

№5(5)1999

# Двигатель

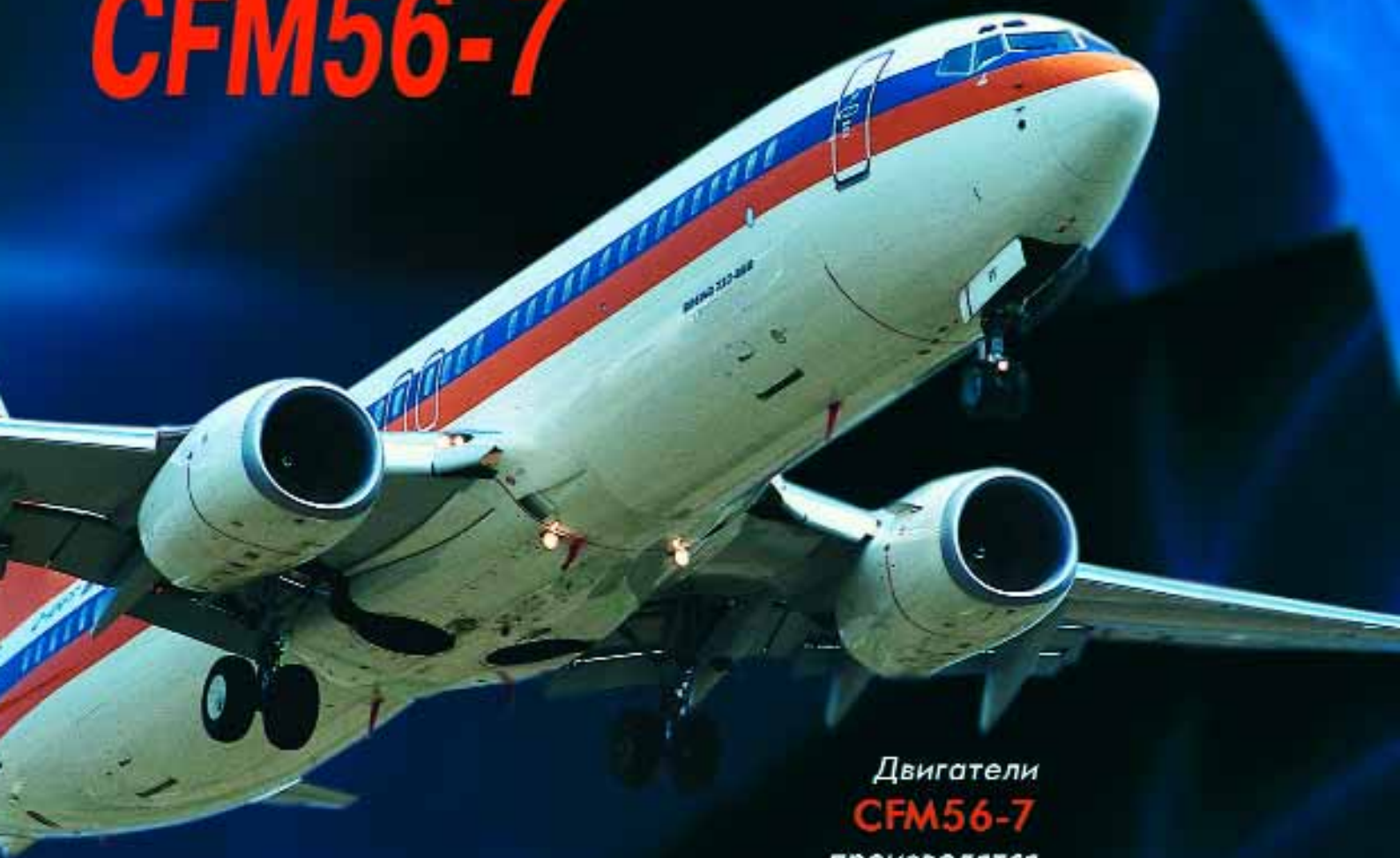
Научно-технический журнал



**Двигателестроение – основа индустриальной мощи  
и обороноспособности государства**

# НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ БОИНГОВ: B737 С ДВИГАТЕЛЯМИ

## CFM56-7



Двигатели

**CFM56-7**

производятся

CFM International -

совместным предприятием

"Дженерал Электрик" (США)

и "СНЕКМА", лидером французского  
авиакосмического двигателестроения.

"Боинг" выбрал CFM56-7 для эксклюзивного  
оснащения своего новейшего самолета  
серии B737. Успех двигателя CFM56-7 и других  
направлений деятельности группы в области  
двигателестроения, агрегатостроения и обслуживания  
вывел фирму "СНЕКМА" на передний план мирового  
рынка авиационной и космической техники.



**sneema**

*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"

**Книгель 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. Люлька-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

**Литературные редакторы:**

Лидия Рождественская

Людмила Лаврентьева

**Художественный редактор**

Людмила Жемуранова

**Дизайн и верстка**

Александр Коваленко

**Техническая поддержка**

Александр Бобылев

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

Александра Бажанова,

Дмитрия Боева,

Людмилы Жемурановой,

Александра Медведя,

Владимира Романова

**Адрес редакции журнала "Двигатель":**

112250, 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

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.

Научно-технический журнал зарегистрирован в Государственном Комитете РФ по печати  
Per. № 018414 от 11.01.1999 г.

Отпечатано на фабрике офсетной печати г. Москва  
Тираж 5000 экз.  
Цена свободная

## СОДЕРЖАНИЕ

### **4** Этапы развития и проблемы отечественного автомобилестроения

В. Кутенев, А. Ипатов

### **10** Четыре этапа "УМПО"

В. Грабовский, Н. Федоров

### **12** Современный этап создания ДВС с регулируемой степенью сжатия и рабочим объемом

В. Кутенев, М. Зленко, Г. Тер-Мкртчян

### **16** Звезда "Мерседес"

Т. Гэртиг

### **19** Информация: Двигателестроительная "археология".

**Двигатели БМЗ в Греции - есть!**

### **20** Напыление без пыли

А. Гагарин, В. Володин, В. Хмелевская, И. Зайцев

### **22** Двигатели для летающих танков

В. Морозов, Д. Изотов

### **26** На пути к В-2

В. Березкин

### **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** Диагностирование технического состояния подшипников

Л. Франкштейн

### **34** Авиационные ГТД конструкции профессора Уварова

А. Романов

### **36** История Френка Уиттла, изобретателя авиационного газотурбинного двигателя

Н. Александров

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

Г. Лиознов

### **44** Сердце истребителя

А. Николаев

### **47** Реактивщик

А. Маркуша



# ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И ПРОБЛЕМЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

ГНЦ РФ "НАМИ":  
Вадим Кутенев, профессор, д.т.н.  
Алексей Ипатов, к.э.н.

Двигателестроение — основа автомобильной промышленности и индустриальной мощи и обороноспособности государства. Российские традиции научной школы двигателестроения были заложены еще в конце прошлого века, задолго до широкой автомобилизации страны. Российские ученые, такие, как профессора В.И. Гринивецкий, Г.Г. Калиш, Е.К. Мазинг, Н.Р. Брилинг, выдающиеся конструкторы и ученые советского периода — академики А.А. Микулин, Б.С. Стечкин, Е.А. Чудаков, профессор А.С. Орлин, являются классиками двигателестроительной науки, труды которых не потеряли своей актуальности до настоящего времени. Велик вклад этих ученых в организацию системы обучения и подготовки научных кадров на основе созданных ими кафедр в ведущих отечественных ВУЗах (МВТУ, МАМИ, МАДИ, МАИ), в создание научно-исследовательских институтов (НАМИ, ЦНИДИ, ЦИАМ), роль которых в становлении отечественного автостроения трудно переоценить. Благодаря их усилиям и при определяющей поддержке государства российская научная школа двигателестроения занимала достойное место в мире, а по многим направлениям, таким, как газотурбинный наддув, газовые, газогенераторные, звездобразные двигатели, двигатели со встречнодвижущимися поршнями, являлась ведущей в мире. Таким образом, становление и развитие российской автомобильной промышленности происходило в благоприятных условиях с точки зрения научно-технического и кадрового обеспечения.

Развитие автомобильной промышленности в СССР осуществлялось исключительно в рамках общегосударственной экономической и политической программы и за счет государственных субсидий. Это в свою очередь, с одной стороны, гарантировало поступательный и плановый характер развития автомобильной отрасли в целом и автомобильного двигателестроения в частности, но, с другой стороны, ограничивало и сдерживало внедрение в производство научных достижений. В силу ряда обстоятельств динамика использования результатов НИР оказалась неудовлетворительной, что стало особенно заметным, начиная с 80-х гг.

В определяющей мере сложившаяся ситуация связана с отсутствием заинтересованности производителей автомобилей к внедрению нововведений в автомобильной промышленности. Приведем примеры.

В начале 80-х в НАМИ были развернуты научно-исследовательские работы по созданию отечественной системы впрыска бензина. К 90-м годам были решены принципиально важные научно-технические проблемы, определен перечень необходимых мероприятий по производству комплектующих, созданы экспериментальные образцы отечественных систем впрыска топлива. Таким образом, в СССР была, хотя и с некоторым запозданием, заложена база для перехода к впрысковым системам питания. К этому времени практически все мировые производители автомобилей полностью отказались от карбюраторных систем и перешли на системы впрыска, без которых выполнение норм на токсичность было невозможно. В то же время в СССР проблема токсичности лишь декларировалась,

поддерживалась атмосфера видимости ее решения, что в свою очередь привело к практически полной потере европейского рынка для российских производителей. В заметных масштабах серийное производство двигателей, оборудованных отечественными системами впрыска, началось лишь в 1997 г.

В конце 30-х гг. советский ученый Л.А. Гусак предложил принцип форкамерно-факельного зажигания в бензиновом двигателе. В 60-х гг. были построены опытные образцы таких двигателей, а в 70-х был начат мелкосерийный выпуск форкамерно-факельных двигателей (ГАЗ, ЗИЛ, УМЗ). Новый рабочий процесс накладывал более жесткие требования к качеству технологии производства топливной аппаратуры, сервису и техническому обслуживанию. Карбюраторная система топливоподдачи с трудом справлялась с новыми задачами, а автомобильные системы впрыска бензина тогда еще не производились в России. Плодотворной взаимосвязи науки и производства не произошло и в этом случае, работы были свернуты. А в 1975 г. в Японии началось серийное производство форкамерных двигателей с процессом "Хонда-CVCC". Несмотря на то, что японцы вынуждены были "обходить" российский патент и применить не самые оптимальные конструктивные решения, это был один из выдающихся в то время двигателей с самым низким уровнем выбросов вредных веществ. Накопленный опыт производства и эксплуатации таких двигателей, внимательное отношение к изучению особенностей рабочего процесса двигателей с расщеплением смеси вообще и форкамерным в частности позволили Японии в середине 90-х гг. приступить к серийному производству двигателей нового поколения с революционными решениями по рабочему процессу — с непосредственным впрыском бензина в цилиндр. Очевидно, что такие решения явились следствием творческого развития идеи расщепления рабочего заряда, у истоков которой стояли советские ученые.

Идея форкамерного двигателя не потеряла своей привлекательности и сегодня. Сочетание классического (по Гусаку) форкамерно-факельного процесса с современными топливоподающими устройствами, т.е. впрыск в форкамеру, устранение проблемы равномерности и точности дозирования малых цикловых подач, может дать хороший результат даже в сравнении с лучшими современными двигателями. Однако проведение таких работ без соответствующего исследовательского оборудования и, главное, без реальной заинтересованности со стороны производителя в решении этой задачи практически невозможно.

Другой пример неволевого отставания научных достижений — комбинированные двигатели (с турбонаддувом). В этой области двигателестроения, как уже отмечалось, отечественная научная школа была на мировом уровне. В 50-60-х гг. были созданы опытные образцы наддувных модификаций автомобильных двигателей, показаны преимущества, выявлены проблемы, изучены и найдены пути их решения. Однако до сегодняшнего дня турбонаддув, как наиболее эффективное средство повышения потребительских качеств

автомобильного двигателя, в отечественном автомобилестроении не применяется, за исключением весьма ограниченного использования на грузовых автомобилях. Это, в первую очередь, связано с отсутствием специализированного производства турбокомпрессоров. В то же время практически все мировые производители автомобильных двигателей в 70-80-х гг. освоили серийное производство наддувных модификаций.

В 80-х годах в НАМИ совместно с ЗМЗ и МКЗ был проведен комплекс работ по изучению метода отключения цилиндров как средства улучшения топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов. Был показан эффект в экономии топлива до 15 %, создан опытный образец, прошедший испытания на автомобиле ЗИЛ-130. Однако работы так и не вышли за рамки НИР. В 1999 г. концерн "Даймлер-Крайслер" начал серийный выпуск шести- и восьмицилиндровых двигателей с отключаемыми цилиндрами.

В конце 80-х — начале 90-х гг. в период активной законодательной деятельности в западных странах по введению в действие новых норм на токсичность (Евро-1, Евро-2) ряд российских научно-исследовательских организаций, включая НАМИ, предложили отечественной автомобильной промышленности несколько различных типов нейтрализаторов отработавших газов. Это практически совпало с начальным периодом массового использования каталитических нейтрализаторов в европейских странах. Уже в то время практически все научно-технические вопросы, связанные с технологией производства нейтрализаторов в России, были решены. Однако и здесь отсутствие интереса заводов-изготовителей к постановке на производство этого вида продукции, отсутствие законодательной базы, т.е. цивилизованного инструмента принуждения заводов выполнять экологические требования, не позволило реализовать результаты научной работы отечественных ученых. Поводом для отказа промышленности использовать нейтрализаторы в этом случае являлось недостаточное обеспечение автотранспорта неэтилированным бензином. Однако тот факт, что и после снятия этой проблемы с повестки дня (для европейской части России) вопрос оснащения автомобилей нейтрализаторами остается нерешенным, говорит об **иных причинах** задержки внедрения высокотехнологичных и наукоемких разработок в автомобильной промышленности.

Наиболее ярко ситуация в отечественном двигателестроении может быть проиллюстрирована на примере дизельных двигателей. С начала 30-х гг. в СССР сложилась лучшая в мире школа конструкторов дизелей, правда, ярко выраженной оборонной направленности. Первый в мире 2-тактный танковый дизель АМБС (Александр Микулин — Борис Стечкин) был спроектирован в 1917 г. В 20-е годы работы по быстроходным дизелям были продолжены в НАМИ, где в 1929 г. по проекту В.Я. Климова был построен 4-тактный дизель ОН-1. Опыт работ по дизелю ОН-1 был использован при проектировании авиационного дизеля АН-1, осуществленного переведенной в ЦИАМ группой специалистов НАМИ под руководством А.Д. Чаромского. Построенный в 1933 г. дизель АН-1 развивал мощность 625 кВт и по техническому уровню превосходил все известные в то время аналоги. С 1939 по 1945 гг. было выпущено более 80 тыс. дизелей В-2 — лучших танковых двигателей первой половины XX века. К сожалению, наработанные решения не были использованы в народном хозяйстве (автомобильной промышленности).

В годы войны группа советских конструкторов во главе с Н.С. Ханниным (НАМИ), впоследствии главным конструктором ЯАЗ (ЯМЗ) по двигателям и лауреатом Государственной премии, произвела лучший в мире довоенный автомобильный дизель ГМС-53 ("Дженерал Моторс"). Постановка в начале 50-х гг. на производство дизелей ЯАЗ-204, ЯАЗ-206 (копий ГМС-53) стала началом дизелизации автомобильной промышленности СССР. Следующим шагом стала разработка в НАМИ дизеля НАМИ-019, который являлся прототипом самого массового в СССР дизеля ЯМЗ-238. Дизель стал на производство в начале 60-х гг. и не уступал, а зачастую и превосходил лучшие европейские дизели того времени — "Мерседес-Бенц", "МАН", "Лэйленд". За прошедшие годы наши европейские конкуренты **сменили не одно поколение моделей** и значительно оторвались по техническому уровню от России. ЯМЗ

уже почти 40 лет продолжает выпускать все те же модели, правда с изменениями последних лет в соответствии с требованиями норм Евро-1 и Евро-2 ... с отставанием на 4 — 6 лет.

В начале 80-х гг. в НАМИ совместно с ВАЗом и УАЗом были разработаны малые автомобильные дизели с рабочим объемом 1,6 и 2,5 л. Но их серийное производство так и не было освоено, хотя ни одно программное выступление руководителей автомобильной промышленности, ни одно Постановление Совета Министров и ЦК КПСС не обходилось без упоминания о необходимости освоения производства дизелей для легкового автотранспорта. И только в 1999 г. началось мелкосерийное производство дизеля ВАЗ в Барнауле. Организация производства дизелей 2,5 л планировалась на Ульяновском моторном заводе в количестве 200 000 в год для применения на автомобилях УАЗ, микроавтобусах, автопогрузчиках, автомобилях типа "Газель" и др. В связи с известными событиями в стране подготовка производства не была завершена.

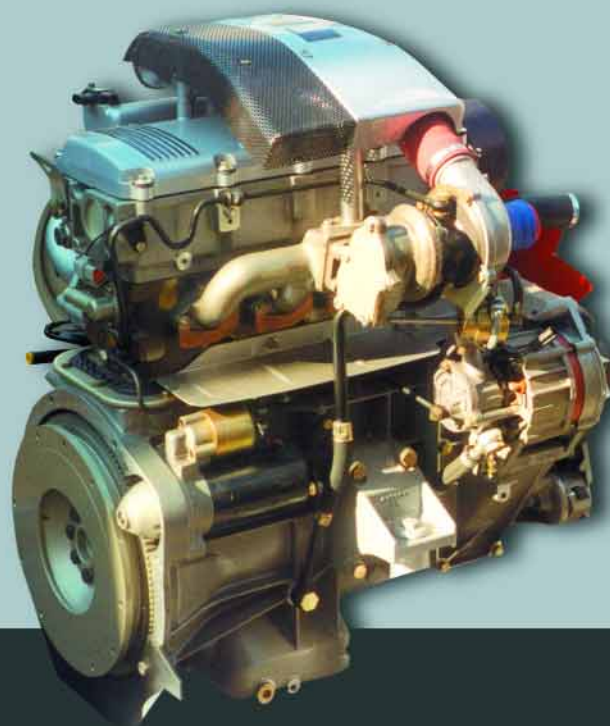
Все вышеизложенные факты указывают на незаинтересованность производителей к внедрению новых разработок в области двигателестроения (**при наличии вполне профессионального понимания сути проблем и путей их разрешения**). Следствием этого является постепенное отставание уровня производимых в России автомобильных двигателей от лучших зарубежных аналогов. Характерный пример:

Двигатель	УЗАМ	Мерседес - Бенц
Рабочий объем цилиндра, л	0,45	0,47
Масса поршневого комплекта в сборе с пальцем, г	623	501
Масса шатуна, г	870	545
Давление механических потерь, МПа	0,31	0,23

Увеличенное межцилиндровое расстояние, более высокая масса шатунно-поршневой группы — это не только перерасход металла, энергии на его обработку и т.д., но и прямая потеря эффективных показателей двигателя, меньшая "оборотность", высокие механические потери, недобор мощности, повышенный расход топлива, худшая уравновешенность. Отставание по указанным показателям — отнюдь не научная проблема, она носит сугубо производственно-технологический характер.

Отдельная тема — альтернативные топлива. Топливо-энергетический потенциал России, как нефте- и газодобывающей страны, обуславливает наличие важных особенностей путей развития отечественной автомобильной отрасли.

В начале 30-х годов в период индустриализации и автомобилизации СССР впервые встал вопрос о дефиците нефтяных топлив для двигателей и поиске альтернативных топлив. Уже к началу Второй Мировой войны отечественными учеными под руководством проф.



Г.И. Генкина и академика Е.А. Чудакова были разработаны опытные образцы не только газобаллонных (в современном понимании) автомобилей, но и во многом родственных им — газогенераторных. Эти автомобили успешно прошли опытную эксплуатацию. В 50-60-е гг. была создана газобаллонная аппаратура нового поколения. Однако, как казалось, при всеобщем понимании актуальности проблемы перевода автотранспорта на более дешевое, менее вредное с экологической точки зрения топливо вопрос о широком использовании сжиженного газа в промышленно значимых масштабах остался не решенным. В то же время в западных странах это направление работ приобрело государственное значение, получило государственную поддержку как в плане специальных инвестиций, так и в законодательном порядке.

Отечественные разработки по дальнейшему расширению ис-

пользования газа, в первую очередь — природного, также остаются неустраивающими, несмотря на очевидность преимуществ применения этого вида топлива, особенно для России, страны владеющей более 50 % разведанных запасов газа. Задача рационального использования природного газа в качестве моторного топлива была и остается актуальной. Применение газа в качестве моторного топлива дает неоспоримые преимущества, но при этом требует многомиллионных инвестиций в создание инфраструктуры, включая сеть заправочных станций, производство комплектующих, сервис и т.д.

Если сказать, что главная причина кризиса в двигателестроении та же, что и в любой другой отрасли — доминирующее влияние государства в сфере развития и управления промышленности, так называемая "плановая экономика", отсутствие конкуренции, и т.д. — это будет правильно, но это не вскрывает сути и характера отдельных составляющих этого явления. Само по себе государственное регулирование, хотя и вносит значительные деформации в естественный (с рыночной точки зрения) процесс развития какой-либо отрасли, еще не является главной причиной вхождения в кризис. Известные примеры, касающиеся оборонных отраслей, в частности ракетостроения и авиации, стрелкового оружия, оптики и т.д., подтверждают это. Другое дело, что государство обеспечивает разви-

**МЕРОПРИЯТИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ВЫПОЛНЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПО НОРМАМ ЕВРО-1, ЕВРО-2 И ЕВРО-3 АВТОМОБИЛЯМИ ПОЛНОЙ МАССОЙ МЕНЕЕ 3,5 Т С БЕНЗИНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ**

Таблица 1

Область проведения мероприятий	ЕВРО-1 1999г.	ЕВРО-2 2001г.	ЕВРО-2 2001г.	Состояние разработки и внедрения
<b>1. Электронная система управления подачей топлива и зажиганием (центральный впрыск)</b>	•			Завершена на ОАО "АвтоВАЗ" и АО "ДААЗ", выпускаются промышленные партии
<b>2. Электронная система управления подачей топлива и зажиганием (распределенный впрыск) с самодиагностикой</b>	•	•	•	Завершена на ОАО "АвтоВАЗ", ОАО "ГАЗ". Ведется на АО "АвтоУАЗ", АО "Москвич" и АО "УМПО". Серийный выпуск на ОАО "АвтоВАЗ", ОАО "ГАЗ"
<b>3. Многоклапанная система газораспределения</b>		•	•	Завершена на ОАО "АвтоВАЗ" и АО "ЗМЗ". Серийный выпуск. НИОКР на АО "Волжские моторы" и АО "УМПО"
<b>4. Механизм регулирования фаз газораспределения</b>			•	Ведутся НИОКР в НАМИ
<b>5. Механизм регулирования степени сжатия</b>			•	Ведутся НИОКР в НАМИ
<b>6. Трехкомпонентный нейтрализатор</b>	•	•		Завершена. Создано производство на "АвтоВАЗагрегат" и "УЭК". Готовится производство на АО "Москвич"
<b>7. Трехкомпонентный нейтрализатор с системой ускоренного прогрева</b>			•	Завершаются НИОКР на ОАО "АвтоВАЗ" и НАМИ
<b>8. Система улавливания паров топлива</b>		•	•	Завершена на ОАО "АвтоВАЗ" Ведется на ОАО "ГАЗ" и ОАО "АвтоУАЗ"
<b>9. Производство и использование топлива:</b>				
Неэтилированный бензин	•	•	•	Производство на Московском, Ярославском, Пермском, Рязанском НПЗ (63 % выпуска)
Электронные системы топливоподачи	•			Завершена разработка. Выпускаются промышленные партии АО РЗАА, Авто система и др.
Инжекторные системы с центральным впрыском	•	•		Завершаются НИОКР в НАМИ
Инжекторные системы с распределенным впрыском газа		•	•	Ведутся НИОКР в НАМИ

пользования газа, в первую очередь — природного, также остаются неустраивающими, несмотря на очевидность преимуществ применения этого вида топлива, особенно для России, страны владеющей более 50 % разведанных запасов газа. Задача рационального использования природного газа в качестве моторного топлива была и остается актуальной. Применение газа в качестве моторного топлива дает неоспоримые преимущества, но при этом требует многомиллионных инвестиций в создание инфраструктуры, включая сеть заправочных станций, производство комплектующих, сервис и т.д.

Научно-технические проблемы расширения сферы применения газа в автомобильном транспорте практически решены или могут быть решены при соответствующих инвестициях, поскольку главная составляющая — подготовленные научно-технические кадры — имеется.

Предстоящий российской автомобильной промышленности путь развития рабочих процессов, конструкции двигателей, технологии их производства, комплектующих, топливной аппаратуры и т.д. представляется мало отличающимся от европейского. В области же газификации автотранспорта этот путь может быть своим, чисто российским и отличным от общемирового. Внедрение газодизельных автомобилей, в первую очередь КамАЗа — пример удачного решения серьезной социальной задачи с минимальными финансовыми затратами. Удалось разрешить проблему экономии жидкого топлива совместно с резким снижением дымности отработавших газов. Переоснащение дизеля в газодизель не требует высоких капиталовложений, а технология этого процесса достаточно хорошо отработана. Однако и здесь важнейшее народно-хозяйственное дело натолкнулось на несогласованность действий различных ведомств: хотя автомобили (несколько тысяч в год) и выпускались, заправочные станции так и не были построены.

Вышеуказанные примеры иллюстрируют парадоксальную ситуацию: при наличии высококвалифицированных специалистов, научных школ и направлений, двигателестроение, за редким исключени-

ем и поддержание определенной отрасли зачастую за счет других отраслей. Таким образом, главное здесь — приоритет.

В Корею в 80-90-х гг. государственным приоритетом являлась автомобильная промышленность, в результате чего мы и имеем так называемый "корейский феномен". В России та часть автомобильной промышленности которая производила потребительские товары для населения, никогда не являлась приоритетной, т.к. в государстве основное внимание уделялось грузовому автотранспорту как совершенно необходимой составляющей оборонного потенциала и обеспечения сельского хозяйства, а также общественному транспорту как основному средству передвижения населения. Личный автомобиль на протяжении многих десятилетий оставался недостижимой мечтой для рядового гражданина. Такое положение обосновывалось идеологически, подводилась "экономическая" база, подтверждающая рациональность ориентации на общественный транспорт. **Недоступность или крайняя затруднительность в приобретении автомобиля гражданами создали предпосылки к значительно пониженным требованиям населения к качеству автомобилей.** Это положение, усиленное в последние годы неплатежеспособным спросом, остается и поныне. Покупается любой автомобиль, невзирая на качество. При наличии колоссального дефицита вопрос технического совершенства, внедрения наукоемкой продукции естественным образом оказывался третьестепенным.

Тот же неудовлетворенный спрос, незначительное с точки зрения европейцев обеспечение автомобилями на душу населения сформировали устойчивое общественное мнение российских граждан о малой (по меньшей мере в настоящее время) значимости экологических проблем, связанных с автомобилизацией. Основной доминантой была и остается проблема приобретения **любого** автомобиля.

В Европе и США основным инструментом для стимулирования постоянного роста технического уровня автомобилей стало зако-



ходательство, как *естественная реакция на требование общества повысить безопасность автомобиля*, имея в виду безопасность в широком смысле — и "физическую", и экологическую. Очевидный прогресс в двигателестроении в странах запада обусловлен главным образом высокими требованиями общества, а через него - государства к экологической безопасности. Это потребовало от производителя интенсивно внедрять известные, давно проверенные методы снижения токсичности и серьезно заняться разработкой новых мероприятий для того, чтобы быть готовыми к дальнейшему ужесточению экологических норм. В этих странах создан такой правовой режим, что для производителя необходимость постоянного и необратимого ужесточения норм является очевидным. Неприятие мер в направлении экологии, провал в какой-либо из составляющих понятия "безопасность" ведет к незамедлительной смене руководства любого автомобильного концерна.

Налицо явный разрыв между мнением российских ученых, владеющих информацией о последствиях неконтролируемой автомобилизации, и российским общественным мнением. Безусловно, никто не станет публично отрицать наличие экологических проблем. Но при решении дилеммы: что выпускать — дешевый, простой, но при этом "грязный" автомобиль или — более дорогой, но "чистый", общественное мнение отдаст предпочтение первому варианту. Это говорит о неразвитости экологического сознания в обществе. И до тех пор, пока рынок потребления не будет насыщен, пока от количественных категорий общественное мнение не перейдет к качественным, ожидать того, что вопросы технического совершенствования автомобилей будут инициироваться снизу, т.е. потребителем, как это имеет место в западных странах, не следует. В этих условиях, как это ни парадоксально, определяющую роль в повышении технического уровня автомобиля должно (вынуждено) играть государство, если этот вопрос оно рассматривает в качестве приоритетного.

Таким образом, главной причиной в создавшейся ситуации в автомобилестроении и, в частности, в двигателестроении, является *отсутствие заинтересованности производителя в удовлетворении высоких требований потребителя*. Или, что то же самое, отсутствие реальной угрозы потери своего места на рынке вследствие невыполнения правил "игры", установленных на этом рынке.

Понимая причины отставания России в области двигателестроения, необходимо определить меры по их устранению.

Констатируя факт незаинтересованности российского производителя выпускать "интеллектуальную" продукцию, отвечающую современным требованиям по надежности, долговечности, безопасности и другим параметрам, составляющим бытовое, потребительское понятие "качество", не следует считать, что руководство заводов, техническая элита не понимают важности рассматриваемой здесь проблемы. Они также в целом владеют набором технических средств, которые необходимо использовать для решения этой задачи. Следовательно, проблема состоит в том, как стимулировать или заставить производителя применить эти средства в серийном производстве. При этом также необходимо понимать, что общество, т.е. потребитель, должно разделить с производителем определенные издержки, связанные с освоением новой продукции. Опасения в том, что неизбежное в связи с этим удорожание автомобиля (как минимум на \$500) приведет к снижению объемов продаж, не выдерживает критики. При проведении протекционистской политики по отношению к отечественному производителю государство вполне может устранить эти опасения, адекватно воздействуя на таможенные тарифы по импортной технике (т.е. на конкурентов). Возможно лишь некоторое "торможение" продаж с достаточно быстрым восстановлением объемов.

На нынешнем этапе развития российской экономики, принявшей в целом курс на создание рыночных отношений между производителями и потребителями, единственным средством для обеспечения постоянного совершенствования продукции является *живой и сильный Закон*. Выделение слов "живой и сильный" здесь имеет следующий смысл.

Для обычного потребителя суровое предупреждение о том, что "несоблюдение ГОСТа преследуется по закону" не являлось гарантией качества приобретенной продукции. Таким образом, наличие

собственно Закона еще не создает необходимых гарантий для потребителя. *Неразрывной составляющей Закона должна быть система мер для его неотвратимой реализации*. Кроме того, Закон, с одной стороны, не должен ставить производителя в безвыходную ситуацию, но, с другой стороны, должен гарантировать права потребителя. Следовательно, этот Закон должен быть живым, гибким по времени (и месту!) действия, по нормируемым показателям, но при этом и сильным, чтобы у производителя не оставалось никаких сомнений в неизбежности его применения в случае необходимости.

Вторым "законодательным" способом решения проблем качества двигателей были Постановления Верховного Совета, Совмина и ЦК КПСС (последнее — за № 1199). Приведем типичный пример применения такого способа управления:

...В начале 80-х гг. заводу *X* было предписано в дизеле *Y* с наддувом снизить минимальную величину удельного расхода топлива до 159 г/л.с.ч при одновременном уменьшении дымности отработавших газов. Были перестроены характеристики топливной аппаратуры и турбокомпрессора, при этом существенно повышена частота вращения, при которой обеспечивается максимум крутящего момента. Заданная величина минимального расхода топлива была достигнута. Но при этом существенно ухудшилась топливная экономичность автомобиля с таким двигателем. Ухудшились и условия работы водителя из-за необходимости чаще переключать передачи...

Особенно симптоматичным стал выход в период "перестройки" документа, регламентирующего, сколько (в процентах) моторов должно превышать мировой уровень и сколько ему соответствовать. Заводы, не мудрствуя, толковали проценты не как *относительное количество выпущенных двигателей*, а как *отношение количества определенных моделей к общему количеству моделей*. Например, завод выпускал 4 модели двигателей. Специально готовились образцы двигателей с измененными показателями. Им присваивался специальный индекс и выпускались ТУ (новая, пятая модель). После чего параметры "нового" двигателя сравнивались с параметрами "лучших зарубежных аналогов" и естественно их превосходили. Таким образом, 20 % выпускаемых заводом двигателей (одна модель из пяти) "по техническому уровню превосходили лучшие зарубежные аналоги"!

В задачу этой статьи не входит освещение всех нормативных документов, необходимых для наполнения понятия "законодательная база". Это отдельная самостоятельная работа, которая должна быть выполнена после формирования и принятия принципов построения этой базы. Здесь лишь отметим основополагающие моменты.

В условиях неразвитости общественного самосознания в отношении экологии и безопасности конструкции автомобиля, о чем мы говорили выше, в условиях пониженных требований российского



потребителя к качеству двигателей и автомобиля в целом только государственные методы управления способны не исправить положение, **а создать условия для его исправления.** Принятие обновленных законов, касающихся экологии двигателей — есть лишь первый шаг. В законе должны быть четко прописаны временные рамки действия определенных норм на токсичность.

Второй шаг, второй пакет государственных решений — создание реального механизма контроля за соблюдением требований законов и государственных стандартов как подзаконных актов, развивающих и контролирующих положения законов. Действую-

ния экологических норм в странах Западной Европы и России, из которых видно, что уже в настоящее время отставание составляет 4 — 7 лет.

Здесь следует отметить исключительно слабое техническое оснащение контрольно-измерительными приборами. Если говорить об "экологическом" пакете законов, обеспечение которого призваны выполнять изготовители, то следует отметить, что, например, приборов для измерения твердых частиц (нормируемый по Евро-2 и Евро-3 показатель) в России существует **не более трех.** И в неполной комплектации. Подавляющее большинство заводов, универси-

**МЕРОПРИЯТИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ВЫПОЛНЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПО НОРМАМ ЕВРО-1, ЕВРО-2 И ЕВРО-3 АВТОМОБИЛЯМИ ПОЛНОЙ МАССОЙ БОЛЕЕ 3,5 Т С ДИЗЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ (сроки для России)**

Таблица 2

Область проведения мероприятий	ЕВРО-1 1999г.	ЕВРО-2 2001г.	ЕВРО-2 2001г.	Состояние разработки и внедрения
<b>1.Топливная аппаратура:</b>				
ТНВД с давлением впрыскивания до 800 бар	•			Завершена. Освоено производство на АО "ЯЗТА", АО "ЯЗДА" для ЯМЗ и КамАЗ
ТНВД с давлением впрыскивания до 1000 бар		•		Завершена. Заканчивается освоение производства на АО "ЯЗТА" и АО "ЯЗДА" для ЯМЗ, ТМЗ, КамАЗ, ЗИЛ
Форсунки с оптимизированным направлением, диаметром и количеством сопловых отверстий	•	•		Завершена. Идет выпуск на АО "ЯЗТА", АО "ЯЗДА" для ЯМЗ, ТМЗ, КамАЗ, ЗИЛ
<b>Электронно-управляемая система топливоподачи:</b> с механическим приводом плунжера (столбиковые насосы)			•	НИОКР на АО "ЯЗТА" и НАМИ
Гидроприводные насос-форсунки			•	НИОКР на АО "ЯЗТА" АО "ЯЗДА" и НАМИ
Аккумуляторные системы			•	НИОКР на АО "ЯЗТА" АО "ЯЗДА" и НАМИ
<b>2. Оптимизация камеры сгорания</b>			•	НИОКР на ОАО "Автодизель", АО "КамАЗ", НАМИ
<b>3.Регулирование фаз газораспределения</b>			•	Ведутся НИОКР в НАМИ
<b>4. Турбонаддув:</b>				
ТКР с улучшенным к.п.д.	•	•		Завершена. Выпуск на АО "КамАЗ" и АО "Автодизель"
Турбина с изменяемой геометрией			•	НИОКР в НАМИ и ОАО Автодизель"
С перепускным клапаном			•	НИОКР в НАМИ
С управляемым сопловым аппаратом			•	НИОКР в НАМИ
<b>Охлаждение наддувочного воздуха:</b>				
Охладитель типа "воздух-воздух"	•	•		Завершено. Выпуск промышленных партий на АО "Автодизель" и АО "КамАЗ".
Система глубокого охлаждения			•	НИОКР в НАМИ
<b>5. Цилиндрово-поршневая группа с низким угаром масла</b>		•	•	Завершена на АО "Автодизель" и АО "КамАЗ". Выпуск промышленных партий и расширение производства
<b>6.Система рециркуляции ОГ:</b>				
Уменьшение перекрытия клапанов с помощью регулируемых фаз газораспределения			•	НИОКР в НАМИ
Электронно-управляемый перепуск газов			•	НИОКР в НАМИ
Электронно-управляемый охлажденный перепуск газов			•	НИОКР в НАМИ
<b>7. Система нейтрализации ОГ:</b>				
Окислительный нейтрализатор	•	•	•	Завершено. Освоено производство в НАМИ и ММПП "Салют"
Нейтрализатор устойчивый к соединениям серы			•	НИОКР в НАМИ
Фильтр-нейтрализатор с каталитической авторегенерацией			•	НИОКР в НАМИ
Фильтр-нейтрализатор с регенерацией путем добавок активаторов горения сажи в топливо			•	НИОКР в НАМИ. Выпущена опытная партия
Нейтрализаторы NOx:				
С дополнительной форсункой подачи дизтоплива в систему выпуска			•	НИОКР в НАМИ
С подачей пропана или метана в систему выпуска			•	НИОКР в НАМИ
С системой дополнительного впрыска в цилиндр на такте расширения			•	НИОКР в НАМИ
<b>8.Производство и использование топлива:</b>				
Дизельное топливо с пониженным до 0,05 % содержанием серы	•	•	•	Завершено. Промышленный выпуск на Московском НПЗ
Газодизельный цикл	•			Завершено. Выпуск промышленных партий на АО "КамАЗ"
<b>Конвертация в газовый двигатель:</b>				
С электронноуправляемой центральной подачей газа		•		НИОКР в НАМИ
С электронноуправляемой распределенной подачей газа			•	НИОКР в НАМИ
Система подачи испаренного метанола на впуск		•	•	НИОКР в НАМИ
Система подачи диметилэфира		•	•	НИОКР в НАМИ
<b>9.Система регулирования степени сжатия</b>			•	Ведутся НИОКР в НАМИ

щая в настоящее время система сертификации механических транспортных средств и их составных частей, в том числе двигателей, устанавливает только минимальные ограничения к типу конструкции автомобиля и двигателя. Система контроля технического состояния транспортных средств, находящихся в эксплуатации, которую планировали ввести одновременно с системой сертификации, до сих пор не получила должного развития и не стала реальной преградой эксплуатации "экологически грязных" двигателей. Кроме того, экономическое положение производителей в настоящее время, как и всего народного хозяйства России, не позволяет оперативно внедрять современные международные нормы на токсичность отработавших газов. В таблице 3 приведены сроки приме-

нений, НИИ вообще не имеют не только такого относительно сложного и дорогого оборудования, но и обычных газоанализаторов на СН (с пламенно-ионизационным методом измерений) или NO (с хемилюминесцентным методом).

Безусловно, оснащение подобными приборами абсолютно необходимо как для исследовательских работ, так и для собственного контроля своей продукции. Это может быть сделано за счет пересмотра системы налогообложения, таможенных тарифов и т.д.

Таким образом, встает вопрос либо о целевой закупке указанных приборов по импорту, либо о создании собственного производства таких приборов в России, обеспечивающего потребности всех научных, производственных и контролирующих организаций.

Однако первый путь представляется более рациональным, поскольку речь идет о весьма специфическом измерительном оборудовании, освоение которого в производстве требует специальных знаний и опыта. Кроме того, общая потребность в газоаналитических приборах измеряется в количестве нескольких десятков в год, вследствие чего производство их в таких объемах в России окажется нерентабельным.

*При реорганизации сертифицирующих и иных контрольных ор-*

своей продукцией десятки автомобильных предприятий, подавляющее большинство которых вообще не имеют своего производства комплектующих.

Таким образом, если вопрос ставится о выводе российского двигателестроения на мировой уровень, **Россия обречена на интеграцию в общемировое или, по меньшей мере, в европейское производство комплектующих изделий.**

Учитывая вышеизложенное, наиболее целесообразным яви-

**ВВЕДЕНИЕ ПРАВИЛ ЕЭК ООН В ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЕ И РОССИИ**

Таблица 3

**1. Токсичность отработавших газов**

- Правила ЕЭК ООН № 49 -

Серии поправок	Сроки применения поправок	
	в Европе	в России
49-01	с 01.10.1991 по 01.10.1993	с 01.01.1997 г. по 01.01.1998
49-02А (Евро-1)	с 01.10.1993 по 01.10.1996	с 01.01.1998 г. по 01.01.2000
49-02В (Евро-2)	с 01.10.1996 по 01.10.2001	с 01.01.2000 г.
Евро-3	с 01.10.2001	

Сертифицированы образцы двигателей ЯМЗ Евро-1 и Евро-2 (для автомобилей ЗИЛ, УралАЗ, МАЗ, КраЗ), автомобили ЗИЛ и автобусы ПАЗ оснащаются двигателями ММЗ Евро-1. Автомобили зарубежного производства соответствуют уровню Евро-2.

- Правила ЕЭК ООН № 83 -

Серии поправок	Сроки применения поправок	
	в Европе	в России
83-02А,С	с 02.07.1995 по 07.12.1996	с 01.01.1997 по 01.01.1999
83-02В,С (Евро-1)	с 02.07.1995 по 07.12.1996	с 01.01.1999
83-03В,С (Евро-2)	с 07.12.1996 по 01.01.2000	с 01.01.2001
Евро-3	с 01.01.2000 по н.в.	

Часть производственной программы автомобилей ВАЗ соответствует 83-02В, 03В; автомобили ГАЗ с двигателями ГАЗ-560 соответствуют 83-02С. Автомобили ГАЗ, УАЗ, Москвич, Иж соответствуют 83А; на данные автомобили устанавливаются или планируются к установке двигатели с системами впрыска. Автомобили зарубежного производства соответствуют уровням Евро-1 или Евро-2, но, как правило, имеют модификации автомобилей для России, соответствующие уровню 83А.

**2. Внешний шум**

- Правила ЕЭК ООН № 51 -

Серии поправок	Сроки применения поправок	
	в Европе	в России
51-01	с 01.10.1988 по 01.10.1995	с 01.01.1997 по 01.01.1999
51-02	с 01.10.1995 по н.в.	с 01.01.1999

Требованиям 51-02 соответствует часть продукции ВАЗ. Отечественные грузовые автомобили соответствуют уровню 51-00, 51-01. Автомобили зарубежного производства соответствуют уровню требований 51-02.

**ганов условие их исключительно государственной принадлежности должно быть обязательным.** В целом, можно признать рациональным создание сертифицирующих органов на базе специализированных НИИ, обладающих соответствующими кадрами и контрольно-измерительным оборудованием.

К мерам государственного воздействия на качественные показатели двигателей и автомобилей в целом можно отнести экологическую пропаганду через государственные средства массовой информации, поощрение деятельности экологических организаций, выступающих за оздоровление окружающей среды от вредного воздействия автомобилизации.

Еще один аспект государственного управления качеством отечественных двигателей — таможенная политика в отношении автомобилей, с одной стороны, и комплектующих деталей для двигателей — с другой.

Не секрет, что чисто конструктивные недостатки отечественных двигателей значительно усиливаются низким качеством комплектующих (ремни, свечи зажигания, вкладыши подшипников, поршневые кольца и т.д.), устаревшими навесными агрегатами, отсутствием производства целого класса дополнительного навесного оборудования, таких, как гидроусилители руля, компрессоры кондиционеров. Каждый двигательный завод решает проблемы по этим позициям по-своему — через свою сеть заводов-смежников или дочерних предприятий. Однако европейский опыт показал, что выдержать конкуренцию в рыночных условиях могут лишь предприятия, специализирующиеся на отдельных комплектующих, обеспечивающие многомиллионные тиражи своей продукции.

В Европе по большинству позиций из указанных комплектующих существуют две-три основные фирмы-изготовители, доминирующие на рынке: топливная аппаратура — "Бош", "Лукас"; поршни — "Мале", "Колбеншмидт", вкладыши — "Гласье", "Колбеншмидт", "Миба"; турбокомпрессоры — "Герритт", "ККК"; поршневые кольца — "Гетце"; свечи зажигания — "Бош", "Чемпион"; муфты вентилятора — "Итон"; насос гидроусилителя — "ЦанратФабрик", "Дженерал Моторс"; стартеры и генераторы — "Бош", "Магнети Марели". Указанные фирмы, не являясь двигательными заводами, снабжают

лось бы создание условий для опережающей организации производства на территории России основных комплектующих, определяющих современный технический уровень двигателей.



# ЧЕТЫРЕ ЭТАПА

# "УМПО"

*Поршневой двигатель внутреннего сгорания изобретен давно, и сегодня две его модификации, работающие на бензине и дизельном топливе, заполнили весь мир. Основным для большинства легковых автомобилей является четырехтактный бензиновый двигатель, рожденный в прошлом веке, но способный продолжить свое существование и в следующем столетии. Непременными атрибутами его современных вариантов считаются многоклапанное газораспределение, микропроцессорная система управления впрыском топлива, нейтрализатор отработавших газов и турбонаддув с промежуточным охлаждением воздуха.*

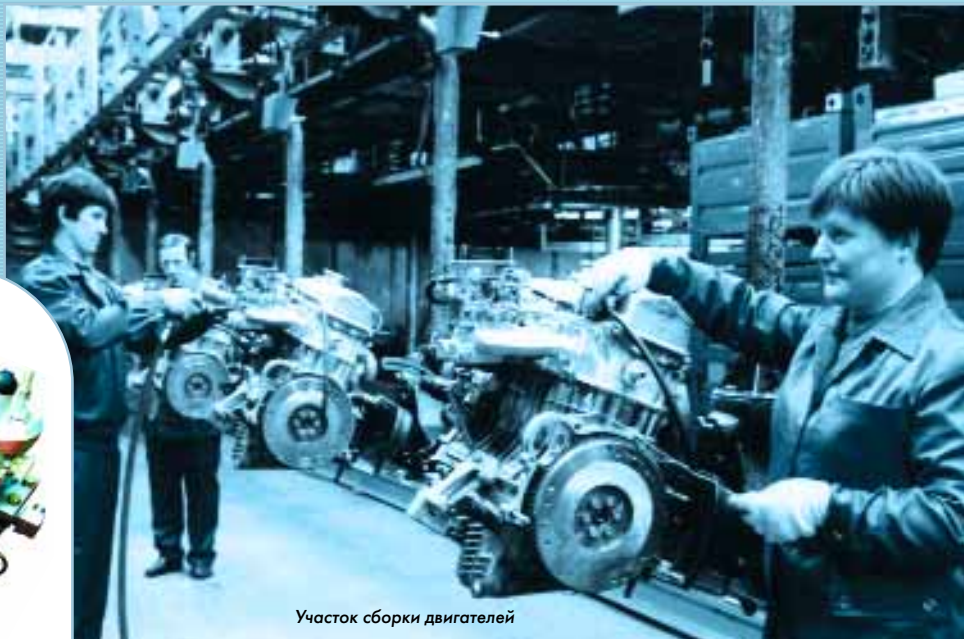
**Владимир Грабовский**, технический директор ОАО "УМПО"  
**Николай Федоров**, директор УЗАМ

Только эти конструкции ДВС способны выполнить растущие требования всего общества по сохранению экологии окружающей среды. И именно они смогут удовлетворить конкретного потребителя по мощностным и экономическим параметрам транспортных средств широкого диапазона: от легковых автомобилей и пикапов до малолитражных грузовиков, микроавтобусов, фургонов, а также спецтранспорта и универсалов повышенной вместимости.

Стремясь не отставать от мировой тенденции руководство и специалисты ОАО "УМПО" разработали программу поэтапного развития производства современных двигателей рабочим объемом 1,8 и 2,0 л мощностью 100...180 л.с. Совместные исследования с ГНЦ НАМИ и австрийской фирмой AVL List GmbH позволили обосновать эту программу и подтвердить воз-

можность выполнения предстоящих задач потребуются как развитие конструкторской и экспериментальной базы, так и обновление станочного парка. Главное при этом — обеспечение высокого качества продукции.

Проведенный комплекс исследований и расчетов позволил на первом этапе спроектировать и приступить к испытаниям двигателя  $V_h = 1,8$  л мощностью 100 л.с. Основная задача, решаемая на этом этапе — адаптация существующей и серийно выпускаемой



Участок сборки двигателей



Двигатель  $V = 1,7$  л с центральным впрыском топлива

можность использования основных базовых элементов серийно выпускаемых двигателей. Для выпуска перспективных

двигателей будет использоваться большая часть существующего оборудования, причем предусматривается его поэтапная модернизация и замена. Вполне естествен-

но, для выполнения предстоящих задач потребуются как развитие конструкторской и экспериментальной базы, так и обновление станочного парка. Главное при этом — обеспечение высокого качества продукции.

На московской фирме ЭЛКАР завершается адаптация системы распределенного впрыска топлива на двигателе рабочим объемом  $V_h = 1,8$  л и проводятся доводочные испытания. Серийный выпуск этих двигателей для автомобилей ИЖ-2126 и ИЖ-2717 планируется начать в 3-ем квартале 2000 г.

На втором этапе решаются более глубокие задачи — доведение мощности двигателя до 120 л.с. благодаря улучшению процессов наполнения, сгорания и увеличения объема цилиндров до 2,0 л; повышение надежности и долговечности. Одновременно планируется установка на двигатель дополнительных агрегатов:

генератора и стартера увеличенной мощности, компрессора, кондиционера и насоса гидросилителя руля для повышения комфорта автомобиля.

Конструктивные изменения затронут основные узлы двигателя: камеру сгорания и каналы впуска и выпуска в головке блока, клапаны, детали шатунно-поршневой группы, впускной и выпускной коллекторы и т.д. Для выполнения исследовательских работ и испытаний закуплен современный диагностический испытательный стенд фирмы AVL, который будет введен в эксплуатацию в феврале 2000 г. Серийный выпуск 8-клапанных двухлитровых двигателей мощностью около 120 л.с. планируется начать в 1-м квартале 2001 г. В перспективе двигатель будет обеспечивать выполнение экологических норм Евро-3.

На третьем этапе планируется выполнить те работы, которые обеспечат двигателю объемом 2,0 л самый современный уровень. Он будет иметь ряд модификаций мощностью от 135 до 180 л.с. На них предполагается применение 16-клапанной головки блока цилиндров, турбокомпрессора с промежуточным охлаждением воздуха, микропроцессорной системы управления с впрыском топлива непосредственно в камеру сгорания. Все это позволит в перспективе обеспечить выполнение норм Евро-4.

И теперь немного о дизельном двигателе. В отношении топливной экономичности автомобильные дизели превосходят бензиновые двигатели на 25%. Учитывая, что потенциальные возможности дизелей еще не исчерпаны, они и в дальнейшем сохраняют свое превосходство в этой области.

Все ведущие зарубежные двигателестроительные фирмы имеют в своих программах работы над созданием или усовершенствованием дизелей.

Кроме этого, анализ российского рынка, проведенный перед принятием Государственной программы развития автомобильной промышленности России на период до 2005 г. выявил нарастание спроса на быстроходные дизельные двигатели мощностью 50...125 л.с. Так, в 2000 г., потребуется 50...70 тыс. дизелей, а в 2005 г. — 130...150 тыс.

Данные двигатели при аналогичных мощностных, экономических и экологических показателях выгодно отличаются от зарубежных аналогов меньшим на

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

Технические данные	Этапы			
	1	2	3	4
Тип двигателя		бензиновый		дизельный
Число цилиндров	4	4	4	4
Рабочий объем, л	1,8	2,0	2,0	2,0
Мощность, л.с.	100	120	125...175	85
Максимальный крутящий момент, Н·м	150	165	200...240	147
Смесеобразование	Впрыск топлива во впускную трубу		Впрыск в камеру сгорания	
Выполнение норм по выбросам вредных веществ	Евро-2	Евро-2 (перспектива Евро-3)	Евро-3 (перспектива Евро-4)	Евро-3

8...12 кг весом (в том числе и за счет применения перспективного алюминиевого блока цилиндров), высокой ремонтопригодностью и простотой обслуживания. Для российского потребителя важным моментом будет то, что предполагается применение отечественных смазок и жидкостей.

Следует особо подчеркнуть, что найденные конструкторские и технологические решения позволяют провести подготовку производства с минимальными затратами, с использованием большей части действующих линий механической обработки и сборки.



Двигатель V = 2,0 л с распределенным впрыском топлива



Двигатель V = 1,8 л, карбюраторный с микропроцессорной системой зажигания

Непосредственное участие в работах принимают ведущие специалисты автомобильных заводов ОАО "Москвич" и ДООА "ИЖМАШ-Авто". Результаты проделанной совместной работы подтверждают обоснованность намеченных сроков начала серийного выпуска первых двух моделей из семейства новых уфимских двигателей.

## DIGEST

In keeping pace with world trends managers and engineers of "UMPO" Co. laid down a step-by-step program aiming at development of advanced 100-180 h.p.-class power engines with 1.8-2,0 l. displacement volume. Joint studies with NAMI (Russian State Research Center) and AVL List GmbH (Austria) provided a background and proved feasibility in using basic components of series engines. Research works and calculations at the 1st stage made possible designing and testing of 100-h.p. engine (Vh=1.8 l). The schedule calls for starting commercial production of this engine for powering such motor-cars as IZh-2126 and IZh-2717 in the 3rd quarter of 2000.

The 2nd stage will cover much more complex problems - an increase in the engine power up to 120 h.p. through improvement of combustion and feeding processes and an increase in the displacement volume up to 2.0 l. An up-to-date diagnostic test rig was ordered from ANL Co. for making tests and research works. The commercial production of 120-h.p. engines with 8 valves and 2.0-l. displacement volume is scheduled to be launched in the 1st quarter of 2000. The engine will meet ecological requirements of Euro-3 standards.

The third stage calls for 2.0-l. engine gaining on world standards. It will be designed in several modifications within 135-180 h.p. range. A 16-valve cylinder head, a turbo-supercharger with intermediate air cooling, a microprocessor control system with fuel injection into the combustion chamber will find application in these modifications. These modifications will meet Euro-4 standards.

# СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП СОЗДАНИЯ ДВС

## С РЕГУЛИРУЕМЫМИ СТЕПЕНЬЮ СЖАТИЯ И РАБОЧИМ ОБЪЕМОМ

ГНЦ РФ "НАМИ":

**Вадим Кутнев,**  
профессор, д.т.н.

**Михаил Зленко,**  
к.т.н.

**Георг Тер-Мкртчян,**  
к.т.н.

*Повторяя, причем с запозданием, конструкции конкурентов, мы обречены на постоянное отставание от развитых автомобильных стран. Кроме того, недостаточно высокий уровень технологии и культура производства в российском автомобильном двигателестроении не позволяют достигнуть качества оригинала, даже если полностью скопировать современный зарубежный двигатель. А когда мы освоим производство такого "собственного" двигателя, конкуренты уйдут вперед. И так, мы обречены либо постоянно отставать, либо... их обогнать, освоив принципиально новые технические решения. Причем новые конструкции должны обеспечивать скачкообразное улучшение показателей двигателей (в разы, а не на проценты).*

В НАМИ в середине 80-х гг. проводились исследования двигателей с принципиально новыми типами силовых механизмов, позволяющими управлять движением поршней и регулировать в результате этого рабочий объем и степень сжатия. Такие двигатели с регулируемым рабочим объемом и аксиальным силовым механизмом не раз демонстрировались научно-технической общественности, поэтому мы напомним только их основные конструктивные особенности.

Регулирование рабочего объема является значительным резервом улучшения топливной экономичности. Это одна из тех научно-технических идей, которая не требует особых доказательств эффективности. Двигатели всегда понимали, что регулирование рабочего объема на малых нагрузках есть мощный способ воздействия как на индикаторный, так и на механический КПД. Каким образом осуществлять регулирование — это другой вопрос. Простейшим способом изменения рабочего объема является отключение цилиндров. Не вдаваясь в нюансы, отметим, что, как показали наши экспериментальные исследования, такое решение дает в эксплуатации до 15 % экономии топлива. Другой, более сложный и мало пригодный в промышленном плане способ регулирования рабочего объема — модульный двигатель, т.е. силовая установка, состоящая из двух и более последовательно соединенных двигателей. Несмотря на громоздкость и явные компоновочные недостатки, модульный двигатель представляет интерес в качестве объекта исследования, на котором могут быть получены вполне достоверные данные о потенциальных возможностях регулирования рабочего объема. Эксперименты с поршневыми и роторно-поршневыми модульными двигателями показали, что при использовании данного технического решения эксплуатационная экономичность улучшается на 30 %. Очевидно, что если бы нам удалось изменять рабочий объем не дискретно (в два раза), как в мо-

дульном двигателе, а плавно в точном соответствии с требуемой нагрузкой на двигатель в соответствующий момент времени, то эффект от такого решения превысил бы 30 %.

Для реализации идеи автоматического регулирования рабочего объема была выбрана аксиальная кинематическая схема двигателя с качающейся шайбой. Отличительной особенностью нашей версии аксиального двигателя является подвижная цент-

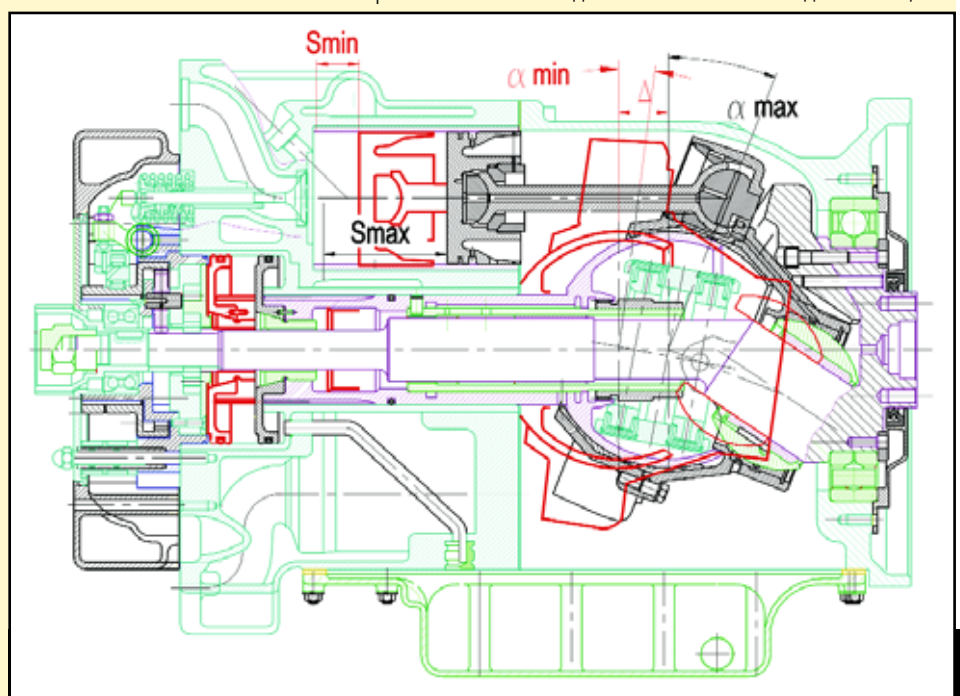


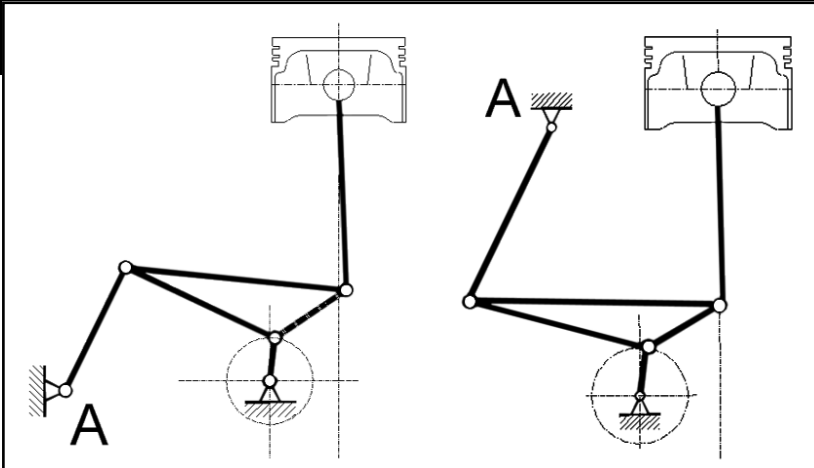
СХЕМА АКСИАЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С КАЧАЮЩЕЙСЯ ШАЙБОЙ

дульная сферическая опора, которая может перемещаться с помощью специального силового гидроцилиндра в зависимости от нагрузки или положения педали акселератора (рис. 1). При снижении нагрузки гидроцилиндр перемещает опору влево, качающаяся шайба поворачивается относительно центра опоры, угол ее наклона уменьшается и, таким образом, происходит уменьшение хода поршня. При этом степень сжатия ( $\epsilon$ ) может либо поддерживаться постоянной, либо меняться по заданному закону — например, увеличиваться — при уменьшении рабочего объема и

◀ Рис. 1

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ТРАВЕРСНОГО МЕХАНИЗМА

Рис. 2



рования степени сжатия. Известные схемы предполагали наличие узла регулирования в тяжело нагруженной зоне — в поршне или головке цилиндра. В НАМИ предложена схема механизма (названного траверсным) изменения степени сжатия, в котором узел регулирования вынесен из зоны камеры сгорания и разгружен от газовых сил. Изменение степени сжатия осуществляется за счет перемещения центра А качания коромысла, установленного на эксцентриковом валу (рис. 2).

Траверсные двигатели могут быть выполнены в дизельном и бензиновом вариантах. Для дизеля регулирование степени сжатия может иметь три равноправных направления:

уменьшаться — при увеличении рабочего объема. Это весьма желательное качество в случае применения управляемого наддува.

Кинематика аксиального двигателя требует применения сферических шарниров в парах поршень-шатун, шатун-шайба, шайба-опора. Безусловно, такое решение значительно сложнее, чем цилиндрические шарниры, применяемые в обычных двигателях. Наши оппоненты вполне резонно высказывали сомнения в работоспособности сферических шарниров, в отношении которых есть достаточно много аргументов как за, так и против. Помочь рассеять недоверие может только практический опыт. На наш взгляд, критерием здесь является величина механических потерь. Что касается построенных в НАМИ опытных образцов двигателей, то после определенной доводочной работы удалось получить величину механических потерь практически такую же, как и в обычных двигателях.

В процессе создания аксиальных двигателей было показано, что особых технологических проблем с изготовлением сфер не существует. По нашему мнению, основными проблемами в реализации аксиальных двигателей являются не сферы, а, во-первых, перегруженность косошейки вала (в отличие от обычного двигателя инерционные нагрузки не распределены вдоль вала по соответствующим шейкам, а сведены на одну шейку) и, во-вторых, проблема сохранения уравновешенности (по моменту от сил инерции первого порядка) при изменении угла наклона качающейся шайбы. На решение этих задач мы намерены направить свои усилия.

В последние годы в НАМИ были получены неплохие результаты по двигателям с регулируемой степенью сжатия с плоским силовым механизмом. Все автомобилисты знают, как полезно иметь возможность регулировать степень сжатия двигателя. Во-первых, это возможность значительного форсирования мотора за счет наддува без чрезмерного увеличения нагрузок на детали силового механизма. Во-вторых, и для бензинового двигателя, и для дизеля регулирование степени сжатия дает приблизительно одинаковое улучшение топливной экономичности на 10...15%.

До сего времени реализация этой идеи сдерживалась отсутствием надежного механизма регули-

надува при неизменном рабочем объеме и номинальной частоте вращения. Таким образом осуществляется повышение мощности существующего двигателя и улучшение энергетических показателей существующего автомобиля при сохранении достигнутого уровня экономичности (рис. 3а).

2. Форсирование двигателя по среднему эффективному давлению с одновременным снижением номинальной частоты

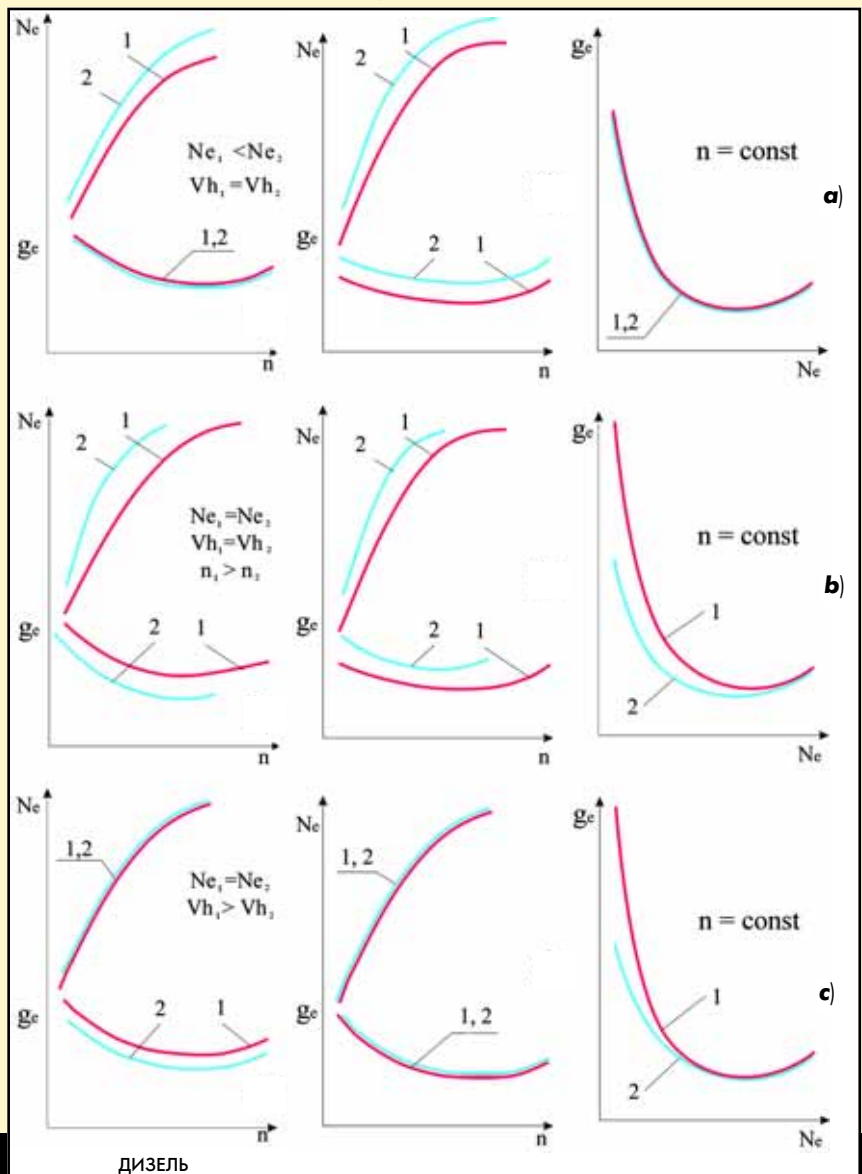


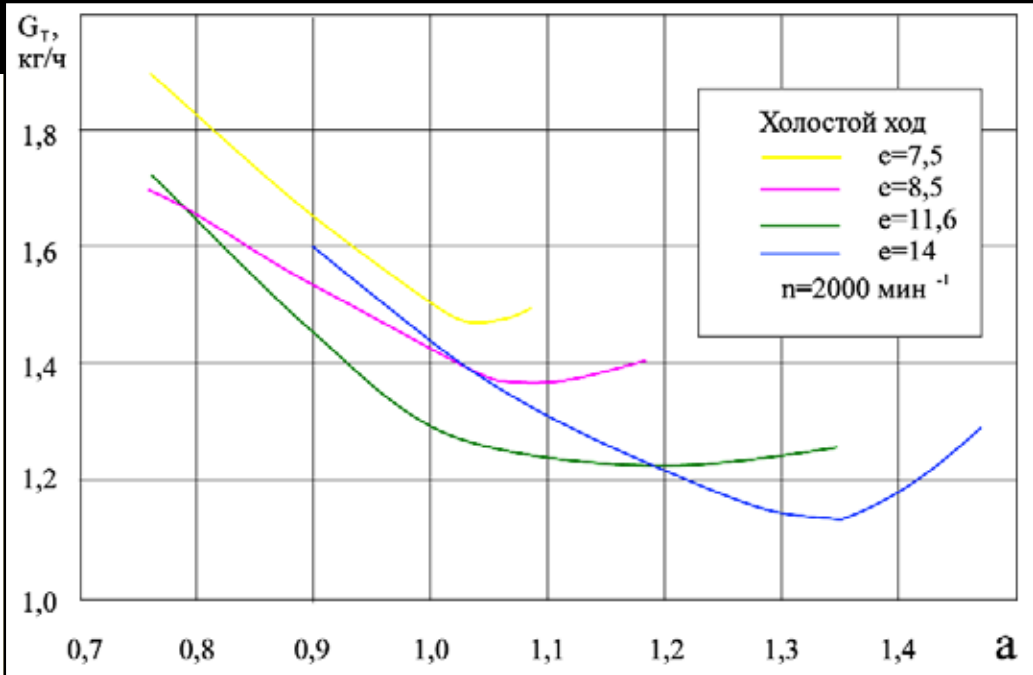
Рис. 3

ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ И ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ДЛЯ БАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ (1) И ДВИГАТЕЛЯ С РЕГУЛИРУЕМОЙ СТЕПЕНЬЮ СЖАТИЯ (2)

Рис. 4

## РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ (ПО СОСТАВУ СМЕСИ) ХАРАКТЕРИСТИКИ ХОЛОСТОГО ХОДА

Рис. 5



вращения при сохранении рабочего объема и номинальной мощности. В этом случае сохраняются энергетические показатели двигателя, но улучшается эксплуатационная топливная экономичность (рис. 3b). Например, автопоезд, оборудованный двигателем с пониженной частотой вращения, может иметь эксплуатационную экономичность примерно на 10 % лучше, чем автопоезд с обычным двигателем.

3. Замена существующего двигателя большого рабочего объема на форсированный по среднему эффективному давлению двигатель малого литража, но той же мощности. В этом случае достигается улучшение топливной экономичности и на частичных, и на полных нагрузках (рис. 3c), уменьшается масса и габариты двигателя, а также снижается материалоемкость. Например, замена дизеля с  $V_h = 17$  л на дизель с  $V_h = 8$  л той же номинальной мощности может обеспечить экономию топлива в эксплуатации на 15...17 %.

Помимо повышения топливной экономичности регулирование степени сжатия в дизеле обеспечивает и другие преимущества по сравнению с традиционным двигателем: снижение габаритов, массы и стоимости, связанное с уменьшением числа цилиндров; увеличение максимальной мощности и крутящего момента; уменьшение шумности работы, связанное со снижением частоты вращения коленчатого вала.

Регулирование степени сжатия в бензиновом двигателе позволяет добиваться:

— дальнейшего повышения мощности путем увеличения степени наддува при сохранении достигнутого уровня экономичности на частичных на-

грузках и требований к октановому числу топлива (рис. 4a);

— улучшения топливной экономичности на частичных нагрузках (рис. 4b), а также уменьшения шума двигателя путем снижения номинальной частоты вращения коленчатого вала при сохранении достигнутого уровня мощности (рис. 4c).

В качестве иллюстрации потенциальных возможностей регулирования степени сжатия бензинового двигателя на рис. 5 приведены регулировочные (по составу смеси и углу опережения зажигания) характеристики холостого хода, полученные на экспериментальном двигателе УЗАМ (1,92 л). Исследовались варианты

$\epsilon = 7,5; 8,5; 11,6$  и 14. С помощью серии таких характеристик для различных частот вращения были построены характеристики холостого хода для каждого значения степени сжатия (рис. 6). Обращает на себя внимание весьма существенный рост топливной экономичности для режима номинального холостого хода при  $n = 850$  мин<sup>-1</sup>. При степенях сжатия 7,5 и 14 разница в расходах топлива составляет 33 %. По мере увеличения частоты вращения эта разница уменьшается и для  $n = 3000$  мин<sup>-1</sup> составляет 17 %.

Безусловно, точную количественную оценку всех составляющих этого выигрыша можно получить только с помощью индикаторных диаграмм. Ограничимся лишь перечислением факторов, обуславливающих этот выигрыш. Это, во-первых, повышение термического КПД с увеличением степени сжатия — естественный процесс для любой нагрузки, включая и холостой ход. Во-вторых, повышение индикаторного КПД вследствие

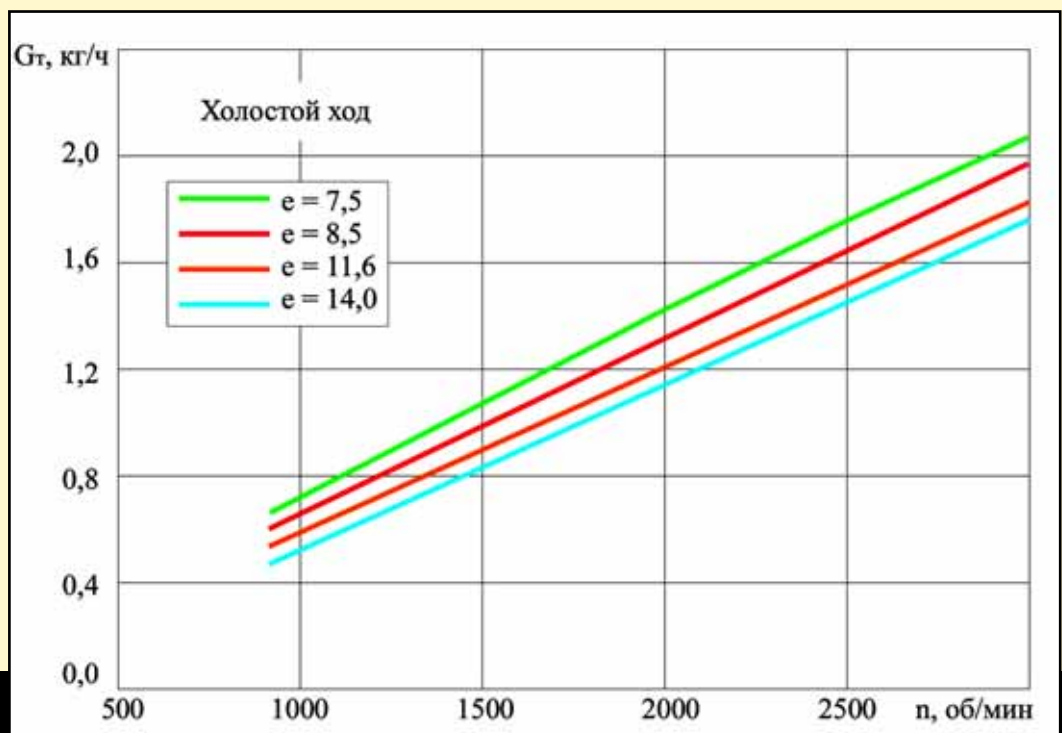


Рис. 6

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ХОЛОСТОГО ХОДА ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ



## ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ ТРАВЕРСНОГО ДИЗЕЛЯ Т-01

Рис. 7 ▶



уменьшения коэффициента остаточных газов (объем камеры сгорания уменьшается вдвое) и расширения предела эффективного обеднения.

Наиболее ценным результатом нашей многолетней работы в деле создания двигателя с регулируемой степенью сжатия является опытный образец рядного 4-цилиндрового траверсного дизеля Т-01 (рис. 7). Его конструкция позволяет автоматически изменять степень сжатия в диапазоне 10...17. В ходе стендовых испытаний дизель безотказно проработал более 1000 ч, что подтвердило высокую надежность траверсного силового механизма. Первоначально дизель проектировался для замены 8-цилиндрового серийного дизеля с целью повышения топливной экономичности. Но в ходе стендовых испытаний дизеля было выявлено весьма существенное положительное влияние регулирования степени сжатия также и на снижение выбросов токсичных компонентов в отработавших газах.

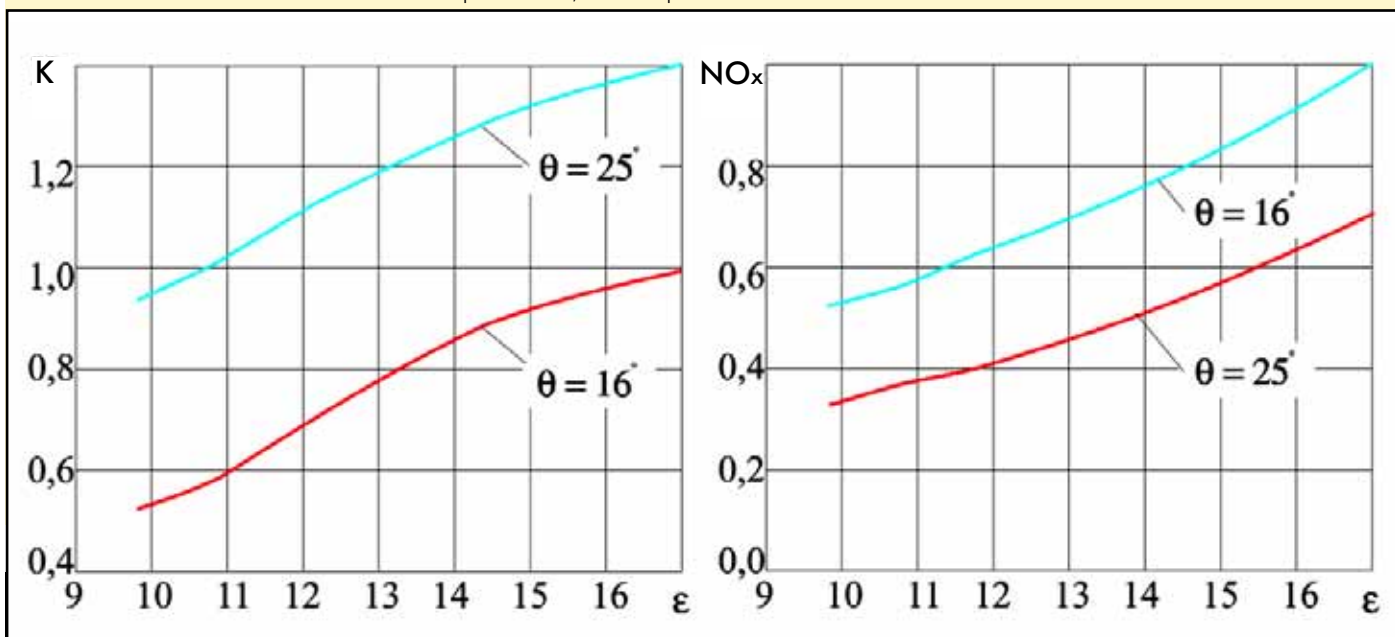
При снижении степени сжатия с 17 до 10 при неизменном угле опережения впрыскивания топлива ( $\theta$ ) дымность (К) отработавших газов уменьшается на 45 % (рис. 8). При дополнительном увеличении угла  $\theta$  дымность уменьшается еще на 20 %. Таким образом, при совместном варьировании степени сжатия и величиной угла  $\theta$  дымность отработавших газов может быть уменьшена в три раза.

Эмиссия окислов азота при снижении степени сжатия также уменьшается на 45 %. При увеличении угла  $\theta$  концентрация  $\text{NO}_x$  возрастает и стремится к исходному уровню, но все же остается ниже его. Таким образом, регулирование степени сжатия является мощным фактором, позволяющим дизелю обеспечивать соответствие не только современным, но и пер-

спективным экологическим требованиям.

Опыт ГНЦ НАМИ свидетельствует о том, что управление законом движения поршней и, в первую очередь, степенью сжатия является значительным дополнительным резервом выведения параметров автомобильных двигателей на качественно новый уровень.

Разработанные в ГНЦ НАМИ конструкции двигателей с регулированием рабочего объема и степени сжатия запатентованы и создают приоритетную возможность создания в России перспективных конструкций ДВС с опережающими экологическими и экономическими показателями.

ЗАВИСИМОСТИ ДЫМНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ NO<sub>x</sub> ОТ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ

◀ Рис. 8

## DIGEST

## PRESENT-DAY STAGE IN THE DEVELOPMENT OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES WITH CONTROLLABLE COMPRESSION RATIO AND DISPLACEMENT VOLUME

In the middle 80s, NAMI conducted investigations of engines with brand-new types of actuators making possible to control the stroke of pistons and, as a result, regulate the displacement volume and the compression ratio. An axial mechanical diagram of the engine with a rocking washer was used in the implementation of the idea. The compression ratio in cylinders could be either kept constant or changeable as a function of a specified law.

The most valuable result of many-year NAMI's works in this direction is T-011 experimental in-line 4-cylinder traverse engine. Its design makes possible to change compression ratio within 10-17 in automatic mode. The accumulated time during fail-safe tests of the diesel was 10 hr that proved its high reliability. Moreover, these tests showed a favorable influence of the compression ratio control on the content of toxic pollutants in exhaust gases.

NAMI's developed diesel schemes with the controllable displacement volume and compression ratio were patented and gave priority to RUSSIA in the development of advanced internal combustion engines with improved ecological and economical parameters.

# З В Е З Д

24 августа 1885 года. Готтлиб Даймлер патентует "транспортное средство с двигателем". Патент Германской империи № 36423.  
29 января 1886 года. Карл Бенц патентует "транспортное средство с мотором, работающим на газе". Патент № 37435.

Это были предвестники приближающейся технической революции, положившей начало процессу моторизации планеты Земля — на суше, воде и в воздухе.



Бенц-мобил, 1902 г.

**д-р Томас Гэртиг,**

глава Технологического бюро концерна "Даймлер-Крайслер" в России и СНГ

Сегодня автомобиль создается большими коллективами инженеров, конструкторов, технологов, а в прошлом веке многие функции брал на себя сам изобретатель. Так и Карлу Бенцу (25.11.1844 — 04.04.1929) для своего первого в мире "механического экипажа" пришлось самому конструировать двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Работал этот мотор по четырёхтактному циклу, предложенному Николаусом Отто в 1876 г. Тогда же, в 1879 г., Бенц создал свой первый двухтактный двигатель, а в 1883 г. основал предприятие по его производству.

3 июля 1886 г. Карл Бенц представил удивлённой общественности города Мангейма первый в мире автомобиль. Он был трехколесным (в то время ещё не придумали управления колесами переднего моста), и его максимальная скорость составляла 16 км/ч. Четырёхтактный двигатель автомобиля имел один цилиндр диаметром 91,4 мм с ходом поршня 150 мм, рабочий объём составлял 984 см<sup>3</sup>, мощность — 0,9 л.с. при 400 об/мин, зажигание — электрическое.

Но автомобиль вызвал тогда только насмешки, и перспективы его продаж были весьма туманными. У изобретателя опустились руки: его детище опередило время. И тогда на поистине неординарный шаг в условиях кайзеровской Германии решилась Берта — его жена. В 1888 г.,

не посвятив мужа в свою идею, эта сорокалетняя женщина вместе с сыновьями отправилась в рискованное путешествие по стране. Задачей обоих сыновей было обеспечивать автомобиль водой из прудов и колодцев, а также из попадающихся на пути постоянных дворов (предшественников современных мотелей). Когда автомобиль проехал 30 км, он встал: закончилось топливо. Бензин был куплен в аптеке городка Вислох (теперь Вы знаете, где была первая в мире автозаправочная станция). Для мелкого ремонта в пути привлекались кузницы и шорные мастерские (пояснять, во что это превратилось сегодня, видимо, не надо). Приходилось и самой госпоже Бенц заниматься чем-то подобным: лично прочищать засоряющийся бензопровод шляпной булавкой. Сыновьям также находилась работа: если автомобиль останавливался, они толкали его, чтобы завелся мотор — стартер еще не изобрели. Тем не менее, за 14 ч с начала движения "тройка отважных" проехала около ста километров.



Берта Бенц

чёрном, с двумя мальчиками "мчится ... оглушительно гремя ... в повозке без лошади!" (так было записано в полицейском отчёте), со скоростью 16 км/ч по городам и сёлам.

Поездка Берты Бенц способствовала перелому во взглядах общества на автомобиль. Своим поступком она не дала мужу упасть духом, а предпринимательским, научным и политическим кругам и, что немаловажно, командованию армии помогла оценить это изобретение. Начало массовой моторизации стало



Карл Бенц



Первый в мире автомобиль Карла Бенца (1886)

А



# "МЕРСЕДЕС"

(к созданию первых автомобилей)

теперь только делом времени. В знак признательности за этот поступок имя Берты носит теперь комплекс зданий концерна.

Как известно, идеи витают в воздухе. Одновременно с Бенцем над созданием ДВС работали другие конструкторы. В 1883 г. Готлиб Даймлер (17.03.1834 — 06.03.1900) получил патент № 28022 на четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания. Работа над этим мотором велась с Вильгельмом Майбахом (09.02.1846 — 29.12.1929), замечательным конструктором, приглашенным Даймлером в конструкторское бюро для совместной работы. Так как ничем другим, кроме конструирования, Майбах заниматься не желал, то в 1872 г. он становится начальником этого КБ, а Даймлер взял на себя еще и организаторские функции.

Поэтому, прежде чем приступить к созданию принципиально нового транспортного средства, Готлиб Даймлер занимается изучением рынка, в том числе и российского. В начале октября 1881 г. он приехал в Россию (для этой цели ему выдали паспорт Германского Рейха № 84, действительный до 07.10.1882). Основная задача — исследовать возможности как сбыта двигателей, работающих на газообразном топливе, так и торговли нефтепродуктами, в первую очередь, новым видом топлива — бензином. За-

Двигатели первого в мире автомобиля



Первая в мире моторная лодка "Мария"

нимаясь этим довольно узким направлением, Даймлер старался охватить всю экономику страны в целом. Переезжая с места на место в основном на поездах, иногда в

санях, а то и просто путешествуя пешком, он кропотливо изучал потенциал российского рынка по ситуации не только в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде,



Двигатели для промышленности:  
"Даймлер-мотор" (1887)

Риге, Туле, Харькове и Одессе, но и в небольших населенных пунктах. Он понял, что Запад совсем мало знает об индустриальном потенциале России и о существовавших тогда социальных контрастах (по его мнению, например, положение рабочего класса в России было намного хуже, чем на Западе). В этот период в дневнике Даймлера появилась запись: "...здесь всё говорит о живом техническом прогрессе".

Первый двигатель Даймлера установили в 1885 г. на "гонимом экипаже" — первом мотоцикле. На следующий год был создан "мобиль", прибывший в 1886 г. в Унтертиюркхайм одновременно с первым "экипажем с мотором" Бенца. Двигатель Даймлера имел один цилиндр диаметром 70 мм, ход поршня составлял 120 мм, рабочий объём 462 см<sup>3</sup>, мощность 0,8 кВт (1,1 л.с.) при 700 об/мин. "Мобиль" развивал ту же "потрясающую" максимальную скорость — 16 км/ч.

В том же 1886 г. появилась первая в мире моторная лодка (патент № 39367), которая была подарена рейхсканцлеру Бисмарку. Вскоре двигатели внутреннего сгорания стали находить



Один из рисунков Готлиба Даймлера

все более широкое применение в промышленности и других областях техники. 29 июля 1888 г. Даймлером были запатентованы первый пожарный насос с мотором и первый мотор для дирижабля, старт которого состоялся 10 августа 1888 г.

Очередной шаг в двигателестроении был совершен на международной выставке, проходившей в Париже в 1889 г., куда Даймлер привез первый в мире V-образный мотор (конструктор Майбах, патент № 50839 от 09.06.1889 г.). Тогда он был всего лишь двухцилиндровым; диаметр каждого цилиндра составлял 60 мм, ход поршня 100 мм, мощность 1,1 кВт (1,5 л.с.) при 920 об/мин, угол развала цилиндров составлял 17°. На выставке также был автомобиль с этим двигателем, его максимальная скорость была 22 км/ч.

Когда Бенц создал и в 1893 г. успешно опробовал первое рулевое управление с поворотными кулачками, то в эйфории он закричал: "Victoria, Victoria!". Это действительно была очередная победа. Что и было закреплено в патенте № 73515.

На новой модели (как раз носящей имя "Бенц-Виктория") с 16 по 22 июля 1893 г. была совершена первая международная поездка (939 км) из Рейхенбаха (недалеко от Праги) через Мангейм на Реймсе. В обратном направлении поездка состоялась 22-31 августа. Кстати, тогда расход бензина на 100 км составил 20 л, а воды для охлаждения — 120 л. Мощность двигателя составила 3,7 кВт (5 л.с.), а скорость автомобиля достигла уже 35 км/ч.

Серийное производство автомобилей было организовано Карлом Бенцем в 1894 г., значительно раньше, чем это сделал Генри Форд. Первенцем стал "Бенц-Вело": объем его двигателя 1045 см<sup>3</sup>, мощность 1,1 кВт (1,5 л.с.), скорость 21 км/ч. И хотя цена первой серийной машины (со съёмным верхом) составляла 2200 марок золотом, но все же она была на 50...70 % дешевле, чем другие модели.

Сохранилась "Книга контроля продаж моторных экипажей" Карла Бенца, в которой есть несколько интересных записей:

— № 91 (номер поставки), "Велосипед" (1,5 л/с), отослан в Москву, дата отсылки — 1884 г.

— № 178, "Фазтон" на резиновых шинах (4 л/с), отослан в Санкт-Петербург.

— № 275 "Бенц-Вело", отправлен в Одессу 18.09.1895 г.

Хочется отметить, что два российских промышленника из Санкт-Петербурга — г-н Яковлев (основатель фабрики по производству двигателей внутреннего сгорания, работающих на жидком и газообразном топливе) и г-н Фрезе (фабрика по производству экипажей) — ознакомились с изобретением К. Бенца (автомобилем "Бенц-Вело") на международной выставке в Чикаго в 1893 г. Взяв его за прототип, они 22 апреля 1895 г. выпускают первый российский лицензионный автомобиль. Его цена была 1500 серебряных рублей. Двигатель мощностью 2 л.с. при 500 об/мин обеспечивал автомобилю скорость 21 км/ч.

Кстати, в архивах концерна "Даймлер-Крайслер" обнаружены документы, подтверждающие, что филиал фирмы "Бенц" в Москве был основан в 1896 г., т.е. намного раньше открытия аналогичных отделений в Италии, Швеции, Южной Америке, Южной Африке или Австралии.

18 марта 1895 г. Бенц выпускает первый в мире автобус (мощность двигателя 5 л.с., 8 пассажиров). Приняв вызов, в 1896 г. Даймлер выпускает на рынок первый грузовик (5,5 л.с., 800 кг полезной нагрузки). Бенц отвечает 26 июня 1896 г. выпуском первого такси. А что же Даймлер? В 1898 г. он создает первый в мире пятитонный грузовик.

Но самое любопытное в этой истории то, что оба эти гения — Бенц и Даймлер — живя в одной стране и творя в одной области техники, встретились только раз, во время образования автомобильного клуба Германии в Берлине. Тем не менее, их изобретения и здоровая конкуренция внесли революционный вклад в жизнь человечества не только на земле и на воде, но и дали ему возможность подняться в воздух. Они были не только изобретателями, патентовладельцами и конструкторами. С самого начала им было ясно, и это самое главное: запатентованное изделие должно найти свое применение и без серийного производства и сбыта прибыли не будет.

(Окончание в следующем номере)



Заграничный паспорт Готлиба Даймлера

Страницка из "Книги продаж" Карла Бенца

397	Victoria	Paris	Schmitt
398	Victoria	Paris Berlin	Schmitt
399	Victoria	Offenburg	Schmitt
400	Victoria	Paris	Schmitt
401	Victoria	Bayern	Schmitt
402	Velo.	Basel	
403	Velo.	Durlach	
404	Velo.	Basel	
405	Velo.		
406	Velo.	Basel	
407	Velo.	Moskau	
408	Victoria	Basel	Schmitt

## ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ "АРХЕОЛОГИЯ"



С. Сиротин с сотрудниками института (50-е годы)

В третьем номере нашего журнала мы давали информацию о предстоящих "археологических" изысканиях на территории ЦИАМ, объектом которых является коллекция поршневых двигателей 20...50-х годов. В свое время они были экспонатами развернутой в этом институте выставки новинок мирового двигателестроения.

Ознакомившись с первой публикацией, свое мнение по этому вопросу высказал Сергей Сиротин, советник администрации института, до недавнего времени заместитель начальника ЦИАМ. Сергей Александрович начал свою работу в институте в 1946 г. и в начале 50-х гг. (времени описываемых им событий) руководил испытательным стендом У-330. Вот что он нам рассказал.

"Действительно, в институте существовала выставка препарированных поршневых двигателей, агрегатов, отдельных узлов. Это были и "популярные" в свое время конструкции типа моторов "Мерлин" или "Испано-Сюиза", и довольно редкие, хотя и интересные, такие, как "Центавр" воздушного охлаждения. Всего экспонатов было более шестидесяти и занимали они целое крыло второго этажа современного административного корпуса ЦИАМ. Все было препарировано и снабжено различного рода пояснительными подписями. Я, пришел в институт после войны и неоднократно бывал на этой выставке. Руководил экспозицией Виктор Адольфович Комаровский. Он же проводил и обзорные лекции. Иногда к лекциям по отдельным агрегатам и конструкциям для специалистов отрасли привлекались научные сотрудники института.

В середине 50-х по минавиапрому был приказ министра (Дементьева) прекратить все работы, связанные с поршневыми авиамоторами. Промышленность этот приказ исполнила, а ученые бросать обычные темы не торопились: очень много было наработок, да и просто привыкли к своим поршневым двигателям. Начальником ЦИАМ был назначен

Н.П. Кононенко. Он весьма просто решил проблему перевода ученых на новую тематику: во дворе административного здания во время войны был бункер бомбоубежища, разрушенный после Победы. Оставшуюся после него яму и решили заполнить "мусором", металлоломом, щебнем, и ... экспонатами выставки поршневых двигателей.

Комаровский, руководивший выставкой, бывший военный, был весьма исполнительен и аккуратен до педантичности. Получив приказ о ликвидации выставки и складировании матчасти во дворе, он исполнил его буквально: распорядился промазать все элементы пушечным салом, обмотать крафт-бумагой и поместить в ящики, которые вытащили во двор, где и... закопали. Инициатором консервации и "сохранения" выставки в качестве клада выступил известный ученый К.В. Холщевников. Не имея возможности каким-либо иным способом сохранить

технические шедевры, он, видимо, полагал, что потомки (мы с вами) окажутся мудрее современников, а посему и не считал излишней работой всю эту возню со смазкой. Позже сверху "запопок" посадили на одном из суботников яблони. И забыли это дело. А в бывших помещениях музея и донныне располагается организованная в 1948 г. под руководством Т.Н. Мелькумова на базе нескольких отделов института лаборатория по изучению процессов горения топлива в камерах сгорания ВРД.

Примерно через год начальника института сменили, назначив талантливого и очень энергичного ученого Г.Н. Свищева, руководившего всеми работами по переходу к реактивной тематике. Всем стало уже не до поршневых раритетов. Так что, вы совершенно правы, надеясь найти что-то под землей во дворе административного корпуса ЦИАМ, однако ошибаетесь, считая, что лежит оно там с войны. Впрочем, это сути дела не меняет".



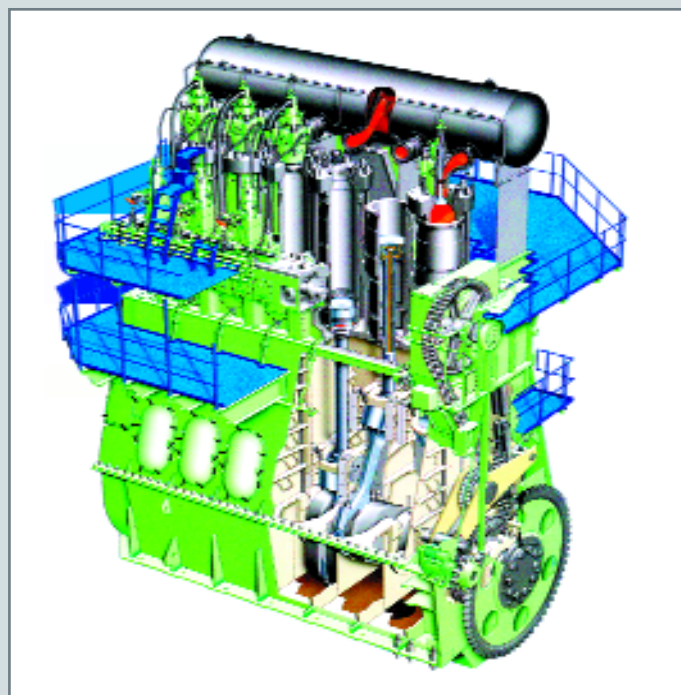
Сотрудники журнала "Двигатель" на площадке "захоронения" двигателей (1999 г.)

**Дмитрий Боев**, начальник сектора ОНТИ ЦИАМ

## ДВИГАТЕЛИ БМЗ В ГРЕЦИИ - ЕСТЬ!

Известная греческая судоходная компания Laskaridis Shipping весьма успешно применяет на своих судах главные двигатели производства ОАО "БМЗ-Дизель" (Брянск), являющегося крупнейшим в Европе изготовителем малооборотных двухтактных дизелей. Двигатели выпускаются по лицензии фирмы MAN B&W Diesel A/S. По заказу этой же компании на никлаевском судостроительном заводе им. 61 Коммунара уже в течение 10 лет строятся рефрижераторные суда с двигателями типов 6L42MC и 6L60MC брянского производства.

С целью укрепления и развития делового сотрудничества с брянскими дизелестроителями представители компании Laskaridis Shipping недавно посетили БМЗ, где им был продемонстрирован двигатель новой "компактной" модификации 6S50MC-C мощностью 11 650 л.с. при 127 об/мин. Имея весьма низкий удельный расход топлива (124 г/л.с.ч на эксплуатационной нагрузке), этот современный двигатель на 10 % короче, на 10 % легче и в то же время на 10 % мощнее своего предшественника 6S50MC. Подробнее об этом двигателе можно узнать из публикации "Новое поколение судовых дизелей Брянского машиностроительного завода" (журнал "Двигатель" № 4 — 1999 г., с. 10-11).



# НАПЫЛЕНИЕ БЕЗ ПЫЛИ

ЗАО Астраханский судостроительно-судоремонтный завод им. Ленина:

**Александр Гагарин,**  
генеральный директор  
**Владимир Володин,**  
главный инженер

Санкт-Петербургский государственный университет  
водных коммуникаций:

**Ванда Хмелевская,**  
ведущий специалист, д.т.н.  
**Иван Зайцев,** аспирант

Проведенные специалистами завода исследования механических, технологических и эксплуатационных свойств покрытий, полученных путем газотермического напыления, позволили разработать требования к проектируемому оборудованию и отработать рекомендации по применению методов и техно-

*Модификация поверхности, т.е. нанесение покрытий на трущиеся части механизмов, позволяет решить многие проблемы, связанные с износом. Экспериментально подтверждено, что путем газотермического напыления можно получить поверхностные слои с необходимыми характеристиками износостойкости. Однако многообразие материалов, усложнение форм обрабатываемых деталей, ужесточение требований экологической безопасности на производстве в сочетании с необходимостью постоянного повышения качества покрытий заставили Астраханский судостроительно-судоремонтный завод приступить к разработке специального универсального оборудования.*

плазменного напыления. С использованием составных частей стандартного оборудования (полуавтомата плазменного напыления 15В-Б и плазменной установки УН-120), изготовленного еще в восьмидесятые годы, был сконструирован уникальный комплекс для нанесения антифрикционных плазменных покрытий как при изготовлении, так и при восстановлении деталей двигателей внутреннего сгорания.

В состав автоматизированного комплекса вошли следующие устройства и блоки:

- стойка управления параметрами плазмы;
- камера полуавтомата 15В-Б;
- стойка управления электроприводами;
- электронно-вычислительный блок;
- блок порошковых дозаторов;
- исполнительно-коммутационный блок ИКБ-4М;
- источник питания АПР-404;
- пульт дистанционного управления.

Электрическая схема установки предусматривает возможность выполнения работ как в ручном, так и в автоматическом режимах по пяти программам. Две основные программы обеспечивают нанесение покрытий в автоматическом режиме на внутренние и торцевые поверхности вкладышей подшипников при их изготовлении и восстановлении, а также на торцевые поверхности деталей типа "диск". Еще три программы являются дополнительными и предназначены для нанесения упрочняющих покрытий на коренные и шатунные шейки коленчатых и других валов (нормальные, узкие, широкие и шейки, имеющие галтели).



Идет обсуждение результатов работы



Установка вакуумно-плазменного напыления

логий нанесения упрочняющих покрытий на конкретных узлах и деталях судовых дизелей.

В настоящее время для напыления на внутренние поверхности деталей используются различные плазмотроны. Однако плазмотроны, выпускавшиеся до недавнего времени, не удовлетворяли предъявляемым к ним технологическим требованиям. Дело в том, что для получения беспористого покрытия необходимы высокая стабильность плазмы и воспроизводимость процесса ее генерации. В связи с этим специалисты завода при содействии Санкт-Петербургского университета водных коммуникаций разработали и изготовили специальный плазмотрон, снабженный различными приставками для воздушно-

Указанные программы позволяют в процессе судоремонта решать самые разнообразные задачи, связанные с восстановлением и изготовлением деталей (внутренние поверхности втулок, диски, коленчатые валы, распределительные валы, вкладыши подшипников и т.п.). Количество напыляемых зон практически не ограничено и зависит лишь от числа установленных датчиков.

Помещение, где смонтирована установка, оборудовано вытяжной вентиляцией с аспирационным блоком и ионообменным фильтром, обеспечивающим эффективную очистку воздуха от пыли и вредных соединений, которые возникают в процессе модификации поверхностей. Работа оператора при плазменном напылении сводится к настройке режимов, монтажу заготовок на вращающемся столе камеры и запуску установки с пульта дистанционного управления за пределами рабочего помещения. Далее процесс напыления происходит автоматически.

Перед нанесением газотермического покрытия необходимо поверхность детали специальным образом подготовить и обработать. Для этого специалистами завода на базе пескоструйной установки был спроектирован полуавтомат, позволяющий осуществлять абразивно-струйную обработку поверхностей заготовок вкладышей подшипников коленчатого вала и других деталей. При этом привод, малогабаритный пескоструйный пистолет и ряд других устройств и узлов были разработаны самостоятельно. Внедрение автоматизации позволило значительно уменьшить трудоемкость подготовительных операций для газотермического напыления: требуется лишь установка заготовок и их снятие после обработки. Качество струйно-абразивной обработки на новой установке не зависит от квалификации оператора и значительно выше, чем в ручном режиме. Кроме того, высвобождается время оператора и снижаются вредные воздействия на человека (шум, пыль, вибрация, сквозняки от вытяжной вентиляции и т. п.).

Таким образом, на предприятии решен целый ряд проблем:

- повышено качество покрытия благодаря автоматизации процесса, сведению к минимуму человеческого фактора;
- уменьшен расход материалов;
- выросла производительность труда;
- до минимума снижены вредные воздействия на персонал в процессе нанесения покрытий.

В целях стабилизации параметров процесса напыления и удовлетворения экологических требований плазменный участок оборудован обратной си-

стемой водоснабжения с градирней, а также электрическим компрессором с системой очистки сжатого воздуха.

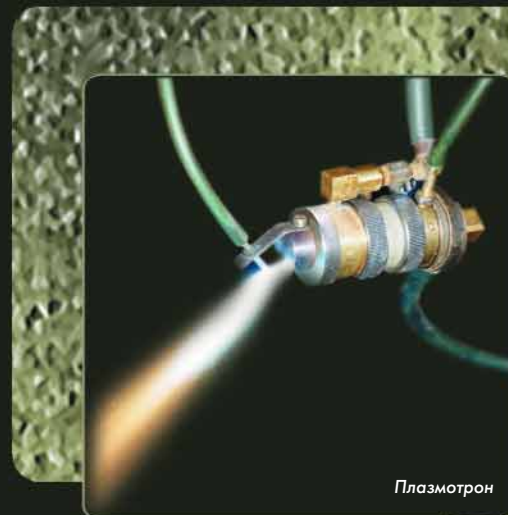
Разумеется, созданный на заводе автоматизированный комплекс газотермического напыления имеет немалые резервы совершенствования. На наш взгляд, целесообразно объединить усилия организаций и предприятий, заинтересованных во внедрении антифрикционных плазменных покрытий для деталей машин и механизмов различного назначения. Те, кто готов к подобному сотрудничеству, могут обратиться по адресу:

**Россия, 414015, г. Астрахань,**

**ЗАО "Астраханский судостроительно-судоремонтный завод им. Ленина", пл. Заводская, 7.**

**Тел.: (7+8512) 56-07-66; 26-18-28.**

**Факс: (7+8512) 56-05-67; 56-05-64.**



Плазмотрон



Склад готовой продукции



Установка струйно-абразивной обработки

## DIGEST

"Astrakhan Ship-Building & Repair Plant" developed and put into commercial practice an automatic plasma spraying technology of anti-friction coatings needed in manufacturing and repairing of internal combustion engines. The installation was developed on the basis of standard sub-assembly units and components of semi-automatic 15V-B and UN-120 plasma spraying installations. A special plasma-spraying gun was designed in cooperation with St.Peterburg University of Water Transport. Two basic programs of automatic operation make possible to spray coatings on internal surfaces and faces of bearing inserts as well as edges of disc-type components. Moreover, the installation has three additional programs for strengthening crank-shaft journals and crank pins (standard, narrow, wide and with fillets).

## DUST-FREE PLASMA SPRAYING TECHNOLOGY

Журнал "Двигатель" открывает цикл публикаций о Санкт-Петербургском Государственном Унитарном предприятии "Завод им. В.Я. Климova". Эта российская фирма является ведущим разработчиком газотурбинных двигателей (ГТД) в классе мощности 100...4000 л.с. Более полувека занимаясь созданием ГТД, "Климов" разработал огромное количество серийных и опытных турбореактивных, турбовальных, турбовинтовых, жидкостно-реактивных, танковых и морских двигателей, главных вертолетных редукторов, коробок самолетных агрегатов, приводов для энергоустановок и многое другое. Первая статья о танковых двигателях.

ГУП "Завод им. В.Я. Климova":

**Валерий Морозов,**

главный конструктор танковых двигателей

**Данила Изотов,**

инженер по маркетингу

## ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ

# " ЛЕТАЮЩИХ ТАНК



*В 30-е годы "Красный Октябрь" (ныне ГУП "Завод им. В.Я. Климova", или, как привыкли его называть, "Климов") производил переоборудование авиационных двигателей М-5 для установки на новейшие танки БТ-2 и БТ-5, в то время самые быстроходные в мире. Они развивали скорость до 72 км/ч на колесах и до 52 км/ч на гусеницах, за что и назывались "летающие танки". Сегодня "летающим" называют в войсках другой, уже современный, российский танк — Т-80У, двигатель для которого также создан фирмой "Климов". История его создания заслуживает особого внимания...*

В 50-60 гг. советские конструкторы танков, заинтересовавшись опытом использования ГТД в авиации, попытались установить эти двигатели на гусеничные бронемшины. Так, в Нижне-Тагильском КБ на танк "объект 167-Т" смонтировали вертолетный двигатель ГТД-ЗТ, а в Харьковском КБ на танк Т-64Т — двигатель ГТД-ЗТЛ. Ленинградские конструкторы Особого конструкторского бюро танков (ОКБТ) Кировского завода во главе с Жозефом Яковлевичем Котиним, активнейшим сторонником применения ГТД на танках, начали заниматься этой проблемой еще раньше — в 1948 г. Тогда совместно с турбинным КБ Кировского завода они попытались спроектировать танковый ГТД. Разработка из-за специфики технических требований, предъявляемых к танковому ГТД, успешного развития не получила. Позже, в 1957 г., "кировцы" построили опытный образец танка "объект 278" с двигателем ГТД-1 мощностью 1000 л.с. Это был первый танковый ГТД, созданный в металле.

Для прорыва в этой области требовался более высокий технический уровень производства, новейшие технологии, опыт разработки и массового выпуска ГТД и т.п. Всеми этими качествами в тот момент обладало другое ленинградское предприятие — ЛНПО им. В.Я. Климova, занимавшийся авиационным газотурбиностроением.

В июне 1962 г. Ж.Я. Котин обратился к главному конструктору "климовской" фирмы Сергею Петровичу Изотову с предложением о совместной работе по применению ГТД на танке, получившем наименование "объект 288". Конструкторы "Климova" совместно с ОКБТ (позже КБ-3, а ныне ОАО "Спецмаш") на базе турбовального двигателя ГТД-350 разработали силовую установку из двух ГТД-350Т (впоследствии ГТД-450) мощностью 350 (450) л.с., работающих на общий понижающий редуктор двигателя.

Двигатель ГТД-350 создавался в начале 60-х гг. для легкого многоцелевого вертолета Ми-2 и был запущен в серийное произ-

водство на польском заводе WSK-Rzeszow, где его выпуск продолжается до сих пор. На базе этого двигателя было сделано несколько опытных авиационных и транспортных модификаций: для самолетов Ан-14М и Бе-30, вертолета Ми-20, гоночного автомобиля (Горьковского автозавода), катера на подводных крыльях (Ленинградского НИИ судостроительной промышленности), ведущего железнодорожного вагона (НИИ железнодорожного транспорта) и др.

Конструкторы ОКБТ первоначально решили смонтировать двигатель ГТД-350 в вертолетном варианте на трактор "Кировец" К-700 и на плавающий гусеничный транспортер БТР-50 с целью изучения возможностей управления машинами. И только после этого танковый вариант двигателя был установлен в моторно-трансмиссионном отделении "объекта 288" для более детального изучения в процессе ходовых испытаний. Применение ГТД-350 на танке было заманчивым — оно обеспечивало преимущества в габаритах и массе, не требовало жидкостной системы охлаждения (что особенно важно при эксплуатации в зимних условиях) и ряде других. Однако экспериментальные ходовые испытания обнаружили и серьезные недостатки: худшую экономичность и невозможность торможения двигателем.

Для устранения этих слабых мест были созданы стационарный теплообменник, давший выигрыш в экономичности около 30 %, и обгонные муфты, позволившие осуществлять торможение танка двигателем благодаря механическому соединению ротора силовой турбины с ротором турбокомпрессора. Но испытания и теоретические исследования показали, что необходимо создавать специальный танковый двигатель, способный работать в условиях высокой запыленности воздуха, при внезапных торможениях и разгонах, при частых остановках и новых пусках. Кроме этого, танковый ГТД должен выдерживать высокие ударные нагрузки при



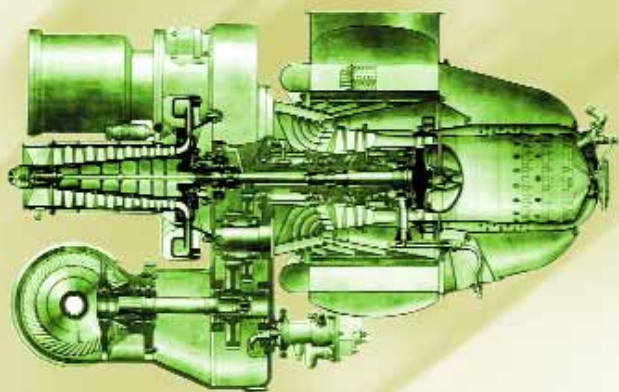
выстреле, движении танка по пересеченной местности, а также при попадании в танк снарядов противника.

"Объект 288", как и другие опытные танки с ГТД, был этапным и создавался для определения принципиальной возможности использования недизельной силовой установки. Специалисты "Климова" и КБ-3 при участии ведущих институтов и главного автобронетанкового управления выработали основные требования к специальному танковому ГТД, включая обеспечение многотопливности двигателя и его быстрого пуска, высокую оперативную готовность к движению в условиях низких температур, многорежимность работы по турбокомпрессору и особенно по силовой турбине, высокую технологичность, надежность работы в условиях подводного вождения.

# КОВ"

Исходя из этих требований в 1967 г. были разработаны эскизные проекты танка Т-64 с двигателем "изделие 71". Его максимальная мощность составляла 1000 л.с., удельный расход топлива — 240 г/л.с.ч, удельный расход топлива на половинной мощности — 300 г/л.с.ч, тормозная мощность — 450 л.с. Тогда же Ж.Я. Котин и С.П. Изотов обратились в Правительство страны и ЦК КПСС с предложением о создании танка с ГТД. Соответствующее постановление было принято 16 апреля 1968 г. В 1967 г. Ж.Я. Котин был назначен заместителем министра оборонной промышленности, а главным конструктором КБ-3 стал Николай Сергеевич Попов, под руководством которого проводилась вся дальнейшая работа.

Для получения минимальной длины двигателя была принята конструкция турбокомпрессора по двухкаскадной схеме, состоящей из двух центробежных компрессоров, приводимых в движение одноступенчатыми турбинами. Кроме того, достоинствами центробежного компрессора считалась высокая надежность работы в условиях запыленности и относительно малое влияние износа проточной части на экономичность. Над турбиной располагалась противоточная камера сгорания. Одноступенчатая сило-



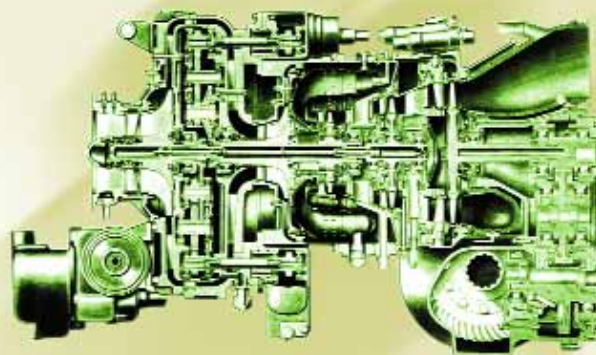
ГТД-350

вая турбина совмещалась в едином корпусе с редуктором, состоящим из конических и цилиндрических шестерен. С целью повышения технологичности и коэффициента использования металла основные детали (корпус, крыльчатка и т.п.) выполнялись литыми с

механической обработкой только посадочных мест.

Высокое совершенство проточной части обеспечило требуемую экономичность, что характеризовалось высокими значениями к.п.д.: компрессора низкого давления (НД) — 82,5 %, компрессора высокого давления (ВД) — 81,5 %, турбины НД — 90 %, турбины ВД — 87 % и силовой турбины — 89,7 %. Температура газов перед турбиной составляла 1245К, расход воздуха — 4,1 кг/с, степень сжатия — 9,26. Уже в декабре 1968 г. были изготовлены первые три опытных двигателя и началась их планомерная доводка.

Многие технологические и конструктивные вопросы пришлось решать впервые в мировой практике газотурбиностроения. Только их перечисление заняло бы не одну страницу. Наиболее сложным, важным и интересным в доводке оказался вопрос борьбы с отложениями пыли в проточной части. Конструкторы применили циклонный метод очистки воздуха, основанный на использовании центробежных сил. Но несмотря на полученный высокий коэффициент очистки воздуха, всасываемого двигателем (порядка 97 %), в проточную часть все же попадало довольно большое количест-



ГТД-1000

во частиц пыли размером менее 10 микрон.

В условиях эксплуатационной запыленности ( $2,5 \text{ г/м}^3$ ) за короткое время мощность двигателя падала на 45 %, расход воздуха сокращался на 30 %, а удельный расход топлива увеличивался на 40 %; проявлялись помпажные явления. Пыль откладывалась в компрессоре и на деталях турбины. Анализ пылевых отложений показал, что среднеазиатская (ашхабадская) пыль и пыль средней полосы (ленинградская) имеют существенные отличия. Среднеазиатская пыль содержит большое количество щелочных элементов и имеет компоненты с температурой плавления 1200К и началом спекания при температуре 1050К, т.е. при температуре газа на турбине ВД. Размягченные частицы прилипали к лопаткам, а затем друг к другу, что приводило к росту отложений. В дальнейшем, чтобы приблизить условия работы двигателя к наиболее напряженным, все испытания велись на среднеазиатской пыли.

Было проверено несколько способов борьбы с пылью — от продувки воздухом под давлением до механической очистки. Но все эти меры не обеспечивали полного удаления отложений, а некоторые из них были трудоемки и неудобны. После долгих поисков возникло предложение использовать для очистки лопаток вибрацию. Но испытания показали, что вибрировать стал весь корпус двигателя, а пылевые отложения от лопаток не отделялись. Опробовались разные варианты расположения вибраторов и разные частоты возбуждения, но новые и новые опыты приводили только к поломкам трубопроводов. Решение удалось найти лишь тогда, когда для стряхивания отложений решили использовать удар, который наносился по корпусу пневмоударниками, размещенными по окружности корпуса соплового аппарата турбины ВД. Кроме

того, перед началом работы двигателя и после его остановки производилась продувка двигателя для удаления остаточных несвязанных пылевых образований. Процесс продувки был внесен в циклограмму и инициировался автоматически.

Применение пневмоударников для очистки лопаток турбин от пылевых отложений было осуществлено впервые в мировой

С.П. Изотов и Н.С. Попов на танковом полигоне с командованием ГБТУ



практике. При этом ленинградским конструкторам удалось добиться выдающихся результатов: "климовскому" ГТД ничего не стоит пропустить за свой ресурс около полутонны пыли, и что самое главное, без обслуживания воздухоочистителя! По сравнению с дизельным двигателем показатель допустимого коэффициента пропуска пыли воздухоочистителем "климовского" ГТД оказался выше в 7,5...10 раз! Намного ниже этот же показатель у ГТД АГТ-1500, применяемого на американском танке М1 "Абрамс". Заметим, что для очистки воздуха американцы применили барьерные фильтры (кассеты), представляющие собой громоздкие агрегаты объемом около 2 м<sup>3</sup>. Их эффективность иллюстрируется интересным фактом: при движении в колонне экипажи вынуждены менять кассеты каждые 15 мин.

Для решения другой не менее важной проблемы — торможения танка — была создана оригинальная комбинированная система, одновременно использующая ГТД и обычные гидравлические тормозные устройства. В конструкцию двигателя ввели регулируемый сопловой аппарат (РСА), который устанавливался перед силовой турбиной и позволял менять направление потока в ней, в результате чего ротор турбины начинал вращаться в обратном направлении. Торможение танка происходило как бы в два этапа: при нажатии на тормозную педаль вначале происходил разворот РСА и начиналось торможение при помощи двигателя, а дальнейшее продвижение педали включало в работу механические тормозные устройства. Такой метод также был применен впервые в мире.

Создание танкового ГТД стало трамплином для многих нововведений в двигателестроении. Так, Челябинским тракторным заводом на базе климовского авиационного двигателя-энергоузла ГТДЭ-117, применяющегося для запуска турбореактивных двигателей РД-33 (МиГ-29) и АЛ-31Ф (Су-27), была создана вспомогательная силовая установка (ВСУ) небольшой мощности ГТА-18А. Установка обеспечивает работу различных систем танка при выключенном основном двигателе; при этом суммарный расход топлива на 1 час работы систем танка уменьшается с 100...150 л (для танка без ВСУ) до 60 л.

Другим нововведением стало придание двигателю такого качества, как многотопливность. Двигатель стал способен одинаково надежно работать как на дизельном топливе, так и на бензине и керосине, а что самое важное — на их смесях в любой пропорции.

Тем не менее, когда двигатель установили в доработанный

танк Т-64, появилось много проблем, связанных с высокой энерговооруженностью ГТД: у танка рвались гусеницы, различные узлы ходовой части не выдерживали нагрузки и т.п. В результате было принято решение о проектировании совершенно нового танка, и в 1972 г. появился "объект 219".

Процесс создания танка с ГТД выявил много вопросов как в части его эксплуатации, так и в тактике применения в боевых условиях. Новая идея требовала подтверждения своей жизнеспособности. И вот, в период с 1972 по 1987 г. было организовано 13 специальных походов с участием танков с дизельными и газотурбинными двигателями. Испытания проводились в самых разнообразных условиях: в европейской части и в Средней Азии, в Южном Казахстане и на Севере, на Дальнем Востоке и в Киргизии, в Западной Сибири и в горах Кавказа. В походах участвовало более 100 танков. ГТД ничем не уступали дизельным двигателям, а по главным технико-эксплуатационным характеристикам — по пуску двигателя при отрицательных температурах, расходу масла, ресурсу, уровню пылеочистки и коэффициенту приемистости — значительно превосходили их.

В марте 1972 г. были успешно проведены Государственные стендовые испытания ГТД, а в 1976 г. работа над "объектом 219" завершилась принятием его на вооружение Советской Армии с присвоением наименования основной боевой танк Т-80. Он стал первым в мире серийным танком, оснащенным ГТД. Двигатель под обозначением ГТД-1000Т был запущен в серийное производство на Калужском моторостроительном заводе. Позже двигатель был форсирован до 1100 л.с. (ГТД-1000ТФ) и установлен на танки Т-80Б, Т-80БВ и Т-80У раннего выпуска. В 1990 г. на вооружение был принят танк Т-80У с новым вариантом двигателя ГТД-1250 мощностью 1250 л.с.

Благодаря двигателю ГТД-1250 танк Т-80У приобрел высочайшую маневренность, скорость движения до 80 км/ч, удельную мощность 27,2 л.с./т. Практически по всем техническим показателям силовой установки Т-80У превзошел своих западных конкурентов, а по совокупности параметров боевой эффективности стал лучшим в мире. Начиная с 1993 г., с момента первого показа Т-80У на международной выставке за рубежом, он всегда производил фурор. Свое название "летающий танк" Т-80У доказал на Международной выставке вооружений в Абу-Даби IDEX'97, поставив абсолютный рекорд "по прыжкам с горы"; тогда он пролетел 13 м!

В 1998 г. Т-80У участвовал в сравнительных испытаниях в Греции по тендеру на закупку большой партии танков. И здесь он лучше всех остальных танков (М1А "Абрамс", "Леклерк", "Челленджер-2Е", "Леопард-2А5", Т-84) смог пройти всю полосу препятствий, состоявшую из



ГТД-1250

стенки высотой 1 м, рва шириной 2,5 м, маневрируя на уклоне в 32° и при крене до 15°, выполняя "змейку" передним и задним ходом, разворачиваясь на месте на 360° и перемещаясь из одного окопа в другой. Наш танк лучше других перенес испытания в жестких условиях запыленности и при совершении 1000-километрового марша (американцы, например, были вынуждены заменить двигатель в процессе испытаний). По результатам этих тестов танк Т-80У подтвердил все заявленные тактико-технические характеристики, а некоторые даже превысил. Так, запас хода при движении по горным, грунтовым и дорогам с асфальтовым покрытием составил 350 км (по ТТХ — 340 км по шоссе), расход топлива по асфальту — 4 л/км (по ТТХ — 5...7 л/км), максимальная скорость — 80 км/ч (по ТТХ — 70 км/ч).

Тендерный комитет особо отметил надежную работу двигателя ГТД-1250 и трансмиссии российского танка. Неоспоримое преимущество по ходовым качествам перед остальными участниками тендера Т-80У получил благодаря применению на двигателе гидрообъемной передачи, позволившей увеличить среднюю скорость на 10...15 %, запас хода на 8...10 % и придавшей танку улучшенные маневренные качества.

В настоящее время помимо танков серии Т-80У (Т-80УЕ, Т-80У-М1 "Барс", Т-80УК) двигатели ГТД-1250 устанавливаются на опытные образцы танка нового поколения "Черный орел" и ремонтно-эвакуационную машину БРЭМ-80У.

За тридцать лет в конструкторском бюро "Климова" на базе "изделия 71" был разработан целый ряд модификаций:

— "изделие 38" — ГТД-1000ТФ, форсированный до мощности 1100 л.с. путем увеличения температуры газов до 1270К; серийно выпускался с 1980 по 1986 г.;

— "изделие 29" — ГТД-1250, форсированный до мощности 1250 л.с. путем дальнейшего повышения температуры газов до 1340К; серийно выпускается с 1986 г.;

— "изделие 29Г" — ГТД-1250Г с гидрообъемной передачей, проведен весь комплекс испытаний, рекомендован к серийному производству;

— "изделие 73" — двигатель с осевым компрессором мощностью 1100 л.с., изготовлены 4 опытных экземпляра;

— "изделие 37" — двигатель с осецентричным компрессором мощностью 1250 л.с., изготовлены 44 опытных экземпляра;

— "изделие 77" — двигатель ГТД-1000Т с теплообменником, изготовлены 6 опытных экземпляров;

— "изделие 30", "изделие 40" и "изделие 70" — двигатели для тягачей ракет, успешно прошли испытания;

— ГТД-1400 — серийный двигатель ГТД-1250 с кратковременным форсированием мощности до 1400 л.с. путем повышения температуры до 1360К;

— "изделие 39" — двигатель ГТД-1500 мощностью 1500 л.с., созданный с применением новейших материалов, степень сжатия увеличена



Основной боевой танк Т-80У

на 5...6 %, а расход воздуха — на 6...8 % (по сравнению с ГТД-1250);

— "изделие 39Г" — ГТД-1500Г с гидрообъемной передачей.

В составе машины "Ладога" модифицированный вариант двигателя ГТД-1000ТФ принял участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Созданная на базе специальной командно-штабной бронемашины с полностью герметичной кабиной, "Ладога" вплотную подходила к разрушенному взрывом 4-му энергоблоку.

Сегодня "Климов" совместно с ОАО "Спецмаш" разработал специальную программу модернизации танков Т-64, Т-72 и их модификаций, заключающуюся в замене дизельных двигателей газотурбинными ГТД-1250. "Газотурбинник" превосходит дизельных собратьев по ресурсу в 2...3 раза, по объемной мощности — в 1,6...2 раза, по шумо- и тепломаскировке — в 2...4 раза. Кроме того, ГТД имеют в 1,3...1,7 раза меньшую массу, в 16...20 раз меньший расход масла и в 4...10 раз меньшее время запуска при отрицательных температурах (до -40 °С). В результате снижается утомляемость экипажа, появляется возможность перевода двигателя на газообразное топливо и пр. Таким образом, установка двигателя ГТД-1250 позволит не только "вернуть к жизни", казалось бы, морально устаревшие машины, но и значительно снизить затраты эксплуатантов на модернизацию танковых парков.

За создание ГТД-1250 "Климов" был награжден орденом Октябрьской революции, Генеральный конструктор С.П. Изотов удостоен Ленинской премии, конструкторы П.Д. Гавра, В.А. Морозов и Б.М. Киприянов — Государственной премии. Ряд сотрудников завода был отмечен орденами и медалями.

Двигатель ГТД-1250 стал одной из важнейших вех в танковом двигателестроении. По большинству параметров он опережает своих дизельных и газотурбинных конкурентов на несколько десятилетий. Можно с уверенностью сказать, что двигатель ГТД-1250 — это национальное достояние России. Боль-

## DIGEST

In early 30s, "Krasnyy Ostryabr" (recently renamed as "Klimov's Manufacturing Facility") made re-designing of I-5 aviation engines for powering the newest BT-2 and BT-5 which were the most high-speed tanks in the world at that time. They moved at a speed of 72 km/hr with wheels and 52 km/hr with tracks and hence were called as "flying tanks". Today T-80U - another modern Russian tank powered by Klimov's GTD-1250 - is dubbed as "flying". Namely owing to GTD-1250, T-80U has an excellent maneuverability, 80-km/hr speed and 27.2-h.p./t specific power. Almost all technical parameters of T-80U powerplant far exceed western competitors, and as to overall performances, its combat effectiveness is the best in the world. Since 1993, the moment of the first T-80U demonstration at an international show, it always made a furor. It proved its name as "flying tank" at INDEX'97 International Armament Show in Abu-Dhabi by making an absolute record in "long jumping from a hill" when it covered 13-m distance. These achievements were a result of a lot of unique technologies introduced in GTD-1250: a pneumatic system for cleaning turbine blades, combined application of hydraulic brakes and the engine itself for deceleration, a multi-fuel feeding system, etc.

## ENGINES FOR "FLYING TANKS"

# НА ПУТИ

Дизельный мотор В-2 по праву можно считать выдающимся достижением отечественного машиностроения. Созданный в предвоенные годы, он производился во многих вариантах до начала семидесятых, а суммарный его выпуск превысил четверть миллиона единиц. Дизель В-2 служил "сердцем" знаменитых Т-34, КВ и ИС, его модификации устанавливались на тягачах и кораблях, а также использовались в промышленных силовых установках. В 1999 г. надежный и выносливый В-2 отметил свое шестидесятилетие, но остался одним из наиболее распространенных двигателей своего класса. Однако его путь к успеху не был легким — история создания и производства дизеля знала конструкторские победы и неудачи, множество разнообразных проблем в области металлургии и технологии, трудности налаживания массового выпуска, пришедшегося на последний предвоенный год...

Работы по созданию перспективного мощного дизельного мотора на Харьковском паровозостроительном заводе (ХПЗ им. Коминтерна) начались еще в годы первой пятилетки. Зада-

ние на разработку "мощного автотракторного мотора Дизеля" завод получил весной 1931 г. от управления "Парвагдиз" (ведущего производством паровозов, вагонов и дизелей). Цель заказа была сформулирована вполне определенно — "создать дизель как новый тип двигателя для танка". Дело в том, что к этому времени на ХПЗ разворачивалось массовое производство танков, требовавших мощных и надежных силовых установок, в составе которых приходилось использовать авиацион-

ного производства, начавшегося еще в дореволюционный период. Он выпускал судовые и стационарные "нефтянки" для промышленности, двигатели для тракторов и располагал собственным конструкторским отделом по дизелестроению, именовавшимся тогда "тепловым". Однако строились преимущественно тяжелые и тихоходные моторы, обладавшие абсолютно неудовлетворительными для новых задач параметрами. Громоздкие и массивные бескомпрессорные дизели годились для цехов, но никак не вписывались в компоновку танка. Тракторные моторы также не подходили ввиду малой мощности, кроме того, небольшой объем их выпуска никак не отвечал масштабным планам моторизации и механизации Красной Армии.

Работникам конструкторского отдела, в том же 1931 г. переименованного в дизельный, предстояло создать мотор, аналогов которому в мире не было. Возглавил работы талантливый и энергичный 32-летний руководитель — Константин Федорович Челпан. Молодой конструктор был энтузиастом дизельного дела с семилетним опытом работы в этой области. Он прошел стажировку в лабораториях и на заводах Германии, Швейцарии и Англии. Конструкторской проработкой дизеля занимался его сокурсник по институту Яков Ефимович Вихман, назначенный начальником бюро практически одновременно с выдачей технического задания. Поступив в Харьковский технологический институт в 1916 г., из-за революции он закончил его только в 1924 г. и прошел все ступени: конструктор, старший конструктор, завподотделом и, наконец, начальник КБ.

В задании на разработку будущего дизеля устанавливалась мощность 300 л.с. при частоте вращения коленвала 1600 об/мин. Для него была выбрана V-образная 12-цилиндровая схема. Охлаждение — принудительное водяное, пуск — воздушный с электростартером. Предполагалось использовать топливную аппаратуру известной германской фирмы "Бош" с переходом в дальнейшем на отечественную. Мотор существенно отличался от предыдущих разработок, для которых была характерна простая рядная схема и рабочая частота вращения, не превышавшая 250 об/мин. Эти соображения навели на мысль об использовании авиационного двигателя жидкостного охлаждения — легкого, мощного и высокооборотного — в качестве прототипа танкового дизеля.

История будущего В-2 имела и другие корни: в годы первой пятилетки в Харькове существовала лаборатория двигателей внутреннего сгорания, в июле 1931 г. получившая задание, как и ЦИАМ, на эскизный проект мощного авиационного дизеля. Небольшая лаборатория, насчитывавшая всего 45 сотрудников и шесть станков, выросла в Украинский научно-исследовательский авиадизельный институт (УНИАДИ), который возглавил Я.М. Майер, прежде заведовавший "подотделом тепловых двигателей" ХПЗ. В январе 1932 г. институт разработал эскизный проект 12-цилиндрового V-образного авиодизеля АД-1 со следующими параметрами: мощность 500 л.с. при частоте вращения 1600 об/мин, расчетный удельный расход топлива 185...195 г/л.с.·ч. Для оценки принятых решений там разработали, построили и испытали несколько вариантов двухцилиндровых отсеков двигателя.



К.Ф. Челпан

ные бензиновые карбюраторные двигатели. Но они не обладали требуемой выносливостью и долговечностью, были малоэкономичны и пожароопасны, слабо отвечали специфике эксплуатации — частым переменам тяговых усилий и скорости, тряске, ударам, запыленности. Двигатели завода констатировали: *"Наличие на заводе производства быстроходных танков БТ и мощных гусеничных тракторов поставило перед заводом задачу — в соответствии с новейшими тенденциями современной техники — заменить бензиновые моторы танков и тракторов двигателями Дизеля"*.

Выданное заводу задание, помимо сосредоточения на нем производства и танков и двигателей, имело дополнительные зоны. На ХПЗ существовали давние традиции дизельного про-

# КВ-2

Виктор Березкин

На 1 января 1934 г. коллектив УНИАДИ составлял 399 человек. Конструкторским отделом руководил Г.И. Аптекман, экспериментальным отделом — Ю.Б. Моргулис. В конце года был изготовлен первый рабочий образец авиадизеля АД-1. К началу июня 1935 г. этот мотор проработал 19 ч и показал мощность 427 л.с. при 1200...1300 об/мин, что соответствовало расчетам. Работы пришлось свернуть после изготовления трех экземпляров АД-1, когда стало очевидно, что задача создания авиадизеля большой мощности решена более опытным ЦИАМом, который начал летные испытания мотора АН-1 ("авиационный нефтяной"). В 1937 г. УНИАДИ был преобразован в отдел ХПЗ.

Практические работы на ХПЗ начались с создания экспериментального двухцилиндрового четырехтактного быстроходного дизеля БД-14. Испытанный осенью 1932 г., он показал мощность 70 л.с. при частоте вращения коленвала 1700 об/мин и удельной массе 2 кг/л.с. По этому параметру двигатель заметно превзошел прежние конструкции (у Д-40, наиболее удачного серийного судового дизеля того времени, соответствующее значение составляло 55 кг/л.с.). Мотор получился откровенно "сырым", испытания его не удалось довести до конца, но первый опыт позволил сделать весьма важные выводы. Стало очевидно, что для быстроходного дизеля с напряженным режимом работы исключительное значение приобретают высокое качество материалов, достаточно прочных, жаро- и износостойких, а также большая точность изготовления распределительной и топливной аппаратуры.

В дальнейшем работы ХПЗ по дизельной тематике разделились на два направления. Первое связывалось с созданием четырехцилиндрового тракторного дизеля ТД-16 мощностью 130 л.с., конструкция которого базировалась на предыдущих образцах бензиновых и керосиновых моторов. Второе направление было нацелено на разработку танкового варианта БД-2 (второго варианта быстроходного дизеля), в основу проекта которого легли преимущественно "авиационные" решения. Руководство наркомата пошло на "разгрузку" завода от других заданий, создавая дизелистам все условия для плодотворной работы. Заказы на дизели народнохозяйственного назначения, находившиеся в разработке и производстве (включая и перспективный Д-40), были переданы другим предприятиям. От конструкторов, технологов и производственников ХПЗ потребовали как можно скорее дать армии мощный и надежный танковый мотор.

Основными конструктивными особенностями дизеля БД-2 были:

- картер из алюминиевого сплава с разъемом по линии коленчатого вала;
- общий на шесть цилиндров алюминиевый блок со стальными "мокрыми" гильзами и общая алюминиевая головка, которая притягивалась вместе с блоком к верхнему картеру силовыми шпильками;
- верхнеклапанный механизм газораспределения с односторонними впускными и выпускными клапанами;
- коленчатый вал с овальными щеками и центральными шатунами.

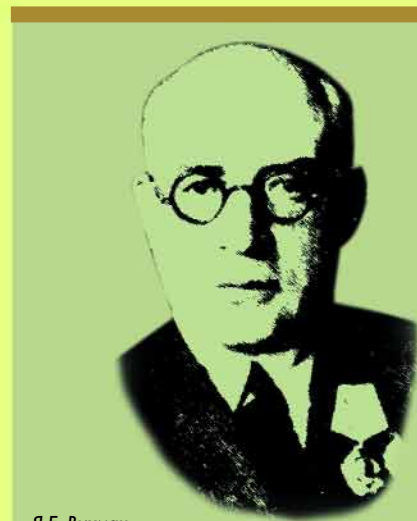
Коленчатый вал из легированной стали опирался на подшипники скольжения, нижний картер из алюминия служил поддоном для масла и не являлся несущим. Два шестисекционных топливных насоса немецкой фирмы "Бош" размещались в развале цилиндров и соединялись трубопроводами с закрытыми бошевскими форсунками. Поршни изготавливались из алюминия. Уплотнение газового стыка между головкой и фланцами гильз цилиндров осуществлялось медными прокладками. Коленчатый вал, шатуны, клапаны и шестерни — кованые. Алюминиевые корпусные детали — литые, с минимально необходимой механической обработкой.

Расчетные параметры БД-2 превышали требуемые: номинальная мощность 400...420 л.с. при частоте вращения 1700 об/мин, удельный вес около 1,5 кг/л.с., удельный расход топлива 180...194 г/л.с.ч. Для сравнения следует привести аналогичные сведения о наиболее известных в то время дизельных моторах: "Клерже" при агрегатной мощности 400 л.с. имел удельный вес 0,85 кг/л.с., "Паккард" при 225 л.с. имел 1,05 кг/л.с., "Даймлер-Бенц" при 750 л.с. имел 1,3 кг/л.с.; "Юнкерс" при 710 л.с. имел 1,3 кг/л.с., а "МАН" при 480 л.с. — 1,7 кг/л.с.

Несомненным достижением, выделенным в отчете дизельного отдела, было то, что "за исключением... нефтяных насосов заграничной фирмы "Бош" и игольчатых форсунок этой же фирмы, вся машина построена целиком из советских материалов". В цехах ХПЗ изготовили все специальные материалы — качественные бронзы, а также сплавы алюминия повышенной прочности.

Подводя итоги работы, дизелисты констатировали: *"Вообще из легких типов сверхлегких дизелей, запроектированных советскими и заграничными конструкторскими бюро, работоспособными оказались немногие, а из работоспособных — БД-2 является одним из лучших по показателям"*.

28 апреля 1933 г. на испытательном стенде ХПЗ был запущен первый опытный образец БД-2. Испытания длились полгода, выявив множество дефектов — как конструктивных, так и производственных. Головка блока цилиндров с двумя клапанами не обеспечивала нормального рабочего процесса и заданной мощности. Оказались недостаточно жесткими картер и коленвал. Картер давал трещины, в его соединениях появлялись течи масла, разрушались подшипники коленвала. Трещины по-



Я.Е. Вихман

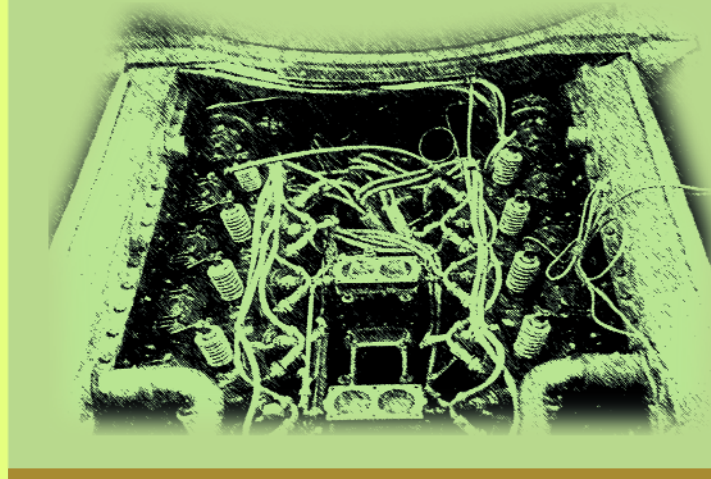
являлись также в опорах кулачкового вала, а в соединении головок блоков с гильзами цилиндров пробивались газы. Недостаточной оказалась жесткость самих цилиндров: их "вело", что сказывалось на качестве смазки поршневой группы; разрушались и поршневые кольца. Дизель работал неустойчиво, сильно вибрировал и потому нуждался в серьезной переделке конструкции.

Тем не менее, сразу после переборки опытный БД-2 установили на танк БТ-5 вместо авиадвигателя М-5. В ноябре 1933 г. начались пробные пробеги первого советского танка с дизель-мотором. Они проводились на заводском дворе: "сырой" двигатель не позволял вывезти машину на полигон, и каждый пробег оканчивался возвращением в заводской цех. Дизель в танке работал устойчиво, но сильно дымил и вибрировал по причине неуравновешенности, что вызывало у танкистов, помимо неприятных ощущений, трудности с управлением. По результатам стендовых испытаний и обкатки начали разработку улучшенной конструкции, которая должна была пойти в серию в качестве установочной. Для повышения коэффициента наполнения цилиндров и достижения заданной мощности перешли на четырехклапанную систему, установив по два впускных и выпускных клапана на каждом цилиндре. Всего с апреля 1933 г. по октябрь 1934 г. в конструкцию дизеля внесли 1150 изменений.

На этом этапе к работе над БД-2 подключился молодой конструктор Иван Яковлевич Трашутин (будущий главный конструктор Кировского завода). Он вернулся из учебной командировки в США, куда был направлен для освоения "современных методов расчета узлов и деталей ДВС". За время пребывания в Массачусетском технологическом институте он защитил диссертацию, получив ученую степень магистра. С его участием к концу 1934 г. были изготовлены пять дизелей первой серии. Один из них смонтировали на тяжелом артиллерийском тягаче "Ворошиловец", два — на военных катерах ПК-1 и еще два — на танках БТ-5. Последние были показаны на военном параде 7 ноября 1934 г. в Москве. Состоялось правительственное решение: параллельно с доводкой начать

Помимо основного задания в 1932-34 гг. КБ дизельного отдела вело работы и над другими моделями быстроходного дизеля: тракторным 4-цилиндровым ТД-16 и 18-цилиндровым трехрядным 18БД-3 для тяжелых танков. Сам БД-2 рассматривался как базовый в семействе двигателей, предназначенных для широкого использования в различных транспортных средствах, в том числе и на самолетах. Так, в мае 1935 г. группа под руководством Г.И. Аптекмана приступила к проработке БД-2А — авиационного варианта дизеля. Его проектная мощность составляла 600 л.с. при 1850 об/мин. В этом варианте двигателя

БД-2 в мотоотсеке танка БТ-5



применялся наддув, который обеспечивал требуемую высоту силовой установки (нагнетатели для первых образцов взяли от авиадвигателей АМ-34РН).

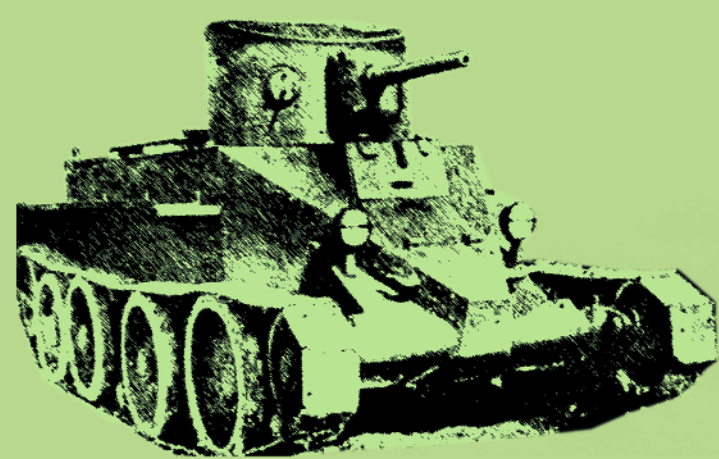
К концу декабря собрали два первых экземпляра БД-2А — один для доводочных испытаний, другой — для установки на самолет-разведчик Р-5. 14 января 1936 г. дизель был опробован на самолете, состоялась также первая скоростная рулежка с подлетом. На другой день самолет поднялся в воздух и выполнил облет аэродрома, набрав высоту 400 м.

В июле начались летные испытания Р-5 с БД-2А, продолжавшиеся полгода. Затем состоялся перелет из Харькова в Москву, где были выполнены демонстрационные полеты перед руководством наркоматов, и обратный перелет в Харьков. На земле и в воздухе дизель наработал 61,5 ч.

БД-2А отличался от танкового варианта конструкцией целого ряда узлов и деталей, в первую очередь — кривошипно-шатунным узлом и передачей к механизму газораспределения, обладавшими меньшей массой. Для увеличения надежности впервые на заводе использовали полировку ответственных деталей, в том числе коленвала и шатунов, повышавшую усталостную прочность. И все же дизель БД-2А не нашел применения в авиации. Причиной явилось появление более удачного мотора АН-1 конструкции ЦИАМа, да и преимуществ в мощности перед обычным авиадвигателем АМ-34 дизель БД-2А не имел. В то же время неполадки и дефекты основного варианта БД-2 заставили сконцентрировать на нем все силы. При доводке и освоении серийного выпуска танкового дизеля использовались и решения, отработанные на его авиационном собрате.

В 1936 г. в сотрудничестве с ЦИАМом в КБ приступили к разработке собственной конструкции 12-плунжерного топливного насоса, который должен был заменить дорогостоящий агрегат немецкого производства, приобретаемый обходным путем через нейтральные скандинавские страны. Основой послужила отработанная германская конструкция — два спаренных насоса высокого давления с муфтой опережения впрыска. По результатам испытаний насос пришлось доработать. В част-

Опытный танк БТ-5 с дизелем БД-2

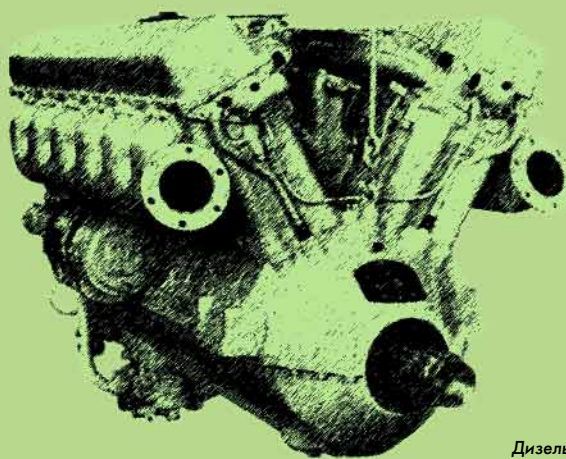


подготовку этих машин к серийному выпуску, для чего на ХПЗ развернуть строительство новых цехов.

26 сентября 1935 г. постановлением ЦИК СССР "за создание мощных современных конструкций машин" ХПЗ был награжден орденом Ленина. Вместе с другими работниками орденами, в том числе и боевыми, наградили многих дизелестроителей, включая К.Ф. Челпана, Я.Е. Вихмана, мастеров, технологов и рабочих.

ности, диаметр плунжера насоса увеличили до 10 мм, изменили число и расположение сопел форсунок, откорректировали и закон подачи топлива.

Всего за 1935-1936 гг. были построены 11 дизелей БД-2 первой серии. Из-за несовершенного оборудования дизельного цеха, впервые столкнувшегося с новыми материалами, технологиями и гораздо более высокими требованиями к точности изготовления, сразу не удалось обеспечить должную стабильность качества и заданный моторесурс. В итоге в 1936 г. дизель БД-2 не был представлен на 100-часовые госиспытания, как это планировалось.



Дизель В-2

Медленная доводка дизеля и отставание от установленных сроков беспокоили военных. Помимо поломок ряда деталей, не удавалось устранить вибрации и дымный выхлоп, демаскировавший машину. По приказу начальника вооружения и технического снабжения РККА Н.А. Халепского, курировавшего работы, на завод были командированы военные ученые — профессор Ю.А. Степанов из Военной академии механизации и моторизации и доктор технических наук М.А. Хайлов. Они внесли определенный вклад в совершенствование БД-2, сосредоточив основное внимание на повышении его эксплуатационных характеристик.

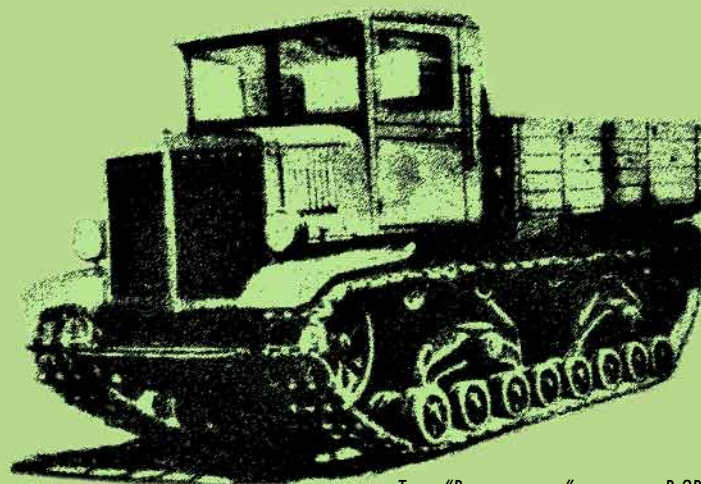
По результатам испытаний первой партии дизелей КБ выпустило техническую документацию на вторую серию БД-2, для производства которой уже сооружались новые цеха. Двигатель "обязан был получиться" — именно так стоял вопрос. После изменения конструкции камеры сгорания удалось снизить дымность и повысить мощность, одновременно уменьшив удельный расход топлива до 160...165 г/л.с.ч. Повышая технологичность, предусмотрели переход на штамповку вместоковки заготовок коленвалов, шатунов и поршней. Но как всегда, на смену конструктивным проблемам пришли производственные: продолжали вручную пришабриваться вкладыши, напильниками подгоняли профиль кулачков распределителя и шеек коленвала и т.п. Недостаток опыта и ручная подгонка все еще не обеспечивали требуемой точности изготовления и сборки. Кондиционных деталей не хватало.

Очередные стендовые испытания, проведенные в январе-марте 1937 г., снова выявили дефекты. Для решения проблем

вопрос вынесли на заседание Совета труда и обороны, где в октябре 1937 г. директор ХПЗ И.П. Бондаренко и военпред М.Н. Федоров отчитывались о ходе работ. Реакция последовала незамедлительно — завод тут же получил пополнение высококвалифицированными инженерами и рабочими, а дизельный отдел завода был преобразован в мощное производственное подразделение — отдел 400. Кроме того, заводу выделялись крупные ассигнования на строительство и оснащение производства, в том числе на закупку за границей станков и оборудования. С середины 1937 г. дизель БД-2 получил наименование В-2. Под этим обозначением началось развертывание массового производства, которое уже на первом этапе должно было давать ежегодно по 10 000 моторов, но на этот уровень удалось выйти только в ходе Великой Отечественной войны.

В том же 1937 г. ХПЗ в числе многих предприятий и организаций захлестнула волна борьбы с "врагами народа". Началось истребление высококвалифицированных кадров руководителей, специалистов, мастеров, рабочих. Прологом этому послужило письмо военпреда П. Соколова наркомму К.Е. Ворошилову "о подавляющем большинстве "бывших людей" в руководстве танкового отдела завода". Кампанию тут же поддержало партийное руководство завода, возглавлявшееся А. Епишевым. "Вредителям" был предъявлен полный набор обвинений: К.Ф. Челпан уличался "в срыве правительственного задания по производству дизель-моторов" и "умышленной организации дефектов дизелей", Г.И. Аптекмана арестовали, припомнив случившиеся в ходе испытаний поломки, послужившие подтверждением его "вредительской" деятельности. Вместе со всеми были арестованы главный инженер ХПЗ Ф.И. Лящ, "приводивший станки в негодное состояние", главный металлург А.М. Метанцев и многие другие, "завербованные" директором ХПЗ И.П. Бондаренко, перечень обвинений к которому включал едва ли не все мыслимые и немыслимые злодеяния — от "притупления бдительности" до "организации взрыва на заводе"...

(Продолжение в следующем номере)



Тягач "Ворошиловец" с дизелем В-2В

## DIGEST

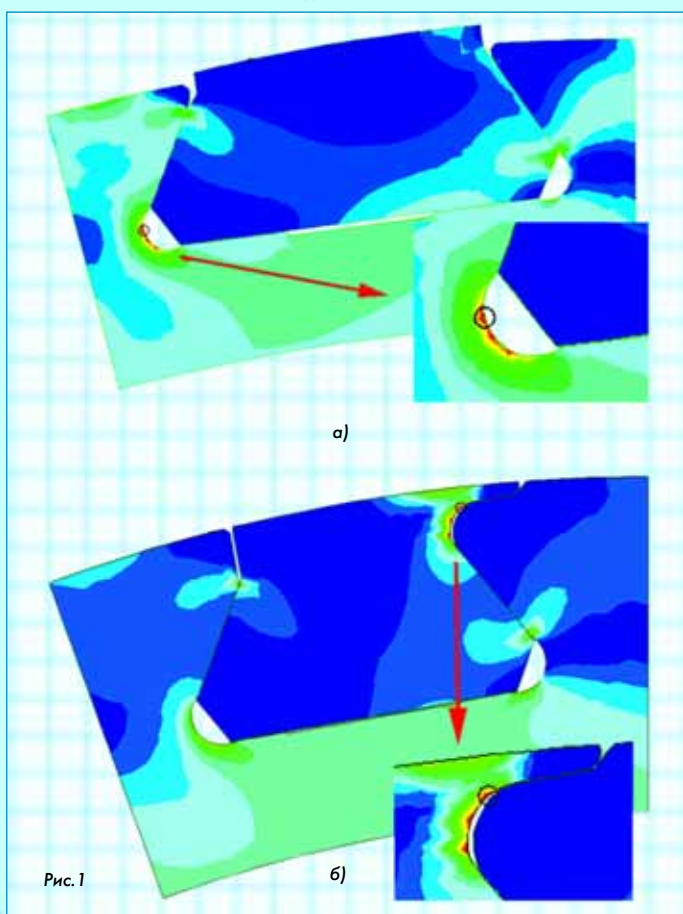
V-2 diesel engine can be justly considered as an outstanding breakthrough in the Russian machine-building. Being developed in pre-war years, it had been manufacturing in many versions for many years up to early 70s. More than 250,000 deliveries were made. V-2 diesel engine was the "heart" of the famous T-34, KV and IS tanks, its improved modifications were installed in ships and tractors, and also used in industrial powerplants. In 1999, the highly reliable and enduring V-2 celebrates its six-decade anniversary and remains one of the most widespread engine in this power class. Its way to success was not easy — the history of designing and development was full and victories and failures: many problems were settled by metallurgists and engineers, many obstacles were overcome on the way to its commercial production fallen on the last pre-war year.

## ON THE WAY TO V-2

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ КЛЮЧ МОДЕЛИРОВАНИЕ — К СОЗДАНИЮ ДВИГАТЕЛЕЙ

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

(Продолжение, начало в №№ 3 и 4)



При параллельном проектировании лопатки и диска определяющим является замковое соединение. Его расчет предполагает многократное уточнение конструкции хвостовика и диска с лопатками по критерию обеспечения ресурса в зоне концентрации напряжений. Сказанное поясняет рис. 1, на котором представлены результаты расчета этого узла, измененная форма его и поля напряжений в исходном (а) и окончательном (б) вариантах соединения. При отличии шкал напряжений на рис. 1а и б кружки указывают наиболее опасные точки конструкции.

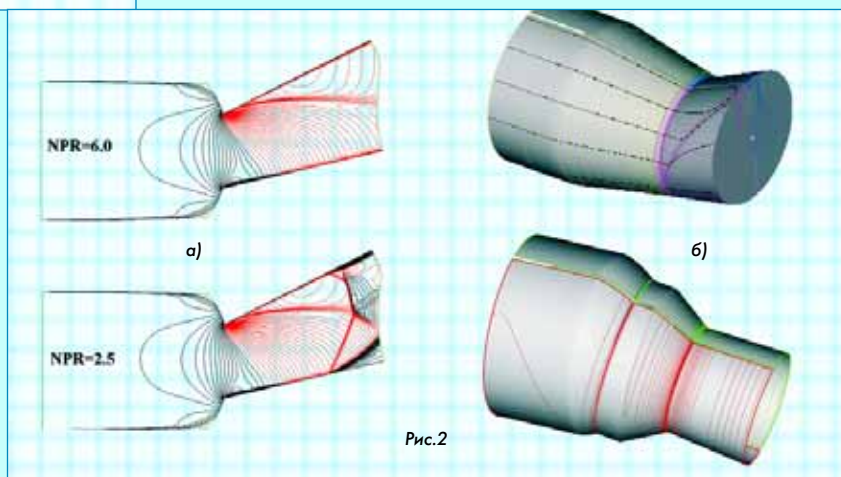
Учет нелинейности совместного деформирования лопатки и диска важен для оценки зазоров между корпусом и лопаточным венцом и последующего уточнения газодинамического состояния компрессора. Нелинейные эффекты существенно сказыва-

ются на перемещениях и углах разворота периферийных сечений лопаток. Так, для высоконагруженной ступени вентилятора расчет по линейной модели дает углы разворота периферийного сечения в  $2...3^\circ$ , а расчет по нелинейной модели — менее  $1^\circ$ . Поэтому проектирование лопатки предполагает итерационный подход, связывающий газодинамический расчет течения, профилирование статический расчет лопатки и проектирование диска.

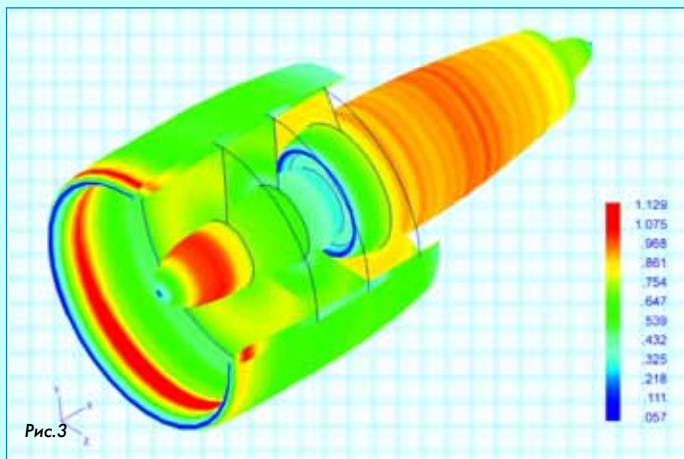
На основе описанных выше подходов созданы имитационные вычислительные стенды для моделирования изменения во времени течения охлаждающего воздуха через лабиринтные уплотнения и в полостях двигателя, теплового и НДС корпусов и роторов и размера зазоров в уплотнениях.

Применяемые методы позволяют рассчитывать течения и определять силовые характеристики сопел, поворот расширяющихся частей которых позволяет управлять направлением вектора тяги. Сопла такого типа, называемые обычно соплами с управлением вектором тяги (СУВТ) могут быть плоскими и осесимметричными. При повороте расширяющейся части течения в плоских соплах вдали от боковых стенок остается двумерным. При повороте расширяющейся части осесимметричного сопла течение в нем становится пространственным.

Основной газодинамической характеристикой обычного сопла является зависимость коэффициента тяги от перепада давления на сопле — NPR. Для СУВТ появляется еще одна важная характеристика, отражающая при фиксированном геометрическом угле поворота зависимость эффективного угла отклонения вектора тяги  $\alpha_{\text{eff}}$  от NPR. Характеристики сопел определялись в широком диапазоне значений NPR. Интегрирование уравнений Рейнольдса, замкнутых однопараметрической моделью турбулентности  $V_f-90$ , велось по неявной монотонной разностной схеме повышенного порядка аппроксимации.

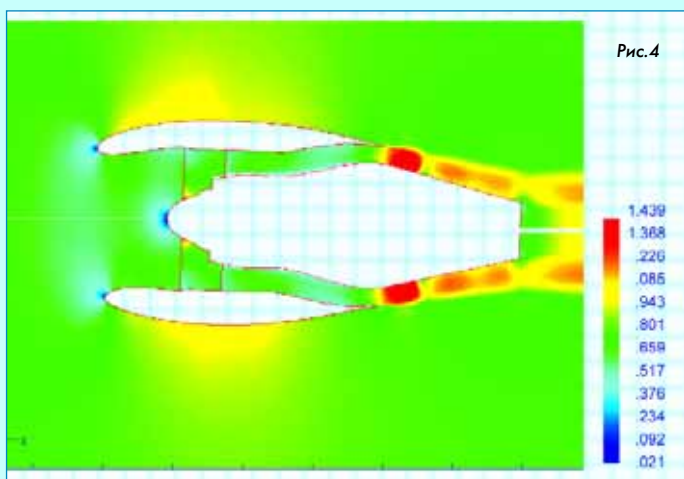






Результаты численного моделирования течения в плоском СУВТ представлены на рис. 2а. Даны изолинии числа Маха для автотельного режима работы ( $NPR = 6,0$ ) и для одного нерасчетного режима с перерасширением потока ( $NPR = 2,5$ ). Красные изолинии отвечают сверхзвуковым скоростям. Расчет подтвердил обнаруженные экспериментально экстремумы  $\alpha_{eff}$  при снижении  $NPR$ .

Результаты расчета осесимметричных СУВТ (рис.2б) также согласуются с экспериментом. При больших углах отклонения течение в них является пространственным и в сверхзвуковой и в дозвуковой частях сопла. По этой причине здесь приходится решать трехмерную смешанную (до-, транс- и сверхзвуковую) пря-

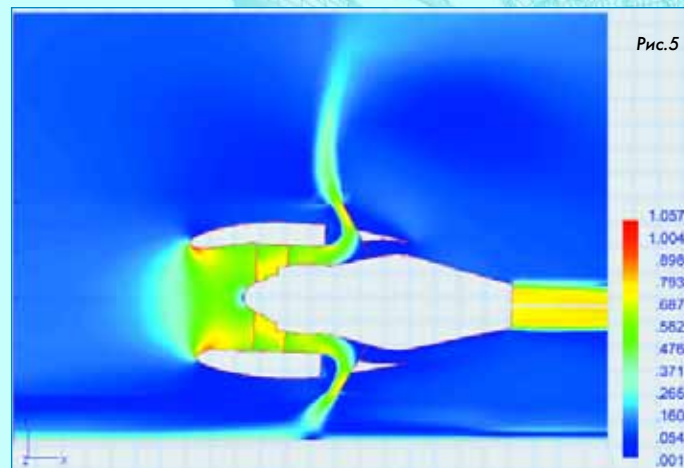


мую задачу теории сопла Лавала. Расчеты в приближении уравнений Эйлера обнаружили сложный характер течения в сверхзвуковой части с перерасширением потока и с образованием ударных волн. Расчеты в рамках уравнений Рейнольдса подтвердили наличие таких отрывов.

Методы матмоделирования позволяют просчитать пространственное обтекание мотогондолы двухконтурного двигателя в интеграции с летательным аппаратом, а на режиме реверса с учетом влияния поверхности Земли. На рис. 3 представлены поля чисел Маха на внешних и внутренних поверхностях мотогондолы ТРДД сверхбольшой степени двухконтурности с биротативным вентилятором на крейсерском режиме полета с  $Mn = 0,75$  и углом атаки

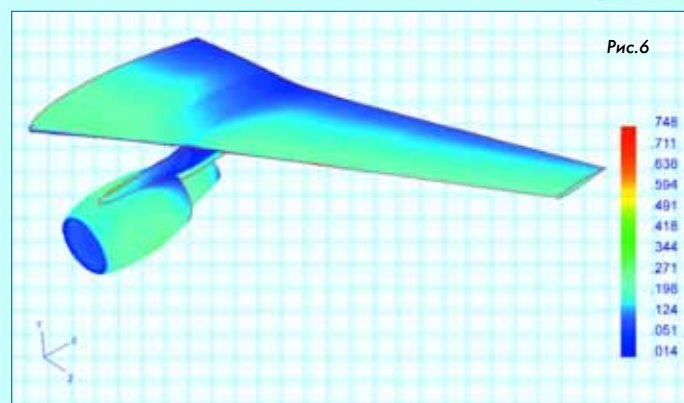
$\alpha = 3^\circ$ . Для наглядности представления в обечайке вентилятора сделан вырез, сквозь который можно видеть поля чисел Маха на обрамленных черными линиями активных и пассивном дисках, моделирующих венцы вентилятора и спрямляющем аппарате в хвостовой части мотогондолы, а также поле чисел Маха на входе в газогенератор.

На рис. 4 в плоскости симметрии двигателя изображено поле чисел Маха в течении, возникающем при обтекании на крейсерском режиме полета мотогондолы ТРДД большой степени двухконтурности с однорядным вентилятором при  $Mn = 0,78$ , эффективных углах атаки  $\alpha = 3,2^\circ$  и скоса  $b = 1^\circ$ . Видно, что на внешней стороне обечайки вентилятора нет заметных сверхзвуковых зон, в то время как на обечайке газогенератора формируется сверхзвуковая струя с ярко выраженной бочкообразной структурой. На режиме реверса поле чисел Маха в плоскости симметрии мотогондолы представлено на рис. 5.



Расчеты такого типа даже при упрощенной геометрии реверсивного устройства позволяют оценить уровень обратной тяги, размер и форму струй, а также возможность их попадания на вход двигателя при разных скоростях внешнего потока. Как иллюстрация возможностей матмоделирования силовой установки, интегрированной с летательным аппаратом, на рис. 6 дано распределение чисел Маха на поверхностях крыла, пилона и мотогондолы того же двигателя при посадке самолета ( $Mn = 0,25$ ,  $\alpha = 8^\circ$ ,  $b = 0$ ).

(Продолжение в следующем номере)



## DIGEST

The contribution of CIAM's scientists to designing of physical gasdynamic models is significant. CIAM's models and algorithms provide mathematical modeling of strength and aerodynamics of engine components at all development stages. In some cases mathematical modeling offers the prospects to avoid expensive and time-consuming tests necessary to verify proposed design solutions. CIAM, possessing great experience in high-pressure axial stages within 1.5-2.5 pressure ratio, is a world-known leader in developments of transonic and supersonic stages of advanced compressors with reduced number of highly loaded swept blades. Both subsonic and supersonic rotors can be taken into consideration. CIAM's experience in development and application of mathematical models of service life shows that the qualified forecast guarantees high reliability of components under development. High-level mathematical models of service life makes possible to create simulating models of life prediction of blades, discs and rotors with account of spread in structural material mechanic characteristics, variations in manufacturing and actual operation conditions.

## MATHEMATICAL MODELING – A KEY TO ENGINE DEVELOPMENT

# ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ

Лев Франкштейн, ведущий конструктор ГНЦ ЦИАМ

Обнаружение начала повреждения подшипника возможно по изменению физико-химических свойств металлических частиц (МЧ), находящихся в масле. Однако этот способ малоэффективен: количество и размеры МЧ в пробах, взятых из масляного бака, не соответствует генерируемым подшипниками во времени. Дело в

том, что по условиям безопасности отбор масла запрещается до истечения 30 минут после останова двигателя, а поскольку вязкость горячего масла невелика, и оно остывает весьма медленно, то за это время крупные МЧ, свидетельствующие о повреждении, успевают осесть на дно. Кроме того, на содержание МЧ влияет количество масла в баке и величина промежутка времени между дозаправками и отбором проб.

Действительное начало повреждения подшипника можно обнаружить при выполнении всего комплекса исследований МЧ.

Проведение полного комплекса исследований технического состояния подшипников занимает, однако, много времени, эксплуатанту же обычно требуется срочное заключение о возможности продолжения применения данного двигателя при обнаружении МЧ в масляной системе. По этой причине применяют, обычно, различные приемы диагностики.

Широко известен метод обнаружения повреждения подшипника по сигналу о перекрытии ферромагнитными частицами зазора между контактами детектора, установленного на общем выходном коллекторе масловоздушной смеси. К сожалению, по этому способу констатируется наличие повреждения, а не его начало. Для накопления МЧ в количестве, достаточном для перекрытия зазора между контактами детектора при повреждении трибологического характера, требуется определенное время. В течение этого времени повреждение развивается и неконтролируемо. Метод малоинформативен. Если прочностное повреждение и случится, то оно скорее обнаружится при повышении вибрации двигателя и температуры масла. Еще одним недостатком рассматриваемого способа являются ложные сигналы в результате перекрытия зазора между контактами детектора случайно попавшей в двигатель металлической стружкой или МЧ при нормальном изнашивании подшипников.

Возможно также обнаружение повреждения подшипника с помощью анализа физико-химических свойств и других особенностей МЧ, отложенных на детекторе, установленном на общем выходе масловоздушной смеси из двигателя, через регламентные сроки контроля. Если при регламентном осмотре на детекторе обнаруживаются МЧ, количество и размеры которых превышают обычные, вместо него на двигателе устанавливается получаемый со склада запасных частей взаимозаменяемый детектор, который помечается красным пятном, и эксплуатация двигателя продолжается. Срок осмотра детектора при этом сокращается до 10 ч.

Детектор, снятый с двигателя вместе с отложенными на нем МЧ, а также МЧ, смытые с фильтрующей поверхности фильтра, укладываются в специальные контейнеры и с приложенной к ним информационной документацией направляются в диагностический центр аэропорта. Там детектор промывается холодным растворителем для удаления следов масла,

*Раннее обнаружение повреждения подшипников – основная задача диагностирования их технического состояния, так как своевременная замена двигателя с дефектным подшипником способствует повышению безопасности полетов и снижает расходы на ремонт. Основной источник информации для принятия решения о дальнейшей эксплуатации двигателя – генерируемые подшипниками в процессе изнашивания и повреждения металлические частицы. Основными местами, в которых осуществляется поиск металлических частиц, являются: маслобак, магнитный детектор (установлен на общем выходе масловоздушной смеси из двигателя) и поверхность масляного фильтра. Существует несколько способов диагностирования технического состояния подшипников, а длительная практика позволяет сравнить их эффективность.*

смола и других веществ, и отложенные на нем МЧ тщательно изучаются через бинокулярный микроскоп с увеличением от 20 до 30 раз под сильным источником света. Характерные с точки зрения повреждения МЧ снимаются с детектора с помощью немагнитных пинцетов для предварительного исследования. Затем снимаются с детектора и все остальные МЧ для исследования по комплексной программе. Для облегчения такого исследования в диагностическом центре имеется заложенный в компьютер банк данных по МЧ, снятым с детекторов эксплуатируемых двигателей на протяжении их жизненного цикла (рис. 1), включая контрольно-сдаточные испытания, испытания после частичного и капитального ремонтов. Здесь же хранятся образцы МЧ, снятые с детекторов всех ранее исследованных двигателей, с которыми сравниваются вновь поступившие МЧ.

На основе проведенных исследований составляется заключение о возможности дальнейшей эксплуатации двигателя, которое направляется инженерной службе аэропорта. Очищенный и проверенный на годность детектор в запломбированном контейнере сдается на склад запасных частей.

Если в соответствии с заключением диагностического центра двигатель снимается с эксплуатации, то его исследование считается законченным только после того, как он будет разобран, продефектирован и по результатам этих работ выпущен технический отчет, содержащий фотографии повреждений и заключение об их причинах. Заключение должно содержать также рекомендации по улучшению конструкции, ремонта и обслуживания двигателя, выполнение которых предотвратит подобные повреждения в будущем.

Регламентные периоды работы между осмотрами отложенных на детекторе зависят от типа двигателя, но не должны превышать 25 % времени прогрессирования повреждения наиболее критического подшипника или другого узла трения до разрушения (рис. 2). Достоверность обнаружения действительного начала повреждения подшипника в эксплуатации летательного аппарата (ЛА) способствовала тому, что этот способ нашел широкое распространение и в настоящее время является основным. Одним из дополнительных преимуществ этого способа является то, что он может применяться также в энергетических и газоперекачивающих агрегатах с приводом от авиационной турбины, расположенных неподалеку от аэропортов, располагающих диагностическими центрами.



Рис. 1

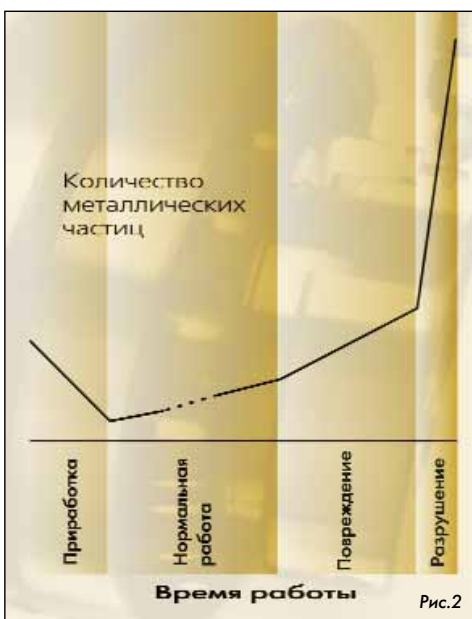


Рис. 2

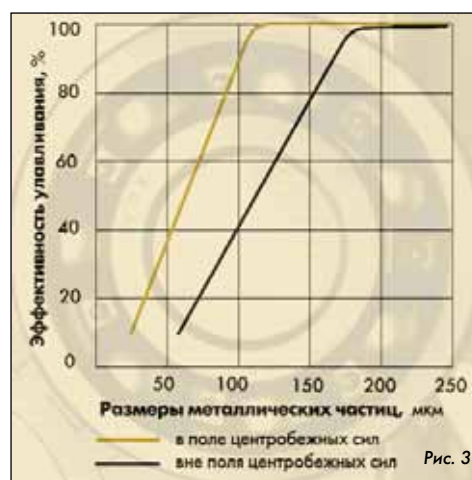


Рис. 3

Изменение количества и размеров МЧ по времени является определяющим признаком состояния подшипников. Остальные признаки тоже важные, но, главным образом, для определения характера, места, степени и причин повреждения. При развитии повреждения подшипника количество и размеры МЧ увеличиваются по времени в значительно большей степени, чем при обычном износе (см. рис. 2). На этом и основан так называемый "количественный" способ обнаружения повреждения подшипника. С помощью контрольного устройства, подсчитывающего количество и размеры МЧ, оседающих на детекторе или проносящихся через полый индуктор вместе с потоком откачиваемой из двигателя масловоздушной смеси во времени, можно выявить момент начала резкого роста количества и размеров МЧ. Это достаточно объективно характеризует возникновение повреждения подшипника.

В современных крупногабаритных двигателях абсолютная тонкость очистки масла повышена до 30 мкм, а в малогабаритных — до 3 мкм. Благодаря снижению количества и размеров МЧ в масле, поступающем в подшипники, эффективность их изнашивания и повреждения снизилась. Это потребовало увеличения улавливающей способности детектора, установленного на общем выходе масловоздушной смеси из двигателя. Задача была решена (рис. 3) путем установки магнитного детектора в расположенном внутри масляного бака центробежном сепараторе таким образом, чтобы под действием центробежных сил МЧ, находящиеся в потоке откачиваемой масловоздушной смеси, приближались к полю действия магнита детектора. Это не потребовало применения в двигателе дополнительного агрегата, просто переместили сепаратор на верхнюю поверхность бака, что позволило установить в нем детектор.

Дальнейшее развитие диагностирования повреждений узлов трения на ранней стадии лежит на пути создания системы, определяющей их техническое состояние в полете и на земле для двигателей любого назначения. Эта задача может быть решена с помощью автоматического слежения за количеством и размерами МЧ, генерируемых этими узлами во времени, и комплексным исследованием МЧ, отложенных на детекторах, в случае необходимости, которая может возникнуть при относительном увеличении количества и размеров МЧ. Это позволит эксплуатировать каждый конкретный двигатель по его состоянию и существенно повысит надежность ГТД и безопасность полетов.

DIGEST

DIAGNOSTICS OF BEARINGS

The main source of the information for taking a decision about the engine operation is metal debris (MD) produced by bearings as a result of wear and damage. A thorough and full diagnostic procedure takes much time but, as a rule, an urgent conclusion is necessary for further operational use of the engine if MDs have been detected in the oil system. For this reason, different diagnostic techniques are commonly used. Changes in quantity and sizes of MD with time are decisive indicators of the bearing state. A promising way of the bearing early diagnostics is the development of the technology showing in-flight and ground technical state of any-type engine bearings. This technology would give clearance for the engine operation depending on its state and increase GTE reliability and flight safety.

# ГТД АВИАЦИОННЫЕ ГТД КОНСТРУКЦИИ ПРОФЕССОРА УВАРОВА

*Движение к новому и неизведанному в технике всегда сопряжено с огромным количеством трудностей. Упорные и настойчивые идут вперед, преодолевая одну преграду за другой, и добиваются поставленной цели. Исключением не стала и история создания отечественных газотурбинных двигателей (ГТД). У истоков этого направления стояли многие незаурядные личности. Предлагаем Вашему вниманию рассказ сотрудника ЦИАМа, бывшего начальника экспериментально-исследовательского отдела и ведущего конструктора двигателя Э-3080 Александра Григорьевича Романова выдающегося отечественном изобретателе профессоре Владимире Васильевиче Уварове.*

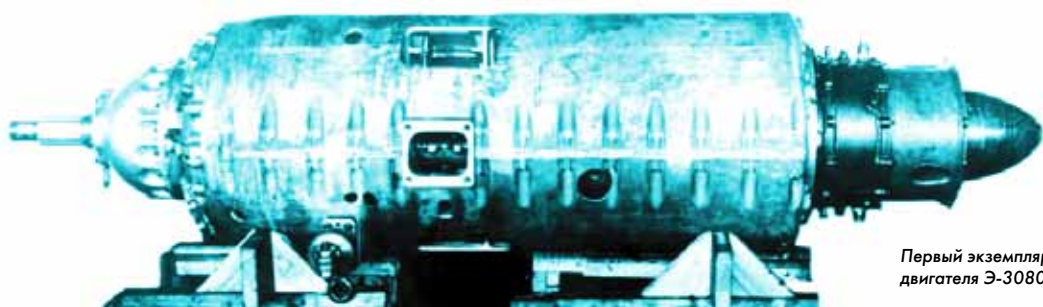
Первые исследования по газовым турбинам в России относятся к дореволюционному периоду. Они связаны с работами профессора В.М. Маковского и инженера Г.И. Зотикова. В своих исследованиях по созданию газотурбинной установки (ГТУ) наши соотечественники не пошли по пути "законодателей моды" — немецких специалистов, которые создавали ГТУ по термодинамическому циклу  $V = \text{const}$ . Маковский и Зотиков решили реализовать цикл  $P = \text{const}$ . Дальнейшее развитие этого направления продолжили в начале 20-х гг. ученые МВТУ при содействии профессора Н.Е. Жуковского и его ученика Н.Р. Бриллинга.

По инициативе и под руководством Бриллинга в 1925 г. в

В 1936 г. коллективом лаборатории были разработаны чертежи экспериментального ТВД (ГТУ-3) для тяжелого самолета с расчетной мощностью на винте  $N_v = 1500$  л.с. при  $T_{кс} = 1500\text{K}$ . В состав ГТУ-3 входил трехступенчатый компрессор с воздушной турбиной, приводящий в движение вал съема мощности и позволяющий использовать редукторы, подобные тем, которые предназначались для поршневых авиационных моторов. Воздух в камеру сгорания поступал по трубам, изменяя на конечном этапе направление движения на обратное.

Три экземпляра этого двигателя были построены на Коломенском паровозостроительном заводе (директор завода В.М. Малышев) в 1938-1939 гг. В 1940 г. лаборатория № 1 ВТИ была переведена в ЦИАМ; туда же передали и третий экземпляр двигателя. В связи с началом Великой Отечественной войны работы над ГТУ замедлились, но уже в 1943 г. силами отдела № 8, занимавшегося газотурбинной тематикой, были разработаны чертежи двигателя Э-3080. Он имел мощность на винте  $N_v = 625$  л.с. при расчетной скорости полета у земли до 650 км/ч.

Первый опытный экземпляр этого двигателя был изготовлен в ЦИАМе в



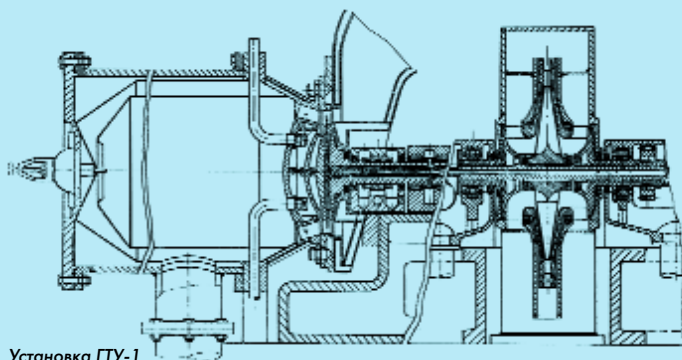
Первый экземпляр двигателя Э-3080

НАМИ из группы молодых преподавателей, в которую входили Б.Г. Либрович, С.Е. Лебедев, С.Б. Минут и В.В. Уваров, была организована лаборатория по изучению теоретических основ ГТУ и их конструктивных схем.

В 1928 г. лабораторию перевели в МВТУ, а в 1930 г. работы по ГТУ были переданы в Теплотехнический институт им. Ф.Э. Дзержинского, где создали лабораторию № 1. Непосредственное участие в ее организации принял начальник Главного управления авиационной промышленности проф. С.О. Макаревский. В 1934 г. коллектив энтузиастов создал опытную маломощную экспериментальную установку ГТУ-1 — прообраз будущих авиационных турбовинтовых двигателей (ТВД).

Установка состояла из одноступенчатого центробежного компрессора с воздушной турбиной, кольцевой камеры сгорания с вращающейся форсункой и одноступенчатой газовой турбины с охлаждаемыми проточной водой корпусами и сопловыми лопатками. Весьма оригинально была выполнена водоиспарительная система рабочих лопаток и составного диска, обе половины которого несли цельнофрезерованный обод с лопатками и стягивались центральным стяжным валиком. Внутри валика, точно по оси вращения, располагалась трубка подвода дистиллированной воды.

Результаты испытаний этой установки (общей продолжительностью 21 ч) подтвердили пригодность основных узлов к работе при частоте вращения 22 000 об/мин и при температуре газа в камере сгорания  $T_{кс} = 1400...1600\text{K}$ . Мощность на выводном валу составила 15...20 л.с.



Установка ГТУ-1

сентябре 1945 г. От ГТУ-3 он сохранил перепускные трубы между компрессором и кольцевой камерой сгорания, однако поток воздуха на этом участке уже не поворачивался. Кроме того, в конструкцию был введен дополнительный корпус.

Второй экземпляр Э-3080, выпущенный в начале 1946 г., не имел ни перепускных труб, ни внешнего корпуса. Сразу же начались его горячие испытания на стенде отдела № 8. В июле 1946 г. на этом экземпляре двигателя удалось добиться частоты вращения на уровне 82 % от запланированных оборотов при температуре в камере сгорания  $T_{кс} = 1600\text{K}$ .

За месяц до этого состоялось решение Правительства СССР о передаче работ по созданию опытных двигателей конструкции В.В. Уварова на завод МАП № 41, ранее производивший серий-



Третий экземпляр двигателя Э-3080 и его схема (внизу)

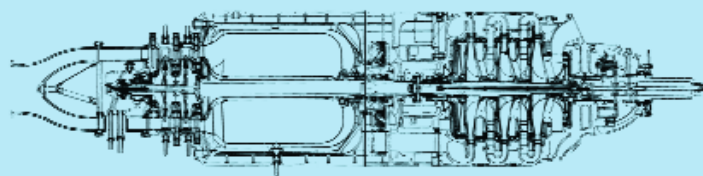
ные поршневые авиационные двигатели М-11. Этим постановлением устанавливались очень жесткие сроки изготовления и доводки Э-3080. Уже к 1 мая 1947 г. завод должен был изготовить 5 экземпляров, а в третьем квартале этого же года обеспечить представление двигателя на заводские испытания. Под руководством В.В. Уварова, назначенного главным конструктором, в кратчайшие сроки формировались новые коллективы КБ, технологического бюро и экспериментально-исследовательского отдела. Перестройкой и модернизацией цехов руководил директор завода А.А. Завитаев. Обучение персонала всех уровней проводилось в сверхурочные часы.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДВИГАТЕЛЯ Э-3080				
Характеристика	Заявленные данные для скорости:		Получено на стенде	
	V=0 м/с	V=180 м/с	Э-3080А	Э-3080М
Мощность на валу редуктора, л.с.	625	650	691	547
Тяга реактивного сопла, кг	160	167	139	109
Частота вращения вала турбокомпрессора, об/мин	22 000	22 000	20 950	19 600
Приведенная мощность, л.с.	785	1055	817	642
Удельный расход топлива, кг/л.с.·ч	0,5	0,35	0,551	0,556
Диаметр компрессора высокого давления, м	0,58	0,58	0,58	0,58
Длина двигателя, м	2,44	2,44	2,54	2,64
Масса двигателя, кг	500	500	560	630

По чертежам ЦИАМ был изготовлен первый заводской экземпляр двигателя, который тут же был направлен на холодные испытания. С мая 1947 г. на гидротормозном стенде началась доводка узлов, а горячие испытания были начаты лишь 8 февраля 1948 г. Параллельно на заводе была создана своя модификация двигателя Э-3080А с улучшенным профилированием проточной части и трехступенчатой турбиной. В новогоднюю ночь 1948 г. закончились официальные заводские испытания Э-3080А на новом стенде с трехлопастным винтом регулируемого шага конструкции С.Ш. Бас-Дубова. Однако до заявленных параметров Э-3080А удалось довести лишь 9 марта 1948 г., когда закончились испытания на гидротормозном стенде.

В августе 1948 г. была создана новая модификация Э-3080М, отличавшаяся увеличенным диаметром и наличием шарикоподшипника в опоре турбины. Но в этом же месяце министр авиационной промышленности приказал прекратить работы по Э-3080. К этому времени было изготовлено 15 двигателей, общая наработка которых составила 395 ч.

Кстати, еще 1946 г. отдел № 8 ЦИАМа приступил к проектированию более мощного авиационного двигателя Э-3081А. В металле двигатель был изготовлен заводом МАП № 41.



25 августа 1948 г. Впоследствии завод получил разрешение от МАП передвинуть сроки на ноябрь, а фактически первый экземпляр был изготовлен лишь в декабре 1948 г. Для горячих испытаний этого мощного двигателя профессором МАИ Евангуловым был разработан оригинальный гидротормоз. В ходе испытаний первого экземпляра двигателя, начавшихся 25 декабря 1948 г., были получены обнадеживающие результаты. Второй экземпляр Э-3081А был испытан в марте 1949 г., третий, четвертый и пятый экземпляры — в апреле-сентябре 1949 г.

Наработка пяти двигателей на гидротормозном стенде в ходе 55 испытаний достигла 85 ч 20 мин, а на горячих режимах — 64 ч 18 мин. При этом параметры двигателей составили: наибольшая частота вращения вала — 94,9 % от запланированной, расход воздуха в компрессоре высокого давления (КВД) — 12 кг/с, степень повышения давления в КВД — 6,971, температура в камере сгорания — 1469К, мощность на валу — 2381 л.с., тяга — 328 кг, а приведенный расход топлива — до 0,37 кг/л.с. в час.

К огорчению конструкторов первых отечественных ТВД по приказу МАП № 773 от 10 октября 1949 г. работы по Э-3081А были прекращены. Однако опыт, полученный учеными и разработчиками в процессе создания уваровских двигателей, послужил прогрессу авиационного двигателестроения в нашей стране в 50-70-е годы.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДВИГАТЕЛЯ Э-3081А	
Мощность на валу, л.с.	3190
Тяга реактивного сопла, кг	400
Часовой расход топлива, кг/ч	1100
Температура газа в камере сгорания, К	1460
Степень повышения давления в компрессоре	8
Частота вращения вала газовой турбины, об/мин	13 900
Частота вращения воздушной турбины, об/мин	4650
Частота вращения вала воздушного винта, об/мин	2100
Удельный расход топлива, кг/л.с.·ч	0,32
Расход воздуха компрессора высокого давления, кг/с	13,0
Диаметр компрессора высокого давления, м	0,850
Длина двигателя, м	3,8
Масса двигателя, кг	1380

## DIGEST

The first research works on gas turbines in Russia are dated back to pre-revolution years. However, the first prototype GTE dubbed as GTU-1 was developed only in 1934 under the leadership of Prof. V.V. Uvarov. GTU-1 consisted of a single-stage centrifugal compressor, an air-driven turbine, an annular combustion chamber with a rotary-type fuel injector and a single-stage gas turbine with water-cooled cases and stator blades. GTU-1 produced 15-20 h.p. at 22,000 r.p.m. and 1400-1600K gas temperature in the combustor. In 1936 the drawings of an experimental turboprop dubbed as GTU-3 for a heavy airplane with 1500-h.p. rated power were developed. In 1943, Prof. V. Uvarov and his working team released drawings of E-3080 engine. The engine power was 625 h.p.. 15 E-3080 engines ("A" and "M" versions) were manufactured by 1948 and accumulated 395 hr. In spite of this fact, further development of the turboprop was terminated by the Ministry of Aviation Industry in 1949. But acquired experience in Uvarov's engines was used in the progress of Russian aviation engine-building in 50s-70s of the 20th century.

## AVIATION GTEs DESIGNED BY PROF. UVAROV

# ИСТОРИЯ ФРЕНКА УИТТЛА,

## ИЗОБРЕТАТЕЛЯ АВИАЦИОННОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ



Френк Уиттл

Николай Александров

*В августе нынешнего года исполнилось 60 лет со дня первого полета самолета He 178, оснащенного газотурбинным двигателем. Это событие в значительной степени обязано работам английского летчика, исследователя и конструктора Френка Уиттла (Frank Whittle), еще в 1929 г. предложившего работоспособную схему авиационного ГТД. Спустя 8 лет Уиттл сумел реализовать свою идею в металле, а 15 мая 1941 г. в воздух поднялся экспериментальный самолет E28/39, оснащенный ГТД его конструкции.*

В 1926 г. девятнадцатилетний Френк Уиттл поступил в Королевский авиационный колледж в городке Кранвелл, который готовил пилотов для английских ВВС. В процессе обучения кадеты должны были готовить тезисы докладов по техническим темам. Впоследствии Уиттл вспоминал, что в качестве последней темы он выбрал "Пути совершенствования конструкции самолетов". Работая над рефератом, начинающий авиатор вывел собственную теоретическую формулу для определения максимальной дальности полета аэроплана, но вскоре выяснил, что она абсолютно совпадает с давно известной формулой Бреге. Разочарование его было велико, но и польза от "физико-математических" упражнений оказалась немалой. Уиттл понял, что для достижения большой скорости и дальности полета следует летать как можно выше. Однако мощность традиционной винтомоторной установки падает с высотой гораздо быстрее, чем уменьшается лобовое сопротивление. В этом состояло противоречие, и устранить его можно было только путем использования нового, поистине революционного технического решения.

Две важнейшие идеи, лежащие в основе любого авиационного газотурбинного двигателя (использование реактивной тяги и размещение газовой турбины на одном валу с компрессором), первоначально даже не были увязаны между собой. Но уже к 1929 г. Уиттл осознал, что "чистый" ракетный двигатель неприменим в качестве силовой установки для обычного самолета из-за чрезвычайной "прожорливости".

После окончания колледжа Уиттл получил звание пилота и был направлен в строевую эскадрилью для продолжения службы. Здесь он не оставил своих занятий наукой, и в конце 1929 г. пробыл час турбореактивного двигателя: Уиттлу пришло в голову объединить на едином валу компрессор и газовую турбину. К этому времени молодой летчик проходил курс повышенной подготовки в Центральной летной школе. Один из инструкторов школы по фамилии Джонсон был в прошлом специалистом-патентоведом. Идея, высказанная Уиттлом, произвела на Джонсона столь сильное впечатление, что он с воодушевлением взялся за ее патентное оформление. Кроме того, он порекомендовал Уиттлу немедленно изложить ее в рапорте начальнику школы Д. Болдуину.

Последний быстро оценил перспективность предложения Уиттла и помог ему "выйти" на чиновников министерства авиации. Затем изобретателя отослали в Кенсингтонскую лабораторию к известному специалисту по авиационным двигателям доктору А. Гриффису. И здесь везение закончилось. Гриффис легко обнаружил ошибку в теоретических расчетах Уиттла, где он обосновывал к.п.д. установки. Более того, "высокоскольный ученый" скептически

отнесся к самой идее газотурбинного двигателя, совершенно справедливо указав, что при ее реализации неизбежно возникнут проблемы с конструкционными материалами, способными длительное время выдерживать высокие температуры, которые характерны для ГТД. Мнение Гриффиса стало известно министерству авиации и сильно подорвало доверие к идеям Уиттла.

Но молодой изобретатель упорствовал в своих "заблуждениях". Вскоре, в сотый раз перепроверяя теоретические выкладки, он нашел еще одну ошибку в расчетах, полностью компенсировавшую замечания Гриффиса. Кроме того, Уиттл надеялся, что на больших высотах, где температура воздуха низка, требования по жаропрочности конструкционных материалов окажутся выполнимыми. А пока он подал заявку на изобретение, датированную 30 января 1930 г., и спустя 18 месяцев получил патент на конструкцию ГТД. В связи с отсутствием интереса со стороны министерства авиации патент не был засекречен, и вскоре с ним смогли ознакомиться двигателисты всего мира. Английские "особисты" поступили опрометчиво. Рассматривая схемы первых германских ГТД, относящиеся к 1933-1935 гг., нетрудно заметить огромное влияние схемы Уиттла, хотя позднее немецкие конструкторы, несомненно, нашли свой путь.

В 1931 г. Уиттл стал инструктором Летной тренировочной школы в Дигби. Параллельно с основной работой он вместе с Джонсоном, ставшим ему верным помощником, продолжил "пробивание" идеи ГТД во всевозможных авиационных моторостроительных фирмах, но без особого успеха. В 1932 г. Уиттла перевели в Морской авиационный испытательный центр в качестве летчика-испытателя. Работа над теоретическими аспектами ГТД продолжилась и здесь. Способности молодого летчика создали ему определенный авторитет среди коллег, что, впрочем, не помешало им шутиливо-иронически наречь его изобретение "уиттловской огненной трубой". Загруженный испытательной работой по уши, Уиттл, по его воспоминаниям, совсем пал духом и решил, что слишком опередил время. Разочарование оказалось столь велико, что Френк на время изменил своему увлечению и занялся усовершенствованием подвижных пулеметных турелей, устройств для загрузки бомб и катапультируемых кресел.

И тут на помощь пришел случай. В соответствии с установленным в английских ВВС порядком, в 1932 г. Уиттл должен был пройти обучение на курсах повышения квалификации. Предлагались на выбор следующие направления: вооружение, штурманское дело, радиотехника, физподготовка (!) и инженерная подготовка. Уиттл, "переключившийся" на турели, решил было углубленно заняться вооружением, но командование испытательного центра

имело собственное мнение о перспективах незаурядного молодого человека и направило его для обучения в офицерскую инженерную школу в Ханлоу. На вступительных экзаменах Уиттл показал столь выдающиеся познания, что был сразу определен на второй курс, минуя первый, подготовительный. Однако и на втором курсе он не задержался, сдав выпускные экзамены через шесть месяцев! Командование школы сразу обратило внимание на способного летчика и в виде исключения направило его для продолжения образования в Кембриджский университет. Для этого потребовалось ходатайство со стороны министерства авиации. Все-такигодились, хоть и неудачные, попытки заинтересовать чиновников министерства идеей ГТД.

Получив звание "флайт-лейтенант" (капитан), Уиттл отправился в Кембридж. И там он не изменил себе: трехлетний курс обучения был пройден за два года. Кроме того, в университете он нашел новых сторонников, горячо увлекшихся идеей создания работоспособного ГТД. В Кембридже ему оказали поддержку умудренные опытом люди: его наставник Р. Люббок и профессор аэродинамики М. Джонс. Появились союзники и в среде руководства Королевских ВВС в лице офицеров Р.Д. Вильямса и Дж. Тинлинга. Общими усилиями в марте 1936 г. удалось организовать фирму "Пауэр Джетс Лимитед" (Power Jets Ltd.) с капиталом в 10 тыс. фунтов, а еще раньше, в конце 1935 г., Уиттл вместе с единомышленниками приступил к постройке первого экспериментального ГТД, получившего название W.U. (Whittle Unit — устройство Уиттла). Вскоре работами по этой тематике заинтересовалась компания ВТН (British Thomson-Houston), инвестировавшая в проект "Пауэр Джетс" 28 тыс. фунтов на постройку опытного образца. Немалая по тем временам сумма сняла множество проблем и укрепила Уиттла в намерении строить сразу "полномасштабный" двигатель, минуя стадию экспериментов с отдельными его элементами.

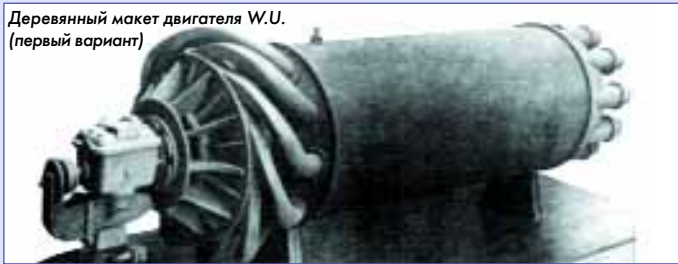
Прослышав о развернувшихся работах, подключилось и министерство авиации, обеспечившее поддержку научно-исследовательских организаций. Кроме того, министерство сделало реверанс в сторону изобретателя, согласившись формально оставить его на год в качестве ассистента профессора Джонса. Впрочем, попытки заставить "раскошелиться" государственный орган не увенчались успехом. Чиновники из министерства по-прежнему считали, что Уиттл и его коллеги хотят "удовлетворить свое любопытство" за счет казны, не более того.

С целью дальнейшего повышения квалификации Уиттла и ознакомления с имеющимися в промышленности технологиями фирма ВТН организовала ему стажировку на одном из заводов, производивших паровые турбины для военно-морского флота. Казалось бы, все складывалось великолепно. Спроектированный Уиттлом двигатель W.U. предназначался для оснащения небольшого почтового самолета с взлетной массой менее тонны, но зато способно развить скорость порядка 800 км/ч. Расчеты показывали, что для этого необходимо обеспечить тягу у земли на уровне 550 кгс при частоте вращения турбины 17 750 об/мин. По проекту двигатель имел одноступенчатый центробежный компрессор и одноступенчатую же осевую турбину. Сжимаемый компрессором воздух подавался в большую кольцевую камеру сгорания. В то время Уиттл считал, что самой сложной частью проекта является именно камера сгорания и надеялся без особых трудностей обеспечить расчетные параметры компрессора и турбины.

В марте 1937 г. опытный

образец двигателя был подготовлен к первому "холодному" запуску. Испытания начались с обескураживающей поломки валика, соединявшего ротор с поршневым "пускателем". Пришлось заменить стартер на 20-киловаттный электромотор, весьма громоздкий и тяжелый. Это негативно сказалось на мобильности всей мотоустановки, смонтированной на двухосной тележке: ее колеса

Деревянный макет двигателя W.U.  
(первый вариант)



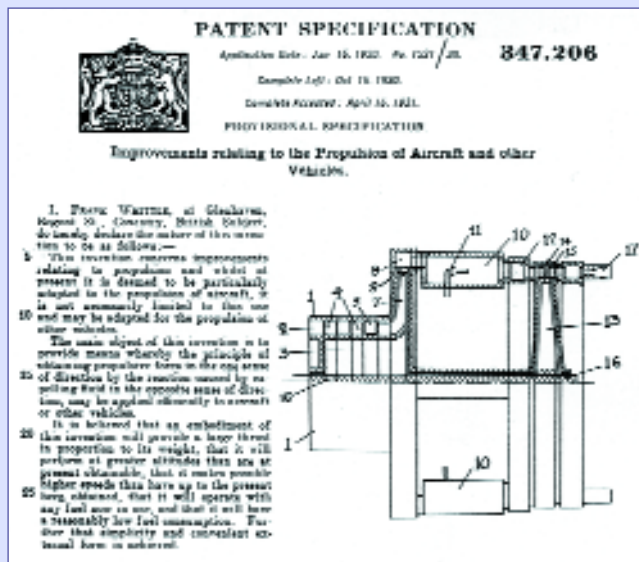
из-за перегрузки пришлось снять. В дальнейшем масса экспериментального агрегата дополнительно возросла из-за размещения 38-миллиметровых стальных листов по бокам и сверху двигателя, предназначенных для локализации повреждений в случае аварии двигателя.

Первый "горячий" запуск двигателя (с воспламенением топлива) состоялся 12 апреля 1937 г. Эксперимент вновь завершился неожиданно быстро. Как только частота вращения ротора достигла 2000 об/мин, Уиттл сам приоткрыл заслонку подачи пускового топлива (в качестве негодного использовался бензин) и принялся вращать ручное (!) магнето. В камере сгорания сквозь небольшое кварцевое окно стало видно пламя, Уиттл слегка приоткрыл заслонку подачи основного горючего (дизельного топлива). С нарастающим воем двигатель стал стремительно набирать обороты. Слишком быстро! Уиттл полностью закрыл топливную заслонку, но, к общему ужасу, ротор двигателя продолжил разгон. Все присутствовавшие в помещении, за исключением самого изобретателя, в ожидании неизбежной аварии бросились прочь от ревущего зверя. Уиттл, по его воспоминаниям, попросту остолбенел от неожиданности. Умом он понимал, что рано или поздно двигатель, в который не подается топливо, остановится сам собой, но мало ли что могло случиться до этого... К счастью, через минуту-другую нестерпимый визг стал стихать.

Объяснение произошедшему случаю оказалось очень простым: в топливопроводе при "холодных" прокрутках образовались воздушные пробки, поэтому после перекрытия подачи дизтоплива его остатки выталкивались сжатым воздухом в камеру сгорания, обеспечивая дальнейший разгон. Как только давление в магистрали упало, подача топлива прекратилась. "Лечение" установки произвели путем введения дренажа.

На следующий день была предпринята еще одна попытка запустить W.U., и снова неудачная. На этот раз причина экстренного прекращения эксперимента оказалась гораздо серьезнее: из-за перегрева топливных форсунок и разгерметизации камеры сгорания в наддвигательном пространстве возник пожар. И вновь после благополучного завершения опыта, когда огонь погас сам собой, изобретатель обнаружил, что в помещении он остался один-одинешенек.

При очередном эксперименте удалось довести частоту вращения ротора до 13 600 об/мин. И все же Уиттл



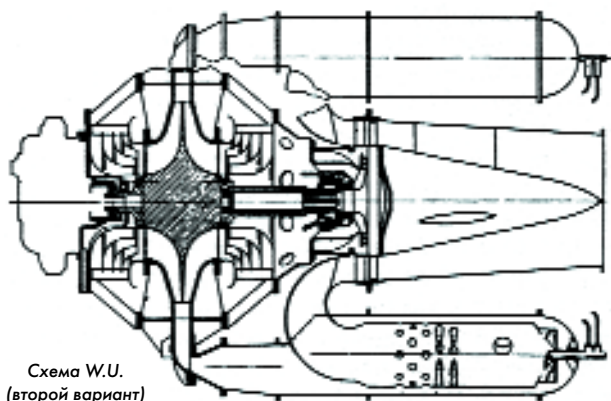


Схема W.U.  
(второй вариант)

вынужден был констатировать: эффективность компрессора и турбины оказались заметно ниже расчетных, что выражалось в чрезмерном росте температуры газов. Вскоре при попытке "разогнать" двигатель до более высокой частоты вращения произошла авария из-за разрушения элементов компрессора, в результате всего за полторы секунды обороты ротора упали с 12 000 до нуля. W.U. нуждался в серьезном ремонте, для его создателей снова начались трудные времена. Год, милостиво отпущенный Уиттлу министерством авиации, подходил к концу, деньги заканчивались, а главный инженер фирмы ВТН, осознавший опасность экспериментов с ГТД, потребовал перенести все работы на другую территорию.

Ситуация была спасена благодаря вмешательству авторитетного председателя Аэронavigического исследовательского совета сэра Генри Тиззарда. Ознакомившись лично с работами Уиттла, он дал о них самый благоприятный отзыв и порекомендовал руководству фирмы ВТН продолжить финансирование газотурбинной тематики. Кроме того, он нажал на невидимые пружины, и министерство авиации подписало договор с Уиттлом о частичном финансировании исследований из расчета 200 фунтов за час работы двигателя на стенде плюс дополнительная тысяча фунтов за детальный отчет о всех проведенных до этого экспериментах. Потирая руки, Френк не предполагал, что он угодил в своеобразную ловушку: все новые работы попадали под "секретный лист", попросту говоря — засекречивались, что исключало в дальнейшем использование частного капитала за исключением двух случаев: для компаний и лиц, которые внесены министерством авиации в список "допущенных", и тех, кто пожелает рискнуть "втемную" — последним существование исследований не раскрывалось. Чтобы "подсластить" пилюлю, Уиттлу присвоили очередное звание "скадрон лидер" (майор).

По согласованию с руководством ВТН все работы в дальнейшем проводились на заброшенной фабрике фирмы в Латтерворте. Конструкцию двигателя пришлось серьезнейшим образом пересмотреть. Взамен одной трубы, по которой прежде подавался в камеру сгорания воздух от компрессора, сделали десять профи-

лированных воздухопроводов. Конструкторы применили воздушное охлаждение длинных жаровых труб и одновременно обеспечили некоторое повышение к.п.д. всей установки вследствие повышения температуры воздушного потока на входе в камеру сгорания. И все же двигатель "первой реконструкции" просуществовал недолго: в мае 1938 г. произошла очередная авария с разрушением лопатки турбины.

Но эта неприятность уже не могла остановить Уиттла: министерство авиации совместно с ВТН, теперь уже уверенные в успехе, быстро изыскали необходимые 2400 фунтов для ремонта и проведения "второй реконструкции" двигателя W.U. Его главным отличием стало использование десяти небольших камер сгорания вместо единой кольцевой. Обечайки камер охлаждались потоком воздуха, который затем изменял направление на 180° и лишь потом использовался "по прямому назначению" — для сжигания топлива. Впоследствии Уиттла часто спрашивали, почему он принял такое необычное техническое решение. Конструктор объяснял его двумя причинами: отсутствием жаропрочных материалов и удобством внесения изменений во "внутренность" камеры сгорания без серьезных переделок.

Все работы по подготовке третьего варианта W.U. к испытаниям были закончены в октябре 1938 г. Вместо электростартера теперь использовался поршневой мотор мощностью 10 л.с. В период с мая по октябрь Уиттл провел множество экспериментов с разнообразными камерами сгорания, выбирая оптимальную. В качестве основного топлива стал использоваться керосин. Увы, отлаженные "по отдельности" камеры сгорания отказывались нормально работать в составе двигателя, что вело к новым авариям. Пришлось перепробовать более 30 вариантов топливных форсунок, прежде чем удалось добиться устойчивой работы W.U. в течение получаса при частоте вращения ротора 16 500 об/мин.

Двигатель W.U.  
(третий вариант)



В июне 1939 г. ревущий двигатель, наконец, продемонстрировали руководству министерства авиации, и оно сочло, что пора заключать контракт на постройку летного образца. С карьерой военного летчика было покончено: Уиттла теперь считали "особо ценным кадром" и отправлять на войну не собирались. Вскоре

#### ИЗ ИСТОРИИ ГТД

Любопытно, что предложение по использованию продуктов сгорания топлива для привода в движение турбины с последующим использованием крутящего момента было выдвинуто гораздо раньше, чем появилась паровая турбина. Первый патент на газотурбинный двигатель еще в 1791 г. получил английский изобретатель Д. Барбер. Впрочем, предложенное им устройство весьма отдаленно напоминало современный ГТД. Так, привод от вала газовой турбины к поршневому компрессору предлагалось осуществлять с использованием зубчатой и цепной передач. До осуществления идеи на практике дело не дошло.

В 1872 г. немецкий инженер Штольце предложил свой вариант газотурбинного двигателя, названного им "огненной машиной". Воплотить замысел в реальную конструкцию Штольце сумел только в 1904 г. Испытания закончились провалом. Турбина даже не смогла развить мощность, достаточную для вращения компрессора на холостом ходу (без нагрузки). Неудача, постигшая Штольце, вполне закономерна: ведь в то время, в отсутствие соответствующих теоретических предпосылок, не представлялось возможным создать газовую турбину с к.п.д. более 70 % и компрессор с к.п.д. выше 65 %. Для того, чтобы при таких значениях к.п.д. двигатель мог отдавать полезную мощность, температура газа перед турбиной должна достигать 700...800 °С, а самая жаропрочная сталь в то время едва ли могла выдержать температуру выше 500 °С.



"Пауэр Джетс" получила официальный заказ на постройку газотурбинного двигателя W.1, предназначенного для установки на экспериментальный самолет Глостер E28/39.

Заметим, что в 1938 г. в штате "Пауэр Джетс" состояло шестью: Уиттл, его секретарша, инженер, два ночных сторожа и посыльный. Кроме того, определенными правами пользовался беспородный пес по кличке "Сэнди". В 1939 г. все изменилось, как по волшебству: начался ускоренный набор квалифицированных инженеров, конструкторов, чертежников и рабочих. Новички прибывали, но проблема обеспечения устойчивой работы топливной форсунки оставалась нерешенной, пока Уиттл не вышел на Исаака Люббока, брата своего бывшего наставника по Кембриджу. Тот возглавлял лабораторию компании "Шелл", активно исследовавшую процессы воспламенения топлива. Люббок, по словам Уиттла, вызволил его из непрекращающегося кошмара отказов, предложив новую конструкцию форсунки. Впрочем, очередной вариант двигателя все равно взорвался, теперь уже в глазах у Тиззарда и вице-маршала авиации А.Теддера.

Однако руководители английских ВВС оказались достаточно дальновидными и за руинами W.1 сумели разглядеть будущего мирового лидера. В 1940 г. Уиттл получил второй госзаказ — на этот раз на постройку двигателя W.2 тягой 720 кгс, предназначенного для боевого истребителя. Все это произошло задолго до начала летных испытаний W.1. В дело включались все новые и новые люди, начиналась битва амбиций и честолюбий. Так, известная своими автомобилями и авиационными поршневыми моторами компания "Ровер" сочла для себя обидной роль субподрядчика у никому не известной "Пауэр Джетс" и через министерство добилась для себя положения "головной организации" по двигателю W.2, хотя не имела ни малейшего опыта создания ГТД. Аналогичные требования выставила и компания "Де



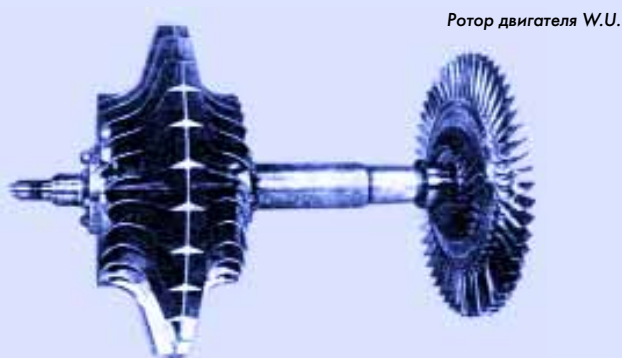
Экспериментальная установка с двигателем W.U. и поршневым стартером

К концу 1940 г. проектирование W.1, рассчитанного на тягу 563 кгс при частоте вращения ротора 17 750 об/мин, близилось к завершению. При создании опытного образца (ему присвоили обозначение W.1X) использовались некоторые уцелевшие после аварии агрегаты от W.U., в частности, диск центробежного компрессора. Несмотря на близость конструкций W.U. и W.1, многие детали и узлы пришлось переконструировать в интересах обеспечения технологичности массового производства. Параллельно велась работа по радикальному сокращению массы для летного образца двигателя. В итоге W.1 оказался почти вдвое легче преемственника.

Первый "горячий" запуск W.1X состоялся в декабре 1940 г. Важнейшим отличием рабочего колеса турбины у этого варианта двигателя являлось использование "елочного" замка, посредством которого лопатка закреплялась в теле диска (прежде применялся менее надежный замок типа "Де Лаваль"). Кроме того, сами лопатки изготовили из более жаростойкого материала, что позволило несколько увеличить температуру газов и к.п.д. турбины.

В марте 1941 г. компания "Глостер" выкатила на аэродром готовый E28/39, но серийный двигатель для него еще не был готов. В связи с этим приняли решение временно оснастить экспериментальный самолет опытным W.1X и с ним произвести рулежки, пробежки и всю необходимую наземную "доводку". Двигатель доставили на аэродром Брокворт 5 апреля 1941 г., без проблем смонтировали его на сверкающем свежей краской E28/39, а уже в сумерках машина, управляемая шеф-пилотом фирмы "Глостер" Сайером, совершила несколько пробежек по бетонированной полосе. Частоту вращения двигателя во избежание инцидентов ограничили 12 000 об/мин, при этом максимальная скорость составила чуть более 30 км/ч. Сайер был разочарован и не скрывал своих чувств, хотя Уиттл и пытался объяснить ему, что тяга двигателя сильно возрастает с увеличением оборотов. Но люди из "Глостер" все равно выглядели смущенными: не хватало им только самолета, который не сможет оторваться от ВПП.

На следующий день ограничитель частоты вращения ротора установили на 16 000 об/мин. Уиттл попросил у Сайера разр-



Ротор двигателя W.U.

Хэвилленд Энджин". Обе фирмы хотели от "Пауэр Джетс" только одного: предоставления рабочих чертежей, а там уж... "мы сами с усами". В довершение всех этих коллизий и "дружественная" ВТН сумела заполучить от министерства отдельный контракт на разработку реактивного двигателя.

В 1887 г. русский инженер-механик П.Д. Кузьминский начал проектирование нового двигателя, названного им "газо-паро-турбомашинно-двигатель". В качестве рабочего тела предусматривалось использование парогазовой смеси, получаемой в камере сгорания, которую изобретатель называл "газопарородом". Первая газотурбинная установка, предназначавшаяся для катера, была построена по чертежам Кузьминского на Балтийском заводе в Санкт-Петербурге и испытана в 1894 г. При мощности 25 л.с. установка имела неслыханно малую для того времени удельную массу — около 10 кг/л.с. Несмотря на удачное окончание испытаний, российское морское министерство интереса к двигателю не проявило. Кузьминский нашел поддержку в Русском техническом обществе, которое рекомендовало представить изготовленный образец на Всемирную выставку в Париже. Внезапная смерть изобретателя накануне проведения выставки помешала осуществлению замысла.

В 1909-1913 гг. определенный успех сопутствовал немецкому инженеру Г. Гольцверту, сумевшему создать работоспособный ГТД с температурой газа перед турбиной порядка 500...550 °С. Правда, проектная мощность двигателя составляла 1000 л.с., а на испытаниях он развил всего 200 л.с. Впрочем, это не помешало Гольцверту утверждать, что он способен в ближайшее время создать новый образец ГТД мощностью 8000 л.с., пригодный для установки на корабли и суда! Однако в годы Первой Мировой войны изобретатель так и не смог продвинуться дальше создания еще нескольких экспериментальных устройств.

шения "покататься" на E28/39 по полосе, тот без особого сопротивления уступил свое место. Медленно отрулив на край аэродрома, Уиттл развернул машину, остановился и постепенно увеличил

ров для автомобильных дизелей. В результате определенного давления, оказанного со стороны министерства авиации на Уиттла, "Пауэр Джетс" также присоединилась к "пулу" могучих левиафанов двигателестроения. Результатом совместной работы всех трех фирм стал двигатель W.2B, который в марте 1943 г. достиг проектной тяги 726 кгс и 100-часового ресурса.

Однако компания "Де Хевилленд Энджин" сумела временно вырваться вперед: в том же марте 1943 г. поднялся в воздух опытный образец истребителя Глостер F9/40 (в серии — "Метеор"), оснащенный двумя газотурбинными двигателями H.1. Впрочем, радость конкурентов оказалась недолгой: "моторчик" потребовал длительной доводки и только после войны был запущен в производство под названием "Гоблин".

Реально боеспособным "Метеор" I стал все же с уиттловскими двигателями W.2B, которые в серии получили наименование "Уэлланд". С июля 1944 г.

обороты до предела. Самолет с набором скорости побежал по полосе. При достижении скорости порядка 100 км/ч толчки на стыках бетонки почти прекратились — машина явно попросилась в воздух. Стоило только взять ручку на себя... Но Уиттл опомнился: ведь двигатель был "нелетным", поэтому рисковать не стоило. Сбросив обороты, конструктор постепенно затормозил E28/39 у дальней границы аэродрома и снова отрулил к группе сотрудников "Глостер" и "Пауэр Джетс". Сайер заинтересованно посмотрел на него и, не говоря ни слова, забрался в кабину. Он сделал две скоростные пробежки, в ходе которых выполнил "подскоки" протяженностью метров по двести и высотой не более метра. Кажется, только тогда он поверил, что этот маленький самолетик сможет летать.

В начале мая на E28/39 смонтировали "летный" двигатель W.1. Предварительно он наработал на стенде 25 ч и получил от "Пауэр Джетс" гарантию на 10 ч работы в воздухе. Первый полет продолжительностью 17 минут состоялся 15 мая 1941 г. Манера, в которой Сайер пилотировал, свидетельствовала о полном доверии аппарату: летчик набрал большую высоту, скрывшись за облаками. В течение двух недель состоялись 17 испытательных полетов. "Пауэр Джетс" сумела еще раз изумить сотрудников "Глостера". В ходе испытаний двигателисты ни разу не заглянули "во внутренности" своего детища, ибо знали: если он "рычит" нормально, то все в порядке. Только в одном полете министерство авиации разрешило увеличить частоту вращения ротора до 17 000 об/мин, при этом E28/39 легко обогнал сопровождавшего его "Спитфайра" и развил скорость 750 км/ч. Конечно, реальной боевой ценности самолет не имел, поскольку не был вооружен.

Летом E28/39 показали американцам, которых особенно заинтересовал двигатель. По согласованию между Тиззардом и командующим американских ВВС генералом Арнольдом было принято решение о передаче технологий и чертежей ГТД Соединенным Штатам. В октябре 1941 г. разобраный W.1X и группа сотрудников "Пауэр Джетс" отправились за океан в бомбоотсеке "Либерейтора". Туда же переправили чертежи еще не законченного W.2. Спустя всего один год в США совершил первый полет экспериментальный реактивный самолет Белл XP-59A, оснащенный двумя двигателями "тип I", которые представляли собой несколько модифицированные W.2.

В Англии между тем развернулось соревнование между несколькими фирмами-изготовителями ГТД, "эксплуатировавшими" уиттловские идеи. Наиболее выгодные позиции имела компания "Роллс-Ройс", которая сама имела огромный опыт моторостроения и, кроме того, сумела организовать взаимодействие с "Ровер". Последняя являлась лидером в освоении турбокомпрессо-

английские реактивные истребители приступили к уничтожению германских самолетов-снарядов V.1 ("Фау-1") и весьма преуспели в этой роли благодаря высокой, достигавшей 850 км/ч максимальной скорости. В дальнейшем фирма "Роллс-Ройс" на базе "Уэлланда" формально уже без участия Уиттла создала "Дервент" — двигатель, весьма близкий к прототипу, но отличавшийся камерами сгорания с "прямым" потоком воздуха: к концу войны английские металлурги смогли обеспечить двигателестроителей жаропрочными сплавами, позволившими значительно поднять температуру газов, к.п.д. и тягу ГТД.

В 1943 г. Уиттл в течение трех месяцев учился в штабном колледже Королевских ВВС. Там его сумели заинтересовать проблемой создания качественно нового двигателя для скоростного высотного дальнего бомбардировщика, пригодного для применения над обширными пространствами Тихого океана. Вернувшись в "Пауэр Джетс", Уиттл с порога заявил своим коллегам о новой



Экспериментальный реактивный самолет E28/39



Реактивный истребитель "Метеор" F.1

идее. Вероятно, он первым в мире пришел к мысли о возможности создания "модульного" ГТД в вариантах обычного турбореактивного, турбовинтового и турбовентиляторного. Вскоре конструкторы приступили к разработке совершенно нового двигателя L.R.1 с осевым компрессором, который мог стать первым в мире двухконтурным ГТД. Но... в 1944 г. "Пауэр Джетс" была национализирована. Министерство авиации все в большей степени претендовало на "руководящую и направляющую" роль, а в 1946 г. преобразовало компанию в Национальный газотурбинный исследовательский центр. По мысли чиновников министерства, эта организация должна была стать своеобразной "прислужницей" у двигателестроительных фирм без права самостоятельного создания собственных образцов. Для Уиттла это оказалось неприемлемо, и он написал заявление об уходе. Так завершилась его конструкторская деятельность. Однако идея авиационного ГТД продолжила триумфальное шествие по миру.

# ГАЗОФАЗНЫЕ ЯДЕРНЫЕ

# ДВИГАТЕЛИ

## ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Григорий Лиознов, главный специалист НПО Энергомаш

*Еще до полетов первых искусственных спутников и пилотируемых кораблей ученые и конструкторы задумывались над путями и способами достижения ближайших планет солнечной системы, и в первую очередь Марса. Обеспечить такой полет с экипажем на борту, как представлялось в то время, смогли бы двигатели, использующие энергию атома.*

В соответствии с принятыми правительственными решениями в некоторых научных центрах и КБ уже со второй половины 50-х гг. начались разработки ядерных ракетных двигателей (ЯРД). Среди различных типов ядерных реакторов, которые предусматривались для применения в космических системах, особое место занимает высокотемпературный газофазный ядерный реактор (ГФЯР), обещающий достижение уникальных параметров.

Решение о разработке ЯРД и ядерных космических энергоустановок (ЯКЭУ) на основе ГФЯР было принято в 1963 г. руководителем НПО Энергомаш академиком В.П. Глушко, а затем утверждено постановлением ЦК КПСС и Совмина СССР. К этому времени научный коллектив НПО Энергомаш имел шестилетний опыт проектно-конструкторской и технологической разработки ЯРД с твердофазным реактором. Теоретические исследования по ГФЯР выполнялись с 1957 г. под руководством члена-корреспондента АН СССР В.М. Иевлева в НИИ тепловых процессов (ныне НИЦ имени М.В. Келдыша). На решение столь сложной (сопоставимой с проблемой управляемого термоядерного синтеза) и требующей колоссальных финансовых затрат научно-технической проблемы, какой является создание ГФЯР, в то время посягнули только две страны — СССР и США.

лей) и ведущие вузы страны под общим научным руководством НИИ тепловых процессов. Большое внимание и поддержку оказали такие видные ученые, как академики М.Д. Миллиончиков, А.А. Бочвар, Е.П. Велихов.

Разработчики столкнулись с большим, совершенно новым кругом проблем организации рабочих процессов и обеспечения работоспособности конструкции в высокотемпературном ГФЯР. Вполне естественно, что и у нас, и у американцев ни аналогов, ни прототипов до тех пор не было. Несколько месяцев ушло только на предварительное ознакомление с сущностью вопросов, прослушивание лекций ведущих сотрудников НИИ тепловых процессов, изучение научных отчетов и литературы, консультации во многих организациях.

В период 1963-1973 гг. численность специализированного отдела НПО Энергомаш, занимавшегося разработкой реактора и двигательно-энергетической установки, составляла около 90 человек. В этот период проводились интенсивные экспериментальные и производственные работы по подготовке демонстрационных реакторных испытаний в 1975 г. Однако в 1974 г. в НПО Энергомаш началась разработка РД-170/171 — мощного ЖРД для системы "Энергия-Буран", в связи с чем исследования по ГФЯР

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ПО ГФЯР

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ	СОДЕРЖАНИЕ
1. Реализация рабочего процесса в газофазном тепловыделяющем элементе	Проблема сопряжена с определением полей скоростей, температуры, концентраций ядерного горючего и рабочего тела и требует совместного решения следующих задач: — гидродинамики и магнитной гидродинамики; — массообмена; — лучистого и конвективного теплообмена; — теплозащиты стенок и торцов рабочей камеры, а также выходного канала
2. Достижение критичности ГФЯР	Определение геометрических параметров реактора и зависимости давления в твэлах от температуры, требующее решения следующих задач: — нейтронной физики полостных реакторов; — термодинамики ядерного горючего и рабочего тела
3. Обеспечение устойчивости работы ГФЯР	Проблема вызвана высокой подвижностью ядерного горючего Давление — 1000 кгс/см <sup>2</sup> , температура ядерного горючего — 40 000...60 000 К, температура рабочего тела — 8 000...10 000 К
4. Запуск ГФЯР	
5. Обеспечение работоспособности элементов конструкции при экстремальных параметрах рабочих процессов	
6. Обеспечение коррозионной стойкости конструкционных материалов	Расплавленный уран при температуре 1500...2300 К, водород высокого давления при температуре до 2800 К, жидкометаллические щелочные металлы образуют крайне агрессивные среды
7. Обеспечение теплозащиты сопла, МГД-генератора	Проблема связана с чрезвычайно высокой температурой рабочего тела
8. Удаление продуктов деления в замкнутых схемах ГФЯР	Потеря критичности реактора при накоплении в нем продуктов деления

Ведущим подразделением в НПО Энергомаш по проблеме ГФЯР и двигательно-энергетических установок на его основе стал отдел под руководством Р.А. Глиника. Мы все, тогдашние участники начала разработок, были молоды и увлеклись заманчивыми революционными перспективами использования ГФЯР в космической технике, несмотря на огромные технические проблемы. Руководителям — Р.А. Глинику и В.М. Иевлеву было по 37 лет, а сами коллективы пополнялись специально подготовленными выпускниками МАИ, ХАИ, МВТУ, МГУ, МИФИ и МФТИ. Для успешного решения стоящих проблем к работам были привлечены многие институты (в первую очередь ракетно-космической и атомной отрас-

были приостановлены, а коллектив специализированного отдела сокращен до 30 человек. В течение восьми лет финансировались лишь "бумажные" работы. За это время оказались утраченными обширные технологические, производственные и экспериментальные заделы.

С 1982 г. производственные работы были возобновлены, около двух лет тот же коллектив конструкторов и расчетчиков восстанавливал технологию и экспериментальную базу. Но все же в конце 1989 г. финансирование, практически, полностью прекратилось. В США также не удалось довести дело до минимальных демонстрационных испытаний.

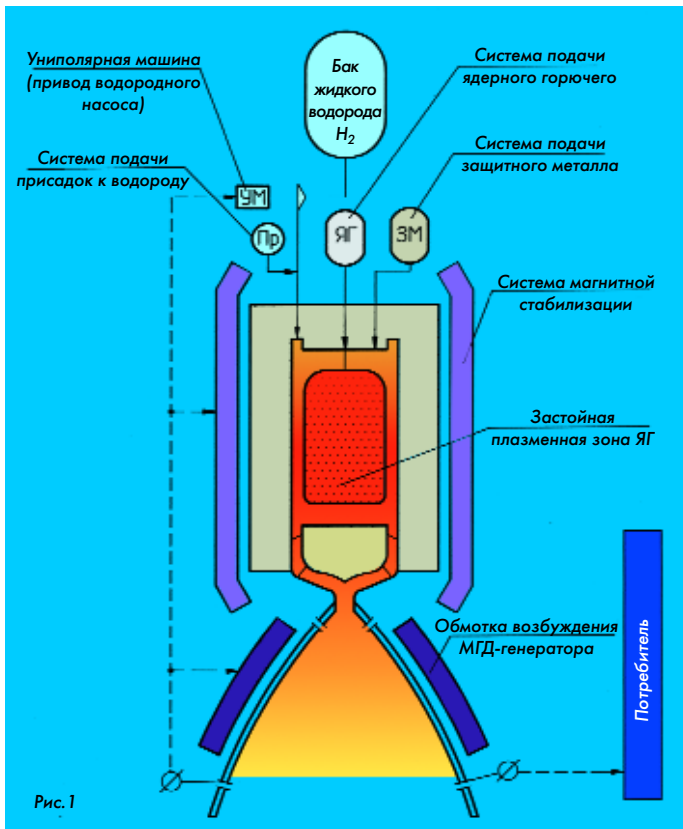


Рис. 1

Предполагалось, что основным элементом конструкции ГФЯР будет одна или несколько рабочих камер, окруженных замедлителем-отражателем нейтронов. Ядерное горючее внутри камер должно удерживаться изолированно от стенок в плазменном состоянии в количестве, необходимом для самоподдерживающейся цепной реакции. В промежутке между зоной делящейся плазмы и стенками организуется поток рабочего тела. Нагрев рабочего тела обеспечивается лучистым теплопереносом, при этом его средняя температура на выходе рабочей камеры достигает значений порядка  $10^4$  К. Поглощение лучистой энергии рабочим телом обеспечивает одновременно и тепловую защиту стенок.

При разработке газофазного реактора основной проблемой было снижение потерь делящегося вещества, которые не должны превышать долей процента от расхода рабочего тела. Приемлемый уровень выноса ядерного горючего из камеры предполагалось обеспечить ламинаризацией потока поступающего рабочего тела, профилированием поля его начальных скоростей, наложением внешнего магнитного поля, специальным подбором состава рабочих компонентов и выбором геометрии полости. Вынос ядерного горючего компенсировался его подачей в рабочую камеру либо в жидкометаллическом виде (1500К), либо в виде пастообразной смеси порошка с NaK эвтектикой (эвтектика — расплав, находящийся в равновесии с твердыми фазами).

Космические энергетические установки проектировались по открытой и замкнутой схемам. Если рабочее тело выбрасывается через реактивное сопло наружу, то установка представляет собой ядерный ракетный двигатель открытой схемы. В качестве рабочего тела используется водород, в который для обеспечения электропроводности и поглощения лучистого теплового потока добавляются присадки в виде паров NaK и Li, а также вольфрамового порошка (при этом одновременно достигается приемлемая температура водорода у стенки камеры). Такой ЯРД имел бы чрезвычайно высокие удельные характеристики (удельный импульс порядка 2000...3000 с). Если установка спроектирована таким образом, что рабочее тело выбрасывается наружу через МГД-генератор с высоким КПД, то имеем ЯКЭУ открытой схемы.

Двигательная энергетическая установка открытой схемы (рис. 1) включает в себя однополостный реактор с кольцевым выходным каналом и газофазным твэлом (ГФТЭ) с застойной плазменной зоной

ядерного горючего. Стабилизация зоны осуществляется с помощью мощного внешнего соленоида. Применение двигателя такой схемы по экологическим соображениям возможно лишь на космических аппаратах, но не на носителях, стартующих с Земли.

Для обеспечения энергией различных потребителей, в том числе соленоида и электропривода насосов, в установке предполагалось использовать комбинацию сопла и МГД-генератора. ЯРД и ЯКЭУ, помимо схемного различия, отличаются степенью использования энергии газового потока в МГД-генераторе: в первом случае преобразуется в электроэнергию не более 2 %, а во втором — 30...40 %.

В установках замкнутой схемы (рис. 2) преобразователем энергии является МГД-генератор, а все рабочие компоненты циркулируют по контуру, не имеющему связи с внешней средой. В этом случае получаем ЯКЭУ, имеющую весьма высокий КПД (30...40 %), низкие значения удельной массы преобразователя и удельного расхода рабочего тела. Присадки, вводимые в рабочее тело, помимо всего прочего, призваны способствовать МГД-взаимодействию. Кроме газофазного реактора и МГД-генератора в конструкции непременно должны присутствовать холодильники, сепараторы и насосы. Рабочим телом является пар NaK в смеси с гелием. Выделяющееся избыточное тепло сбрасывается в космическое пространство с помощью излучателей. Вырабатываемая энергия используется для различных целей, одним из ее потребителей может быть электроракетный двигатель.

Преимуществом использования в замкнутых схемах ГФЯР, в котором вместо твердых твэлов используются газообразные, является принципиальная возможность обеспечения весьма длительной функциональности за счет соответствующей подпитки горючим взамен выводимых из контура во внешнюю среду продуктов ядерных реакций.

Существенное значение имеет и то обстоятельство, что в замкнутых схемах требование к выносу ядерного горючего из реактора вместе с рабочим телом менее строгое, чем в открытых. Это позволяет рассматривать более простую организацию процессов, допускающих большую степень смешения ядерного горючего и рабочего тела. При этом отпадает необходимость в магнитной стабилизации — плазменная зона из застойной превращается в струйную. Использование нескольких таких зон (многополостный реактор) улучшает массогабаритные характеристики ГФЯР.

Известно, что между тепловой мощностью реактора и возможностями обеспечения приемлемого температурного режи-

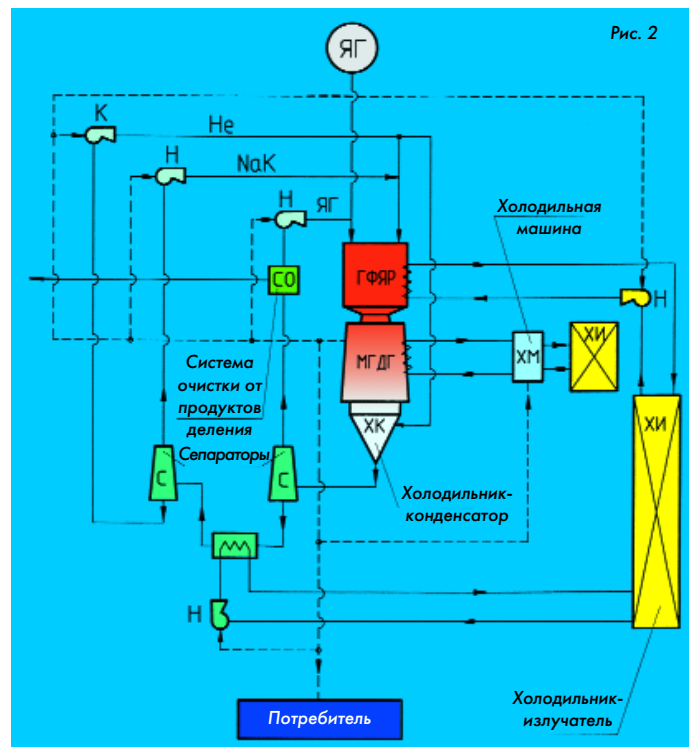


Рис. 2

ма элементов конструкции существует определенная зависимость. Исследованиями было установлено, что оптимальная тепловая мощность ГФЯР открытой схемы должна быть не ниже 2 ГВт, а замкнутой — 300 МВт (при давлении в рабочей камере порядка 1000 кгс/см<sup>2</sup>).

Концептуальная разработка ядерной двигательной-энергетической установки для обеспечения марсианской экспедиции является последней по времени, вобравшей в себя весь предшествующий опыт. Установка основана на комбинированном однополостном газофазно-твердофазном реакторе трансформируемой конструкции массой 57,5 т (рис. 3). Тепловая мощность реактора 2,14 ГВт. Твердофазные тепловыделяющие сборки (ТФТС), размещенные по кольцу вокруг центральной полости реактора и снабженные приводными механизмами, обеспечивают необходимый уровень нейтронного потока и критичность при запуске, когда ядерное горючее в полости газофазного твэла отсутствует. По мере подачи и накопления в центральной полости ядерного горючего, т.е. образования плазменной зоны и формирования газофазного твэла, ТФТС из активной зоны извлекаются, а реактор превращается в ГФЯР.

Благодаря трансформируемой конструкции установка может работать в двух режимах:

- двигательном (газофазном) тягой 17 т при удельном импульсе 2000 с — на разгонных и тормозных участках траектории;

- энергетическом (твердофазном) с электрической мощностью 200 кВт для обеспечения внутренних нужд космического аппарата без расхода рабочего тела — на маршевом участке траектории. Этот режим обеспечивается замкнутым газотурбинным контуром с гелий-ксеноновой смесью в качестве рабочего тела, преобразованием тепловой энергии в электрическую с КПД 20 % и сбросом избыточного тепла через холодильник-излучатель (цикл Брайтона).

На двигательном режиме работы электроснабжение обеспечивается встроенным в сопло многополюсным МГД-генератором мощностью 25 МВт с электродами и шинами возбуждения, ориентированными по образующим сопла.

Минимизацию массогабаритных характеристик ГФЯР обеспечивают:

- применение в качестве ядерного горючего урана-233;
- максимально возможное использование в замедлителе-отражателе реактора металлического, в том числе крупнокристаллического бериллия, а в остальной части — графита;

- максимально возможное использование для высокотемпературных элементов конструкций рабочей камеры тугоплавких металлов улучшенного изотопного состава, а для силовых корпусов реактора — высокопрочных титановых сплавов и упрочняющих углекомполитов;

- применение для сильноточных систем магнитной стабилизации, возбуждения МГД-генератора и электропривода насосов гиперпроводящего алюминия (чистотой 0,9999), допускающего при жидководородном охлаждении плотность тока 50...100 А/мм<sup>2</sup> при удельном сопротивлении в десятки раз ниже, чем у меди.

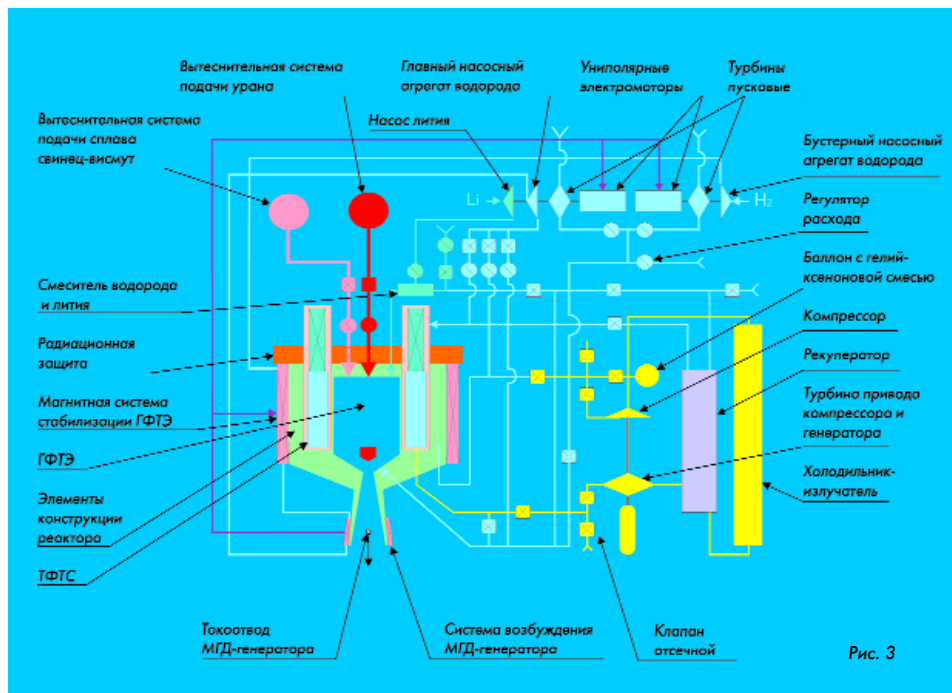


Рис. 3

Понятно, что экстремальные температурные режимы работы многих элементов конструкции ГФЯР и крайне агрессивная среда (расплавленный уран, водород высокого давления, щелочные металлы) потребовали проведения глубоких материаловедческих проработок. В результате для системы подачи ядерного горючего были разработаны и внедрены в экспериментальное производство тугоплавкие сплавы на основе тантала — вольфрама — гафния, а также ниобия. Для некоторых участков стенок рабочей камеры были разработаны пористые тугоплавкие материалы как на основе вольфрама, так и молибдена, а для высокотемпературных фильтроэлементов — никеля и нихрома.

Дальнейший анализ выявил исключительную эффективность применения рассмотренного выше ЯРД для марсианского экспедиционного комплекса.

(Окончание в следующем номере)

## DIGEST

In 1963, "Energomash" Co. (the department headed by Dr. R.A.Glinkin) launched the development of nuclear rocket engines and powerplants on the basis of a gas-core nuclear reactor. "Keldysh Research Center" was a supervisor of studies (namely, V.M. Ievliev, a corresponding member of the USSR Science Academy). The nuclear powerplants were designed in 2 versions: an open type and a closed type.

The open-type powerplant includes a single-chamber reactor with an annular outlet and a gas fuel element with a stagnant plasma zone of nuclear fuel (fuel is kept in the chamber in plasma state, isolated from walls, and in quantity necessary for self-supporting a chain reaction). A powerful outer solenoid provides this zone stabilization. Propulsive mass is hydrogen with additives in the form of NaK and Li vapors as well as W-powder. In view of ecology this engine type can be used only in outer space.

In the closed scheme the propulsive mass components circulate in the closed circuit without any contact with environment and MGD-generator is used as an energy converter. This scheme provides a high enough efficiency (30-40%), a low specific mass of the converter and an acceptable specific propulsive mass consumption.

The conceptual design of a nuclear powerplant for powering a space rocket to Mars was the last development where acquired experience was used. The powerplant is based on the combined gas-solid single-chamber reactor of a transformable structure weighing as much as 57.5 tons. Its heat power is 2.14 GW. Solid fuel elements arranged around the reactor central zone are provided with actuators and support required neutron flow and start up critical conditions when there is no nuclear fuel in the gas fuel element. With starting fuel feeding and fuel accumulation in the central zone of the reactor (i.e. when plasma zone and gas fuel elements are formed), solid fuel elements are removed from the reaction zone and the reactor transforms into a gas reactor.

## GAS-CORE NUCLEAR ENGINES FOR SPACE FLIGHT VEHICLES

# СЕРДЦЕ ИСТРЕБИТЕЛЯ

"... Ибо Англия ждет – продолжать не могу:  
Жуткий смысл вложен в громкую фразу.  
Соберем лучше все, что предьявим врагу  
в поединке немедля и сразу!..."

Льюис Кэрролл. Охота на Снарка

Александр Николаев

(Продолжение, начало в №№ 3 и 4)

## ИЗДЕЛИЯ "МИРОВОЙ МАСТЕРСКОЙ"

Создавая мотор, конструктор всегда вынужденно опирается на тот уровень технологии, который достигнут промышленностью конкретной страны. Эту прописную истину как нельзя лучше иллюстрирует английский двенадцатцилиндровый двигатель "Мерлин". Его опытный образец был разработан фирмой "Роллс-Ройс" в начале тридцатых и непрерывно совершенствовался на протяжении полутора десятков лет. Следует подчеркнуть, что создателям "Мерлина" англичане обязаны, что называется "по гроб жизни". Именно этими двигателями оснащались массовые британские истребители Хоукер "Харрикейн" (в переводе — "Ураган") и Супермарин "Спитфайр" ("Огневержец"), вынесшие на своих крыльях все тяготы "битвы за Англию".

Расправившись с французами и английским экспедиционным корпусом в июне 1940 г., Гитлер замыслил операцию "Морской лев", предусматривавшую форсирование Ла-Манша. Первое время у самого фюрера и германского военного руководства преобладали залихватские настроения. Так, начальник генштаба сухопутных войск генерал Гальдер написал в своем дневнике: "Характер операции — форсирование большой реки". Но адмирал Редер, командовавший "кригсмарине", вскоре сумел убедить зарвавшихся "сухопутчиков" в том, что высадка в Англии не станет легкой прогулкой пока английский флот господствует на море, а британская авиация не разгромлена. Поэтому в качестве подготовительной меры было принято решение провести операцию с целью завоевания господства в воздухе над Великобританией. Геринг не сомневался в том, что решение этой задачи под силу его непобедимым "люфтваффе", ведь всего за 40 дней боев над Францией, с 10 мая по 20 июня 1940 г., англичане лишились 944 боевых самолетов, включая 386 "Харрикейнов" и 67 "Спитфайров".

Для воздушного наступления на Британию немцы выделили 2600 самолетов, в том числе 1200 бомбардировщиков, 280 пикировщиков, 720 одномоторных и 220 двухмоторных истребителей. Англичане смогли противопоставить этой армаде только 660 своих

истребителей, но за пару летних месяцев они успели запустить в серию форсированные модификации двигателей "Мерлин", работавшие на горючем с октановым числом 100. Применение повышенной степени сжатия в сочетании с вводом

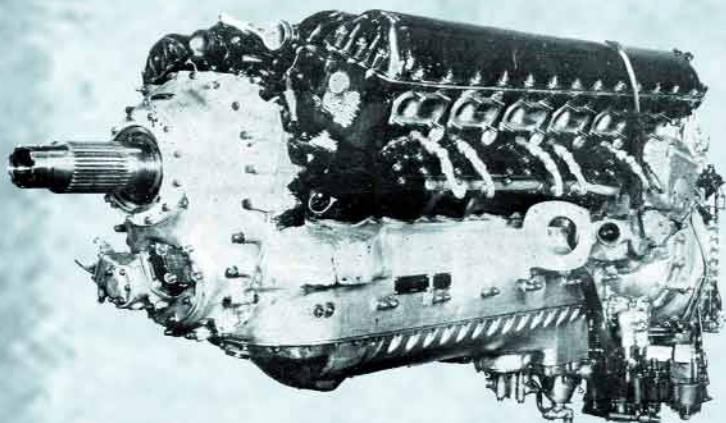
5-минутного форсированного ("боевого") режима существенно повлияло на "резвость" британских машин.

Еще в конце июня 1940 г. с конвейера сошли первые "Спитфайры" Mk II, оснащенные двигателями "Мерлин" XII взлетной мощностью 1175 л.с. Их максимальная скорость на расчетной высоте составляла 582 км/ч, т. е. была приблизительно на 30...35 км/ч больше, чем у основного "оппонента" — Bf 109E-4. Первые "Харрикейны" Mk II, оснащенные двигателями "Мерлин" XX мощностью 1280 л.с. (также работавшие на 100-октановом горючем), поступили в строевые части только в сентябре 1940 г. Их максимальная скорость достигла 540 км/ч на высоте 6200 м. Таким образом, даже модифицированный "Ураган" уступал "мессеру" по скорости во всем диапазоне высот. Однако в ходе дневной фазы "битвы за Британию" на долю менее скоростных "Харрикейнов" пришлось 57 % всех сбитых в воздушных боях неприятельских самолетов. Столь благоприятный расклад объяснялся тем, что в смешанных группах "Харрикейнов" и "Спитфайров" существовала специализация: первые атаковали бомбардировщиков, в то время как вторые связывали боем вражеские истребители.

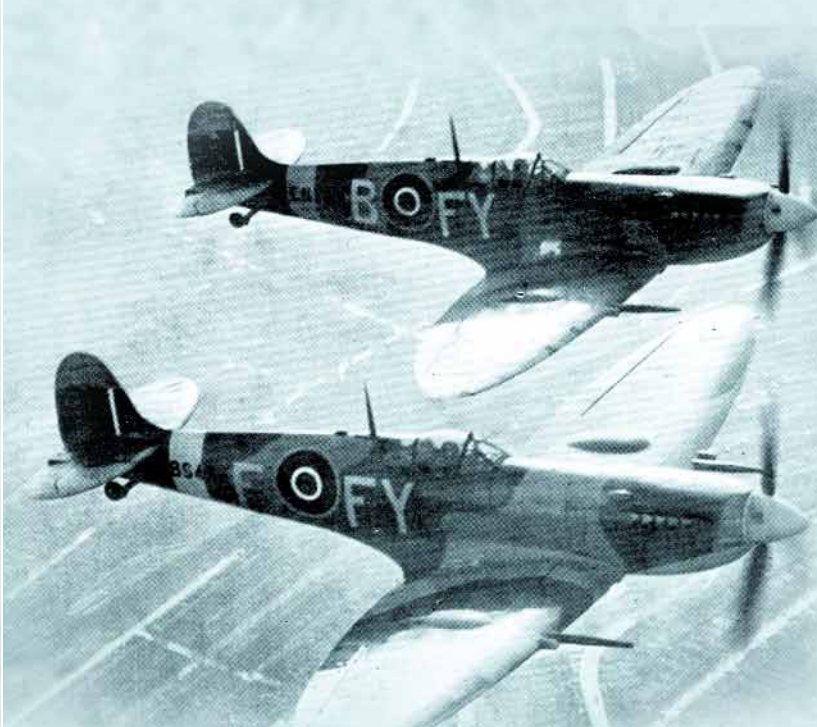
И все же огромное превосходство немцев поставило Истребительное командование Королевских ВВС на грань поражения. Так, премьер-министр Великобритании Черчилль вспоминал: "В боях, происходивших с 24 августа по 6 сентября, дело обернулось плохо для нашей истребительной авиации... За две недели боев она потеряла 103 летчика убитыми и 128 тяжело ранеными, а 466 самолетов "Спитфайр" и "Харрикейн" были уничтожены или серьезно повреждены". Англичан спасло упорство и "стены", которые, как известно, дома помогают: ведь сбитый британский летчик мог приземлиться на парашюте и снова вступить в бой, в то время как покинувшие горящие машины германские экипажи выбывали навсегда, отправляясь "отдыхать" в лагеря военнопленных.

Поздней осенью 1940 г. командование "люфтваффе", оценив потери, осознало гибельность продолжения массированных налетов на Англию. Тогда немцы сделали вид, что им "не больно-то и хотелось" высаживаться на остров. В декабре 1940 г. Гитлер принял решение о переносе военных усилий на Восток, подписав печально известный план "Барбаросса".

Между тем английские моторостроители продолжали "выжимать" из "Мерлинов" все больше "лошадок". Следует отметить, что английский двигатель имел наименьший объем цилиндров (27 л) среди аналогов (немецкий DB 601 — 33,9 л, советский М-105 — 35,1 л, американский V-1710 — 28 л), но по мощности превзошел всех их! В феврале 1941 г. на вооружение Королевских ВВС поступили первые "Спитфайры" Mk V с моторами "Мерлин" 45 максимальной мощностью 1470 л.с. Часть "пятерок" оснащалась 20-мм пушками "Испано", в то время как предшествовавшие варианты "Огневержца" несли только 7,71-мм пулеметы. Максимальная скорость машины выросла до 594 км/ч на высоте 5700 м, так что англичане заранее получили "противоядие" для германского "Фридриха" — Bf 109F. Вплоть до поздней осени борьба в воздухе складывалась для британцев более — менее благоприятно, пока не появился FW 190. Особенно явственно превосходство "фокке-вульфа" проявилось в феврале 1942 г., когда англичане попытались воспрепятствовать прорыву немецких линкоров из французского порта Брест через Ла-Манш. "Фоккеры" просто растерзали несчастные британские торпедоносцы, выходящие в атаку на тяжелые корабли, и никакие усилия "Спитфайров" не смогли этому помешать.



Роллс-Ройс "Мерлин" 61



"Спитфайры" над Англией

Впрочем, новый виток борьбы за превосходство в воздухе не застал англичан врасплох, просто они чуть-чуть запоздали. Первые истребители "Спитфайр" Mk IX, оснащенные моторами "Мерлин" 61 мощностью 1565 л.с., поступили на вооружение только в июле 1942 г. Машина имела два варианта вооружения: четыре пушки калибра 20 мм, либо две такие пушки и четыре 12,7-мм пулемета. Позднее часть "девяток" получила двигатели "Мерлин" 63 максимальной мощностью 1630 л.с. Их максимальная скорость на высоте 7500 м достигла 656 км/ч, а у земли они были способны разогнаться до 530 км/ч.

Кроме того, англичане приготовили немцам еще один сюрприз — истребитель Хоукер "Тайфун" Mk IV с двигателем Нэпир "Сейбр". Необычный 24-цилиндровый мотор H-образной схемы доставил разработчикам немало неприятностей на этапе доводки, поэтому в бой истребитель бросили только спустя год после принятия на вооружение. В августе 1942 г. "Тайфун" пустил первую кровь немцам, сбив Do 217, а в октябре он впервые померился силами с FW 190. Двигатель "Сейбр" I максимальной мощностью 2260 л.с. (на 5-минутном "боевом" режиме) обеспечил британскому истребителю максимальную скорость 665 км/ч, по этому показателю немец значительно уступал "Тайфуну". Однако восходящий маневр у английской новинки оказался никуда не годным из-за очень большой полетной массы машины, превысившей 5,5 т. Разочарованные британцы вынуждены были изменить ей "специальность", сделав акцент на ударах по наземным целям. В истребительно-бомбардировочном варианте "Тайфун" оказался грозным противником немцев, ведь помимо четырех 20-мм пушек он был способен нести пару бомб массой по 227 кг каждая или восемь 127-мм реактивных снарядов. А ведение борьбы с "мессерами" и "фокке-вульфами" по-прежнему возлагалось на "Спитфайров".

### АЛЛИСОН V-1710, КАК ОБЪЕКТИВНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Отгороженные Атлантикой, Соединенные Штаты сонно взирали на разгорающуюся в Европе войну. Убежденные в отсутствии угрозы на своем континенте, исповедовавшие идеи изоляционизма, североамериканцы довольно скупно тратились на ВВС, отдавая приоритет развитию военного флота. Однако активность оси "Рим — Берлин — Токио" заставила янки проснуться. В 1939 г. Воздушный корпус армии США сформулировал требования к двум типам истребителя-перехватчика: одномоторному и двухмоторному. Особенности американских машин являлась большая дальность полета, необходимая для беспосадочной переброски с западного побережья на восточное (или обратно), а также мощное вооружение, включавшее пушку и четыре пулемета. Что касается двигателей, то выбор у авиаконструкторов практически отсутствовал: в США серийно выпускался только один мощный двигатель жидкостного ох-

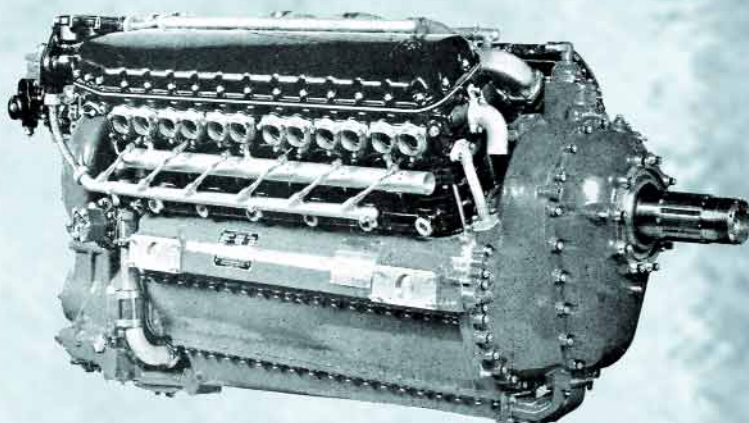
лаждения V-1710, созданный фирмой "Аллисон". Высокими абсолютными и удельными характеристиками он не обладал, но зато отличался надежностью.

Американцы имели еще один неоспоримый козырь: США в то время являлись единственной страной в мире, изготавливавшей турбокомпрессоры крупными сериями. Это обеспечивалось наличием в стране производства жаропрочных сталей и высокооборотных подшипников. Сохраняя постоянным давление наддува до высоты 7000...9000 м, турбокомпрессор позволял двигателям боевых самолетов "не задыхаться" там, где мотор с приводным центробежным нагнетателем сдавал позиции. Поэтому американский истребитель Локхид P-38 "Лайтнинг" ("Молния"), оснащенный двумя двигателями V-1710-27(29) вполне заурядной мощности 1150 л.с., развивал на высоте 7200 м максимальную скорость 628 км/ч, в то время как германский двухмоторный истребитель Bf 110C с моторами DB 601N (взлетной мощностью 1215 л.с.) на этой высоте едва разогнался до 470 км/ч.

Вторым истребителем-перехватчиком, созданным по заказу военного ведомства США, стала широко известная "Аэрокобра" фирмы "Белл". У этой машины, в отличие от традиционных одномоторных истребителей двигатель (все тот же Аллисон V-1710-35) размещался позади кабины пилота, вблизи центра тяжести. P-39 "Аэрокобра" оказалась весьма маневренной, ведь ее момент инерции относительно боковой оси был заметно меньшим по сравнению с истребителями традиционной схемы, зато появилась проблема передачи мощности на винт посредством вала длиной около 3 м. Решили ее оригинально: в качестве вала использовали... заготовку ствола артиллерийского орудия. Достоинствами истребителя являлись трехопорное шасси с носовой стойкой, улучшившее взлетно-посадочные свойства, и мощное вооружение, включавшее 37-мм пушку. Двигатель опытной машины оснащался турбокомпрессором, поэтому на большой высоте она смогла развить скорость 628 км/ч. Однако в процессе дальнейшей доводки из-за дефицита турбокомпрессоров от их применения пришлось отказаться, что существенно ухудшило летные данные "Кобры". Максимальная скорость ее серийного варианта P-39D на высоте 4200 м не превышала 585 км/ч.

Как "Лайтнинг", так и "Аэрокобра" поставлялись в Англию по ленд-лизу. Надо сказать, что ни та, ни другая машина хвалебных отзывов от британских летчиков не получили, особенно на этапе внедрения. Шеститонный "Лайтнинг" оказался тяжеловат для ведения воздушного боя с юркими "мессершмиттами", а "Кобра" уступала немецким истребителям по скорости и скороподъемности во всем диапазоне высот. Но "экологические ниши" для американских "ястребков" все же нашлись: первый благодаря огромной дальности полета оказался незаменим на тихоокеанском театре войны, а второй стал самым массовым импортным истребителем в советских ВВС.

Помимо "Лайтнинга" и "Кобры" американская авиапромышленность в годы войны наладила выпуск еще нескольких типов истребителей для ВВС. Создание самолета Кертис P-40



Аллисон V-1710-F3R

подстегивалось заинтересованностью со стороны французской военной миссии. Дело в том, что еще в 1939 г. французы закупили в США его предшественника — истребитель P-36, с которым P-40 имел много общих черт. Заказчики довольно высоко оценили "Хоука-75" (так во Франции окрестили P-36), однако мощность его звездообразного двигателя Пратт-Уитни "Твин Уосп" R-1830 была недостаточна для истребителя с огромным "лбом": по скорости и разгонным характеристикам он заметно уступал "мессеру".

Появление двигателя Аллисон V-1710-C15 мощностью 1090 л.с. на пятиминутном "военном" режиме позволило радикально уменьшить поперечное сечение фюзеляжа, что в сочетании с другими аэродинамическими улучшениями способствовало повышению максимальной скорости машины до 574 км/ч на высоте 4500 м. В марте 1940 г. началось серийное производство первой серийной модификации P-40. Разумеется, к началу активных боев во Франции истребитель запоздал. Поставленный по ленд-лизу в Англию, самолет получил наименование "Томахоук" (или "Томагавк", если использовать транскрипцию, принятую в книжках про индейцев). Машина получилась тяжеловатой (максимальная полетная масса 3464 кг), из-за чего она имела неудовлетворительную скороподъемность. В общем, это был американский аналог "Харрикейна", надежность и доведенность конструкции которого долгое время сдерживали у британского военного руководства соблазн снять его с производства. Обе машины производились вплоть до 1944 г. в огромных количествах, хотя и подвергались серьезной критике со стороны пилотов.

Истребитель Норт Америкэн P-51 обязан своим появлением британской комиссии по закупкам, размещавшей в США заказы на военную технику. Англичане обратились с просьбой к руководству "Норт Америкэн" начать массовое производство P-40 на своих предприятиях, но в ответ глава фирмы Д. Киндльбергер предложил разработать другой, более совершенный вариант истребителя. Спроектированный в очень короткие сроки, опытный самолет совершил первый полет 26 октября 1940 г., менее чем через полгода после заключения контракта. Истребитель оснащался все тем же Аллисоном V-1710-F3R мощностью 1150 л.с.; на испытаниях он развил максимальную скорость 614 км/ч на расчетной высоте 4000 м. Следует подчеркнуть, что выше границы высотности мощность американского двигателя (он оснащался односкоростным ПЦН) быстро уменьшалась, поэтому англичане сочли "Мустанг" Mk I (такое наименование было присвоено самолету в Великобритании, а впоследствии оно прижилось и в США) пригодным скорее для роли истребителя-бомбардировщика и разведчика.

В американских ВВС "Мустанг" вначале получил весьма ограниченное применение; здесь его решили переделать в пикирующий бомбардировщик A-36. Оборудованный тормозными щитками, са-



Локхид P-38 "Лайтнинг"

молет был принят на вооружение и применялся на европейском театре войны. Так бы и остаться ему "крепким середнячком", но летчик-испытатель фирмы "Роллс-Ройс" Р. Харкер, полетав немного на одном из первых "Мустангов" Mk I, выдвинул мысль о целесообразности "скрещивания" его с "Мерлином". Конструкторы "Роллс-Ройс" быстро прикинули характеристики машины, и оказалось, что ее скорость на второй границе высотности превысит 700 км/ч! Для середины лета 1942 г. это был фантастический результат. В октябре 1942 г. он материализовался в виде опытной машины, переоборудованной силами "Роллс-Ройс" из серийного "Мустанга" Mk I. Максимальная скорость получилась равной 697 км/ч на высоте 6700 м, но и этот результат произвел должное впечатление на военных как в Англии, так и в США.

К этому времени на канадских и американских предприятиях компании "Паккард" было уже развернуто производство лицензионных "Мерлинов", получивших "заокеанское" обозначение V-1650. Эти двигатели первоначально предназначались для "Харрикейнов", "Москито" и "Ланкастеров", производившихся в Канаде. Конструкторы "Норт Америкэн" разработали собственный вариант установки Паккарда V-1650-3 мощностью 1450 л.с. на P-51, и он оказался еще более удачным, чем импровизация "Роллс-Ройс". На высоте 8700 м истребитель продемонстрировал потрясающую воображение скорость 729 км/ч, т.е. был приблизительно на 80...100 км/ч быстрее современных ему германских оппонентов! С мая 1943 г. P-51B (в Англии его называли "Мустанг" Mk III) был запущен в серию. Так союзники получили в свое распоряжение машину, превосходившую по комплексу летных качеств все немецкие истребители, оснащенные поршневыми двигателями.

(Продолжение в следующем номере)

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ АНГЛИЙСКИХ И АМЕРИКАНСКИХ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Тип мотора	Число цилиндров	Объем цилиндров, л	Мощность, л.с.				Масса, кг	Литровая мощность, л.с./л	Удельная масса, кг/л.с.	Удельный расход, г/л.с.ч
			номинальная		боевая					
			на 1-й ск. ПЦН	на 2-й ск. ПЦН	на 1-й ск. ПЦН	на 2-й ск. ПЦН				
Мерлин XX	12 V	27	1235/3050 м	1180/5560 м	—	—	650	43,7	0,55	290
Мерлин 45	12 V	27	1200/4890 м	—	1525/3200 м	—	645	56,5	0,423	...
Мерлин 61	12 V	27	1400/3650 м	1250/7350 м	1560/3650 м	1370/7350 м	725	57,7	0,465	280...325
Сейбр IA	24 H	36,65	1945/800 м	1725/4800 м	2130/800 м	—	1070	58	0,5	...
V-1710-35	12 V	28	1000/3300 м	—	1150/3670 м	—	645	35,7	0,6	285...315
V-1710-89	12 V	28	1100/8250 м	—	1425/8250 м	—	610	50,9	0,428	285...310

#### DIGEST

#### THE HEART OF A FIGHTER

In Battle of Britain the British fighters "Spitfire" and "Hurricane" powered by Rolls-Royce "Merlin" engine defeated "Luftwaffe" fleet and upset the Fascist Germany plans to conquer the UK. Absolute and specific parameters of "Merlin" engine left far behind the US engine competitor - Allison V-1710 powering almost all the USAF series fighters. Therefore, the land-lease delivered US fighters were not well-greeted by British pilots. Later on, when the British engine was mated with the US airframe, the alliance got the brilliant "Mustang" fighter with better flight performances than German competitors.



# Реактивщик

Анатолий Маркуша  
рисунок Владимира Романова



Пока я летал на разных модификациях "Лавочкина", еще до Школы летчиков-испытателей, не сомневался ни на йоту — лучше, душевнее, так сказать, машины не бывает. Конечно, Як-3 на пилотаже ни с каким другим аппаратом не спутаешь, но все равно "Лавочкин" — это "Лавочкин", даже невзирая на такую историю:

...Пилотировал над Кубинкой, внезапно на боевом развороте что-то адски грохнуло в моторе, и из под капота, прямо на козырек рвануло рыжее пламя. Естественно, я испугался, но тем не менее пожарный кран перекрыл, зажигание выключил, скорость не потерял и успел подумать: допустим, выпрыгну с парашютом, формально никто меня осудить не посмеет. С пожаром в воздухе какие могут быть шутки? Но ведь на земле замучают — бумаги писать заставят, оправдываться, станут придумывать, что все-таки мог сотворить летчик, отчего воспламенился вдруг такой замечательный мотор АШ-82ФН?..

Пока эти мысли шуршали в мозгах, руки делали свое дело: крен, скольжение, разворот на летное поле — дотяну или не дотяну? Кажется, дотяну... И вроде пламя стало поменьше... Скорость? Та-а-ак, скоростенку можно немного убавить. Щитки не спешу выпускать... и шасси тоже...

Я очень старался, я разговаривал с мотором, я его упрасивал погаснуть, мне нужно было доставить на землю ясную картину происшествия, которая станет одновременно и моим полным оправданием.

Скорее всего, мне крупно повезло в тот день. Хоть и не на полосу, а на грунт, ближе к самолетным стоянкам, но все-таки я приземлился на собственные (то есть самолетные) ноги, да еще так удачно закончил пробег — у самой лужи, что успел выпрыгнуть из кабины и, черпая шлемофоном природную грязь, закидать уже не горевший, но все еще опасно тлевший мотор. И я радовался: головка первого цилиндра была сорвана начисто! Уж тут меня никак и никто не сумеет обвинить, и простят, что не покинул кабину, нарушил команду земли.

Как однако давно это было! И не могло придти в голову тогда, что скоро придут новые машины и одна любовь уйдет в воспоминание, а другая только-только зародится и определит наше будущее.

Сегодня понятие "реактивщик" как-то очень незаметно, бочком-бочком ушло из нашего языка, а в первые послевоенные годы оно еще ого как звучало! Я — реактивщик, то есть не просто, не вообще летчик, а тот, кто летает на реактивном самолете. В те времена на реактивщиков смотре-

ли примерно так, как на первых, чуть позже появившихся космонавтов. Лично мое крещение в реактивщики — событие полувековой давности — состоялось благодаря самолету МиГ-9, оснащенный поперечноначалу двумя трофейными немецким реактивными двигателями.

Утро. Пока еще серенькое и зябкое. На фоне ангара — машина. Она стоит на трех ногах... На "Аэрокобрах" мне летать не пришлось, поэтому "МиГовское" шасси в диковинку... А еще чудно — нос с дыркой, извините, с отверстием вместо винта. Теоретически все понятно и убедительно — сколько-то воздуха входит в двигатель, а извергается из раскаленных его сопел во много раз больше газа, так что полное соответствие с законом Ньютона... Но это в теории, а как оно будет на практике?

В первый полет на МиГ-9 меня выпускал — вечная ему память — Михаил Михайлович Котельников. Невозмутимый, приветливый, над душой не стоял, лишними словами не пылил, поинтересовался только:

— Готов?

— Готов..., — а что еще я мог сказать?

— Давай. Механик поможет запуститься... не торопись. — И показал рукой: — Вперед!

Вот уже и двигатели запели, плавно набирая обороты. Запомнилось — а голос-то у РД совсем другой, ни с каким поршневым мотором в сравнение не идет — гуще голос и... ласковой.

Вырулил на взлетную полосу. К слову сказать, не без труда: реактивные движки требовали исключительно плавного управления, да и тормоза на МиГ-9 хватали, что называется насмерть. Подумалось: как странно, самолет-то истребитель, а обращения требует самого нежного...

Разбег понравился. Машина бежит как по струнке, ни вправо ее, ни влево не тянет; нос поднимает деликатно, почти что сама, стоило мысленно сказать себе: пора! Оторвались мы от бетона почти неслышно. И тут началось!

Всю жизнь я опасался потерять скорость в полете. С аэроклубовских времен усвоил — потеряешь скорость, упадешь! Нет скорости — нет полета. А тут скорость нарастала помимо моей воли. Да так, что я вынужден был бороться с ней. Кошмар! Пока прилажился и отрегулировал заданную скорость полета, перебрал высоту вдвое — вместо принятых четырехсот метров на кругу вылез на восемьсот. Реактивные движки меня уволокли, да так лихо, я и удивиться как следует не успел...

Момент истины пришел ко мне несколько позже — в пилотажной зоне. Стоило выполнить серию виражей, опрокинуться переворотом, завязать петлю и следом — иммельман, как я понял — те реактивщики, что приобщились к новой технике прежде нас, просто набивали себе цену, наговаривая на самолет и особенно на движки, дескать, и строгие они, и перегрузкой на пилотаже машина душит, и чуть моргнешь, в землю тянет, и силища, мол, пилоту требуется лошадиная, а то не справиться и не спастись.

Не знаю, в какой степени рассказанное относится к реактивным двигателям. Но что сама по себе любая силовая установка вне ее связи с человеком? Более или менее удачное сочетание взаимодействующих металлических элементов. Проще — железо...

Двигатель надо любить, его надо лелеять, надо уметь слышать, и тогда, как говорит моя современная внучка, все будет "естественно о'кей".





**\$40**

**50 часов доступа  
в любое время суток  
за 40 долларов.**

**Неизрасходованные  
часы переходят  
на следующий месяц.**

**РЕГИСТРАЦИЯ \$0**

**Ночной доступ  
с 2.00 до 9.00**

**\$25**

**с 9.00 до 2.00 \$1 за 1 час  
с 2.00 до 9.00 \$ 0.5 за 1 час**

**Ежемесячная абонентская плата  
\$10 в месяц плюс 7 часов бесплатно.**

**Бизнес-сервер  
25МВ, 3Emails, PHP3,  
CGI, FTP.  
Регистрация \$10  
В месяц \$30**

- Марксистская 34, корпус 8,
- тел.: 792-5-792
- внут. тел.: 55-05
- email: info@ilm.net
- http://www.ilm.net
- Все расценки указаны в долларах США с учетом НДС

# 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 30101810000000000731 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)

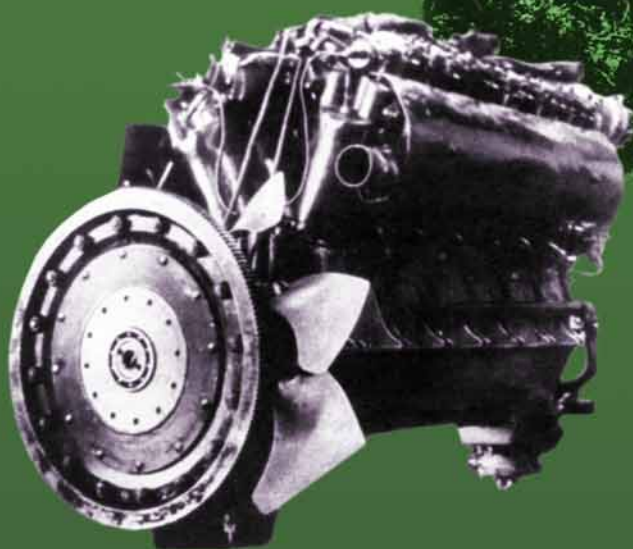
Фамилия И.О. \_\_\_\_\_  
Организация \_\_\_\_\_  
Почтовый адрес: \_\_\_\_\_  
Телефон, факс: \_\_\_\_\_

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

Двигатель

30-е годы

БТ-2



БТ-5

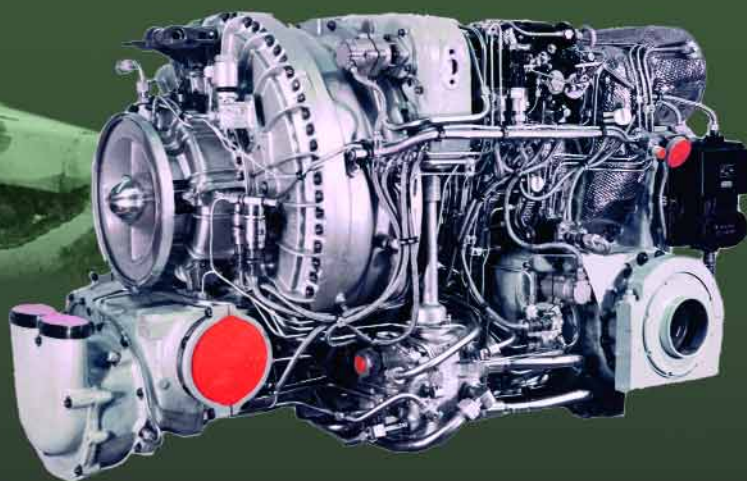
М-5

С нашими двигателями  
летают даже танки

Т-80УЕ

ГТД-1250

Т-80У



90-е годы



ЗАВОД ИМЕНИ В. Я. КЛИМОВА

Россия, 194100,  
Санкт-Петербург,  
Кантемировская ул., д. 11.  
Тел.: (812) 245-4310,  
факс: (812) 245-4329.