнкель настоял на чрезвычайно жестких сроках создания летного двигателя: не позднее осени 1937 г. Его тяга должна была составить не менее 500 кгс.

В создании работоспособной камеры сгорания, использующей жидкое топливо, огромную роль сыграл Хан. Именно ему принадлежала идея предварительной подготовки бензина к сжиганию путем его нагрева с образованием бензиновых паров и даже с дальнейшей "атомизацией". Первое время получение паров производили в специальном реакторе с электрообогревом, позднее подогреватели ввели в конструкцию самой камеры сгорания. Что касается генерирования атомизированных топливо-воздушных смесей, то здесь Хана ждала неудача: созданные им устройства не обеспечивали надежной работы двигателя на пусковых и переходных режимах.

Зато другое предложение Хана пришлось весьма кстати. Для обеспечения полного сжигания топлива требовалось удлинить камеру сгорания, но простое увеличение расстояния между дисками компрессора и турбины вело к нежелательному росту массы и габаритов двигателя. Хан предложил повернуть часть потока воздуха на выходе из компрессора на угол порядка 135°, а другую часть смешивать с горячими газами перед входом в турбину с целью ограничения температуры. Двигатель получил характерный "завиток улитки" над осевой ступенью компрессора (еще одна новинка, введенная Охайном). В "завитке" разместились топливные форсунки. Вскоре конструкция камеры сгорания, предложенная Ханом, была запатентована. Введение осевой ступени компрессора способствовало существенному повы-

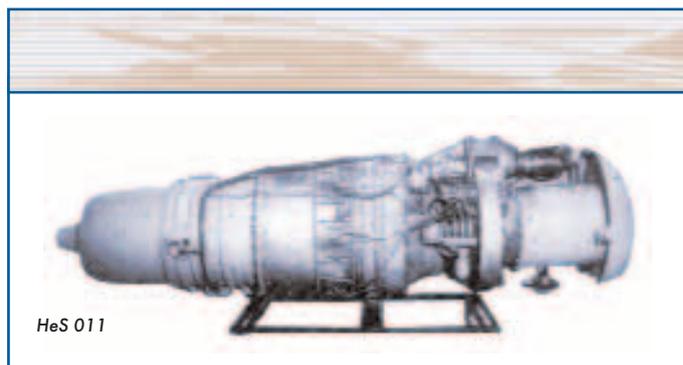


Истребитель He 280

дород, что резко упрощало проблему смешения с окислителем. Внутри кольцевой камеры сгорания размещались многочисленные профилированные пустотелые лопатки с отверстиями в задней кромке. Водород подавался по трубопроводу ко всем лопаткам, далее он смешивался с потоком воздуха и поджигался. Его сгорание, по расчетам Охайна, должно было происходить весьма интенсивно и заканчиваться еще до турбины; к.п.д. последней от этого, естественно, возрастал.

Уже во второй половине мая Охайн с трепетом обсудил идею "демонстратора" с "добрым дядюшкой" Хейнкелем. Вопреки опасениям, тот воспринял предложение позитивно, но вновь назначил очень жесткий срок: не более полугодика на проектирование и изготовление работоспособного образца. В помощь Охайну и Хану Хейнкель выделил дипломированного инженера Вильгельма Гундермана и двух квалифицированных чертежников. Узнав об установленном сроке, Хан и Гундерман в один голос заявили: "Это невозможно". И тут же горячо взялись за дело. Гундерман прекрасно вписался в команду, предложив немало блестящих инженерных решений. Хан занимался технологическими и производственными вопросами, сам Охайн выполнял аэродинамические и термодинамические расчеты.

Как ни спешили, но все-таки к полугодовому сроку не успели: "демонстратор" был готов к испытаниям только в конце февраля



HeS 011

шению степени повышения давления и к.п.д. Летом 1938 г. Охайн принял решение не вносить новых существенных изменений в конструкцию двигателя и попытаться "довести до ума" то, что уже имелось.

Еще в конце 1937 г. по распоряжению Хейнкеля братья Гюнтер приступили к проектированию экспериментального самолета с турбореактивным двигателем. На чертежной доске постепенно возникла машина с прямым высоко расположенным крылом и двигателем, установленным внутри фюзеляжа. Позади носового воздухозаборника размещалась кабина пилота, а за ней - ниши основных стоек шасси. Длинный воздуховод проходил под кабиной, горячие газы отводились через столь же длинную жаровую трубу. В общем, по компоновке самолетик, впоследствии получивший наименование He 178, предвосхитил появление ставших впоследствии классическими однодвигательных истребителей класса МиГ-15, "Сейбра" или "Тандерджета". Планер и все системы были готовы "в металле" уже в середине 1938 г., но до первого полета машины прошло немало времени из-за неготовности двигателя.

Первый "летный" экземпляр ТРД, названного HeS 3B, впервые поднялся в воздух на самолете-лаборатории He 118 весной 1939 г. Турбореактивный двигатель массой 360 кг подвесили под фюзеляжем, благо что "сто восемнадцатый" имел длинные стойки шасси. Хейнкель вспоминал: "Летные испытания двигателя производились

рано утром, когда на заводе еще не было рабочих. Это помогало нам избавиться от многочисленных зевак. После взлета на собственном моторе, включался турбореактивный двигатель. Из его сопла вырывалось яркое пламя, и самолет в этот момент напоминал летящий метеор. Испытания двигателя продолжались до тех пор, пока не вышла из строя турбина..."

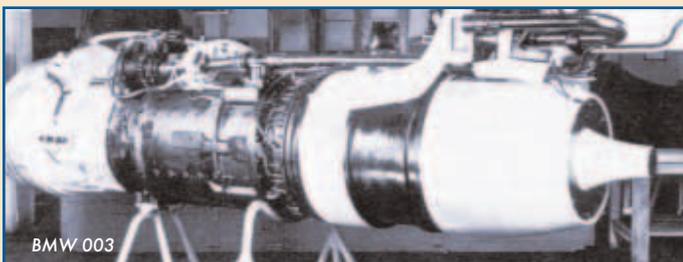
Дотянуть до заданных Хейнкелем 500 кг тяги долго не удавалось. С меньшей тягой, как показали расчеты Гундермана, полеты с короткой заводской полосы были небезопасными. Все лето ушло на непрерывную доводку, и вот, в середине августа второй экземпляр HeS 3B тягой 450 кг смонтировали в фюзеляже He 178. Сделав несколько пробежек, летчик Эрих Варзиц доложил о готовности к первому полету самолета с ТРД. Он состоялся 27 августа 1939 г., всего за несколько дней до начала Второй мировой войны.

"Машину выкатили на старт. Варзиц занял место в кабине, - вспоминал Хейнкель. - Я помахал ему рукой и пожелал благополучного полета. Заревела турбина. В этот момент я заметил, как маленькая птичка попыталась прошмыгнуть перед носом самолета. Ее мгновенно затянуло в воздухозаборник двигателя..."

Машина оторвалась от взлетной полосы и быстро набрала высоту 300...400 м. Что-то произошло с шасси, оно не убиралось. Мы видели, как на высоте 500 м Варзиц сделал глубокий выраз, пытаясь

### СЕРИЙНЫЕ НЕМЕЦКИЕ ТРД ПЕРИОДА ВТОРОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ

Моторостроительная фирма BMW приступила к разработке авиационных турбореактивных двигателей в 1937 г. Первое время исследования проводились на средства компании и были направлены на создание ТРД с центробежным компрессором. Однако после передачи BMW завода фирмы Bramo, в ОКБ которого был сконструирован двигатель с осевым компрессором, фирма



BMW 003

сочла целесообразным продолжить работы именно в этом направлении. В августе 1939 г. BMW получила официальное задание от министерства авиации на два образца ТРД:

- двухвальтный 109-002 со встречным направлением вращения соседних ступеней осевого компрессора и встречным вращением ступеней турбины;

- упрощенный 109-003 с семиступенчатым осевым компрессором, кольцевой камерой сгорания и одноступенчатой турбиной.

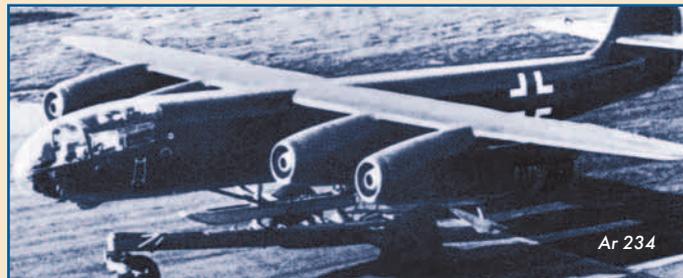
Вскоре от первого проекта из-за его чрезмерной сложности пришлось отказаться, и фирма сосредоточила внимание на двигателе 109-003. Его разработкой руководил Герман Ойстрих (Hermann Oestrich). В техническом задании министерства статическая тяга двигателя у земли задавалась равной 680 кгс, при первом испытании в августе 1940 г. удалось получить лишь 150 кгс. После десятидневной доводки опытный 109-003 подвесили под фюзеляжем летающей лаборатории Vf 110 и провели летные испытания, а в ноябре 1941 г. два ТРД смонтировали на истребителе Me 262. Поскольку тяга каждого из них в то время не превышала 450 кгс, в носовой части "мессера" установили дополнительный поршневого мотор Jumo 210G. В первом же полете оба двигателя по очереди загорелись, пилоту Венделю с трудом удалось посадить самолет. Причиной пожаров явилось разрушение лопаток компрессоров.

Только к августу 1943 г. группе Ойстриха удалось довести ресурс двигателя до 25 ч, а его тягу - до 800 кгс. Следует отметить, что с самого начала этот ТРД рассматривался министерством авиации

как "интеллектуальный" (с меньшими по сравнению с изделием фирмы Jumo массой, габаритами, но и с более сложной технологией изготовления). Конструкторам удалось обеспечить весьма высокий по тем временам к.п.д. компрессора (84%), добиться надежной работы турбины при температуре на входе 900 °С (благодаря применению охлаждаемых воздухом полых лопаток). Ранние варианты 109-003 оснащались разнообразными электромеханическими устройствами регулирования и обеспечения безопасности двигателя, от которых, впрочем, позднее пришлось отказаться из-за невозможности налаживания серийного производства. Фирма BMW работала также над модификацией 109-003R, состоявшей из ТРД и жидкостного ускорителя 109-718 тягой 1250 кгс.

В 1944 г. "доведенный до ума" 109-003A-1 был запущен в серийное производство, прежде всего для оснащения четырехдвигательного реактивного бомбардировщика-разведчика Ar 234C, а начиная с поздней осени - для одномоторного реактивного истребителя He 162. Обе машины ограниченно применялись "люфт-ваффе" на заключительном этапе войны, однако масштабы их боевого использования были невелики по сравнению с получившим всемирную известность истребителем Me 262. В серийном производстве этот самолет оснащался двумя ТРД фирмы Junkers.

Еще в 1939 г. ее моторостроительное отделение (Jumo) по заданию министерства авиации приступило к созданию турбореактивного двигателя тягой 600 кгс при скорости полета у земли 250 м/с и взлетной тягой 760 кгс. Работы по ТРД, получившему обозначение 109-004,



Ar 234

возглавил доктор Ансельм Франц (Anselm Franz), расчет аэродинамической схемы осевого компрессора выполнил инженер Энке.

При создании двигателя главное внимание уделялось обеспечению надежности и гарантированной работоспособности, порой даже в ущерб удельным характеристикам, в связи с чем он получился заведомо переразмеренным и перетяжеленным. Степень повы-

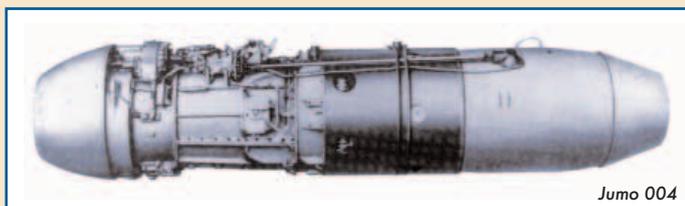
его убрать. Так и хотелось ему закричать:

- Да черт с ним, с этим шасси. Можешь его не убирать. Главное - машина летит!

Непривычный вой турбореактивного двигателя звучал теперь для нас музыкой... На шестой минуте полета Варзиц, выключив двигатель, пошел на посадку. Планировать на первый раз поднятой в небо машине было очень рискованно. Мы затаили дыхание. Но He 178 плавно приземлился и красиво закончил пробег на взлетно-посадочной полосе. Мы всей толпой бросились к остановившейся машине. Первыми туда прибежали механики. Они, словно морковку из грядки, вытащили из кабины Варзица и, взвалив его на плечи, понесли, неистово вопя от восторга..."

Увлеченное подготовкой к войне, руководство рейха не уделило должного внимания технической новинке. Начальник Технического управления "люфтваффе" Эрнст Удет вяло поздравил конструкторов и летчика, а взглянуть на He 178 удалось только в ноябре 1939 г. К этому времени Хейнкель, поинтому видевший перспективы реактивной авиации, сумел переманить группу конструкторов, которая занималась созданием ТРД с осевым компрессором в моторостроительном подразделении Jumo компании Junkers. К концу 1939 г. у Хейнкеля над созданием турбореактивных двигателей трудились уже 120

шения давления на ступенях компрессора конструкторы выбрали весьма умеренной, в интересах упрощения доводки применили не кольцевую, а шесть небольших отдельных камер сгорания, температуру газов на входе в турбину ограничили 750 °С. Принятые меры дали свои плоды: уже в ноябре 1940 г. опытный образец двигателя установили на стенд, а в марте 1942 г., обеспечив 25-часовой ресурс, - на летающую лабораторию Vf 110 для проведения испытаний в воздухе. В начале лета предсерийные двигатели 109-004A-0



Jumo 004

были смонтированы на истребителе Me 262. К этому времени статическую тягу удалось довести до 840 кгс. 18 июля 1942 г. самолет впервые смог подняться в воздух без дополнительного поршневого мотора в носу фюзеляжа. Впрочем, не прошло и месяца, как машина потерпела аварию при взлете.

В январе 1943 г. конструкторы Jumo разработали модернизированный вариант двигателя 109-004B-0 и начали подготовку к запуску его в серийное производство. В этом образце были широко использованы достижения фирмы BMW, в частности, благодаря применению полых охлаждаемых лопаток удалось значительно повысить надежность турбины. Тем временем Вилли Мессершмитт также доработал свой самолет, снабдив его трехколесным шасси с носовой опорой. К счастью для союзников по антигитлеровской коалиции, в результате ряда субъективных и объективных причин реактивный истребитель Me 262 был запущен в серийное производство только летом 1944 г. К этому времени германская авиационная промышленность постоянно подвергалась массированным налетам англо-американской авиации. Успешное наступление Красной Армии заметно сузило сырьевую базу, стали остродефицитными легирующие материалы, крайне необходимые для изготовления жаростойких лопаток турбин.

В связи с усилившимися бомбардировками Германии предприятия по производству авиадвигателей стали переводить в подземные убежища, крупнейшим из которых стал завод вблизи Нордхаузена. Несмотря на сложную обстановку, группа Франца продолжала совершенствование своего ТРД. Так, в модификациях 109-004D и E было внедрено дожигание топлива за турбиной (форсажная камера). Тяга двигателя в указанном режиме кратко-

конструкторов и чертежников!

Максимальная скорость, достигнутая He 178 с HeS 3B, не превысила 600 км/ч. Между тем Охайн и Хейнкель мечтали о скоростях порядка 800...1000 км/ч. Спроектированный группой Охайна улучшенный двигатель HeS 6 мог обеспечить "сто семьдесят восьмому" только 780 км/ч. Этот уровень уже не устраивал Хейнкеля, и он решил прекратить работы по He 178.

В начале 1940 г. группа Макса Адольфа Мюллера (Max Adolph Mueller), перебравшаяся из Jumo, получила задание на разработку двигателя HeS 30 с осевым компрессором, а Охайн и его группа начали разработку двигателя HeS 8 (обозначение министерства авиации - 109-001) с осецентричным компрессором, весьма сходного с их реактивным первенцем, но с усовершенствованной турбиной и камерой сгорания. Оба коллектива внимательно отслеживали успехи и неудачи друг друга, поскольку их двигатели на конкурсной основе предназначались для реактивного истребителя He 280. Опыт создания первого в мире самолета с ТРД показал, что в то время наиболее целесообразной являлась схема двухдвигательной машины, позволявшая укоротить каналы воздухозаборников, жаровые трубы и высвободить место в носу фюзеляжа для вооружения. На такой схеме для He 280 остановился Хейнкель, а впоследствии В. Мессершмитт для Me 262 и конструкторы фирмы Gloster для истребителя "Meteor" избрали

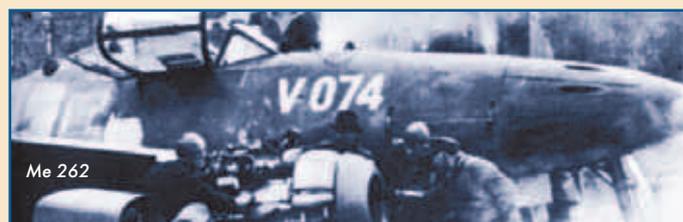
временно доводилась до 1100...1200 кгс. Для устранения заброса температуры при резком перемещении рычага управления двигателем вперед ТРД 109-004D впервые в мире оснащался автоматом приемистости. Фирме Jumo удалось полностью автоматизировать все операции на этапе запуска двигателя.

Масштабы производства реактивных двигателей в Германии в годы войны впечатляют: до момента капитуляции немцы успели изготовить более 6400 Jumo 109-004 и свыше 700 BMW 109-003.

**ОСНОВНЫЕ ТТХ СЕРИЙНЫХ НЕМЕЦКИХ ТРД**

Характеристика	BMW 109-003A-1	Jumo 109-004B-1
Взлетная тяга $P_{взл}$ , кгс	800	900
Удельный расход топлива $C_{уд.взл.}$ , кг/кгс·ч	1,4	1,4
Расход воздуха $G_{в}$ , кг/с	19	21,2
Степень повышения давления $\pi_k$	3,1	3,14
Температура газов перед турбиной, К	1173	1048
Масса двигателя, кг	660	745
Длина, м	3,64	3,86
Диаметр, м	0,69	0,76

По конструктивно-схемному решению серийные немецкие ТРД периода Второй мировой войны оказались гораздо ближе к "стержневому" направлению мирового двигателестроения, нежели британские. Следует отметить, что американцы, получив в свое распоряжение английский двигатель W.2B в 1942 г. и немецкие - в



Me 262

1945 г., колебались недолго и сделали выбор в пользу ТРД с осевым компрессором уже в 1946-1947 гг. А вот советским конструкторам и производственникам пришлось пройти тернистый путь: вначале освоить изготовление реактивных Jumo и BMW, затем "окунуться" в тупиковое ответвление английских "Нинов" и "Дервентов", и лишь в начале пятидесятых перейти к производству отечественных турбореактивных двигателей. Но, как говорится, за одного битого двух небитых дают...

## ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Год	Великобритания	Германия	СССР	США
1929	Идея ТРД (Уиттл)			
1930	Патент на ТРД			
1933		Идея ТРД (фон Охайн)		
1935		Патент на ТРД		
1936	Создание фирмы "Пауэр Джетс Лтд."		Начало работ по авиационному ГТД (Уваров)	
1937	Испытание первого опытного ТРД W.U	Испытание первого опытного ТРД HeS 1	Проект первого ТРД РТД-1 (Люлька)	
1938			Испытание первого опытного ТВД ГТУ-3	
1939		Первый полет самолета с ТРД (He 178)		
1941	Первый полет самолета с ТРД (Gloster E28/39)		Авторское свидетельство на ТРДД (Люлька)	Великобритания передала документацию и один экземпляр ТРД W2B
1942				Первый полет самолета с ТРД (Bell XP-59)
1943	Начало серийного производства ТРД (DH H-1 "Goblin")	Начало серийного производства ТРД (Jumo 109-004)		Начало разработки собственного ТРД (GE J35)
1944	Начало серийного производства самолета с ТРД (Gloster "Meteor" с W2B)	Начало серийного производства самолета с ТРД (Me 262 с Jumo 109-004)		
1945			Испытание первого опытного ТРД С-18 (Люлька)	Начало серийного производства самолета с ТРД (Lockheed P-80 "Shooting Star" с GE J33)
1946			Начало серийного производства ТРД РД-10, РД-20. Начало серийного производства самолета с ТРД (МиГ-9 с РД-10, Як-15 с РД-20)	Начало серийного производства самолета с ТРД собственной разработки (Republic P-84 "Тандерджет" с GE J35)
1953			Начало серийного производства отечественного ТРДАМ-3 (Микулин). Начало серийного производства самолета с отечественными ТРД (Ту-16 с АМ-3)	

аналогичную компоновку.

Охайн сумел опередить конкурентов из группы Мюллера. Более того, германский реактивный истребитель He 280 с двигателями HeS 8 впервые поднялся в небо 30 марта 1941 г., а стало быть, на полтора месяца раньше английского опытного самолета Глостер E29/39! Правда, "движок" оставался сырым во всех смыслах (на первый полет его даже не стали закрывать капотами - опасались течи керосина из многочисленных соединений). Для начала двигатель отрегулировали на тягу 500 кгс, в то время как номинальным значением считалось 700 кгс. В дальнейшем Охайну удалось довести тягу HeS 8 до 750 кгс, с такими "движками" He 280 смог разогнаться до скорости 820 км/ч на высоте 6000 м, но это произошло только в августе 1943 г.

Плохие взаимоотношения между Хейнкелем и Мильхом, сменившим Удета на посту руководителя Технического управления "люфт-ваффе", сильно затормозили работы фирмы по реактивной технике. Назначив своего представителя на завод Хейнкеля, занимавшийся доводкой ТРД, Мильх принялся откровенно подыгрывать конкурентам - фирмам Jumo и BMW, также подключившимся к созданию турбореактивных "движков". Быстро разработанный под руководством Ансельма Франца двигатель Jumo 109-004 стал для главы Технического управления беспспорным фаворитом, на втором месте по рейтингу предпочтений оказался BMW 109-003 Германа Ойстриха.

В этих условиях неудача постигла группу Мюллера, создавшую для Хейнкеля весьма легкий двигатель HeS 30 массой 380 кг, который летом 1941 г. достиг тяги 750 кгс. Многочисленные неполадки и аварии обесценили его выдающиеся удельные характеристики. Двигатель был чрезмерно легким, для его доводки требовались годы и годы. В 1942 г., уже после ухода Мюллера от Хейнкеля, очередной вариант HeS 30 развил тягу 900 кгс, но в марте 1943 г. все работы по нему были свернуты под предлогом сосредоточения усилий на организации серийного производства двигателей Jumo и BMW.

Еще одно фиаско поджидало Хейнкеля с реактивным истребителем. При его создании конструкторы чересчур оптимистично оценили экономичность ТРД, в результате запас топлива оказался недостаточным (всего 920 кг). При суммарной тяге двух двигателей порядка 1400 кгс и удельном расходе на уровне 1,2...1,3 кг/кгс·ч топлива могло хватить всего на 30-35 мин, что не обеспечивало эффективного боевого использования машины. Me 262 имел значительно большую массу (около 6000 кг против 4200 кг у He 280); довольно широкий, треугольный в сечении фюзеляж позволял легко разместить объемистые баки с керосином. Максимальная емкость баков составляла на мессершмиттовской машине 2520 л, что гарантировало продолжи-

тельность полета 1,5 ч и перегоночную дальность порядка 1000 км. В качестве других достоинств "мессера" называли мощное вооружение (4 пушки калибра 30 мм) и недефицитность материалов для изготовления. Плюс предвзятость со стороны Мильха...

Но были у Хейнкеля и союзники в министерстве авиации. Один из них, Гельмут Шелп, руководил в министерстве авиации подразделением, курировавшим создание газотурбинных двигателей. Он не обладал достаточным влиянием, чтобы "скомпенсировать" Мильха, но имел право выдавать технические задания на разработку новых ТРД. Высокие удельные характеристики, которых добивались конструкторы Хейнкеля на своих двигателях, Шелп считал важнейшими индикаторами технического прогресса. В декабре 1942 г. компания Хейнкеля получила заказ на разработку ТРД второго поколения. Двигатель 109-011 должен был иметь статическую тягу 1300...1600 кгс, что приблизительно вдвое превышало достигнутый показатель ТРД первого поколения.

Разработку возглавил Охайн. Для компрессора со степенью повышения давления ( $\pi^*k$ ) порядка 5...6 он выбрал оригинальную схему: пять осевых ступеней плюс одна "диагональная". Шелп вмешивался во все детали проектирования. Так, он настоял на применении двухступенчатой охлаждаемой турбины с тем, чтобы в дальнейшем, добавив еще одну ступень компрессора, выйти на  $\pi^*k = 8!$  Заметим: на серийных германских ТРД этот показатель не превышал 3,2. Конструкция 109-011 не предусматривала никаких элементов управления геометрией проточной части двигателя, "нормальный" двигатель с осевым компрессором и турбиной при аналогичных  $\pi^*k$  потребовал бы их обязательного внедрения, особенно для обеспечения пускового режима.

В конце 1943 г. новый двигатель был изготовлен и установлен на стенд. Первые пуски, как обычно, выявили недобор тяги (всего 600 кгс) и массу других проблем. На их решение ушел год: в конце 1944 - начале 1945 г. 109-011 устойчиво работал, развивая тягу 1300 кгс. Переход к летным испытаниям планировался на июнь 1945 г., но война для Германии, как известно, закончилась раньше. Несколько изготовленных двигателей 109-011 нашли свое место в музеях США и Великобритании.

Сам Охайн в 1947 г. эмигрировал в Америку, где сначала работал научным сотрудником на авиабазе ВВС в Райт-Паттерсон, а с 1963 г. - главным научным сотрудником в "Аэроспейс Рисеч Лаборэтриз". Со временем американские коллеги высоко оценили его личность и компетентность: Охайн стал профессором Дейтонского университета, консультантом правительства, почетным профессо-

Продолжение. Начало в номерах №№ 3,4,5

# СЕРДЦЕ ИСТРЕБИТЕЛЯ

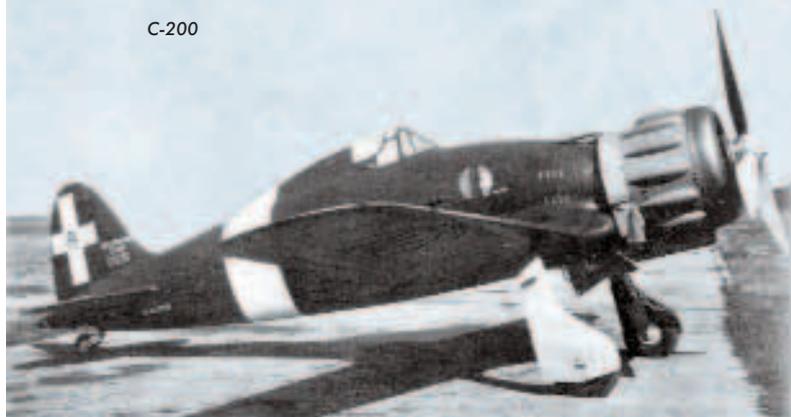
Дмитрий Хазанов

## НЕ ТОЛЬКО МАКАРОНЫ

Основным типом двигателя для истребителя, с которым Италия вступила во Вторую Мировую войну, являлся 14-цилиндровый звездообразный Фиат А74RC38. Он устанавливался на самых распространенных машинах: Фиате G-50 и Макки С-200. Последняя заслужила высокие оценки пилотов за великолепные характеристики вертикальной и горизонтальной маневренности, удачно сочетавшиеся с хорошей устойчивостью.

Мотор А74 для начала 30-х годов считался отличным - неприхотливым и надежным, как швейная машинка. Но его взлетная мощность не превышала 870 л.с., на высоте 3800 м он развивал всего 840 л.с., а большой "лоб" двигателя являлся главным элементом, определявшим аэродинамическое сопротивление истребителя. Кроме того, необходимость обеспечения хорошего переднего обзора для летчика заставила конструкторов С-200 приподнять кабину, в связи с чем контуры фюзеляжа стали "горбатыми". Из-за этого терялись все преимущества чистых аэродинамических форм планера, делая внешний облик самолета конструкции М. Кастольди весьма невыразительным.

С-200



Как следствие, истребитель С-200 развивал на границе высотности скорость около 500 км/ч, а G-50 - и того меньше. Новых мощных "звезд" в начале сороковых годов итальянская промышленность не производила. Анализируя тенденции развития авиации в наиболее развитых странах, таких как Великобритания и Германия, итальянские специалисты сделали вывод о целесообразности скорейшего оснащения своих истребителей рядными двигателями жидкостного охлаждения.

Действительно, не располагая необходимой технической и технологической базой для создания мощных моторов воздушного охлаждения, подобных американским Пратт-Уитни "Дабл Уосп" или Райт "Дуплекс Циклон", развивавших на взлете 1800...2000 л.с., и, тем более, не располагая возможностью установить на свои истребители турбокомпрессоры, итальянцы могли надеяться на улучшение летных данных самолетов лишь в результате облегчения конструкции, а также улучшения аэродинамики. Анализируя достижения мирового моторостроения, инженер Сантанжело писал: "Замечательные усовершенствования формы фюзеляжа, малая площадь миделевого сечения двигателя, снижение лобового сопротивления благодаря применению туннельного радиатора, улучшение к.п.д. винта и капотирования его втулки да-

ют возможность понять, каким образом без повышения мощности двигателя удалось получить летные данные, превышающие характеристики самолетов, снабженных звездообразными моторами... При скоростях полета выше 500 км/ч рядные двигатели дают, безусловно, лучшие результаты, чем звездообразные моторы воздушного охлаждения".

Итальянские специалисты пришли к выводу, что при неизменных нагрузках на крыло и на мощность прирост максимальной скорости истребителя благодаря перечисленным выше нововведениям способен составить 8...10 %. Все бы хорошо, но и собственных мощных моторов жидкостного охлаждения промышленность Италии также не смогла создать. Поэтому пришлось приобрести лицензию на постройку немецких двигателей DB 601А номинальной мощностью у земли 1040 л.с. Их производство освоила фирма "Альфа-Ромео", присвоив обозначение RA.1000 RC.41-1 "Монсон" ("Муссон").

Благодаря появлению "Муссона" на Апеннингах смогли создать весьма перспективные истребители. Установка этого двигателя на С-200 летом 1940 г. резко изменила облик самолета, и, что более важно, заметно улучшила летные характеристики. Вновь появилась прекрасная симметрия линий, отличавшая скоростные гидросамолеты М. Кастольди в 30-е годы. Прототип модифицированного истребителя, получившего обозначение С-202 "Фольгоре", уже в первых полетах продемонстрировал великолепные скоростные характеристики, не утратив маневренных свойств предшественника. Итальянцы не стали затягивать начало производства машины, и уже летом 1941 г. первые С-202 сошли со сборочных заводов в Варезе и Сесто-Сан-Джованни.

Около 20 истребителей "Фольгоре" поступили на вооружение двух групп 1-го истребительного полка в Удине. В конце ноября 1941 г. истребители прибыли в Ливию, где вступили в схватку с объединенными ВВС, включавшими английские, австралийские, южноафриканские и канадские подразделения. Британцы и их союзники первоначально путали С-202 с Bf 109F, которые имелись на вооружении эскадры JG 27. Впоследствии стало ясно: "новичок" Кастольди оказался еще более опасным противником, чем "мессер". Оба типа истребителя имели почти одинаковые двигатели, но итальянская машина отличалась превосходной маневренностью, позволявшей успешно крутиться среди "Харрикейнов", "Киттихауков" и первых модификаций "Спитфайров".

Серийные "Фольгоры" развивали скорость 475 км/ч у земли, 585 км/ч на высоте 5500 м и набирали 5000 м за 5,8 мин. Относительно слабое вооружение первых машин, состоявшее из пары крупнокалиберных пулеметов, впоследствии усилили двумя пуле-

С-202



метами винтовочного калибра. В 1941-1943 гг. истребители С 202 выпускались массовой серией и широко применялись на всех фронтах, где воевали итальянцы, в том числе и против Советского Союза: здесь на "Фольгорак" воевала 21-я группа.

### "ДЕМОНЫ" И "ЛАСТОЧКИ" НАД ТИХИМ ОКЕАНОМ

Основными фирмами-производителями моторов в Японии в начале 40-х годов являлись "Мицубиси" (35,6 % суммарного количества), "Накадзима" (31,3 %), "Хитачи" (11,6 %) и "Кавасаки" (8,8 %). Все без исключения авиационные двигатели "исконно японской" разработки имели воздушное охлаждение. Это обстоятельство явно роднило японские и итальянские истребители.

На хорошо известном советским специалистам по боям на реке Халхин-Гол самолете Ki-27 устанавливался 9-цилиндровый мотор "Накадзима" Na-1b, развивавший 710 л.с. на взлете и 780 л.с. на высоте 2900 м. Этот двигатель был во многом аналогичен отечественному M-25B, строившемуся в больших количествах в 1935-1937 гг. Но к августу 1939 г. ВВС Красной Армии уже располагали "ишаками", оснащенными улучшенными моторами M-62 взлетной мощностью 1000 л.с. с двухскоростными нагнетателями и границей высотности 4200 м. По скорости полета и вертикальному маневру такие машины заметно превосходили Ki-27.

Японские истребители могли конкурировать с советскими только благодаря предельно облегченной конструкции (за счет ослабления вооружения и отсутствия какой-либо защиты самолета и летчика). Аналогичная ситуация складыва-

А6М5



лась и при сравнении японских и американских истребителей постройки 1941-1942 гг. Последние, как правило, располагали моторами, имевшими на 15-20 % большую мощность. Ограниченные возможности моторостроения "Страны восходящего солнца" закономерным образом сказывались на летных качествах боевых машин. Выдавая задание фирме "Накадзима" на самолет Ki-43, который предназначался для замены Ki-27, японские военные потребовали обеспечить максимальную скорость 500 км/ч (на 30-40 км/ч больше, чем у предшественника), маневренность по крайней мере равную, а скороподъемность улучшить на 10-15 %. Заметим, что в конце тридцатых годов в передовых европейских странах при создании истребителей нового поколения ориентировались на максимальную скорость порядка 540...560 км/ч.

Главный конструктор Х. Итокава принял решение использовать в качестве "сердца" для Ki-43 двухрядный 14-цилиндровый двигатель Накадзима Na-25 взлетной мощностью 980 л.с., оснащенный односкоростным нагнетателем. Проводя длительные доводочные испытан-

ия планера и винтомоторной группы, японские инженеры и конструкторы опробовали на одном из опытных экземпляров Ki-43 экспериментальный мотор Накадзима Na-105, отличавшийся от Na-25 двухскоростным нагнетателем. Однако осенью 1940 г. они сочли, что необходимости в форсировании мощности двигателя и наращивании вооружения истребителя нет, и самое серьезное внима-

ние сосредоточили на повышении маневренности машины.

Серийный выпуск истребителя Ki-43-I "Хаябуса" начался в ап-

реле 1941 г. В первые месяцы войны на Дальнем Востоке эти машины составили серьезную конкуренцию американским Брустер "Буффало", Северский P-35, Кертисс "Хаук" и английским "Харрикейнам" над Бирмой и Малайей. Практически все противники японцев имели более мощные двигатели, но явно уступали в воздушных боях из-за большей массы. Сказалось и превосходство японских асов в тактике - маневренный бой на виражах против них оказывался гибельным.

Между тем, "команда Итокавы" не стояла на месте. Весной 1942 г. ей удалось подготовить к испытаниям опытные экземпляры Ki-43-II, оснащенные весьма удачными моторами Накадзима Na-115. В отличие от предшественника Na-25 новый двигатель оснащался двухскоростным нагнетателем. Вместо двухшаговых двухлопастных винтов на Ki-43-II конструкторы установили трехлопастные винты постоянной скорости, что позволило лучше использовать мощность мотора на различных режимах. Кроме того, японские мотористы добились более надежной работы двигателя на крейсерском режиме.

Ki-43-II оказался весьма удачным и простым в производстве - его строили массовой серией почти два года (с ноября 1942 г. по октябрь 1944 г.), выпустив около 2500 машин. Конечно, максимальная скорость 530 км/ч на высоте 4000 м в 1943-1944 гг. уже не могла считаться удовлетворительной. Однако при нагрузке на крыло около 120 кгс/м<sup>2</sup> и нагрузке на мощность 2,25 кгс/л.с. истребитель отличался прекрасной горизонтальной и вертикальной маневренностью. Привычка японских летчиков летать и воевать на легких машинах помогла им уверенно чувствовать себя в "собачьих свалках" - для этой цели "Хаябусы" подходили как нельзя лучше.

Наиболее известным и грозным для врага в начальный период войны стал истребитель императорского флота Мицубиси А6М "Зеро". Группа инженеров, возглавлявшаяся Й. Хорикиши, получила в 1937 г. техническое задание на палубный истребитель, во многом аналогичное тому, по которому создавался Ki-43. Однако для морского истребителя повышенное значение имела продолжительность полета самолета - ее потребовали довести до 6...8 ч на экономическом режиме (с подвесными баками). Кроме того, если "Хаябусы" имели только пулеметное вооружение, то "Зеро" оснастили крыльевыми пушками.

Первый экземпляр А6М2 с двигателем Накадзима NK1С "Сакае12" поднялся в воздух 28 декабря 1939 г. 14-цилиндровый мотор воздушного охлаждения развивал взлетную мощность 940 л.с. и немного большую - 950 л.с. на границе высотности 4200 м. Отличные характеристики пилотирования, "предупредительное поведение" при потере скорости, легкость освоения летчиками - все это укрепило японцев во мнении, что они получили в свое распоряжение незаурядный истребитель. "Зеро" зарекомендовал себя с лучшей стороны во время боев над Китаем. В декабре 1941 г. императорский флот располагал 521 авианосным истребителем, 328 из них были типа А6М2.

"Зеро" многое роднило с ранней "Хаябусой" - малая удельная нагрузка на крыло и на мощность, отсутствие бронезащиты и протекторов бензобаков. Конструкторы Хорикиши вскоре заменили мотор с односкоростным нагнетателем на более совер-

Ki-61



шенный Накадзима NK1F "Сакае21", который развивал на взлете мощность 1130 л.с. и 950 л.с. на границе высотности



6000 м. Максимальная скорость модифицированных моделей А6М3 и А6М5 составляла 540...560 км/ч против 533 км/ч у ранних "Зеро". Эти машины олицетворяли японскую экспансию в бассейне Тихого океана, в Индокитае и Австралии. Ни один другой самолет императорского флота не получил такой известности по обе стороны фронта, как "Зеро".

Совершенно другими соображениями руководствовались конструкторы при создании еще одного массового армейского истребителя Японии первого периода войны. Если для всех предыдущих истребителей они опирались на тезис "маневренность превыше всего", то при постройке истребителя Ki-44 от этой концепции отказались. Группа конструкторов фирмы "Накадзима", возглавляемая Т. Коямой, получила задание создать машину с наилучшей скороподъемностью, высокой нагрузкой на крыло и тяжелым вооружением. В качестве силовой установки они выбрали двухрядный звездообразный 14-цилиндровый мотор Накадзима На-41 мощностью на взлете 1200 л.с., оснащенный односкоростным нагнетателем.

Длительная доводка мотора и самолета позволила значительно уменьшить аэродинамическое сопротивление. Осенью 1941 г. истребитель Ki-44 был запущен в серийное производство. Летчики считали, что название "Шоки" ("Демон") вполне соответствовало машине, поскольку широкий мотор практически лишил летчика обзора вперед при разбеге, а полосы аэродрома длиной 1000 м было недостаточно для посадки. Однако с этими недостатками пришлось примириться, поскольку в ВВС армии Ki-44 в то время оказался самым быстроходным истребителем, способным развить скорость 580 км/ч на высоте 3700 м.

Не успели японцы закончить войсковые испытания новинки и принять ее на вооружение, как уже в начале 1942 г. штаб ВВС выдвинул фирме "Накадзима" требование о замене мотора На-41 усовершенствованным вариантом с двухскоростным нагнетателем - На-109. Размеры двигателей практически совпадали, но последний имел взлетную мощность 1520 л.с. и номинальную 1320 л.с. на высоте 5250 м. Правда, и весил он на 90 кг больше. Неудивительно, что со столь мощным мотором истребитель Ki-44-II разогнался до скорости 605 км/ч на высоте 5200 м.

Первоначально императорские летчики не смогли использовать всех достоинств новой машины. "Демоны" поступали на вооружение частей ветеранов, где на них летали хорошо подготовленные в 30-х годах пилоты. Они привыкли вести маневренные бои на горизонталях и считали Ki-44 "смертельно опасными" из-за большой посадочной скорости и ограниченного обзора. Молодые летчики из вновь сформированных частей имели совершенно иное мнение. Они сразу начинали воевать на скоростных монопланах, привыкли к ним и научились использовать отличную вер-

тикальную маневренность "Демона". Хорошие отзывы получили эти истребители и из частей ПВО.

Т. Дои и Ш. Овада по традиционной для страны формуле: легкое вооружение, малая нагрузка на крыло, большая дальность. Первые же полеты машины в начале 1942 г. показали, что конструкторам удалось соединить приемлемую маневренность с высокой скоростью (590 км/ч на высоте 6000 м). Отличной считалась и вертикальная маневренность истребителя. Учебные воздушные бои с импортным Vf 109E, трофейными P-40E и ЛаГГ-3, предсерийным Ki-44-I показали абсолютное превосходство "Ласточки". Лишь серийный Ki-43-I продемонстрировал преимущество в маневренном бою, хотя и уступал Ki-61 по другим показателям.

Самолет строился массовой серией, широко применялся на всех фронтах, хорошо зарекомендовал себя в боях с американскими истребителями, но не поколебал японской приверженности к звездообразным моторам воздушного охлаждения. Возможно, дело было в том, что японцам не удалось добиться надежной работы моторов На-40. В ходе переучивания и освоения произошло множество аварий и даже катастроф, вызванных разрушением опорных подшипников и отказами системы охлаждения. Как известно, DB 601A надежно работал на немецких и итальянских истребителях, а вот для японцев он оказался крепким орешком.

### ИСТРЕБИТЕЛИ ИЗ ФРАНЦИИ

Накануне Второй Мировой войны французская авиастроительная промышленность при создании самолетов-истребителей могла рассчитывать на два основных поставщика моторов: фирму "Гном-Рон", выпускавшую звездообразные двигатели воздушного охлаждения, и фирму "Испано-Сюиза", специализировавшуюся



MS-406

на рядных моторах с жидкостным охлаждением.

На истребителе MB-152C1, созданном конструкторами фирмы "Марсель Блох" в конце 1939 г., устанавливался двигатель Гном-Рон GR 14N25 взлетной мощностью 1100 л.с., либо GR 14N49 взлетной мощностью 1060 л.с. С последним самолет мог развить максимальную скорость 520 км/ч на высоте 4500 м, уступая основному противнику - немецкому истребителю Vf 109E на 30...40 км/ч. В феврале 1940 г. началось серийное производство MB-152C1, а к моменту германского нападения в боевых подразделениях французских ВВС имелись 93 машины этого типа. Достоинством "Блоха" считалось мощное вооружение (две 20-мм пушки и два 7,5-мм пулемета), его очевидным недостатком являлась невысокая скороподъемность - для набора высоты 4000 м требовалось более 6 мин.

Фирмы "Девуатин" и "Моран-Сольне" при разработке своих истребителей сделали ставку на мотор Испано-Сюиза HS 12Y, позволявший смонтировать пушку в развале цилиндров. Современная цельнометаллическая конструкция Девуатина D-520C1 в сочетании с изящной аэродинамикой обеспечила машине заметные преимущества перед угловатым Мораном MS-406C1. Если последний имел максимальную скорость 490 км/ч на высоте 4500 м, то красавец "Девуатин" был способен разогнаться до 526 км/ч на высоте 6000 м, превосходя конку-



Devuaten-520-2



рящую цельнометаллическую конструкцию Девуатина D-520C1 в сочетании с изящной аэродинамикой обеспечила машине заметные преимущества перед угловатым Мораном MS-406C1.

Если последний имел максимальную скорость 490 км/ч на высоте 4500 м, то красавец "Девуатин" был способен разогнаться до 526 км/ч на высоте 6000 м, превосходя конку-

рента в скороподъемности и вооружении. Французы считают D-520C-1 своим лучшим истребителем, с которым им пришлось вступить в схватку с "люфтваффе" 10 мая 1940 г. Однако самолетов этого типа в боевых подразделениях имелось очень мало - всего 36 единиц. Наиболее массовым французским истребителем оказался MS-406C1; к моменту немецкого нападения таких самолетов успели "наклепать" довольно много - свыше 1000 штук, из них 278 находились в боевых частях ВВС. Степень их освоенности пилотами также оказалась выше, нежели D-520C1.

Особняком в ряду французских истребителей выступает Кодрон

Bloch 152



CR-714C1 "Циклон", оснащенный двигателем Рено 12R01 мощностью всего 450 л.с. Это была чисто французская идея (ее поддержали только итальянцы) - создать "легкий", предельно малых размеров, с двигателем "половинной" мощности истребитель, у которого сохранялись бы примерно одинаковые значения удельных нагрузок на крыло и на мощность с теми, что имели "нормальные" истребители. Так "аукнулись" авиационные рекорды гоночных "Кодронов" во второй половине 30-х годов, но ведь истребитель - это не гоночная машина. Если с горизонтальной скоростью у "Циклона" было более-менее нормально (486 км/ч на высоте 4000 м), то скороподъемность оказалась никудышной - на 4000 м он "забирался" целых 7 мин. "Не лезет в гору, и все тут", - жаловались летчики. Да и при пикировании выявились проблемы, ведь рядный 12-цилиндровый мотор имел воздушное охлаждение и успевал остыть, отказываясь нормально работать после вывода из пике. Из-за этих особенностей "Циклонов" изготовили немного - всего 90 машин.

Сохранилось немного информации о работе французских моторостроителей после капитуляции их страны летом 1940 г. Многие крупные предприятия закрылись, а другие, как, например, завод "Буазен" в Исси-ле-Мулино, производили под немецким контролем устаревшие звездообразные моторы BMW 132.

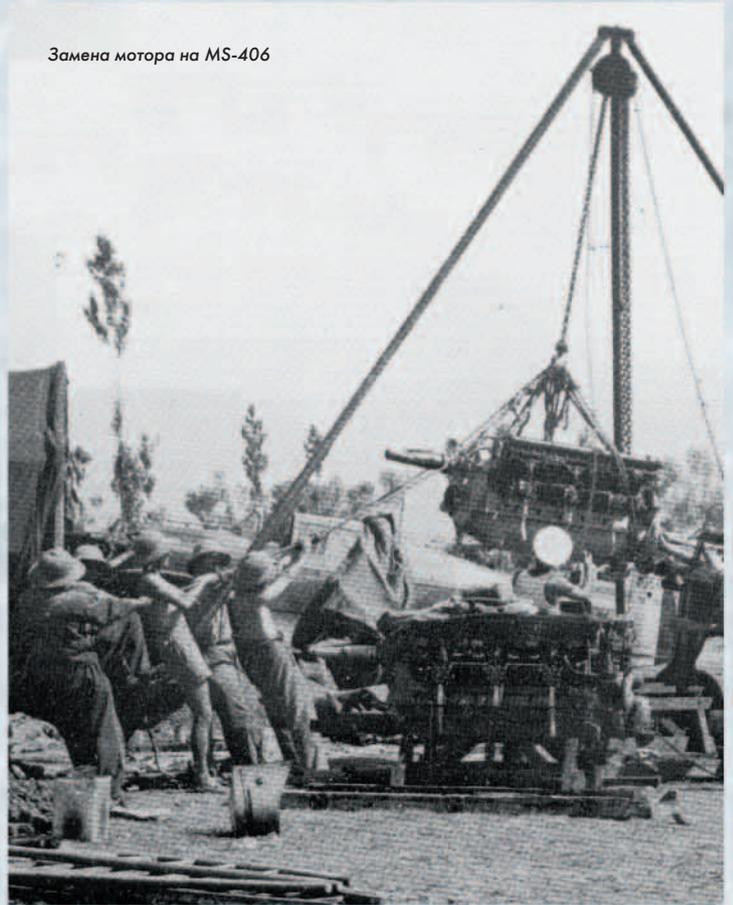
Наиболее интенсивно продолжались опытные работы на фирме "Гном-Рон". Один из заводов концерна возле Парижа в 1941-1942 гг. был занят освоением моторов BMW 801, а другое предприятие в неоккупированной части страны пыталось довести двухрядный звездообразный Гном-Рон GR 14R. Создание мотора французы начали еще до войны; к лету 1940 г. закончились его длительные испытания. В 1942 г. двигатель установили на опытный истребитель MB-157, а затем - на самолеты других типов.

Двухскоростной 14-цилиндровый двигатель Гном-Рон GR 14R имел много общего с советскими М-89 и М-90, развивал при взлете 1590 л.с. и 1290 л.с. на высоте 7400 м. Он использовал 100-октано-

вое топливо при взлете и 92-октановое при нормальном полете. Французские конструкторы тщательно отработали системы смазки, регулирования состава смеси (в зависимости от высоты и мощности), а также продумали привод к выносной коробке агрегатов. Несомненно, данный мотор оказался заметным шагом вперед. А созданный той же фирмой мотор Гном-Рон GR 18R взлетной мощностью 2200 л.с. летом 1942 г. превосходил по удельным характеристикам аналогичные сверхмощные моторы США.

Среди наиболее интересных моторов фирмы "Испано-Сюиза", над которыми успешно трудились конструкторы в 1941-1942 гг., надо отметить HS 12Z. По сравнению с хорошо известным HS 12Y число клапанов увеличили вдвое, что позволило довести мощность до 1400 л.с. на номинальном режиме. Эта же фирма продолжила работу над 24-цилиндровым мотором, который впервые показали на Парижской выставке в 1938 г. Идея главного конструктора Биркигта заключалась в применении четырех вполне доведенных блоков от мотора HS 12Y, что теоретически могло обеспечить взлетную мощность 3000 л.с. Параллельно во Франции начались работы по созданию сверхмощных тандемных двигателей, работающих на один винт. После полной оккупации страны самостоятельные исследования французских двигателистов были практически свернуты.

Замена мотора на MS-406



## DIGEST

### THE HEART OF A FIGHTER

Fascist Italy entered World War II with fighters powered by air-cooled engines, extremely reliable but not very powerful. To improve flight performances, the Italians had to copy the German DB 601 liquid-cooled engine, which was installed on the very successful S-202 fighter. The engine problems in the Japan fighter fleet were very similar to the Italian. However, samurai's descendants took their own way and developed brand-new air-cooled engines. Nevertheless, they also had to use the German advantages in liquid-cooled engines and arranged manufacturing of the licensed DB 601 in Japan.

As to France, they managed to develop two engine families just before World War II: the Gnom Ron's GR-14 (14-cylinder radial engine) and the Hispano-Suiza's HS 12 (12-cylinder in-line engine). The German occupation of the country slowed down the works because some companies were closed and the other were restructured to manufacture the German engines.

# О паровозной логике

Виталий Смольский, рисунки Владимира Романова

Паровоз - машина внушительная. Серьезная такая вещь. Теперь уже не многие помнят, но всякий, кто имел честь видеть это сооружение вблизи, согласится со мной. А уж как начинает пары перепускать, трогаться да разгоняться!.. Солидно выглядит, очень солидно. Недаром и машинисты паровозные - самые степенные люди на железной дороге. То ли они подбирались такие, то ли работа их такими делала: в паровозной кабине не очень-то побегаешь. Вот они и чувствовали себя почти капитанами кораблей: "Я не машинист, а начальник паровоза!" И вели себя сообразно рангу. Совсем другое дело - кочегары. Это всегда был люд самый суетливый. Не поспешишь, топку не поддержишь, напор потеряешь, тяга упадет - со всеми вытекающими. Даже когда перешли на жидкое топливо и всех кочегаров поголовно "перекрестили" в механики, это вот стремление - "поскорее да побыстрее" - все равно осталось: живучая такая наследственность получилась. Она и после долго чувствовалась.

Конечно, все знали, что курьерские паровозы и за сотню километров в час отмахивали. Ну, да - то же - курьерские! А обычные, грузовые - те чуть за 30-35 заходили, а уж на коротких перегонах из двух десятков не вылезали: пока разгонишься, уже и тормозить надо. Я ж и говорю: солидная машина - паровоз! А солидные - они все неспешные: что машины, что люди. Так и привыкли все. Когда на новую тягу - тепловозы и электровозы - переходить начали, водить их стали те же люди, которые на паровозах школу машинистскую проходили и духу этого "паровозного" набрались - кто какого мог. Помню, на северном отделении Свердловской железной дороги у нас в начале 60-х из-за этого целая история вышла.

Уральские перегоны, наверное, самые крутые и короткие в России. К тому же многие из них еще однопутные, проложенные чуть ли не в демидовские времена. Только рельсы постоянно меняют, да всякие нововведения, вроде светофоров и контактной сети для электровозов. Однажды тяжеловесный состав, груженный углем и железной рудой, следовал с электровозом в голове со станции Богословск на юг. До станции Надеждинск-Сортировочная оставался последний перегон километров в 7-8. Все было нормально, буксы не грелись. Локомотивная бригада состояла из молодого машиниста, успешного, однако, прилично поездившего на паровозе, и еще более молодого помощника, который столько же паровозным механиком "отмахал", но права самостоятельного вождения электровоза не имел. И вот, на выходе из последнего разъезда, перед узловой станцией, впереди загорается "красный". Дорога одноколейная, значит, теперь придется ждать минут 20, пока не пройдет встречный.

А этим разъездом командовала бойкая такая стрелочница, вокруг которой увивалась вся мужская поросль участка. Машинист, прождав минут пять, оставил помощника и ушел в переход между кабинами. Там добрался до второй кабины и... прыгнув на землю, пошел к будке дежурной "вилять хвостом", обрывая по пути иван-чай на

букет в подарок. Помощник так и не заметил, что один остался. А тут сигнал вдруг меняется на "зеленый" - путь свободен, оказывается. Надо ехать. Помощник в передней кабине позвал машиниста, но, не услышав ответа, подумал, что тот в задней кабине и сейчас подойдет. А пока сам снял состав с тормозов и переложил контроллер на ход: хотя права-то вождения у него нет, но и времени - тоже. Да и что тут, однако - сейчас машинист подойдет да и поведет сам.

Вот так, по-кочегарски: скорей-скорей! Ну, электровоз - не паровоз: трогается быстро, скорость набирает шустро, да и пары не перепускает, не "говорит" никому, что уже пошел. И машинист не сразу это понял, а только когда вагоны на стыках застучали. Дорога сразу за светофором и выходными стрелками резко вправо уходит и видимость из кабины на левую сторону нулевая. Потому, когда машинист из будки дежурной выскочил, держа в руке почти полный граненый стакан, его, конечно, из локомотива и видно не было. Состав набирает скорость, машинист вдоль него мечется, а все вагоны, мимо мелькающие, как назло без тормозных площадок - не вскопишь!

Так поезд и прошел до самого Надеждинска без машиниста. Только через час почти тот прибежал следом - весь вымотанный и почему-то... все с тем же стаканом в руке. Пустым, конечно. Его потом засмеяли на оперативных совещаниях и в стенгазетах разных за этот "гуляющий" поезд, а больше того - за стакан. Сколько он потом на всех комсомольских собраниях доказывал, что чай пил! По этому поводу даже специальный приказ вышел по уральским дорогам, чтобы с места трогались со свистком и собравшись всей бригадой. Сначала именно так и выполняли, потом забыли и давно уже не свистят.

Сейчас-то никто из работающих и не помнит, наверное, как оно было: паровоз водить; однако, похоже, кое-какие привычки остались. Сдается мне, всей экономикой нашей правили вроде как те же шустрые кочегары, которым главное - поехать, пока машиниста бог знает чем и где занимают, а кто-то сторонний балуется со светом: "пущать - не пущать". Тем не менее, все-таки едем. Только куда приедем каждый раз? Такая вот "паровозная" логика жизни.

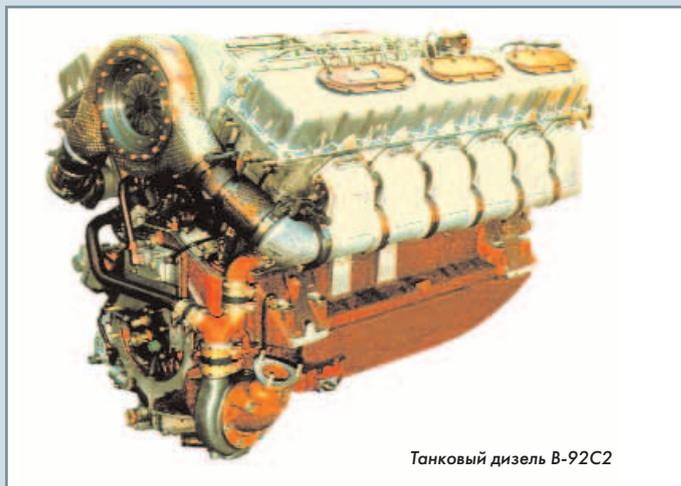


## НОВЫЙ ДИЗЕЛЬ ЧТЗ ИСПЫТАНИЯ ВЫДЕРЖАЛ

Танковый дизель В-92С2, установленный на танк Т-90С, прошел предконтрактные испытания в Индии при высоких температуре и запыленности воздуха. В-92С2 - многотопливный четырехтактный V-образный дизельный двигатель мощностью 1000 л.с. Удельный расход топлива составляет 156 г/л.с.ч. Масса двигателя 1020 кг. Он унифицирован с В-46-6 (установлен на Т-72, Т-72А) и В-84МС (Т-72Б, Т-72С). Помимо турбонаддува двигатель оснащен усовершенствованной топливной аппаратурой и цилиндро-поршневой группой.

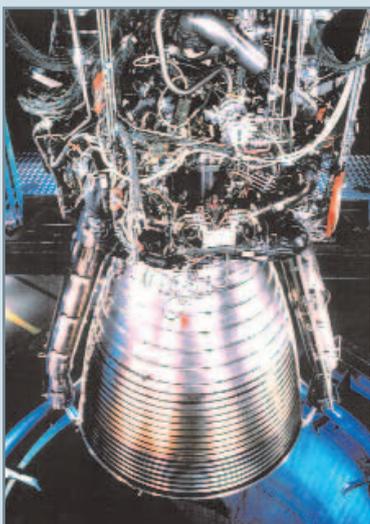
В ходе 500-километрового пробега был выведен из строя один из двигателей (несмотря на сигнал о начале его перегрева). В-92С2 сняли и провели исследования систем и агрегатов двигателя. Не было обнаружено никаких повреждений, за исключением прокладки головки блока и некоторых резиновых уплотнителей масляной системы и системы охлаждения. Все неисправности были устранены в полевых условиях, что доказало ремонтопригодность нового двигателя.

Соб. инф.



Танковый дизель В-92С2

## СОЗДАЕТСЯ НОВЫЙ КРИОГЕННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ



В стадию детальной проработки переходит проект создания нового криогенного двигателя VINCI. Этот двигатель, обеспечивающий силу тяги 155 кН, с 2005 г. (в соответствии с программой ESC-B) будет использоваться в разгонных блоках носителей ARIANE 5, что позволит выводить на орбиты полезные нагрузки массой до 11 т. В настоящее время ARIANE 5 способен доставлять на орбиту не более 6,5 т. Основной целью головного разра-

ботчика VINCI французской компании SNECMA является создание дешевого двигателя повышенной надежности. Его конструкция предполагает присутствие двух турбонасосных агрегатов, что позволяет отказаться от использования газогенератора. По сравнению с двигателем VULCAN, относящимся к предыдущему поколению и используемым в составе основной ступени носителя ARIANE 5, количество деталей турбонасосного агрегата сокращено с 65 до 19, а количество сварных швов — с 24 до 0. Для успешной реализации проекта в рамках бюджета, выделенного Европейским космическим агентством, руководство SNECMA планирует проведение совместных работ с компанией Pratt & Whitney, разрабатывающей криогенные двигатели с похожими техническими характеристиками для американских носителей DELTA 4 и ATLAS 5. Окончательное решение о возможности такого сотрудничества должно быть принято правительствами двух стран не позднее июля 2000 г.

Инф. DERSI

◀ Криогенный двигатель VULCAN ракеты ARIANE 5

## НАМ ПИШУТ

*Уважаемый господин редактор!*

В вашем журнале № 3 за 1999 г. помещена статья ведущего инженера УЭР ОАО "А.Люлька-Сатурн" В. Аршинова "Проскальзывание и надежность подшипников".

Группа конструкторов ОАО "Мотор Сич" еще в июле 1987 г. разработала для двигателя АИ-25ТД "межвальный" подшипник скольжения, на который в январе 1991 г. получила авторское свидетельство на изобретение № 1646357. В тот же период указанный подшипник в составе АИ-25ТД с удовлетворительными результатами прошел длительные стендовые испытания (наработка составила более 520 ч), и его детали после испытаний находились в удовлетво-

рительном состоянии и были пригодны к дальнейшей работе.

Отсутствие возможности проведения летных испытаний АИ-25ТД, что входит в перечень требований главного конструктора-разработчика двигателя, не дало возможности внедрения данной конструкции в профиль серийного двигателя.

Считаем, что публикация нашего письма в Вашем журнале, возможно, заинтересует специалистов не только ОАО "А.Люлька-Сатурн", но и других предприятий, и со своей стороны готовы предоставить необходимые материалы по новому методу повышения надежности "межвального" подшипника.

**С уважением, авторы изобретения № 1646357**

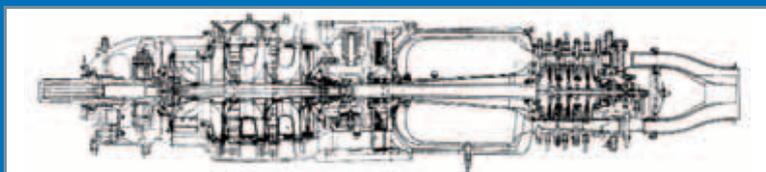
**П. Баки, В. Алпатов, Е. Киселенко**

*(От редакции: тема надежности межвального подшипника была затронута также в статье В. Аршинова, помещенной в № 1 - 1999 г.)*

В статье "Авиационные ПД конструкции профессора Уварова", помещенной в № 5 - 1999 г. нашего журнала была допущена ошибка: на стр. 35 вместо схемы третьего экземпляра двигателя Э-3080 помещена схема первого экземпляра того же двигателя, фото общего вида которого размещено на стр. 34. Исправляем ошибку и приводим действительную схему третьего экземпляра двигателя Э-3080.

Редакция

## ПОПРАВКА



# 2000

# Двигатель

научно-технический журнал

## ПОДПИСКА

Для оформления подписки необходимо перевести соответствующую сумму на расчетный счет получателя и направить заполненный купон вместе с копией платежного поручения в адрес редакции:

Российская Федерация  
111250, Москва,  
ул. Авиамоторная, д. 2,

ООО "Редакция журнала "Двигатели"

Тел./факс: +7(095) 362-3925. E-mail: engine@ilm.net

Банковские реквизиты:

ИНН 7722158920

р/счет 40702810500002000048

в КБ "ЭНЕРГОПРОМБАНК" (ООО) г. Москва,

кор/с 301018100000000000731 в ГРКЦ ГУ ЦБ РФ по Моск. обл.

БИК 044652731; ОКПО 18596795; ОКОНХ 87100

Стоимость размещения рекламно-информационных материалов:

Реклама 1 полоса – \$2000 1/4 полосы – \$600 1/16 полосы – \$180  
1/2 полосы – \$1100 1/6 полосы – \$320 1/32 полосы – \$100

Реклама на обложках 1-я стр. – \$6000 3-я стр. – \$3000  
2-я стр. – \$3000 4-я стр. – \$4000

Информационно-рекламные 1 полоса – \$1700 3 полосы – \$4500  
статьи 2 полосы – \$3200 4 полосы – \$5600



## ПОДПИСНОЙ КУПОН

Количество экземпляров: \_\_\_\_\_

Срок подписки:

- год (6 номеров)  
 I полугодие (3 номера)  
 II полугодие (3 номера)

(отметить любым значком одну из клеток)

Фамилия И.О. \_\_\_\_\_

Организация \_\_\_\_\_

Почтовый адрес: \_\_\_\_\_

Телефон, факс: \_\_\_\_\_

СТОИМОСТЬ ГОДОВОЙ ПОДПИСКИ С УЧЕТОМ ДОСТАВКИ ПО СНГ - 540 руб.

Двигатель



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"УФИМСКОЕ МОТОРОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ"

НАШИ ДВИГАТЕЛИ ВЕЗДЕ,



МИГ-21



Як-3



Су-27

В ВОЗДУХЕ,



Авиационный двигатель Д-436ТГ  
самолета-амфибии Бе-200

НА ВОДЕ,



Водный мотоцикл ВМ-650



Мотоблок "Агрос"



Авиационный турбореактивный  
двухконтурный двигатель АЛ-31Ф

НА ЗЕМЛЕ!



Газоперекачивающий агрегат  
ГПА-16РМ



Снегоход "Рысь"



Иж-2126 "Орбита"

ОНИ ДАЛИ РОССИИ 34 МИРОВЫХ РЕКОРДА



450039, г.Уфа, ул. Сельская Богородская, д.4  
телефон: (3472) 383-366; факс: (3472) 383744  
[http:// www.diaspro.com/umpo](http://www.diaspro.com/umpo)