

ОДИННАДЦАТЫЙ ГОДЪ ИЗДАНИЯ



1917

Двигатель

Научно-технический журнал № 5 (113 + 244) 2017



**Первые моторы России
за последние
110 лет стр. 42**



**Танки на гражданской
службе стр. 55**

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕДАКТРИСТВО
ИЖИЛМАШ М. МУРНЕЦОВА,
Иркутск, Иркутск, 05.

ОТКРЫТА ПОДПИСКА

на двенадцатый, пятнадцатый, восемнадцатый номера

«ДВИГАТЕЛЬ»



Fieri faciendo opere (Дело делается делаящими дело)

АВИАТАЛ
ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОЕ

2007 2005 2004



Научно-техническое издание по освещению проблем в промышленности

2016



Почетная медаль к 100-летию Г.М. Бериева

2010



Медаль АМКОС "Преодоление"



Редакционный совет

Агульник А.Б., д.т.н., заведующий кафедрой "Теория воздушно-реактивных двигателей" МАИ
Бабкин В.И., к.т.н., первый зам. ген. директора ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"
Багдасарьян Н.Г., д.филос.н., профессор МГУ им. М.В. Ломоносова, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Богуслаев В.А., д.т.н., Президент АО "МОТОР СИЧ"
Воронков Ю.С., к.т.н., зав. кафедрой История науки РГГУ
Гейкин В.А., д.т.н., заместитель генерального директора - руководитель приоритетного технологического направления "Технологии двигателестроения" АО "ОДК", директор филиала НИИД АО "НПЦ газотурбостроения "Салют"
Григорян Г.Г., д.т.н., вице-президент Общества "Знание" России
Дическул М.Д., зам. управляющего директора ОАО "ОДК"
Дмитриев В.Г., член-корр. РАН, главный научный сотрудник ГНЦ "ЦАГИ"
Зрелов В.А., д.т.н., профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей ЛА СГАУ им. С.П. Королёва
Иноземцев А.А., д.т.н., ген. конструктор ОАО "Авиадвигатель"
Каторгин Б.И., академик РАН
Кравченко И.Ф., д.т.н., ген. конструктор ГП "ИВЧЕНКО-ПРОГРЕСС"
Кутенев В.Ф., д.т.н., зам. ген. директора ГНЦ "НАМИ" по научной работе
Кухаренок Г.М., к.т.н., зав. каф. ДВС Белорусского национального ТУ
Лобач Н.И., ген. директор ПО "Минский моторный завод"
Ланшин А.И., д.т.н., научный руководитель - заместитель Генерального директора ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"
Марчуков Е.Ю., д.т.н., генеральный конструктор - директор ОКБ им. А. Люлька
Пустовгаров Ю.Л., президент Торгово-промышленной палаты Республики Башкортостан
Равикович Ю.А., д.т.н., проректор по научной работе МАИ
Рачук В.С., д.т.н., председатель НТС АО "НПО Энергомаш"
Ружьев В.Ю., первый зам. ген. директора Российского Речного Регистра
Рыжов В.А., д.т.н., главный конструктор ОАО "Коломенский завод"
Ситнов А.П., президент, председатель совета директоров ЗАО "Двигатели "ВК-МС"
Смирнов И.А., к.т.н., ген. конструктор КБХМ - филиала ФГУП "ГКНПЦ им. М.В. Хруничева"
Соколов В.П., д.т.н., Директор Российского учебно-научно-инновационного комплекса авиакосмической промышленности
Троицкий Н.И., к.т.н., доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана
Фаворский О.Н., академик РАН, член президиума РАН
Чуйко В.М., д.т.н., президент Ассоциации "Союз авиационного двигателестроения"

1907 2017
ДВИГАТЕЛЬ®
ЕЖЕНЕДЕЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

К 110-ЛЕТИЮ ЖУРНАЛА "ДВИГАТЕЛЬ"

Business is doing business

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор

Александр Иванович Бажанов
академик Международной инженерной академии

Заместитель главного редактора

Дмитрий Александрович Боев

Ответственный секретарь

Александр Николаевич Медведь, к.т.н.

Финансовый директор

Юлия Валерьевна Дамбис

Редакторы:

Александр Григорьевич Лиознов,

Ирина Михайловна Иванова,

Андрей Иванович Касьян, к.т.н.

Юрий Романович Сергей, к.т.н.

Литературный редактор

Эрнст Галсанович Намсараев

Художественные редакторы:

Александр Николаевич Медведь

Владимир Николаевич Романов

Техническая поддержка

Ольга Владимировна Лысенкова, к.пед.н.

В номере использованы фотографии, эскизы и рисунки:

А.И. Бажанова, Д.А. Боева, А.В. Ефимова,

А.Н. Медведя, В.Н. Романова и др.

Адрес редакции

журнала "Двигатель":

111116, Россия, Москва,

ул. Авиамоторная, 2.

Тел./Факс: (499) 158-4609.

dvigatell@yandex.ru

boeff@yandex.ru

aib50@yandex.ru

www.dvigately.ru

Электронная версия журнала (2006-2017 гг.) размещается также на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru и включена в индекс РИНЦ

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

ООО "Редакция журнала "Двигатели" ©

генеральный директор Д.А. Боев

зам. ген. директора А.И. Бажанов

Ответственность за достоверность информации и наличие в материалах фактов, не подлежащих разглашению в открытой печати, лежит на авторах публикаций.

Мнение редакции не всегда

совпадает с мнением авторов.

Перепечатка опубликованных материалов без письменного согласия редакции не допускается. Ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

Журнал "Двигатель", рекомендован экспертными советами ВАК по техническим наукам, механике, машиностроению и машиноведению, энергетическому, металлургическому, транспортному, химическому, транспортному, горному и строительному машиностроению, авиационной и ракетно-космической технике в числе журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Индекс 1629 в общероссийском Перечне 2015 г.

Научно-технический журнал "Двигатель" ©

зарегистрирован в ГК РФ по печати.

Рег. № 018414 от 11.01.1999 г.

19-й (110-й) год издания.

Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати" Москва.

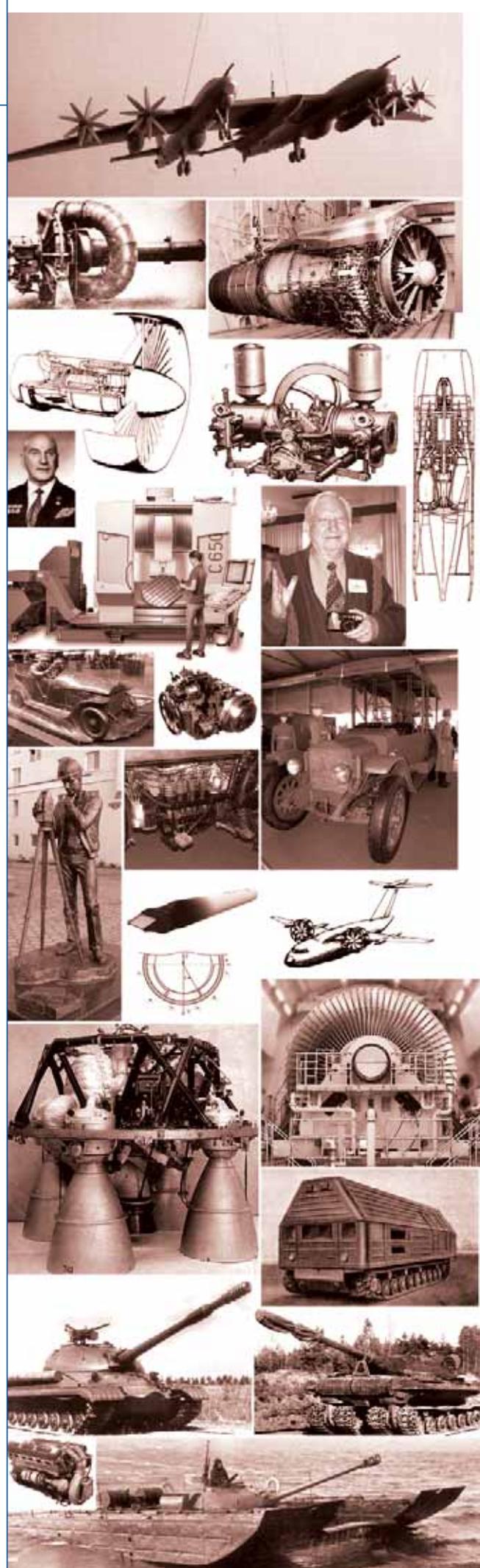
Тираж 3 000 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

- 2 Гидродинамика подшипников скольжения с сегментными вкладышами и критические частоты вращения**
Е.Ю. Марчуков, Ю.Б. Назаренко
- 5 Новые разработки компании Hermle на выставке ЕМО**
- 6 Новый курс истории и конструкции авиационных двигателей профессора В.А. Зрелова**
Д.А. Боев
- 12 Отечества надежда - крыло и мотор. Диверсификация**
В.А. Герасимов
- 14 Талантливый инженер, известный учёный (к 90-летию со дня рождения С.А. Сиротина)**
А.Л. Абасов
- 16 Лев Абрамович Клячко: к 100-летию со дня рождения**
В.М. Захаров
- 17 Учёный, Ученик, Учитель (памяти В.А. Белокопя)**
- 17 Памяти старшего товарища - Л.П. Берне**
- 18 Управление талантами в научно-производственном предприятии**
Н.А. Егоренкова, В.А. Сметанин
- 20 Мотивационный профиль современного работника в условиях изменяющихся социально-трудовых отношений**
С.Ю. Иванов, А.С. Иванов, Д.В. Иванова
- 24 Аналитическое решение дифференциального уравнения первого закона термодинамики**
Н.Д. Захаров
- 27 50 лет первым в СССР испытаниям авиадвигателя на водороде**
В.И. Гуров
- 28 Турбулентность. Реновация второго начала и новый идеальный цикл**
Ю.М. Кочетков
- 32 Тридцать три года в ракетной технике: успехи, разногласия, конфликты. Стендовая отработка двигателя 8Д716**
В.Ф. Рахманин
- 42 "Олдтаймер-галерея" 2017 год**
А.И. Бажанов
- 46 Славные имена инженерии Отечества. Борис Григорьевич Луцкой**
Д.А. Боев
- 49 К 110-летию выхода первого номера журнала "Двигатель"**
А.И. Бажанов, Д.А. Боев
- 50 Танки от и до**
О.Н. Брилёв
- 55 Танки на службе "у гражданки"**
А.И. Бажанов



ГИДРОДИНАМИКА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ С СЕГМЕНТНЫМИ ВКЛАДЫШАМИ И КРИТИЧЕСКИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ

ОКБ им. А. Люльки - филиал ПАО "ОДК-УМПО":
Евгений Ювенальевич Марчуков, д.т.н., Генеральный конструктор
Юрий Борисович Назаренко, к.т.н., ведущий конструктор

Рассматривается жидкостное трение в подшипниках скольжения на основе гидродинамической теории смазки. Определяя гидродинамические силы в клиновом зазоре подшипника скольжения, устанавливается условие возникновения резонанса в масляном потоке и критические частоты вращения роторов.

Considered fluid friction in sliding bearings on the basis of hydrodynamic theory of lubrication. On the basis of the definition of the hydrodynamic forces in the oil wedge of the sliding bearing, the established resonance in the flow and the critical rotational of the rotors.

Ключевые слова: подшипник, гидродинамические силы, масляный клин, критическая частота вращения ротора.
Keywords: between the two shafts, hydrodynamic forces, oil wedge, critical revolution frequency of the rotor.

Введение

Конструкции подшипников скольжения весьма разнообразны. Наиболее перспективными являются подшипники с вкладышами сегментного типа, которые имеют ряд преимуществ перед подшипниками с "гладкими" вкладышами, главными из которых являются пониженный расход масла и даже возможность работы с недостаточной подачей масла, а также повышенная несущая способность.

Для реализации жидкостного трения на вкладышах выполняют масляные каналы, а конструкции стационарного сегментного типа изготавливают с качающимися или регулируемые с поджатием сегментов. При изготовлении вкладышей с расточкой рабочей поверхности, контактирующей с масляным потоком в радиус вала, гидродинамические силы будут определяться как для подшипников скольжения с гладкими вкладышами [3].

Однако при этом необходима подача масла, обеспечивающая практически полное заполнение зазора маслом или, по крайней мере, полноценную работу сектора клинового зазора половины подшипника. В этом случае расход масла будет определяться его утечками через боковые зазоры подшипника.

При уменьшенном расходе масла и обеспечения минимального количества сегментов, создающих гидродинамические силы и поддерживающих ротор на опоре, изготавливают скосы на рабочих поверхностях вкладышей.

При наличии скоса сегмента вкладыша толщину зазора наиболее нагруженного сегмента, расположенного по направлению действия радиальной силы ротора, который будет иметь минимальный клиновой зазор (рис. 1), представим в виде:



Рис. 1 Клиновой зазор сегментов вкладышей

$$\zeta = h_{\min} + \rho \cdot z \cdot \alpha / 2\pi, \quad (1)$$

где ρ - перепад радиусов вкладыша сегмента на входе и выходе; h_{\min} - минимальный зазор на рабочих режимах; z - количество сегментов вкладыша.

Для предотвращения противодействия гидравлического давления противоположных сегментов вкладышей, которые уменьшают гидродинамическую поддерживающую силу, действующую на ротор, устанавливается минимальный коаксиальный зазор между сегментами вкладыша и цапфой Δ в свободном состоянии.

На соседних секторах зазор увеличивается по мере увеличения угловой координаты

$$\Delta h = \Delta \cdot \alpha / (\pi/2).$$

1 Гидродинамика вязкой жидкости при ламинарном течении масла между двух пластин

Исследование режима жидкостного трения в подшипниках основано на гидродинамической теории смазки. Эта теория базируется на решениях дифференциальных уравнений гидродинамики вязкой жидкости, которые связывают давление, скорость и сопротивление вязкому сдвигу [1, 3].

При движении жидкости между двух пластин, одна из которых нагружена силой F , при определенном наклоне пластины и скорости потока V возникает давление со стороны потока, которое компенсирует вертикальную силу (рис. 2).

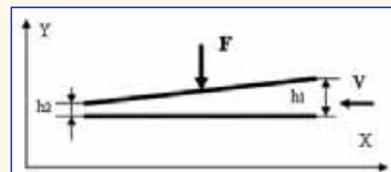


Рис. 2 Течение жидкости между двух пластин

При ширине пластины гораздо больше ее длины сложную пространственную задачу можно свести к плоской в координатах x - y .

Основным уравнением, определяющим движение потока жидкости в сужающемся канале, является закон Ньютона

$$\tau = \mu \cdot dV/dy, \quad (2)$$

где τ - напряжения сдвига от внутреннего трения при сдвиге слоев жидкости; μ - динамическая вязкость жидкости; V - скорость течения.

Продифференцируем обе части уравнения (2)

$$\frac{d\tau}{dy} = \mu \frac{d^2V}{dy^2}. \quad (3)$$

Так как на одной границе поверхности пластины скорость равна нулю, то различные слои потока имеют разную скорость и между ними имеется градиент по оси "y", а за счет сужения канала имеется градиент давления по оси "x".

Рассматривая равновесие элементарного объема в виде

$$dp \cdot dy = -d\tau \cdot dx$$

и подставляя $d\tau/dy = -dp/dx$ в (3), будем иметь основное уравнение гидродинамики для установившегося двумерного течения жидкости

$$\frac{d^2V}{dy^2} = G/\mu, \quad (4)$$

где G - градиент избыточного давления в зазоре, $G = -dp/dx$.

Интегрируя дважды, получаем

$$V = Gy^2/2\mu + C_1y + C_2. \quad (5)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 найдем из граничных условий при задании скоростей на границах пластин. Верхняя пластина набегаем на жидкость со скоростью V и прогоняет ее через сужающийся зазор.

Окончательно получаем

$$V = -\frac{Gy}{2\mu} \cdot (h - y) + \frac{Vy}{h}, \quad (6)$$

где h - текущая толщина слоя масла в зазоре.

Объемный расход на единицу ширины пластины равен

$$Q = \int_0^h V dy = -\frac{G \cdot h^3}{12\mu} + \frac{V \cdot h}{2} \quad (7)$$

Из условия неразрывности потока жидкости значение Q не должно зависеть от "х" (во всех сечениях зазора Q постоянно).

Из (7) следует, что градиент давления G должен определяться из условия

$$\frac{dp}{dx} = -G = 6\mu \left(-\frac{V}{h^2} + \frac{2Q}{h^3} \right) \quad (8)$$

Учитывая $h = h_1 - \alpha x$, где α - угол наклона верхней пластины, после интегрирования в пределах от h_1 до h и граничном условии $p = 0$ при $h = h_1$ будем иметь

$$p = -\frac{6\mu}{\alpha} \left[V \cdot \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{h_1} \right) - Q \left(\frac{1}{h^2} - \frac{1}{h_1^2} \right) \right] \quad (9)$$

2 Гидродинамические силы в подшипниках скольжения

Максимальное гидродинамическое давление при движении потока масла формируется на сегменте, расположенном по направлению действия радиальной силы, где клиновой зазор будет минимальным.

Для определения давления в клиновом зазоре из выражения (9) установим объемный расход жидкости на единицу пластины.

Из условия, что на выходе из зазора давление равно нулю из уравнения (8), приравняв нулю давление при $h = h_2$, определяем расход жидкости в зазоре

$$Q = V \cdot \chi, \quad (10)$$

где χ - параметр, определяемый соотношением $\chi = h_1 h_2 / (h_1 + h_2)$; h_2 - толщина клинового зазора на выходе, $h_2 = h_{\min}$; h_1 - толщина клинового зазора на входе, $h_1 = h_{\min} + p$; V - окружная скорость цапфы вала.

Из условия неразрывности потока жидкости значение Q не должно зависеть от "х" (во всех сечениях зазора Q постоянно).

Подставляя расход потока (10) в (9), запишем давление в клиновом зазоре для элементарного элемента дуги $dL = R \cdot d\alpha$

$$p = \frac{6\mu V}{\beta} \left[\left(\frac{1}{h_1 - R \cdot d\alpha \cdot \beta / 2} - \frac{1}{h_1} \right) - \chi \left(\frac{1}{(h_1 - R \cdot d\alpha \cdot \beta / 2)^2} - \frac{1}{h_1^2} \right) \right], \quad (11)$$

где β - угол наклона верхней пластины клинового зазора относительно нижней.

Раскладывая в ряд Тейлора выражение (11) и пренебрегая величинами малого порядка малости, будем иметь давление на единичном участке клинового зазора

$$p = \frac{3\mu \cdot V \cdot R \cdot d\alpha}{1} \left(\frac{1}{\zeta^2} - \frac{\chi}{\zeta^3} \right) \quad (12)$$

Интегрируя выражение (12) в интервале от $0 < \alpha < \alpha_C$, получим значение давления для любого сечения клинового зазора наиболее нагруженного сегмента

$$P(\alpha) = \lambda \int_0^{2\pi/z} \left(\frac{1}{\zeta^2} - \frac{2\chi}{\zeta^3} \right) d\alpha, \quad (13)$$

где λ - параметр, определяемый из соотношения, $\lambda = 3\mu \cdot V \cdot R$.

Произведя преобразования выражение (13), будем иметь

$$P(\alpha) = \lambda \int_0^{2\pi/z} \left(\frac{1}{\eta^2} \cdot \frac{d\alpha}{(\alpha + h_{\min}/\eta)^2} - \frac{2\chi d\alpha}{\eta^3 (\alpha + h_{\min}/\eta)^3} \right), \quad (14)$$

где η - параметр, определяемый соотношением, $\eta = \rho \cdot z / 2\pi$.

Выполняя интегрирование, получим

$$P(\alpha) = \frac{\lambda}{\eta^2} \left(\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\vartheta} \right) - \frac{\lambda \chi}{\eta^3} \left(\frac{1}{\gamma^2} - \frac{1}{\vartheta^2} \right), \quad (15)$$

где γ - параметр, определяемый из выражения, $\gamma = \alpha + h_{\min}/\eta$; ϑ - параметр, определяемый из выражения, $\vartheta = 2\pi/z + h_{\min}/\eta$.

Оценим распределение гидродинамического давления по длине зазора и максимальные радиальные гидродинамические силы, поддерживающие вал ротора на масляной подкладке.

Пример расчета проведем на модели подшипника скольжения с радиусом цапфы вала $R = 50$ мм и шириной $B = 50$ мм. Прираще-

ние клинового зазора между сегментом вкладыша и цапфой $\rho = 20$ мкм. Коаксиальный зазор в свободном состоянии 30 мкм. Окружная скорость цапфы вала составляет $V = 50$ м/с; μ - динамическая вязкость масла при температуре 100 °С, $\mu = 0,0027$ Нс/м². Количество сегментов равно шести.

Распределение гидродинамического давления при минимальной толщине зазора $h_{\min} = 10$ мкм в интервале $0 \leq \alpha \leq \pi/3$ представлено на диаграмме (рис. 3).



Рис. 3 Распределение гидродинамического давления при минимальной величине зазора $h_{\min} = 10$ мкм

Как видно из диаграммы, наибольшее давление возникает на удалении $\alpha = 0,3$ рад от торца сегмента вкладыша с наименьшим зазором.

Распределение гидродинамического давления на участке $0 < \alpha < 0,3$ и $0,3 < \alpha < 1,05$ принимаем линейным. В этом случае суммарная гидродинамическая сила будет равна произведению средней величины давления на каждом участке и площади сегмента

$$F = \frac{P_{\max}}{2} \cdot B \cdot \alpha_C \cdot R = 11418,8 \text{ Н}, \quad (16)$$

где P_{\max} - максимальное гидродинамическое давление на сегменте, $P_{\max} = 8,7$ МПа; B - ширина сегмента вкладыша, $B = 0,05$ м; α_C - угол сектора сегмента, $\alpha_C = 2\pi/z = 1,05$ рад; z - количество сегментов, $z = 6$.

Величины давлений на соседних сегментах существенно меньше, чем наиболее нагруженного сегмента, и величинами этих давлений можно пренебречь, тем более, что проекция их по направлению вектора результирующей гидродинамической силы будет еще меньше.

3 Гидродинамические силы в подшипниках скольжения при параболическом законе изменения высоты зазора

При наличии коаксиального зазора между сегментами вкладыша и цапфой изменение высоты клинового зазора будет изменяться по параболическому закону.

Рассмотрим изменение гидродинамических сил по длине сегментного вкладыша.

Относительная величина приращения высоты клинового зазора, равная отношению приращения к величине коаксиального зазора $\Delta h/\Delta$ при изменении угловой координаты относительно вектора приложения радиальной силы, представлена на рис. 4.



Рис. 4 Относительное изменение высоты клинового зазора при изменении угловой координаты

Рассмотрим клиновой зазор наиболее нагруженного сегмента, расположенного по направлению вектора радиальной силы ротора на опоре (рис. 1) в интервале $-\pi/z < \alpha < \pi/z$, где z - количество сегментов.

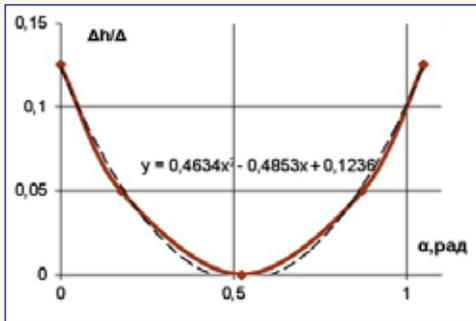


Рис. 5 Относительное изменение высоты клинового зазора для одного сегмента

от торца сегмента с минимальным зазором составит

$$\zeta = \delta + \rho \cdot z \cdot \alpha / 2\pi + \psi, \quad (17)$$

где ψ - параметр, определяемый соотношением $\psi = \Delta \cdot (0,463\alpha^2 - 0,485\alpha)$; δ - параметр, определяемый соотношением $\delta = h_{\min} + 0,124 \cdot \Delta$.

Подставляя параболическую зависимость (17) в (13), получим распределение гидродинамического давления по длине клина

$$P(\alpha) = \lambda \int_0^{2\pi/z} \left(\frac{1}{\eta^2} \cdot \frac{d\alpha}{(\alpha + \delta/\eta + \psi/\eta)^2} - \frac{2\chi d\alpha}{\eta^3(\alpha + \delta/\eta + \psi/\eta)^3} \right), \quad (18)$$

где δ - параметр, определяемый соотношением $\delta = h_{\min} + 0,124 \cdot \Delta$; ψ - параметр, определяемый соотношением $\psi = \Delta \cdot (0,463\alpha^2 - 0,485\alpha)$.

Произведя интегрирование выражения (18) численным методом, получим распределение гидродинамического давления при минимальной толщине зазора $h_{\min} = 10$ мкм.

Изменения клинового зазора только от коаксиального зазора в интервале $-0,5 < \alpha < 0$ и $0 < \alpha < 0,5$ при $z = 6$ представлено на рис. 5.

Изменение клинового зазора для одного наиболее нагруженного сегмента с учетом скоса сегмента и коаксиального зазора в диапазоне $-0,5 < \alpha < 0,5$

Гидродинамическое давление в середине клинового зазора $0 < \alpha < 0,75$ рад для элемента дуги $\Delta L = 0,75R$, определим из выражения (11) и оно будет равно

$$P = \frac{6\mu V}{\beta} \left[\left(\frac{1}{h_1 - 0,75R\beta/2} - \frac{1}{h_1} \right) \cdot \frac{\chi}{1} \left(\frac{1}{(h_1 - 0,75R\beta/2)^2} - \frac{1}{h_1^2} \right) \right], \quad (19)$$

где h_1 - начальная величина зазора; $h_1 = h_{\min} + \rho$; χ - параметр, определяемый соотношением $\chi = (h_{\min} + \rho)h_{\min}/(2h_{\min} + \rho)$.

После преобразований будем иметь

$$P = \frac{3\mu V}{\beta} \left[\left(\frac{0,75R\beta}{h_1^2} \right) - \frac{2\chi \cdot h_1}{h_1} \left(\frac{0,75R\beta}{h_1^3} \right) \right] = \frac{3\mu V}{1} \left(\frac{0,75Rk}{h_1^2} \right), \quad (20)$$

где k - параметр, определяемый соотношением $k = 1 - 2h_{\min}/(2h_{\min} + \rho)$.

Давление в клиновом зазоре при вариации зазора $h_1 + \Delta h$, гораздо меньшей, чем величина зазора на входе, раскладывая в ряд Тейлора выражение (20), представим в виде

$$P = \frac{3\mu V}{1} \left[\frac{0,75Rk}{(h_1 \pm \Delta h)^2} \right] = \frac{3\mu \cdot V \cdot Rk}{z} \left[\frac{0,75}{h_1^2} \pm \frac{1,5\Delta h}{h_1^3} \right]. \quad (21)$$

Переменную составляющую проекции гидродинамической силы по оси Y на сегменте клинового зазора $-\pi/z < \alpha < \pi/z$ рад запишем в виде

$$F = \frac{6\mu \cdot V \cdot \pi \cdot R^2 \cdot B \cdot k}{z} \left[\frac{1,5\Delta h}{h_1^3} \right]. \quad (22)$$

Приравняем приращение гидродинамической силы по оси Y на сегменте клинового зазора $-\pi/z < \alpha < \pi/z$ приращению центробежной силы $F = m\omega^2\Delta h$, определяем критическую круговую скорость вращения ротора на опоре с подшипником скольжения

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{6\mu \cdot V \cdot R^2 \cdot \pi \cdot B}{m \cdot z} \cdot \frac{1,5k}{h_1^3}}, \quad (23)$$

где m - масса ротора, приходящаяся на опору; h_1 - начальная величина зазора $h_1 = h_{\min} + \rho$.

Подставляя в выражение (23) исходные данные для принятого ранее примера расчета и принимая массу ротора, приходящуюся на опору $m = 100$ кг, определим критическую круговую скорость $\omega_{кр} = 2786,7$ с⁻¹ и частоту вращения ротора $f_k = 443,5$ Гц.

Представленная гидродинамическая модель подшипников скольжения позволяет оценивать гидродинамические силы в клиновом зазоре и определять критические частоты вращения роторов. □

Литература

1. Назаренко Ю.Б. Гидродинамика подшипников скольжения и критические частоты вращения роторов // Двигатель, №3, 2017. - С.16-18.
2. Марчуков Е.Ю., Назаренко Ю.Б. Динамика роторов и гидродинамика масляного клина подшипников качения газотурбинных двигателей: монография/ Москва. 2016. -186с.
3. Назаренко Ю.Б. Гидродинамика подшипников газотурбинных двигателей: монография/ Москва. 2017. -102с.

Связь с автором: nazarenkojb@rambler.ru

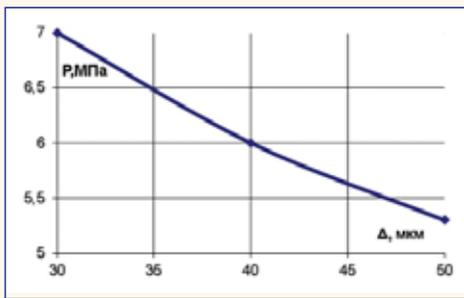


Рис. 6 Максимальное гидродинамическое давление при изменении коаксиального зазора

Максимальное значение гидродинамического давления незначительно уменьшается (7 МПа) и смещается к центру сегмента ($\alpha = 0,35$ рад). На диаграмме (рис. 6) представлена зависимость максимального гидродинамического давления при изменении коаксиального зазора.

4 Критические частоты роторов на опорах с подшипниками скольжения

Основными силами, вызывающими резонанс ротора на опоре с подшипником скольжения, будут центробежные силы ротора при смещении оси вала ротора от оси вращения и гидродинамические силы масляного клина, действующие в этом же направлении.

Оценку резонанса ротора на опоре с подшипником скольжения будем оценивать по приросту центробежной силы при смещении оси вала на опоре по определенному направлению (ось Y) и приросту гидродинамической силы масляного клина при вариации зазора. Определение критических частот вращения будем производить для исходных данных, рассмотренных в предыдущем разделе.

Смещение вала и цапфы при колебаниях ротора будет существенно сказываться на изменении гидродинамических сил только на одном наиболее нагруженном сегменте с минимальными зазорами.

Оценку резонанса ротора на опоре с подшипником скольжения будем оценивать для варианта с минимальным зазором $h_{\min} = 10$ мкм при линейном законе изменения высоты зазора.

Гидродинамическое давление на участках $0 < \alpha < 0,3$ и $0,3 < \alpha < 1,05$ рад имеет линейный характер. В этом случае достаточно определить среднюю величину давления на одном из участков, которая будет такой же и на другом.



НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ КОМПАНИИ HERMLE НА ВЫСТАВКЕ ЕМО

С 18 по 23 сентября 2017 г. в немецком Ганновере состоялось одно из крупнейших событий в мире станкостроения – Международная выставка ЕМО Hannover 2017, которая предоставила возможность проследить за передовыми достижениями и новыми тенденциями мировой индустрии. В этом году в работе выставки приняло участие свыше 2 тысяч экспонентов, а посетило её более 155 тысяч человек, среди которых инвесторы, руководители крупных компаний, ведущие ученые-разработчики с мировым именем и перспективные заказчики.

Традиционно в работе выставки приняла участие и компания Hermle. На этот раз была представлена новая модель станка С 650 серии Performance-Line производства компании Maschinenfabrik Berthold Hermle AG. Станок С 650 - это новый обрабатывающий центр для самых различных операций 3-х и 5-осевой обработки. Возможности станка - прецизионная точность и высокие эксплуатационные характеристики - были наглядно продемонстрированы при изготовлении стального штампа для производства инструментов и форм на предприятиях автомобилестроения.



Обрабатывающий центр С 650
с наклонно-поворотным столом с ЧПУ Ø 900 x 750 мм

Кроме С 650 выставочная презентация компании была дополнена тремя другими новинками.

Во-первых, это малый компактный станок С 250, также относящийся к серии Performance-Line и уже в течение года входящий в линейку продукции Hermle. На выставке этот станок продемонстрировал свои эксплуатационные возможности на примере обработки деталей модельестроения.

Во-вторых, это роботизированная система RS 05, установленная на станке С 12 U Dynamic серии High-Performance-Line, наглядно подтвердившая возможности компании Hermle в создании оборудования для автоматизации обрабатывающих центров для самых различных отраслей промышленности. Ознакомиться с примерами использования роботизированных систем можно на веб-сайте Hermle в разделе автоматизации.

В третьих, впервые была продемонстрирована новая манипуляционная система HS flex, установленная на 5-осевом обрабатывающем центре С 42 U Dynamic. Еще весной на выставке Open House ("Двигатель" № 3 - 2017 г.) эта система вызвала большой

интерес у многочисленных посетителей, нуждающихся в высокоэффективных, компактных и чрезвычайно привлекательных по цене средствах автоматизации (подробнее о системе HS flex в журнале "Двигатель" № 4 - 2017 г.).

В отдельном разделе стенда компания Hermle AG впервые представила полный ассортимент своих цифровых модулей. К ним относятся многочисленные средства программного обеспечения:

- регулирования AFC, ACC, CTC, AVD, LAC, повышающие производительность станков и качество технологических процессов;
- оптимизации обработки поверхностей деталей с учётом их индивидуальных особенностей для повышения динамики и точности;
- управления заданиями Hermle Automation-Control-System (HACS) и интерфейс HACS-Connect (собственная разработка Hermle) для интеграции в системы ERP или PPS;
- информационный обмен и контроль Hermle Information-Monitoring-Software (HIMS);
- управления инструментом HTMC и HOTS для обрабатывающих центров Hermle;
- отображение всей информации офисного ПК непосредственно на станке посредством функции удаленного рабочего стола в реальном времени;
- обслуживания и диагностики (WDS) для целенаправленного предотвращения простоев в комбинации с функциями дистанционного обслуживания и профилактического ухода.

И в довершение всего впервые был продемонстрирован новый сенсорный монитор для всех систем управления TNC 640, которым, начиная с сентября 2017 г., в стандартной комплектации оснащаются все модели станков с этим вариантом системы управления.

Компания Hermle не осталась в стороне и от нового направления в производстве деталей по аддитивной технологии. На стенде на многочисленных практических примерах было представлено аддитивное производство на основе разработанной компанией Hermle технологии нанесения порошкового металлического покрытия. Компетентные специалисты компании ответили на многочисленные вопросы специалистов по данной технологии. 

127018, Москва, ул. Полковая, д. 1, стр. 4.
Тел.: +7 495 627 36 34.
Факс: +7 495 627 36 35.

Сайт представительства: www.hermle-vostok.ru



Станок С 250 серии Performance-Line



Роботизированная система RS 05, установленная на обрабатывающем центре С 12 U Dynamic



Манипуляционная система HS flex, установленная на 5-осевом обрабатывающем центре С 42 U



НОВЫЙ КУРС ИСТОРИИ И КОНСТРУКЦИИ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРОФЕССОРА В.А. ЗРЕЛОВА

(ОКОНЧАНИЕ, НАЧАЛО В № 2 (110) 2017 ГОДА)

Дмитрий Александрович Боев, генеральный директор журнала "Двигатель", московский представитель Самарского центра истории авиационного двигателестроения, помощник проректора МАИ по научной работе

Сегодня мы познакомимся с самым, пожалуй, обширным и неоднозначным разделом во всём курсе лекций по истории авиационных двигателей профессора СГАУ Владимира Андреевича Зрелова, (начало - в журнале "Двигатель" № 2 (110) и № 4(112) 2017 г.

Хотя в первой статье я обещал придерживаться текста В.А. Зрелова,

придётся всерьёз заниматься всю жизнь.

То, что кажется простым и логичным в его свершившемся виде, пришло к нему зачастую удивительно сложными путями

здесь позволил себе добавить немного вводных терминов, зная, что Владимир Андреевич всегда сам пояснял их, чтобы убрать те недоразумения, какие могут встречаться у студентов, начинающих знакомиться с тем, чем им потом

"ЭПОХА БУРИ И НАТИСКА"

ЗАВОЕВАНИЕ НЕБА ГАЗОТУРБИНЫМИ ТУРБОРЕАКТИВНЫМИ

Газотурбинными двигателями (**ГТД**) именуется большой класс тепловых машин, которые объединяет два основных свойства: наличие газовой турбины самой разнообразной конструкции (которые могут сами подразделяться по широчайшему классу признаков: активные, реактивные, осевые, центробежные, центростремительные, парциальные, комбинированные разного рода и прочее, прочее...) и использование в работе энергии сжигаемого топлива. Топливо тоже может быть совершенно разного рода. Газотурбинные двигатели работают как в стационарных энергетических силовых установках - при выработке электрической энергии на электростанциях, механической - в станциях подкачки трубопроводов и насосах, предназначенных для решения разных за-

дач, так и транспортных машинах разного назначения: наземных, водных, летающих.

На летательных аппаратах используется ещё и свойство газотурбомашин создавать реактивную тягу. Такие устройства образуют подкласс **воздушно-реактивных двигателей (ВРД)**. Или иначе - **турбореактивных двигателей (ТРД)**. Отличаются в применении эти термины тем, что в класс ВРД включают ещё и **прямоточные двигатели** разного рода, которые мы рассматривали выше, и также уже нами описанные **мотокомпрессорные** и **турбокомпрессорные двигатели**. Сейчас они применяются значительно реже, а потому более часто употребляемо именование **ТРД**.

Первый патент на газотурбинный двигатель был выдан в 1791 г. англичанину Джону Барберу, который стал первым человеком, в деталях описавшим принцип функционирования газовой турбины.

Первые проекты самолётов с реактивным дви-

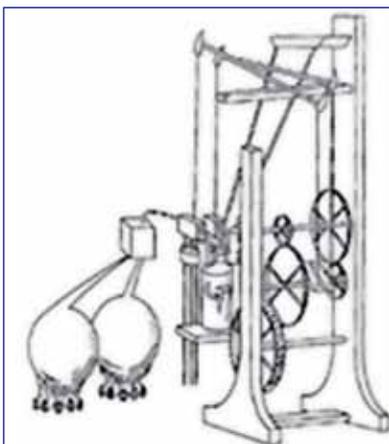


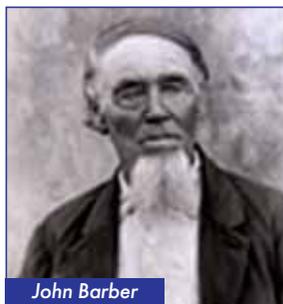
Рисунок из патента Дж. Барбера № 1833

гателем были созданы в 60-е годы XIX века П. Маффийоти (Испания), Ш. де Луврье (Франция) и Н.А. Телешовым (Россия). Идея была ясная: скрестить воздушный змей и ракету. И то и другое неплохо летало (по отдельности) в Китае уже не одну сотню лет.

Как ни странно, но изобретатели достаточно долго не могли привыкнуть к идее полного отказа от привычного уже в самолётах гребного винта (пропеллера). И **ГТД** по первоначально рассматривался не более чем, как привод для винта. Тем более, после выяснилось, что хотя такой способ не позволяет достичь столь высоких скоростей как различного рода **ВРД**, не использующие пропеллеры, но сам этот метод весьма и весьма экономически выгоден. Поэтому, сейчас практически на всех пассажирских и транспортных перевозчиках используется своего рода гибрид **ТРД** и винтового **ТВирД: ВВТРД** - винтовентиляторный двигатель и **ДТРД** большой двухконтурности. В последнем первые ступени двигателя, по сути, исполняют обязанности того же винта, являясь одновременно и первыми ступенями собственно двигателя.

Турбореактивный двигатель (ТРД) - тепловой двигатель, в котором кинетическая энергия сжимаемых в компрессоре и нагретых в камере сгорания газообразных продуктов сгорания, используется для получения тяги. Механическая энергия для работы компрессора получается в турбине, на которой срабатывает часть энергии высокотемпературного газового потока.

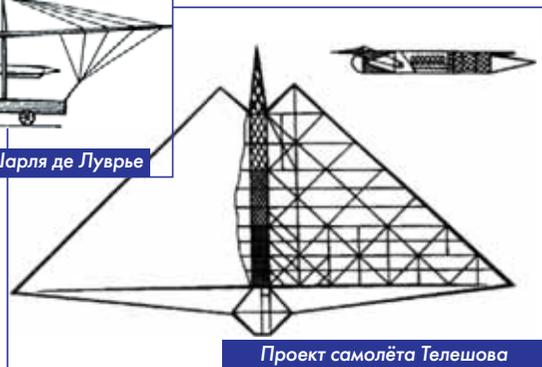
На границе 20...30-х годов XX века во многих странах велись самостоятельные исследования по разработке различных схем ТРД. Определить первенство здесь невозможно не представляется, кроме отдельных случаев, а потому - просто постараемся показать по возможности весь спектр исследований.



John Barber



Проект самолёта Шарля де Луврье



Проект самолёта Телешова

В Англии работа над газовыми турбинами была начата в 1936 г. двумя группами, которые работали независимо друг от друга.

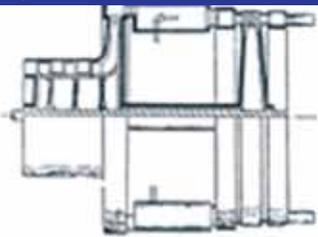
Первой группой руководил офицер британских ВВС Фрэнк Уиттл. (см. "Двигатель" № 5, 1999 г.).

Ф. Уиттл окончил Лимингтонский колледж. В 1926 г. он поступил в училище Королевских ВВС Великобритании в Крануэлле.



Frank Whittle

Рисунок из патента Уиттла № 347206



В 1928-1932 гг. он - лётчик-испытатель истребительной авиации, флайт-лейтенант (капитан).

16 января 1930 года Ф. Уиттл зарегистрировал в Великобритании первый в мире патент

№ 347206 на газотурбинный (турбореактивный) двигатель.

В 1936 г. Ф. Уиттл с компаньонами создал фирму Power Jets Ltd., в которой и были разработаны первые английские турбореактивные двигатели.

В середине 1939 г. Ф. Уиттл уже имел работающий на стенде двигатель тягой 270 кгс.



Первый в мире ТРД, испытанный в 1937 г. Ф. Уиттлом

Первый английский реактивный самолёт Gloster E.28/39 с двигателем Уиттла (W-1, "Whittle № 1"), имевшим тягу 460 кгс, поднялся в небо 15 мая 1941 г. (Впрочем, заметим: почти на два года позже первого изобретателя в № 6 "Двигателя" 1999 г.

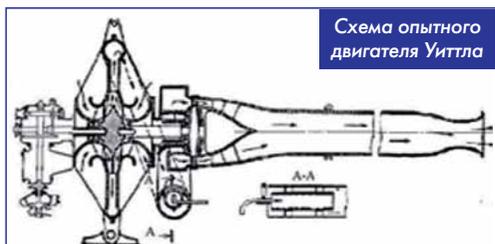


Схема опытного двигателя Уиттла

В 1944 году Уинстон Черчилль распорядился национализировать Power Jets Ltd. Конструкторская документация была передана фирмам

"Роллс-Ройс", "Де Хэвилленд" и "Ровер". "Пауэр джетс" Уиттла преобразовали в Национальный газотурбинный исследовательский центр (National Gas Turbine Establishment). Уиттл считал эти преобразования несправедливыми (хотя, видимо, это была вынужденная

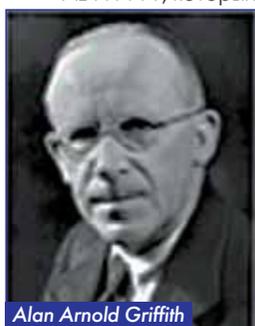


Gloster E.28/39 (G-40) Pioneer

мера, так как небольшая фирма Power Jets Уиттла уже не могла справиться со всеми проблемами нового перспективного реактивного двигателестроения, требовавшего подключения к работам крупных двигателестроителей).

Вторая группа, руководимая доктором А.А. Гриффитсом, была организована в моторном отделе Королевского авиационного института (Royal Aircraft Establishment - RAE).

В июле 1926 г. д-р А.А. Гриффитс в RAE представил доклад № H1111, который назывался "Аэродинамическая теория конструирования турбин" (An Aerodynamic Theory of Turbine Design). В этом докладе впервые в Великобритании было предложено практическое применение газовой турбины в качестве силовой установки для самолета. А.А. Гриффитс рассматривал турбину, приводящую осевой компрессор и вращающую винт.



Alan Arnold Griffith

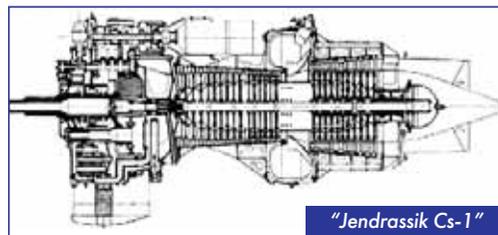
Эта идея была весьма популярна в мире - и первый ТВД был построен в 1932 году в Венгрии.

Венгрия

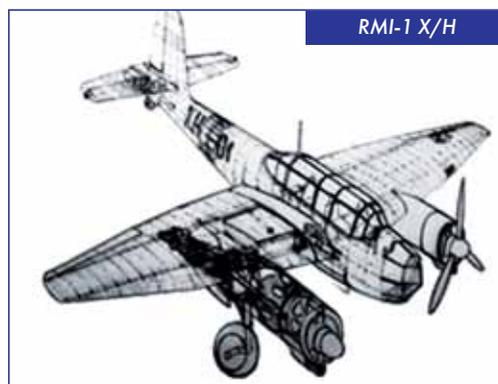
Первым в мире турбовинтовым двигателем был Jendrassik Cs-1, мощностью 1000 л.с., спроектированный венгерским инженером Дьёрдем Ендрашиком, который проводил исследования с 1932 г. Двигатель собирался и испытывался на вагоностроительном заводе Ganz в Будапеште в августе 1940 г. и предназначался для самолёта RMI-1 X/H. Он имел 15-ступенчатый компрессор и 11-ступенчатую турбину, но к 1941 г. работа была остановлена в связи с начавшейся войной.



György Jendrassik



"Jendrassik Cs-1"



RMI-1 X/H

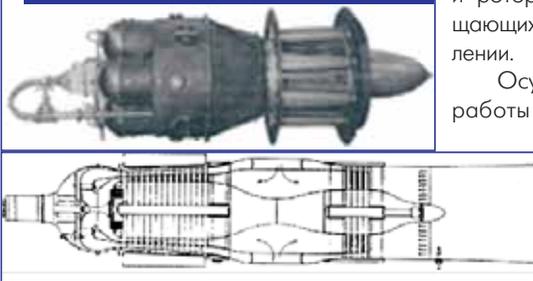
И снова - Англия

Значительное количество опытов было проделано в RAE по авиационным турбокомпрессорам. Однако, несмотря на успех экспериментов, в то время не было получено разрешение для разработки конструкции турбины, и дальнейшей работы не велось в течение нескольких лет - до 1936 г., предположительно потому, что тогдашнее правительство занималось неотложными социальными и финансовыми проблемами и их не интересовали нужды будущего. В течение этих лет в Великобритании не было прогресса в области газовых турбин.

Алан Арнольд Гриффитс родился в Лондоне в 1893 г. Его отец, исследователь, писатель и романтик, совершил несколько кругосветных путешествий. Все это вдохновило его на написание нескольких приключенческих историй, среди которых стоит упомянуть "Ангела революции" (The Angel of the Revolution), написанную в 1893 г., в которой предсказывалось свержение российской монархии, и "Изгоев Воздуха" (The Outlaws of the Air), написанную в 1895 г. В обоих научно-фантастических произведениях упоминались летающие машины тяжелее воздуха с пропеллером сзади, обеспечивающим скорость до 200 миль/час, и пятью подъемными вентиляторами для вертикального взлета. Они работали на "секретном ракетном топливе". Произведения Гриффитса-старшего (как и он сам), как футуролога-романтика техники, были весьма популярны в Англии. Недаром Герберт Уэллс подарил его фамилию своему Человеку-Невидимке.

В 1938 г. Гриффитс начал конструирование авиационного двигателя, известного как ICT (Internal Combustion Turbine). Это была чрезвычайно сложная конструкция, позже названная CR.1 (contra rotating). Она имела не менее сорока механически независимых агрегатов. Тридцать два из них принадлежали турбине, приводящей компрессор, а остальные восемь - турбине, служащей для привода вентилятора. Там был ряд колес, свободно вращающихся на зафиксированном валу. На каждом колесе были закреплены лопатки, которые представляли собой две лопатки в одной. Ближайшим к колесу был отсек компрессора. За ним следовал корпус, а за ним отсек турбины. Отсеки корпуса соединены так, чтобы получились два concentрических кольца. Внутреннее - принадлежало компрессору, а внешнее - турбине, и корпуса были изолированы друг от друга. Соседние колеса вращались в противоположных направлениях, это обеспечивало то, что напряжения на лопатках были в четыре раза меньше, чем у обычного компрессора или турбины с чередованием статорных

Двигатель CR-1 и его конструктивная схема



и роторных лопаток, вращающихся в одном направлении.

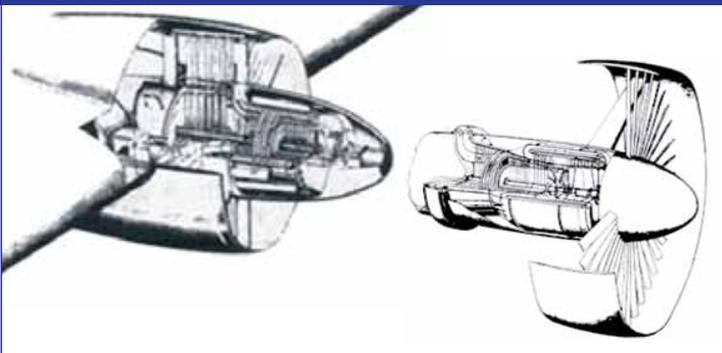
Осуществление такой работы было связано с множеством проблем, которые недооценивали в то время.

На фирме Rolls-Royce узнали, что научный потенциал Гриффитса не был использован в достаточной степени и в 1939 г. убедили его перейти к ним, давая ему полную свободу беспрепятственно развивать свои идеи.

В 1939 г. А. Гриффитсом была разработана концепция турбовентиляторного двигателя с большой степенью двухконтурности. Газогенератор (CR.1) спереди, перед многоступенчатым вентилятором.

Первый 14-ступенчатый двигатель CR.1 был построен в 1942 г. Параллельно с работой по доводке CR.1 компанией Rover Company велась работа по доводке двигателя Уиттла на заводе в Barnoldswick. В течение 1943 г. стало понятно, что потребуются годы, чтобы довести CR.1 до состояния, пригодного к полетам. Поэтому было принято решение переключиться на двигатель типа Whittle, и Rolls-Royce переняла на себя его разработку от Rover в 1943 г., а разработка CR.1 прекратилась в 1944 г.

Проекты турбовентиляторного двигателя с большой степенью двухконтурности



Хотя работы над ICT/CR.1 были закончены, доктор Гриффитс в том же году предложил новую версию ICT. Это был CR.2, называвшийся "двигатель с разделенным потоком" ("Divided Flow Engine").

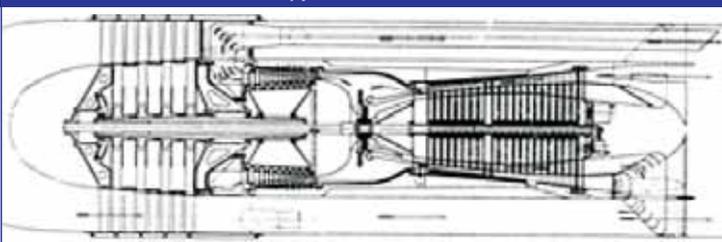
CR.2 представляет собой одну из первых конструкций двухконтурных двигателей.

Ранние двигатели Уиттла выпускались фирмой British Thomson-Houston Co, так как объединение "Power Jets" не имело производственных возможностей; точно так же RAE пришлось обратиться за помощью к другим фирмам, главным образом к фирме Метрополитэн-Виккерс (Metropolitan Vickers).

Швеция

В 1933 г. шведский инженер А. Лисхольм запатентовал газотурбинный двигатель. По его проекту в 1934 г. фирма "Bofors" ("Бофорс") изготовила для проведения стендовых испытаний турбореактивный

Конструктивная схема CR.2



двигатель. В годы войны компания Svenska Flygmotor AB (Свенска флюгмотор- AB - (SFA) (сейчас Volvo Aero) под руководством Лисхольма спроектировала ТРД Р/15-54 с двухступенчатым центробежным компрессором и четырехступенчатой турбиной, кольцевой камерой сгорания. Тяга двигателя была порядка 1800 кгс. В 1944 - 1945 гг.

фирма SAAB проектировала под этот двигатель истребители RX-1, RX-2 и R-101.

Германия

В 1934 г. Ганс Йоахим Пабст фон Охайн с механиком Максом Ханом начинают строить опытный образец газотурбинного двигателя.

10 ноября 1935 года, доктор наук Геттингенского университета фон Охайн получил секретный патент за номером 317/38 на турбореактивный двигатель, который он разработал еще в период своего обучения.

В апреле 1936 г. авиапромышленник Эрнст Хейнкель приглашает фон Охайна к себе в компанию Ernst Heinkel Aircraft и обеспечивает его всем необходимым для успешной работы.

В середине марта 1937 г. фон Охайн и его сотрудники испытывают модель двигателя на водородном топливе - HeS 1 (Heinkel Strahltriebwerk - "Реактивный двигатель Хейнкеля"), который показал тягу в 250 кгс. Испытания проходили в течение пяти месяцев, слишком долго, чтобы стать первым в мире, поскольку Франк Уиттл первые испытания своего двигателя начал в апреле 1937-го. Кроме того, двигатель Охайна был "сырым" и плохо регулируемым в отличие от уиттловского, но в то же время работа в Англии



Hans von Ohain

продолжалась медленно, а в Германии она развивалась с нарастающими темпами.

27 августа 1939 года летчик-испытатель Эрих Варзитц поднял в небо первый в мире турбореактивный самолет He 178 ("Heinkel 178") с двигателем Охайна HeS 3, имевшим тягу 450 кгс.



Макс Ханн с опытным ГТД HeS 1 1935 г.

При разработке первых проектов ГТД использовался опыт создания турбокомпрессоров, применявшихся для наддува поршневых моторов с целью



Слева направо: H. Ohain, E. Heinkel, E. Warsitz

повышения их высотности.

В 1947 г. Охайн был вывезен в США в ходе операции "Paperclip" ("Скрепка") - по выявлению и вывозу в Америку американцами по возможности всех ведущих специали-

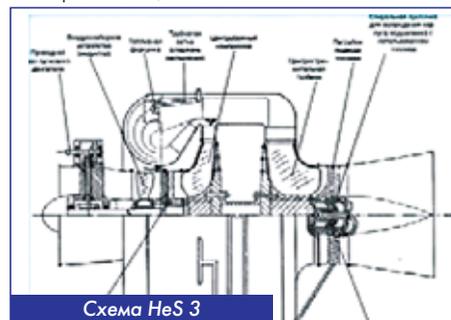


Схема HeS 3

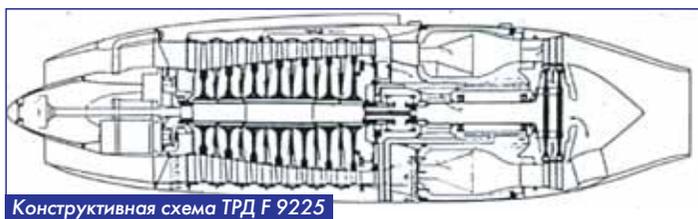
тов побеждённой Германии. В 1970-е годы Охайн являлся главным специалистом Лаборатории ВВС США Air Force Research Laboratory Propulsion Directorate. Далее Охайн - профессор Дейтонского института (США), консультант правительства США, почетный профессор Национального аэрокосмического музея США.

В это же время в магдебургском филиале фирмы Junkers Motorenwerke GmbH "Юнкерс Моторенверке Дессау АГ" профессор Г. Вагнер излагает свои предложения относительно реактивного двигателя, а в Мюнхене на фирме "BMW" и ее филиале в Шпандау специалисты приступают к разработке проектов таких двигателей.

В 1939 г. в Мюнхене под руководством доктора К. Лехнера и доктора В. Мюллера-Бернера был разработан проект F 9225 - ТРД с осевым семиступенчатым компрессором, кольцевой камерой сгорания и двухступенчатой турбиной.

Несколько позднее в Берлине-Шпандау под руководством доктора Г. Вейнриха был разработан проект P 3304 (BMW 109-002) с биротативной турбиной - вращающиеся сопловые аппараты приводили во вращение направляющие аппараты компрессора

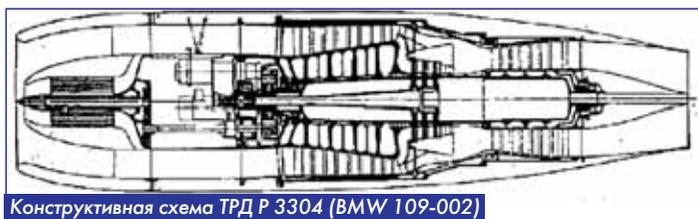
В 1942 г. разработка BMW-002 ввиду его сложности была прекращена. Еще раньше, в 1941 г. было прекращено проектирование мотокомпрессорных двигателей. В сентябре 1939 г. также были прекращены работы над двигателем с центробежным компрессором и все усилия были сосредоточены на проекте двигателя с



Конструктивная схема ТРД F 9225

осевым компрессором, разработанным на заводе в Шпандау и получившим обозначение P 3302. Он стал основой для создания ТРД BMW 109-003.

ТРД BMW-003 тягой 800 кгс., первое испытание которого было



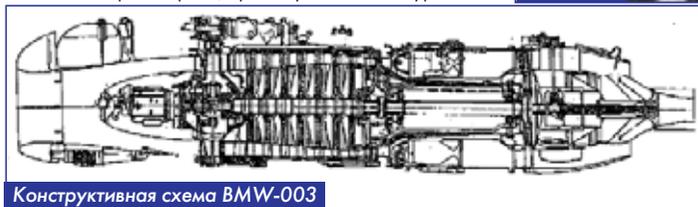
Конструктивная схема ТРД P 3304 (BMW 109-002)

осуществлено в 1940 г., производился серийно с 1942 г. Руководил разработкой двигателя BMW-003 Г. Ойстрих. Всего было изготовлено более 700 шт. ТРД BMW-003 разных модификаций. Он применялся на самолётах He-162, Ar 234 V8 и др.

Еще в 1940 г. фирма BMW приступила к проектированию мощного турбовинтового двигателя P 3320, получившего в 1941 г. обозначение BMW-109-028. Его эквивалентная мощность на высоте 6100 м и скорости 640 км/ч должна была составлять 7940 л.с.

На основании этого проекта в 1941 г. разрабатывался ТРД P 3303, названный BMW-109-018. Проектная тяга двигателя составляла 3000 кгс.

Опытный образец с двенадцатиступенчатым компрессором, трехступенчатой турбиной



Конструктивная схема BMW-003



H. Oestrich

был построен к 1945 г.

К несчастью Охайна и Эрнста Хейнкеля (и к

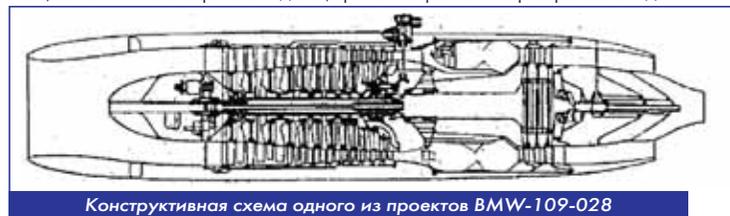


He-162



Ar-234-V8

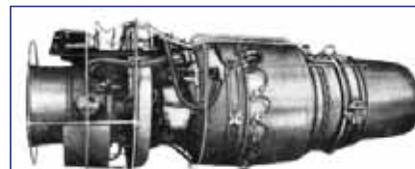
счастью для остального мира), в результате личных трений Хейнкеля с авиационным руководством Третьего рейха Эрхардом Мильхом, сменившего Эрнста Удета, финансирование разработок дви-



Конструктивная схема одного из проектов BMW-109-028

гателей Охайна производилось в недостаточной мере, хотя конструктивно они (например ТРД HeS 011 с тягой 1300 кгс.) превосходили турбореактивные двигатели подключившихся к турбореактивному моторостроению фирм Юнкерса (JUMO) и БМВ (BMW). В результате первым в мире серийным двигателем стал не двигатель Охайна (фирмы Хейнкель), а двигатель JUMO 109-004 Ансельма Франса, который разрабатывался с 1942 г. (всего было изготовлено более 6000 двигателей). Э. Мильх, вовремя не организовавший производство реактивных бомбардировщиков, по требованию Гитлера в июне 1944 г. вынужден был подать в отставку.

Моторостроительная фирма "Junkers Motorenwerke AG" предприняла предварительные работы по реактивному двигателю в 1937 г. Заказ от германского министерства авиации на разработку ТРД JUMO -109-004 фирма получила летом 1939 г. Этот двигатель, разработанный под руководством доктора А. Франца, был рассчитан на то, чтобы его можно было максимально быстро запустить в серийное производство, даже ценой некоторого ухудшения характеристик. К конструированию приступили в начале

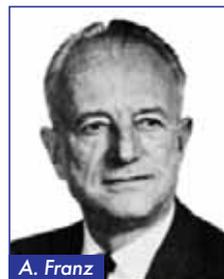
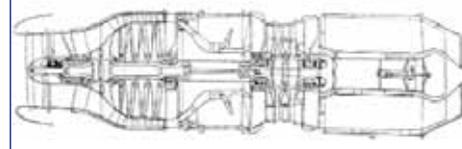


Вид и конструктивная схема HeS 011 (1944 г.)

1940 г. и в ноябре 1940 г. на стенде был испытан первый Jumo-109-004A. Его тяга была 900 кгс.

В производстве

двигателей JUMO-004 участвовали заводы, расположенные в городах Дессау, Магдебург, Кетен, Прага, Циттау и другие.



A. Franz



Конструктивная схема JUMO -004



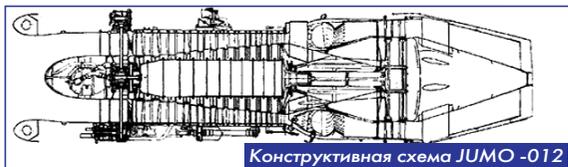
Me-262 с JUMO-004

Подземный завод в Германии

самолетах Me-262, Ar-234B, Ju-287, Ho-229, Me-1101,

He-162.

В 1944 г. фирма Junkers начала разработку нового турбореактивного двигателя JUMO-109-012 и на его базе турбовинтового JUMO -109-022. Работы над этими проектами были продолжены по окончании войны в 1946 г. на опытном заводе №2 в СССР.



Конструктивная схема JUMO -012

На фирме "Daimler - Benz AG" под руководством К. Лейста (K. Leist) был



Внешний вид и конструктивная схема ТВД 022

спроектирован и изготовлен опытный образец первого турбовентиляторного двигателя DB 109-007 на тягу 1370 кгс. Его испытание было осуществлено 1 апреля 1943 г.

Япония

В 1944 г. документация по двигателю BMW-003A на двух подводных лодках была направлена



K. Leist

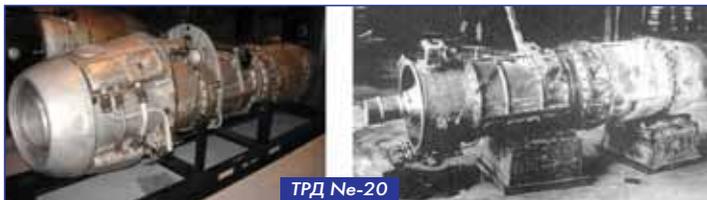


Конструктивная схема ТРДД DB 109-007

из Германии в Японию. Одна из лодок была потоплена американцами, другая благополучно добралась до Японии. Здесь под руководством Eichi Iwaya был спроектирован двигатель Ne-20, размеры которого по сравнению с прототипом BMW-003 были уменьшены, и его статическая тяга составляла 475 кгс. Двигатель был установлен на самолёте J9Y Kikka фирмы Nakajima Hikoki K K. Самолёт совершил первый полёт 7 августа 1945 г.

Франция

В 1946 г. Г. Ойстрих и около 120 специалистов по двигателям BMW стали работать на французской фирме SNECMA (Франция).



ТРД Ne-20



Самолёт J9Y Kikka

Первый ГТД этой фирмы - ATAR-101 был создан под руководством технического директора Г. Ойстриха и являлся модификацией BMW-003.

Северная Америка

Первые ГТД в США создавались самолётными фирмами. На фирме Lockheed Aircraft Corporation под руководством Натана Прайса в 1937 - 1943 гг. создавали авиационный ГТД L-1000. Его тяга составляла 2450 кгс.



АТАР-101 в музее ле Бурже

Этот двигатель предназначался для самолёта Lockheed L-133.

На фирме Westinghouse Corporation под руководством Оле Роджерса в 1942-1943 гг. разрабатывали небольшой ТРД 19А ("Yankee"). Он прошел 100-часовые испытания и был установлен в



Модель самолёта L-133

Lockheed L-1000. На фото справа - Н. Прайс

J-30, развивала 726 кгс. тяги была установлена на двухдвигательный самолет McDonald FD-1 Phantom в январе 1945 г.

Фирмой General Electric с 1941 г. разрабатывался первый американский ТВД TG-100 (Т31), мощностью 2300 л.с. для самолёта Consolidated XP-81. Первое испытание этого ТВД проходило в 1945 г.



Westinghouse 19A ("Yankee")



McDonnell XFD-1

Основное развитие газотурбинное двигателестроение в США получило после передачи фирмой Rolls-Royce докумен-

тации и технологий двигателей Ф.Уиттла компаниям General Electric, производившей на их основе J31, затем J33, и Pratt-Whitney, изготавливавшей лицензионный J42. Кроме этого фирма Wright получила от британской компании Armstrong Siddeley технологии на двигатель Sapphire, который стал обозначаться J-65.



GE J31

PW J42

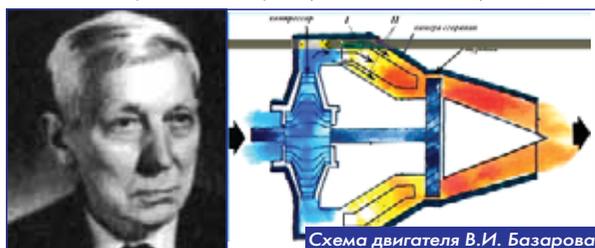
PW J48

J65

СССР

В СССР в 1924 г. конструктор Владимир Иванович Базаров (впоследствии начальник отдела перспективных разработок ОКБ А.А. Микулина) предложил схему авиационного ТВД, в которой мощность от газовой турбины передавалась компрессору и воздушному

винту. При этом воздух, выходящий из компрессора, разделялся на два потока: первый (около 25 %) направлялся непосредственно к горелке, а второй (остальные 75 %) - подмешивался к образующимся продуктам сгорания.



В.И. Базаров

Схема двигателя В.И. Базарова

В 1925 г. Владимир Васильевич Уваров начал проводить исследование по газовым турбинам под руководством профессора Н.Р. Бриллинга, а в 1930 г. возглавил лабораторию №1 Всесоюзного теплотехнического института им. Ф.Э. Дзержинского (ВТИ). Эта лаборатория занималась разработкой и исследованием экспериментальных авиационных газовых турбин. Спустя четыре года

в ВТИ была создана и прошла длительные испытания первая отечественная высокотемпературная газотурбинная установка ГТУ-1, ставшая прообразом будущих турбовинтовых двигателей.



В.В. Уваров

Внешний вид ТВД ЭЗ080

В 1940 г. коллектив лаборатории №1 ВТИ, накопивший опыт при проектировании первого экспериментального авиационного газотурбинного двигателя ГТУ-3, был переведен в ЦИАМ. Здесь в 1943-1946 гг. под руководством В.В. Уварова был создан и испытан летный образец экспериментального двигателя Э-3080, развивавшего мощность на валу 625 л.с. и создававшего дополнительную тягу 160 кгс. Конструктивной особенностью этого ТВД являлась высокотемпературная (1500К) охлаждаемая водой турбина.

В 1938 г. в СССР Архип Михайлович Лялька с группой единомышленников разработал проект двигателя РТД-1 с тягой 400 кгс. К этому времени была известна созданная Борисом Сергеевичем Стечкиным (1929 г.) теория реактивных двигателей, нашли практическое применение центробежные компрессоры и газовые турбины.



Б.С. Стечкин

А.М. Лялька в 20-х гг.

В проекте "реактивного турбодвигателя" РТД-1 А.М. Ляльки использовались узлы, проверенные в турбокомпрессоростроении на поршневых двигателях и паротурбинных установках, т.е. обеспечивался максимально достигнутый коэффициент полезного действия (КПД) узлов.

Проект РТД-1 был одобрен наркоматом авиапромышленности, были выделены средства на постройку опытного образца.



Проект РТД-1

А.М. Лялька переведён в Ленинград в специальное конструкторское бюро (СКБ-1) на Кировском заводе для продолжения своих работ. К проектированию будущего ГТД были привлечены конструкторы Центрального котлотурбинного института им. И.И. Ползунова. Здесь исходный проект был переработан в более мощный ТРД РД-1 с шестиступенчатым осевым компрессором.

В 1940 г. началось изготовление и испытание моделей турбины, компрессора и натурной камеры сгорания РД-1. К августу 1941 г. РД-1 с тягой 500 кгс был готов в металле на 75 %, но война вынудила прервать работы над всеми ТРД.

А.М. Лялька в 1941-1942 гг. работал на танковом заводе в Че-

лябинске, а с 1943 продолжил создание ТРД. В августе 1945 г. первый советский турбореактивный двигатель ТР-1 был построен.

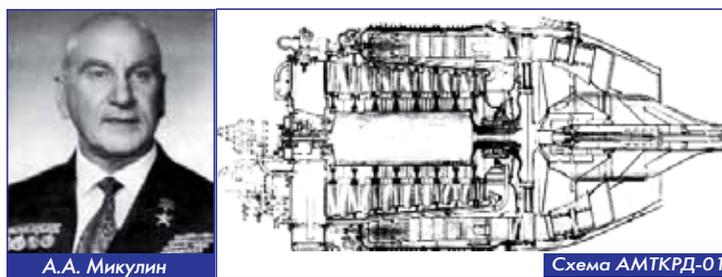
Первый в СССР опытный авиационный завод по проектированию и созданию авиационных газотурбинных двигателей - Государственный союзный опытный завод № 300 (сейчас ОАО "АМНТК "Союз") был создан 18 февраля 1943 г. Его Генеральным конструктором был назначен Александр Александрович Микулин. Первый ТРД АМТКРД-01, созданный здесь в 1948 г., успешно выдержал Государственные 25-часовые стендовые испытания.



ТР-1, первый советский ТРД

Двигатель имел восьмиступенчатый осевой компрессор, трубчато-кольцевую противоточную камеру сгорания (22 жаровые трубы), одноступенчатую турбину и регулируемое реактивное сопло с электроприводом. Двигатель имел тягу 3300 кгс.

В 1949 г. прошла Государственные испытания модификация этого двигателя - ТРД АМРД-02. Этот двигатель в отличие от прото-



А.А. Микулин

Схема АМТКРД-01

типа имел девятиступенчатый компрессор и нерегулируемое сопло. Его тяга была увеличена до 4250 кгс. Двигатель был снабжен противообледенительной системой. На двигателе впервые в отечественном авиационном двигателестроении был применен турбостартер С-300, представляющий собой ГТД с центробежным компрессором.

В 1948-1949 гг. двигатели АМТКРД-01 и АМРД-02 проходили летные испытания на опытном дальнем бомбардировщике ЕФ-140.

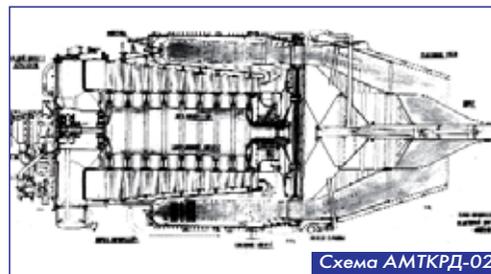


Схема АМТКРД-02



Самолёт ЕФ -140

В первые послевоенные годы на авиамоторном заводе № 36 в Рыбинске было создано ОКБ-2 НКВД, где под руководством профессора из Ленинграда Константина Ивановича Страховича, специалиста в области термодинамики, компрессоростроения, гидромеханики и газодинамики, создавался турбореактивный двигатель с тягой 3000 кгс. После 1955 г. Страхович вернулся в Ленинград, где преподавал термодинамику в ЛПИ.

Таким образом, со второй половины 1930-х гг. авиаконструкторы ведущих авиационных держав приступили к практическим разработкам идеи реактивного двигателя на самолетах. Чем и заняты по сию пору.

Связь с авторами: zrelov07@mail.ru boeff@yandex.ru

ОТЕЧЕСТВА НАДЕЖДА - КРЫЛО И МОТОР. ДИВЕРСИФИКАЦИЯ

(Из записок корабельного инженера-механика Семёнова)

Владимир Александрович Герасимов, СГАУ, кафедра КиПДЛА

Цена и ценность. Высшая проба

"Сколько надо денег?" - такова суть вопроса, возникающего, когда ставятся цели или обсуждаются предложения инициаторов. Потом сравнивают расходы-доходы в денежных единицах и чем больше доходов над расходами, тем выше ценность предложения. Для финансиста именно кратность превышения доходов над расходами и есть ценность. А как раз финансисты-то и определяют сейчас "движение светил" в промышленности.

Тогда как измерить ценность мощности и уровень надежности двигателя НК-12 бомбардировщика Ту-95, который на протяжении четверти века обеспечивал возможность ядерного возмездия? Самолёта, крылья которого дали жизнь непревзойдённо экономичному гражданскому Ту-114, на котором впервые в мире осуществлялись межконтинентальные перевозки Москва-Гавана, Москва-Токио и первые операции "мокрого лизинга". Надежность самолета, слагающаяся из надежности двигателя и планера в сочетании с комфортом спальных кают, спровоцировали стремительный спрос на авиaperевозки и дало право Советскому Союзу стать законодателем авиамоды в мире.

При всей исключительности Ту-114 проигрывал по интенсивности эксплуатации самолетам с турбореактивными двигателями (ТРД) по обеспеченности аэродромным обслуживанием, а до проблем рынка и экологии было еще очень-очень далеко. Вновь спроектированный Ил-62 с четырьмя НК-8 победил в конкурсе проект Ту-114 с шестью НК-8 под крылом, что и послужило основанием вывода Ту-114 с НК-12 из эксплуатации. Между тем, как Ту-95 стоят на вооружении и летают и по сию пору.

Можно обозначить суть претензий к конструкции Ту-114: проблемы уменьшения диаметра винта при повышении тяги, т.е. необходимость разрешения фундаментальных противоречий, заложенных в формуле тяги винта. Впрочем, время дало ответ на поставленные проблемы.

Через 50 лет к уровню мощности НК-12 (15 тыс. л.с.) и стартовой тяге соосных воздушных винтов 8...10 тс при диаметре 5,6 м приблизились турбовинтовой двигатель самолета А400 и винтовентиляторный Д-27. Европейец создает тягу 11 тс при диаметре однорядного винта 5,35 м и мощности на валу 11 тыс. л.с., а отечественный соосный вентилятор ступинской разработки СВ-27 диаметром 4,5 м дает тягу 12 тс при мощности на валу украинского двигателя 14 тыс. л.с.

Запорожские моторостроители свой Д-27 с российским СВ-27 кроме Ан-70 продвигали и на замену НК-12 на Ту-95 ввиду очевидных преимуществ и возможности увеличения тяги до 15 тс. В то же самое время, "запад" серьезно рассматривал только НК-12 для своего А400 в классе тяг 10-14 тс, основываясь на подтвержденной надежности этого двигателя и редуктора НК-12 при достижении тяги 16,5 тс на соосных воздушных винтах диаметром 6,2 метра, установленных на экраноплане "Орлёнок".

Пародоксально, но двигателем НК-12 можно "крутить" и отечественный СВ-27, если воспользоваться апробированной идеей замены двух шестерен в редукторе НК-12 с получением передаточного отношения 7,2 и заменить винты на винтовентиляторы (рис. 1). Это кардинально изменяет возможности конверсии Ту-95, подразумевая сохранение топливной экономичности, как у Ту-114 в диапазоне 0,25...0,3 кг/кгс в час, характерной для воздушных винтов.



Рис.1 Эскиз Ту-95 с СВ-27

Один вариант конверсии может быть аналогичен американскому ХС-120 фирмы "Фэрчайлд" (Рис. 2) с постепенным увеличением тяги одного двигателя до возможных 18...20 тс. Другой вариант - создание двухфюзеляжного самолёта из Ту-95 (см. рис. 3) с сохранением исходной колеи шасси для перевозки сверхгабаритных грузов, как альтернатива Ан-124 "Руслан".

Приведенные варианты сохраняют четырёхмоторное исполнение исходного крыла "95-го" с перспективой выхода СВ-27 на 15 тонн тяги. Наличие Ту-95, подлежащих "отставке", позволяет получить результат конверсии по факту и обеспечить демобилизацию около 63-х единиц бомбардировщиков в грузовики различного назначения с экономичностью недостижимой даже Пратт Уитни с индексом "G".



Рис.2 Fairchild HC-120

К сокрытым ценностям, заложенным в Ту-95 с НК-12, надо приложить голову и руки, чтобы вновь выйти в лидеры при минимальных затратах на этот процесс.



Рис.3 Модель двухфюзеляжника

Летать - так летать! Реабилитация производств

Для экономики полёта важна экономичность самолёта как типа, а для экономики производства того же типа самолёта важна серия от 300 единиц.

Полная и тотальная конверсия всех оставшихся Ту-95 в грузовые дает менее трети от минимума и возникает вопрос формирования серии летательных аппаратов, унифицированных, как минимум, по крылу. Как, например, Ан-124 "Руслан" и Ан-225 "Мрия" или Ту-204/214 с проектом грузового Ту-330.

В наследство от Союза осталось доведенное до совершенства производство Ту-154, Ил-62, Ил-76, оснащенных ТРД, но практически с нулевым валовым производством. К этому добавляется застой производства Ту-204/214.

Всё по цепочке: от отстающей топливной экономичности отечественных ТРД к выводу самолётов из эксплуатации, прекращению спроса и холодному ходу авиапрома. Большинство согласно с выходом из стагнации авиапрома путем повторения опыта советского периода: новый самолет/двигатель и новое производство, вместо совершенствования имеющихся. Кстати, заодно и опас-

ной кредитной зависимости можно избежать, если построенные Ту-154 и Ил-62 (авиапарк которых около 100 единиц) частично ремоторизировать.

Взяв за основу существующее равенство тяг ТРД (11...12 тс) и СВ-27 (12 тс) для сохранения динамики взлетно-посадочных характеристик, а также известное увеличение подъемной силы крыла от дополнительного обдува, попробуем переместить двигатели с хвоста в крыло. Для этого рассмотрим крыло от Ту-95/114 в дефорсированном виде с двумя НК-12, но теперь уже с СВ-27. Это позволяет снять по два ТРД с хвостовой части и Ту-154 (рис. 4), и Ил-62 (рис. 5), сохраняя при этом трехдвигательную и четырехдвигательную компоновки, а вставками в фюзеляж отрегулировать новое положение центра тяжести.

Таким образом, "главным" по экономике полета будет НК-12 с СВ-27 как турбовинтовентиляторный двигатель (ТВВД), а оставшиеся ТРД будут выполнять роль бустерных двигателей, как это существует на Ан-26 (2 турбовинтовых + 1 ТРД), или на экраноплане "Орленок" (1 НК-12МК + 2 бустерных НК-8) или как на гидросамолете А40 (2ТРД + 2 бустерных ТРД).

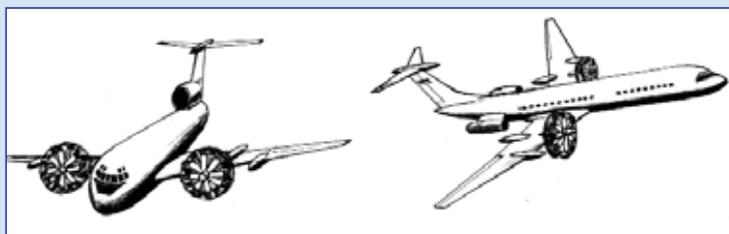


Рис. 4 Винтовентиляторы на Ту-154 и Ил-862

Ориентировочно, часовой расход топлива у Ту-154 (2 ТВВД + 1 ТРД) и Ил-62 (2 ТВВД + 2 ТРД) снизится от 30 % до 50 % со снижением скорости до 750 км/ч по условиям работы винтовентиляторного двигателя.

Так, целевой задачей модернизации Ту-154 в вариант "2 ТВВД + ТРД" может стать предложение легкого самолета дальнего радиолокационного обнаружения (ДРЛО) для Минобороны. Имея задел в виде палубного ДРЛО Як-44Э взлетной массой 50 т с 2 ТВВД на крыле, а так же Ту-154 взлетной массой 100 т с вариантом работы хвостового ТРД в двухрежимном варианте (бустерный/электростанция) как на самолете вертикального взлета F-35В, можем получить самолет ДРЛО взлетной массой около 75 тонн на базе фюзеляжа Ту-154. С разворачиванием производства частей крыла Ту-95 на заводах Самары и Таганрога или в кооперации.

Если по Ту-154 все вопросы - в рамках одного КБ, то взаимодействие с "Ил" лучше начинать с модернизации выпущенных Ил-76 путем уменьшения длины фюзеляжа до размеров проекта среднего транспортного самолета (СТС) (рис. 6). Сотни Ил-76, стоящие на хранении, могут стать исходным сырьем для получения столь необходимого аналога Ан-12, как по экономичности тяги, так и по размерам грузового отсека, что очень важно в логистике военно-транспортных операций.

Но самый большой интерес может вызвать Ил-62 с ТВВД, диаметр фюзеляжа которого совпадает с диаметром фюзеляжа МС-21, и соответствует размерности МС-21-400 с дальностью около 10 000 км, но с бустерным ТРД.

К перечисленным типам самолетов от Ту-95/126/142 до Ту-154, Ил-62 и СТС с ТВВД, для достижения серии выше 300 единиц необходимо учесть авиапарк Ту-204/214 в количестве 70-75 единиц. При поэтапном повышении тяги СВ-27 с 12 тс до 15 тс возможен отказ от хвостовых бустерных ТРД. Тогда и Ту-204/214 остается в двухдвигательном исполнении с ТВВД и крылом от Ту-95.

Предложенный вариант ремоторизации путем замены ТРД на ТВВД с одновременной заменой крыла позволяет начать реабилитацию действующих производств с единичного образца, управлением оптимальным темпом производства серии при минимальной кредитной нагрузке.



Рис. 5 СТС с винтовентиляторами

"Окрыление" МС-21. Синергия производств

Таким образом, авиапроизводства Казани (Ил-62, Ту-214), Ульяновска (Ту-204, СТС), Самары (Ту-95/154), Таганрога (Ту-95/142), расположенные вдоль волжского меридиана, образуют новую рассредоточенную сборочную кооперацию, напоминающую схему корпорации "Эйрбас", но объединенную по крылу и мотору.

Исходя из логики действий, на первом месте стоит подтверждение возможностей НК-12, как ТВВД, на базовом проекте Ту-95/126/142, затем подтверждение возможности крыла и перенос технологических инноваций на Ту-154, Ил-62, Ту-204 и СТС. При благоприятном развитии загрузки производств на серию от 300 единиц и возвращению вложенных средств от среднегодового полета ремоторизованного авиапарка около 2500 часов на самолет, ожидаемое время работы производств по выпуску до 10 лет, что уступает дальнесрочным перспективам на срок свыше 15 лет.

Как известно, диаметр фюзеляжей Як-42, Ту-204/214, которые шли на замену Ту-154, совпадают с диаметром фюзеляжа Ту-154 (3,8м) и выбирались из конструктивно-технологических соображений. В условиях рынка, в конструкцию самолета вмешалась логистика пассажирских авиаперевозок, которая на базе Ту-114 и Ил-62 показало, что посадка-высадка пассажиров при диаметре фюзеляжа более четырех метров происходит быстрее на 30 % и увеличивает время на выполнение полетов, что важно для среднемагистрального МС-21.

В ряду достоинств проекта МС-21 - фюзеляж диаметром 4,06 метра, учитывающий требования логистики и компоновки салона аналогично компоновкам Як-42, Ту-154/204/214 и Ил-62. Так называемое "черное крыло", которым комплектуется металлический фюзеляж МС-21 и сопутствующие ему 2 типа ТРДД с тягами 14 тс, имеет больше рисков, чем фюзеляж. Поэтому, в качестве страховки части проекта МС-21 допущение замены "черного крыла" с ТРДД на традиционное алюминиевое крыло от Ту-95 с двумя ТВВД, дает "окрыление - нео", если так можно выразиться. Применение винтовентиляторов с удельной экономичностью тяги 0,25...0,3 кг/кгс в час нивелирует увеличение лобового сопротивления "крыла - нео" и снижение крейсерской скорости до 750 км/ч.

Сложившаяся меридиональная волжская кооперация производств по "крылу - нео" получит широкое развитие по модификациям фюзеляжа МС-21 в компоновках от 120 до 220 мест.

Данные французской группы "Safran" (октябрь 2017 г.) говорят о получении тяги 111 кН (12...12,5 тс) на соосных роторах винтовентиляторов диаметром 4,2 м при оборотах 800 об/мин со снижением выбросов CO₂ на 30 %. Другими словами, наличие такого ключевого элемента, как редуктор НК-12 и успехи в создании воздушных движителей, позволяет отечественному авиастроению наверстать упущенное за десятилетия, используя и старые проекты для реабилитации производств, и новые проекты для утверждения на мировом рынке на базе рассредоточенной меридионально-широкой кооперации.



Связь с автором: g_vva714@mail.ru

ТАЛАНТЛИВЫЙ ИНЖЕНЕР, ИЗВЕСТНЫЙ УЧЁНЫЙ

(К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С.А. СИРОТИНА)

Александр Леонидович Абасов,

к.т.н., ведущий научный сотрудник ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова"

30 ноября 2017 г. исполнилось 90 лет со дня рождения известного учёного, организатора работ в области авиационного двигателестроения, заместителя начальника ЦИАМ с 1983 г. по 1988 г. С.А. Сиротина.

Работать в ЦИАМ Сергей Александрович пришёл в 1946 г. в подразделение систем автоматического управления. Вначале техником-экспериментатором, начальником установки, а после окончания в 1953 г. МАИ им. С. Орджоникидзе - инженером, ведущим инженером, ведущим конструктором, начальником сектора, начальником отдела. В 1983 г. С.А. Сиротин был назначен заместителем начальника ЦИАМ по опытным и серийным двигателям.

В 1950-х годах Сергей Александрович принял участие в работе по оказанию практической помощи Заказчику. Вместе с коллегами им был выполнен комплекс исследований по выявлению причин колебаний давления в системах подачи топлива в эксплуатирующихся ТРД. Результатом работы стали предложения мероприятий, внедрение которых позволило нормализовать эксплуатацию многих двигателей.

Важной проблемой, решавшейся при разработке ГТД и их систем регулирования, была и остается проблема газодинамической устойчивости при изменении режимов работы двигателя в широком диапазоне условий применения летательного аппарата. Выполненные в 1956-1960 гг. в ЦИАМ исследования, в которых непосредственное участие принимал Сергей Александрович, позволили вскрыть механизм возникновения помпажа и предложить способы его предотвращения и устранения средствами автоматики.

Позднее, в 1960-1970 гг., С.А. Сиротин с коллегами предложили автоматические устройства, выполнявшие эти функции. Был разработан ряд устройств, основанных на применении специальных насадков для измерения давления газа по тракту двигателя и частотных фильтров, с помощью которых формируются сигналы для управления подачей топлива в двигатель. Применение этих систем повысило тактические свойства боевых самолетов.

Большое значение для развития экспериментальных исследований имели разработанные под руководством С.А. Сиротина методы и лабораторное оборудование, позволяющие измерять частотные характеристики двигателей и агрегатов автоматики на стендах и в лабораторных условиях.

С его участием были разработаны методы моделирования на вычислительных машинах нестационарных процессов, протекающих при запуске, приемистости и регулировании режима работы сложных двигательных установок с воздухозаборниками совместно с системами управления.

В начале 1960-х годов С.А. Сиротин участвовал в разработке и внедрении в практику создания ЖРД методов проектирования и расчёта характеристик агрегатов автоматики, турбин, насосов ЖРД "закрытой" схемы. Большое значение имели его работы по системам управления перспективных ракетных двигателей с широким диапазоном изменения тяги. Под руководством Сергея Александровича были созданы экспериментальные установки, в частности, уникальные стенды для исследования систем регулирования ЖРД.



С.А. Сиротин провел большой цикл исследований, направленных на улучшение характеристик силовых установок самолетов-истребителей и беспилотных комплексов Генеральных конструкторов Микояна, Яковлева, Сухого, Челомея.

Под руководством Сергея Александровича в институте был разработан первый в промышленности стенд с обратной связью для полунатурного моделирования САУ ГТД, который позднее стал неотъемлемой частью экспериментальной базы отечественных агрегатных ОКБ.

Результаты выполненных С.А. Сиротиным исследований, легли в основу кандидатской диссертации, которую он успешно защитил в 1970 г. Полученные в дальнейших работах новые важные научные результаты, в том числе по системам защиты ГТД от помпажа, он обобщил в своей докторской диссертации, которую успешно защитил в 1986 г.

Под его руководством в содружестве с учёными ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского была решена проблема запускаемых подъёмных двигателей самолёта Як-36 в условиях морского климата.

Работая в отделении Систем автоматического управления, Сергей Александрович занимался вопросами построения САУ двигателей различного типа. Тесно сотрудничая с ОКБ промышленности, он участвовал в формировании концепции построения САУ двигателей IV поколения, которая была реализована на двигателях АЛ-31Ф и РД-33.

Принял непосредственное и активное участие в налаживании творческих и деловых контактов с зарубежными научными организациями и КБ. Средства, полученные за работы с инозаказчиками, способствовали в лихие 90-е годы сохранению работников в институте, давали возможность учёным заниматься своим делом.

Сергеем Александровичем воспитана плеяда ученых, которые в настоящее время продолжают успешно трудиться в ЦИАМ.

Он автор четырех монографий, большого числа статей и технических отчетов, ряда основополагающих нормативных документов, многих изобретений.

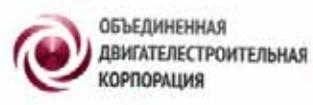
С.А. Сиротин плодотворно и творчески участвовал в оказании научной и технической помощи ОКБ и заводам при разработке и доводке новых двигателей, в решении вопросов, возникающих при эксплуатации серийных двигателей, активно работал в составе комиссий по Государственным испытаниям ряда двигателей IV поколения.

Награждён орденами Трудового Красного знамени и Знак Почёта, многими медалями. Лауреат Государственной премии и дважды - премии им. проф. Н.Е. Жуковского.

Благодаря высокому профессионализму, организаторским способностям, С.А. Сиротин пользовался большим авторитетом и уважением среди сотрудников института и промышленности.

Сергея Александровича всегда отличали чуткость и доброжелательность к коллегам, внимательное отношение к нуждам товарищей, глубокая порядочность и принципиальность.

Таким помнят его друзья, товарищи и коллеги. Все, кто работал с ним. ■



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ДВИГАТЕЛСТРОЕНИЯ 2018 4-6 АПРЕЛЯ

МОСКВА, ВДНХ, ПАВИЛЬОН 75

**ОРГАНИЗАТОР И ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
СПОНСОР АО "ОБЪЕДИНЁННАЯ
ДВИГАТЕЛСТРОИТЕЛЬНАЯ
КОРПОРАЦИЯ"**

АО ОДК - 10 ЛЕТ

**УСТРОИТЕЛЬ - АССОЦИАЦИЯ
"СОЮЗ АВИАЦИОННОГО
ДВИГАТЕЛСТРОЕНИЯ"**

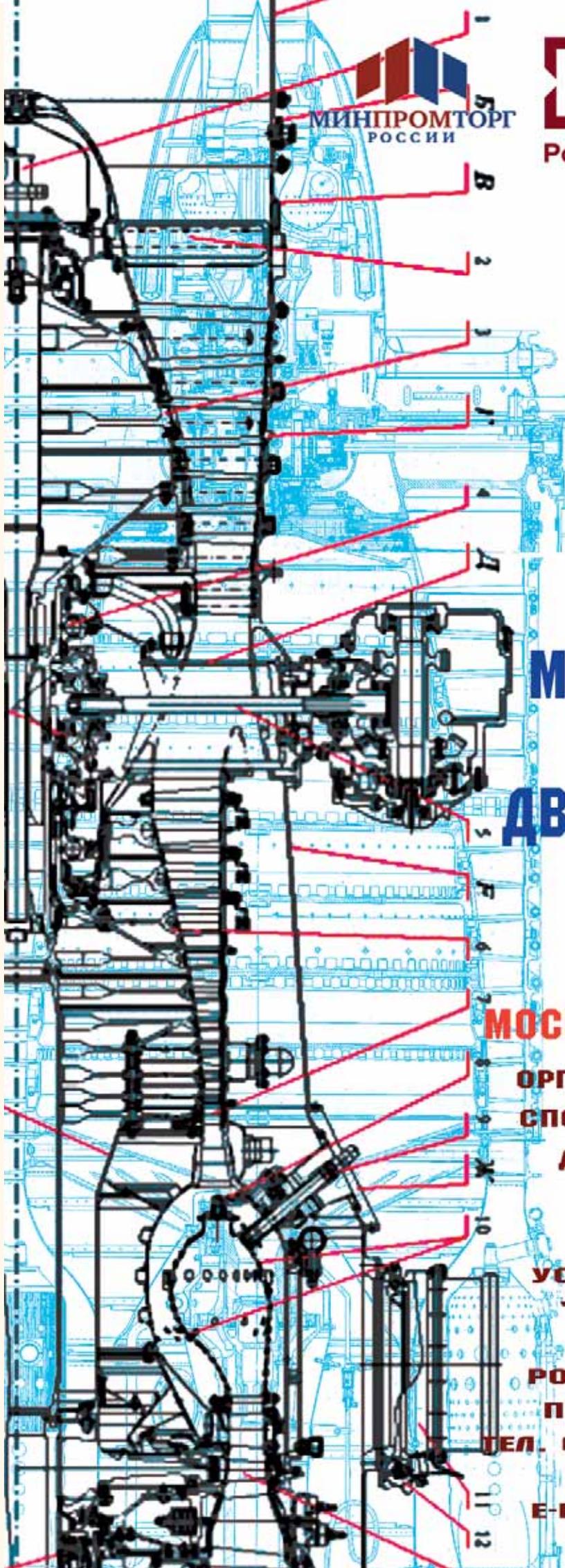
**РОССИЯ, 105118, МОСКВА,
ПРОСПЕКТ БУДЁННОГО, 19**

ТЕЛ. (495) 366-18-94, 366-85-22,

366-79-38, 366-45-38

E-MAIL FORUM@ASSAD.RU

WWW.ASSAD.RU





ЛЕВ АБРАМОВИЧ КЛЯЧКО К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ



7-го ноября 2017 года исполняется 100 лет со дня рождения крупного отечественного специалиста в области процессов горения, доктора технических наук, профессора Льва Abramовича Клячко.

Лев Abramович Клячко родился в ноябре 1917 года в Москве. После окончания в 1941 году физического факультета Московского университета работал в ЦАГИ, а затем, с 1944 г. в НИИ-1 (ныне "Центр Келдыша"). За время работы в этих ведущих центрах отечественной аэрокосмической промышленности сформировалась область научных интересов молодого ученого - исследование физико-химических процессов, обеспечивающих эффективное горение в авиационных и ракетных двигателях.

В сентябре 1948 года Лев Abramович Клячко переходит на работу в Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова (ЦИАМ). В стенах ЦИАМ проходит наиболее плодотворный период его творческой деятельности.

В 1949 году Лев Abramович защитил кандидатскую диссертацию, посвященную анализу гидравлики центробежных форсунок. Содержание этой работы отражает одну из примечательных черт Льва Abramовича Клячко как ученого - его интерес к нетривиальным, на первый взгляд, парадоксальным результатам. В его кандидатской диссертации таким результатом был анализ влияния вязкости распыливаемой жидкости на расходные характеристики форсунок. Вопреки ожиданиям увеличение вязкости жидкости вызывает рост расхода закрученного потока жидкости через форсунку.

Подобная неординарность результатов характерна для большинства работ Льва Abramовича и отражает особый, индивидуальный стиль его творческой личности. Этот стиль работы привлекал ко Льву Abramовичу широкий круг исследователей из целого ряда организаций и его молодых учеников. Под руководством Л.А. Клячко десять сотрудников ЦИАМ и пять сотрудников родственных организаций защитили кандидатские диссертации, четверо из них стали впоследствии докторами наук. Более пятнадцати лет Л.А. Клячко преподавал в Московском физико-техническом институте.

Характерному творческому почерку Льва Abramовича вполне соответствовала и область его деятельности в 60-е годы. Именно тогда при его активном лидерстве в ЦИАМ и ряде ОКБ отечественной промышленности проводились исследования процесса горения в новом оригинальном типе ракетных двигателей - ракетно-прямоточных двигателях на твердом топливе. Результаты этих работ легли в основу докторской диссертации Льва Abramовича Клячко, которую он успешно защитил в 1968 году. Характерно, что исследования в этой об-

Владимир Миронович Захаров, к.т.н., ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

ласти, выполненные более 45 лет назад, активно используются и сегодня в России и за рубежом.

Крупный ученый Лев Abramович Клячко, работал в обширной области фундаментальных и прикладных исследований. Здесь и уже упоминавшаяся теория центробежных форсунок и выделившаяся в самостоятельный раздел теории горения совокупностей частиц или капель, горение частиц металлического горючего и смесевых топлив на основе этих металлов. В процессе этих исследований Лев Abramович тесно сотрудничал со специалистами из высших учебных заведений и институтов Академии наук СССР. Благодаря присущим Льву Abramовичу перспективности мышления и научного предвидения, полученные им результаты в различных областях науки актуальны до настоящего времени.

Работы в этих областях сделали Льва Abramовича Клячко ученым с мировым именем. Широкий круг ученых и специалистов в различных прикладных областях знают и используют в своей деятельности изданную в Советском Союзе монографию по распыливанию жидкости, написанную Львом Abramовичем совместно с В.А. Бородиным, Ю.Ф. Дитякиным, И.И. Новиковым и В.И. Ягодкиным. Издание этой монографии было осуществлено также в США. Л.А. Клячко - автор более 60 публикаций (в том числе 3-х монографий).

В сфере интересов Л.А. Клячко и широкий спектр прикладных исследований процесса горения в различных областях:

- * форсажные камеры газотурбинных двигателей (ГТД), в том числе участие в создании первой отечественной форсажной камеры (двигатель ВК-1Ф);
- * камеры сгорания прямоточных воздушно-реактивных двигателей (ПВРД);
- * ракетно-прямоточные двигатели на твердом топливе;
- * гибридные ракетные двигатели.

Неординарный, по настоящему научный подход Льва Abramовича к решению прикладных задач, наряду с глубоким знанием проблем, стоящих перед конструкторскими коллективами, обеспечили ему прочный авторитет в промышленности. Лев Abramович - автор 11 изобретений. Крупный ученый и прекрасный человек, Лев Abramович Клячко навсегда остается образцом служения науке. Заслуги Л.А. Клячко в исследовании процесса горения признаны научной общественностью нашей страны. Он был членом оргкомитета всех десяти Советских и Российских симпозиумов по горению и взрыву и мемориала Я.Б. Зельдовича, почетным членом Российской секции Международного института горения.

В 1969 году Л.А. Клячко удостоен премии и медали им. проф. Н.Е. Жуковского. В 1971 году награжден орденом "Знак почета". В 1990 г. Государственным реестром СССР зарегистрировано первое в истории ЦИАМ открытие, авторами которого являлись сотрудники института Г.Н. Abramович и Л.А. Клячко (вместе с И.И. Новиковым и В.И. Скобелкиным). □

ИНФОРМАЦИЯ

Специалисты японской компании Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd. (MHPs) закончили вибрационные испытания последней ступени самой большой в мире паровой турбины для атомных электростанций. Длина одной лопатки этой турбины составляет 1,88 м, и это самая длинная в мире лопатка паровой турбины на сегодняшний день.

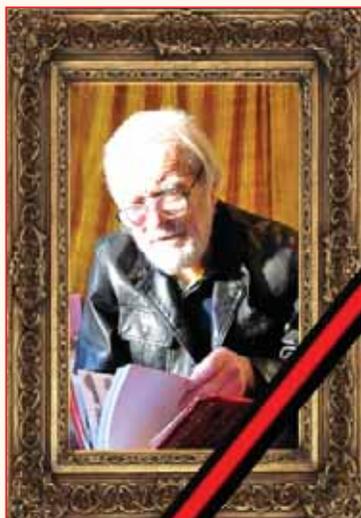
Вибрационный тест проводился на быстродействующем стенде, позволяю-

щем производить измерения уровня вибрации и параметры для выполнения балансировки. Этот стенд, кстати, тоже является самым большим из подобных стендов во всем мире.

Турбина предназначена для работы на атомных электростанциях мощностью от 1200 МВт до 1500 МВт. Новая турбина имеет более простую конструкцию, что позволит строить более дешевые атомные станции. □



УЧЁНЫЙ, УЧЕНИК, УЧИТЕЛЬ



Белоконь Валентин Анатольевич выпускник - ФТФ МГУ/МФТИ 1957 года, академик РАЕН, Российской академии Космонавтики, Международной академии прогнозирования.

Физик, математик, историк, философ, преподаватель, журналист, писатель.

Сотрудничал в группах учёных, работающих по самым насущным и острым проблемам современной науки - как гражданским, так и оборонным. Известен в кругах мировых учёных и сам знал многих - если не всех, то наиболее значимых. В разные времена работал в ИХФ АН СССР, ЦАГИ (Жуковский), ЦНИИМАШ (Подлипки), МОП, ФизФак МГУ, МехМат МГУ, ИО РАН.

Много времени уделял привлечению к работе в науке талантливой молодежи - и со студентами, и со школьниками. Преподавал в МФТИ, на ФизФаке МГУ, ЖурФаке МГУ (спецкурсы, факультативные курсы и семинары). Вёл показательные уроки в старших классах школ, в том числе - в Колмогоровском интернате.

Публикации: профессиональных научных более 150, научно-публицистических более 120.

В журнале "Двигатель" с 2011 по 2017 г. было опубликовано 12 статей, вызвавших шквал откликов читателей. Последняя - во 2 номере 2017 г.

Скончался дома, после тяжёлой и продолжительной болезни в ночь на 4 декабря 2017 года.



В.А. Белоконь (слева) и Поль Дирак. 1973 г.



ПАМЯТЬ

ПАМЯТИ СТАРШЕГО ТОВАРИЩА

В ночь на 13 декабря на 100-м году ушёл из жизни старейший из действующих главных редакторов журналов, маёвцев, выпускников академии им. Жуковского, авиадвигателестроителей, журналистов, писателей - и просто хороший человек, Лев Павлович Берне.

Лев Павлович Берне родился в 1918 г. В юношеские годы занимался планеризмом, прыгал с парашютом. В 1941 г. студент старших курсов Московского авиационного института Лев Берне добровольно вступает в Красную Армию. В 1942 г. переводится для продолжения учебы в Военно-Воздушную инженерную Академию имени Н.Е. Жуковского. В мае-июле 1943 г. - инженер эскадрильи, сражавшейся на Курской дуге.

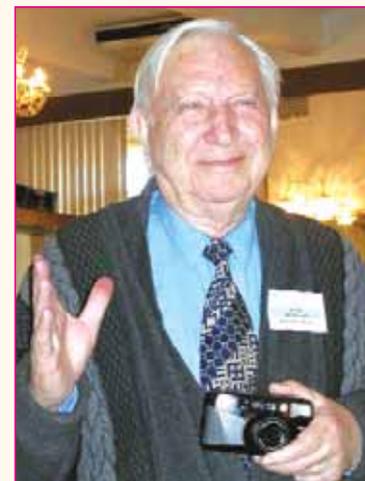
Дипломный проект делал в ОКБ А.А. Микулина (руководитель - Б.С. Стечкин). В феврале 1944 г. после окончания Академии по просьбе А.А. Микулина решением ГКО за подписью Сталина направляется для дальнейшего прохождения службы на завод № 300 (впоследствии завод "Союз") в распоряжение ответственного руководителя А.А. Микулина с целевым назначением: летные испытания двигателей, где и работал до выхода на пенсию. Практически все

ГТД Микулина, Туманского, Фаворского выпуска московского ОКБ "Союз" испытаны в воздухе

при его участии. Но и уйдя с конструкторской и испытательной работы, Лев Павлович не смог покинуть авиацию. С 1988 г. работает в национальном авиационном журнале "Крылья Родины", с 2005 г. - главный редактор. До самых последних дней он активно руководил политикой журнала и редактировал помещаемый материал. В 1999 году участвует в создании журнала "Двигатель". В нашем журнале опубликовано им множество статей по истории авиации и о людях её создавших. Л.П. Берне - один из авторитетнейших историков авиации. Его книги по истории ОКБ "Союз", Ступинскому авиапредприятию и другие - стали классикой жанра. А книга о начале газотурбостроения в России "Как всё начиналось" выдержала два издания и потребовала допечаток тиража. Готовили и треть... Он - автор многочисленных статей по истории авиационного двигателестроения, по технике, которую использовали, о людях, что её создавали.

Лев Павлович - действительный член Академии наук авиации и воздухоплавания. Награжден орденами Ленина, Отечественной войны, Знак Почета и многочисленными медалями.

Его уход из жизни - большая потеря для всех нас. Наши искренние соболезнования его многочисленной дружной семье, коллегам с "Крыльев Родины" в связи с этой утратой.



УПРАВЛЕНИЕ ТАЛАНТАМИ В НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Наталья Анатольевна Егоренкова, канд. экон. наук
Валерий Алентинович Сметанин, д-р психол. наук

В статье рассмотрены вопросы способностей (таланта) сотрудника в контексте профессиональной деятельности, программы управления талантами и развития кадрового резерва, использования модели компетенций на производственном предприятии.

The next issues are described: human abilities, talent withing industries, talent and career management, applying of competency model in industry sphere.

Ключевые слова: управление талантами, способности, индустрия 4.0., аддитивные технологии, модель компетенций, цифровое производство.

Keywords: talent management, abilities, industry 4.0., additive technologies, competency model, digital industry.

Прогресс человеческого общества движется талантами. Таланту порой приходится пробиваться через социальные и бюрократические ограничения. В прошлые времена таланты нередко поддерживались меценатами. Сейчас продвижение талантливых идей прорабатывается на системном уровне.

Считается, что сам термин "управление талантами" появился в 1996 г., когда консалтинговая компания McKinsey сделала доклад, в котором впервые была поднята тема "войны за таланты". С тех пор прошло 20 лет и по сей день данной теме уделяется большое внимание. В то же время пока в HR-сообществе нет единого представления о подходах в области управления талантами. Некоторые специалисты придерживаются мнения, что изначально талантливы все люди, лишённые каких-либо врожденных недостатков. Просто скорость роста их интеллектуального и творческого потенциала может быть разной, и от этого зависит необходимый инструмент и подходы для их развития. Другие придерживаются мнения, что только некоторые работники, обладающие определенным набором весьма специфических качеств, могут считаться талантливыми.

Нет необходимости оценивать ту или иную точку зрения, поскольку если принять определенные допущения, то они не конфликтуют друг с другом. Можно ведь просто разделить всех "потенциально" талантливых на тех, кто уже по скорости своего развития "дорос" до определенного состояния и тем самым становится кандидатом в некоторую целевую группу, а все другие - равно талантливые - по скорости своего развития еще только приближаются к этому статусу.

Проблема, однако, заключается в том, что у предприятия, как у любой бизнес-единицы, нет в распоряжении бесконечного интервала времени, чтобы дождаться пока все потенциально одинаково талантливые сотрудники достигнут равного статуса в своем росте. Поэтому HR-подразделения вынуждены ориентироваться в первую очередь на "передовиков" в индивидуальном развитии, экономя тем самым время, средства, и усилия работодателя в борьбе за таланты.

И такое прагматичное решение совпадает и с научными оценками. Так, проблемы способностей и таланта человека, рассматриваемые в психологической науке [1] не одно столетие, в середине прошлого века нашли свои решения в работах многих авторитетных ученых. Так, Б.М. Теплов выделял способности по трем основаниям [2]:

• во-первых, под способностями разумеются индивидуально-психологические особенности, отличающие одного человека от другого; никто не станет говорить о способностях там, где дело идет о свойствах, в отношении которых все люди равны...;

• во-вторых, способностями называют не всякие вообще индивидуальные особенности, а лишь такие, которые имеют отношение к успешности выполнения какой-либо деятельности или многих деятельностей...;

• в-третьих, понятие способность не сводится к тем знаниям, навыкам и умениям, которые уже выработаны у данного человека".

При этом важны замечания Б.М. Теплова о том, что "не может быть способностей, которые не развивались бы в процессе воспи-

тания и обучения", "способности не могут возникнуть вне соответствующей деятельности", "способности ... создаются в этой деятельности".

Способности обуславливают легкость и быстроту приобретения знаний и навыков. Но, говорить о влиянии только одной какой-либо способности на успешность деятельности не верно, т.к., во-первых, связь между деятельностью и индивидуально-психологическими качествами не является прямой [1], во-вторых, слабая выраженность одних качеств человека может компенсироваться развитием других качеств или их совокупностью.

Возвращаясь к современной HR-практике, следует отметить, что в некоторых компаниях, например, в компании Coca-Cola, избегают использовать термин "талантливый работник", вместо этого используя термин Hi-Po (High Potential) - "высокопотенциальный" работник. Это, однако, не меняет сути дела, поскольку акцент все равно делается на эту группу работников, которая в сочетании с определенным опытом, навыками и умениями (компетенциями) составляет потенциальный авангард будущего развития компании.

Обычно, в традиционных моделях компетенций, считается, что результативность работника складывается из таких составляющих, как ориентация на результат, клиентоориентированность, лидерские качества и т.п.

Вполне возможно, что для чисто производственных компаний или торговых сетей, где работники заняты в основном трудом с устойчивыми и относительно простыми и высоко регламентированными операциями, подобного набора качеств вполне достаточно. Однако для научных организаций, исследовательских центров и конструкторских бюро к ним следовало бы добавить еще дополнительные специфические компетенции. Это обусловлено тем, что именно сейчас мы подошли к началу очередной промышленной революции - революции так называемого "аддитивного" производства.

В последние годы "аддитивное производство" или 3D-технологии все больше внедряются в производственную сферу, революционизирующего всю обрабатывающую промышленность. Аддитивные технологии (или технологии послойного синтеза), как элемент "четвертой промышленной революции" (индустрии 4.0) являются одними из наиболее динамично развивающихся перспективных производственных процессов. 3D-принтеры уже вполне созрели для производства ответственных промышленных изделий с высокой степенью технологического передела, в том числе в аэрокосмической промышленности. Известно, например, что компания SpaceX Илона Маска, создающая ракеты-носители Falcon, все больше опирается на изготовление различных деталей с помощью 3D-принтеров. Это позволяет компании существенно снизить производственные издержки и удерживать цены на пусковые услуги на достаточно низком, по сравнению с конкурентами, уровне.

По сути, "аддитивное производство" представляет собой полный антипод существующей парадигме "субтрактивного производства", когда деталь "выращивается" из материала с нуля, вместо того, чтобы "отсекать все лишнее" от заготовки. Таким образом, эта технология лежит в одном русле с так называемым "цифровым производством", поскольку 3D-принтеры не могут функциониро-

вать без компьютерной цифровой модели изготавливаемой детали. Она также обеспечивает реализацию "бережливого производства" (lean-технологии).

Пока наибольшая доля применения 3D принтеров приходится на крупные производственные предприятия. Они особенно актуальны в научно-производственных объединениях, где есть полный цикл создания изделий: от компьютерного проектирования, изготовления прототипов, их испытания и внесения изменений в модель, до производства установочных партий деталей перед запуском в серию.

Возвращаясь к теме управления талантами, интерес вызывает оценка предприятиями факторов, которые тормозят развитие этих технологий. Исследования показывают, что из тех барьеров, которые сдерживают их внедрение, примерно четверть приходится на "страх перед инновациями" или "сопротивление изменениям".

Таким образом, помимо необходимости формирования новых стандартов и нормативных документов, меняющих сущность технологического процесса, на передний план выходит подготовка квалифицированного персонала. И если кадровую подготовку можно обеспечить в существующих вузах химико-технологического и машиностроительного профиля, то провести поиск и обучение тех работников, которые наиболее подготовлены для освоения новых технологий, можно только непосредственно на самом предприятии.

Отсюда и вытекает задача поиска и управления талантами, которые и будут находиться в авангарде новой промышленной революции. В этой связи все сказанное выше о цифровом производстве сужает целевую группу потенциальных кандидатов до тех сотрудников, которые "на ты" с современными цифровыми решениями и техникой. А это зачастую подразумевает молодой возраст сотрудников. В то же время, вовлечение в процесс управления талантами одной лишь молодежи, зачастую не обладающей необходимым опытом реальных проектов, было бы большой ошибкой. Поэтому институт наставничества, как хорошо отработанный в нашей стране инструмент, должен применяться и в этом случае.

Суммируя вышесказанное, можно предложить следующий набор качеств и компетенций, которыми должны обладать потенциальные кандидаты в целевую группу талантов, на которые предприятие делает ставку в своем движении к новым технологиям, а именно:

- способность к обучению,
- мотивация достижений,
- стремление к инновациям,
- ориентация на результат,
- лидерские качества.

В АО "НПО Энергомаш" в соответствии с политикой Государственной корпорации по космической деятельности "Роскосмос"

в области формирования и развития кадрового резерва (утвержденной Правлением Государственной корпорации "Роскосмос") внедрена следующая модель компетенций (как совокупность корпоративных компетенций):

- стратегическое мышление;
- мотивация на достижение;
- управленческая ответственность;
- командное лидерство;
- анализ проблем и принятие решений;
- персональное влияние;
- адекватность самооценки;
- ориентация на результат.

По данной модели компетенций проводится оценка сотрудников предприятия, планируются обучающие и развивающие мероприятия для последующего назначения на целевые должности карьерных треков.

Но есть одна группа кадрового резерва, для участников которой еще не определены точно ориентиры дальнейшего развития, которая формируется без привязки к конкретным целевым должностям - это группа "управления талантами". Главный критерий для включения в эту группу кадрового резерва - высокий потенциал развития претендента.

Помимо решения основной цели программы кадрового резерва "Управление талантами" - развития сотрудников, достигается и значимый практический результат - рост числа назначений на вакантные должности из числа сотрудников кадрового резерва. Практика трех кварталов показана на рис. 1.



Рис. 1 Процент назначений на руководящие должности из кадрового резерва

Стартовавшая в НПО Энергомаш в 2017 году программа развития кадрового резерва "Новая орбита" получит дальнейшее развитие в 2018 году.

Литература

- 1 Мерлин В.С. "Очерк интегрального исследования индивидуальности". - М.: Педагогика, (1986). - 254 с.
2. Теплов Б.М. Проблемы индивидуальных различий. - М.: Наука. - 1961.

Связь с автором: smetanin_va@npoem.ru

ИНФОРМАЦИЯ

В настоящее время три компании (Airbus, Rolls-Royce и Siemens) образовали консорциум, задачей которого является разработка технологий, необходимых для создания самолетов на электрической тяге. На данном этапе проект имеет название E-Fan X Jet и его конечной целью является создание гибридного электрического реактивного самолета.

Первые самолеты, создаваемые в рамках программы, построены по гибридной схеме из-за того, что существующие современные технологии еще не могут обеспечить достаточную дальность и длительность полета исключительно на электрической тяге. Сдерживающими факторами широкого применения в авиации электрических силовых установок являются, прежде всего, большие габаритные размеры и большая

масса источников электроэнергии и мощных электродвигателей. Тем не менее, необходимые технологии развиваются достаточно быстро и уже сейчас можно говорить о возможности создания трех типов электрических самолетов.

Прежде всего это касается небольших летательных аппаратов, способных перевозить несколько человек на короткие расстояния. Естественно, такие аппараты будут использоваться в городской среде, частично облегчая движение наземных транспортных потоков.

Ко второму виду относятся самолеты среднего класса, такие, как E-Fan X, способные совершать региональные перелеты.

К третьему виду относятся большие авиалайнеры, способные совершать межконтинентальные рейсы. Главный инженер

компании Rolls-Royce Пол Стайн (Paul Stein) отмечает, что "сейчас основная цель - это создание гибридного самолета с неподвижным крылом для региональных перевозок. Быстрые темпы развития технологий аккумуляторов и других технологий, создание больших электрических самолетов является не столь уж и далеким, как это кажется с первого взгляда".



МОТИВАЦИОННЫЙ ПРОФИЛЬ СОВРЕМЕННОГО РАБОТНИКА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ СОЦИАЛЬНО-ТРУДОВЫХ ОТНОШЕНИЙ

Сергей Юрьевич Иванов, д. соц. н., профессор ФГБОУ ВО "МПГУ"
Андрей Сергеевич Иванов, главный специалист ОУП ВО "АТиСО"
Дарья Вячеславовна Иванова, к. соц. н., доцент ФГБОУ ВО "МПГУ"

В статье на основе результатов социологического опроса рассматриваются вопросы трудовой мотивации работников предприятий различных видов экономической деятельности. Определяется место трудовой мотивации в системе социально-трудовых отношений в современных условиях. Поднимаемые авторами проблемы трудовых отношений предполагают комплексное изучение условий, влияющих на трудовую удовлетворенность, анализ процесса воспроизводства рабочей силы и его социальное содержание.

The article based on the results of a sociological survey addresses the issues of motivation of employees of enterprises of different activities. The place of motivation in the system of social and labor relations. The authors raise the questions of work motivation suggest a comprehensive study of the conditions that affect labor satisfaction, analysis of the process of reproduction of labor power and its social content.

Ключевые слова: мотивация, работник, работодатель, социально-трудовые отношения, трудовая мотивация, удовлетворенность трудом, профсоюзы, достойный труд.

Keywords: motivation, employee, employer, labour relations, work motivation, job satisfaction, trade unions, decent work.

Одна из задач развития общества и преодоления мирового финансово-экономического кризиса связана с изысканием внутренних резервов организаций, совершенствованием использования трудовых ресурсов. Наблюдаемые рыночные и структурные преобразования в российской экономике меняют трудовые приоритеты и трудовую мотивацию работников. Мотивация труда является важным показателем направленности воспроизводственных процессов в организации, определяет особенности поведения наемных работников, резервы личностного роста. Трудовая мотивация современных работников в значительной мере связана с их трудовой удовлетворенностью, развитием трудового потенциала.

Удовлетворенность трудом - одно из ключевых условий трансформации трудовой деятельности в первую жизненную потребность, один из главных компонентов становления гармонично развитой личности. Трудовая удовлетворенность наемных работников во многом определяет общую удовлетворенность всеми сторонами трудовой деятельности. Более того, трудовая удовлетворенность во многом зависит от отношения человека к труду. Отношение работника к трудовой деятельности определяется действием объективных и субъективных факторов. Данные факторы представляют совокупность условий или обстоятельств, которые прямо или косвенно могут влиять на отношение работника к труду.

На трудовую удовлетворенность влияет множество факторов: производственные, личностные, социально-экономические и др. Безусловно, на каждом предприятии могут быть выделены свои существенные особенности, связанные с формированием трудовой мотивации работников.



В исследовательском плане интерес представляют основные тенденции, которые влияют на трудовую активность современных работников и эффективное использование трудовых ресурсов, задачи профсоюзных организаций в контексте повышения уровня защиты прав и интересов работников. Нельзя не учитывать и того, что значительное влияние на мотивацию наемных работников оказывают складывающиеся отношения с администрацией, социально-психологический климат, условия и организация труда.

Отношение к трудовой деятельности имеет многогранный характер и чаще выражается с



двух методологических позиций: оценочной и поведенческой. Оценочный аспект проявляется в том, как человек оценивает свою работу, нравится она ему или нет, насколько он удовлетворен различными сторонами трудовой деятельности. Второй аспект находит выражение в трудовом поведении, в отношении человека к выполняемой работе. В обоих случаях отношение к работе связано с реализацией трудового потенциала работников, деятельностью социальных партнеров по обеспечению защиты трудовых прав и интересов человека труда. Оценка удовлетворенности работой в целом является своего рода интегральным показателем субъективно воспринимаемых изменений условий жизнедеятельности индивида.

В этой связи интерес представляют результаты межотраслевого исследования на тему "Мотивация трудовой деятельности и удовлетворенность работников трудом", проведенного во втором квартале 2017 г. Центром социологических исследований ИПД ОУП ВО "АТиСО" под руководством авторов. Всего был опрошен 2241 респондент. В качестве анкетируемых выступали работники организаций различных видов экономической деятельности (транспорт, общественное обслуживание, промышленность), в которых созданы первичные профсоюзные организации. Цель исследования заключалась в анализе особенностей формирования трудовой мотивации работников предприятий различных видов деятельности. В рамках исследования предстояло выяснить: в каком соотношении находятся запросы работников в плане содержания и организации труда относительно качества их трудовой жизни, следовало также выявить уровень социальной защиты трудовых прав и интересов работников в условиях нестабильной социально-экономической среды. Особо подчеркнем, что трудовая мотивация работников имеет

не только индивидуальный, но и социально обусловленный характер и предопределяется образом жизни человека труда, наличием условий для удовлетворения его ключевых потребностей.

Интерес представляет оценка респондентами своего отношения к работе, к администрации предприятия. Так, в ходе исследования установлено, что значимое большинство опрошенных нами наемных работников подчеркивает свое позитивное отношение к работе в целом. Многие опрошенные говорят о том, что работа их устраивает (77,5 %). Распределение ответов в зависимости от возраста не выявило существенных расхождений в ответах. Это говорит об определенном сходстве в отношении оценки респондентами из различных возрастных групп работы в целом, которое не исключает различия в деталях. Хочется отметить, что позитивных суждений по исследуемым социальным группам оказалось гораздо больше у молодежи (в силу категоричности их позиции), а также служащих.

Безусловно, трудовая активность современного работника во многом определяется складывающимися отношениями с администрацией. В ходе исследования установлено, что значимая часть респондентов склонна оценивать отношения между работниками и администрацией позитивно. Причем 53,8 % из числа всех опрошенных работников считают, что состояние отношений между администрацией и работниками в организации спокойные, без внутренней напряженности. Еще 22,9 % опрошенных в возрасте 18-35 лет и 28,3 % - в возрасте 36-72 лет считают, что отношения напряженные, но не доходящие до открытого конфликта. Данный факт обуславливается разными обстоятельствами, многие из которых связаны с социально-экономическим положением организации. Лишь 5,3 % респондентов затруднились дать ответ. Наименьшее число респондентов (3,8 %) уверены, что их отношения напряженные, сопровождающиеся открытыми конфликтами.

Ценности трудовой деятельности по-разному воспринимаются работниками. Опрошенные вкладывают различное содержание в понятие "работа". Как можно заметить, в своем большинстве наемные работники рассматривают прежде всего "инструментальную" ценность работы. Больше половины респондентов считают, что работа является в основном источником средств к существованию (58,4 %). Несколько меньше тех, кто считает, что работа интересна и важна сама по себе, независимо от оплаты (22,5 %). А вот на уровень "достижительной" и "интеллектуальной" мотивации существенное влияние оказывает социальный статус работников. Высокие оценки здесь наблюдаются по группе руководителей. Еще 15,5 % респондентов отметили: "работа - дело важное, но есть вещи, занимающие меня гораздо больше, чем работа". И только 2 % затруднились дать ответ. Очевидно, улучшение отношения к выполняемой работе, а, следовательно, повышение эффективности труда в условиях модернизируемой экономики видится в изменении мотивационной структуры работников, которая должна включать в первую очередь социально значимые ценности, определяющие не только повышение профессионального мастерства, но и создание достойных условий труда и социальной защиты работников.

Особое значение в исследовании трудовой мотивации имеет самооценка работниками своего квалификационного уровня.

Результаты показывают, что большинство опрошенных оптимистично оценивают уровень своей квалификации. Так, большая доля респондентов (76,9 %) считает, что уровень квалификации соответствует требованиям выполняемой работы. 11,2 % ответивших оценивают свою компетентность выше, чем нужно. Еще 4,2 % дают более критическую оценку - уровень своей квалификации оценивают ниже, чем требования по выполняемой работе. Соответствием уровня квалификации требованиям выполняемой работы были не удовлетворены в основном мужчины в возрасте от 18 до 24 лет. Еще 15,4 % из этой группы затруднились с ответом.

На целом ряде предприятий фиксируется общая тенденция с размыванием принципов достойного труда. Значительная часть опрошенных считает, что оплата труда во многом зависит не от результатов их деятельности, а от социально-экономического положения организации и результатов деятельности структурного подразделения (соответственно 30,7 % и 26,4 %). Очевидно, что в реше-



нии задач по обеспечению необходимого уровня трудовой мотивации работников и их уровня жизни приоритетную роль играет объективная оценка трудового вклада работников с учетом качественных и количественных показателей труда. Можно предположить, что в среднесрочной перспективе условия формирования отношения работника к труду могут ухудшаться вследствие наличия определенной диспропорции между растущими запросами молодых работников и заниженными темпами изменения содержания труда, несоответствием трудового вклада и оценкой результатов индивидуального труда. Это во многом может быть причиной роста социально-трудовой напряженности.

Как показало исследование, узловым вопросом в формировании мотивационного профиля личности современного работника обуславливается наличие возможностей для его самореализации, повышения конкурентоспособности. Низкая значимость "достижительной мотивации" в полученных оценках связана с наличием разрыва между результатами труда конкретного работника и конечными результатами деятельности предприятия в целом. Причины этому видятся и в неэффективном распределении отношений внутри предприятия, низким уровнем заработной платы в сравнении с прожиточным минимумом, сохраняющей неоправданно завышенной дифференциацией в оплате труда.

Рыночные и структурные преобразования в экономике, неустойчивое положение ряда организаций провоцируют определенные риски, которые самым непосредственным образом сказываются на трудовой мотивации работников. Одним из таких рисков является потеря работы.

Несмотря на относительно высокий уровень самооценки результатов труда (17,9 балла из 20), приблизительно каждый третий респондент считает, что он определенно может потерять работу (33,7 %). Заметим, что молодые люди чувствуют себя более уверенно, чем представители старшей возрастной группы (37 % против 29,3 %). Еще 10,6 % обеспокоены вероятностью потерять работу.

Важным принципом обеспечения занятости в нестабильных условиях является нахождение компромисса между экономическими и социальными результатами деятельности организации. Особый вопрос за столом переговоров видится в использовании нормативов численности с учетом рациональной организации рабочих мест, участков, производств. При этом рационализация предполагает максимальную производительность труда, высокое качество обслуживания при наименьших материальных и трудовых затратах. Это обеспечивается на основе рационального планирования рабочего места, оснащённости современным оборудованием, применением передовых приемов и методов труда. Отчетливо заметно проявляется корреляция между ориентацией администрации на использование новых технологий и востребованностью высококвалифицированных кадров. В этой связи актуализируется роль и значе-

ние опережающей подготовки кадров с учетом потребностей современного производства.

Результаты исследования позволили выделить как позитивные, так и негативные факторы, влияющие на трудовую удовлетворенность и, как следствие, эффективность труда.

Так, в рейтинге факторов, которые привлекают в работе, самыми популярными ответами у работников являются "хороший коллектив" (16,8%) и "гарантированный социальный пакет" (16,5%). На втором месте оказалась позиция "работа соответствует моим знаниям, навыкам и умениям" (14%). На третьем месте - "приемлемая заработная плата" (12,8%). Для 6,8% работников большое значение имеет хорошее руководство. Как можно заметить, фиксируемая в исследуемых организациях доминанта коллективистских установок находится в оппозиции к индивидуалистической культуре. Данная установка предполагает большую ответственность администрации за своих работников.

В рамках мотивирования работников ключевое место занимает их коллективистская установка, связанная с чувством сопричастности в отношении системы корпоративного управления. Это фиксирует определенный приоритет "мягких" форм управления персоналом над "жесткими". Определенная степень интеграции группы включает в себя единство ценностных ориентаций, прочность межличностных отношений, согласованное поведение членов коллектива.

В то же время выявлено и то, что в оценке трудовой активности администрация не желает и не хочет понимать разницы между ростом производительности труда и повышением интенсивности труда. Однако работники эту разницу отчетливо понимают. Как следует из результатов опроса, неудовлетворенность различными аспектами трудовой деятельности высказали подавляющее большинство опрошенных. Многие причины неудовлетворенности выполняемой работы связаны с объективной оценкой конкретных трудовых условий и отношением к труду, достойными условиями труда.

Распределение ответов позволило определить следующий антирейтинг факторов, негативно влияющих на трудовую деятельность:

- низкая оплата труда (1 место; 18,7%);
- несправедливая оценка результатов труда (2 место; 9,0%);
- недостаток ресурсов и низкий уровень материально-технического снабжения (3 место; 5,9%);
- организационный бюрократизм (4 место; 5,7%);
- хамство со стороны руководства (5 место; 4,5%).

Полученная структура свидетельствует о том, что предпринимаемые администрацией многих предприятий шаги по изменению в мотивации персонала не покрывают социально значимые потребности персонала и являются по существу не эффективными. В итоге на некоторых предприятиях мы имеем ситуацию низкой эффективности труда, вызванной в основном недостаточной ее интенсивностью, невысоким качеством работы и технологической дисциплины. Безусловно, прямое повышение оплаты труда должно сочетаться с использованием новых технологий, улучшением условий труда. Вместе с тем "социальный" смысл увеличения оплаты труда связывается многими работодателями с ростом интенсивности труда.

Пониманию сути нормализации трудовой ситуации и необходимости повышения трудовой удовлетворенности помогает оценка мер по улучшению отношения к трудовой деятельности.

Согласно полученным данным, в большинстве организаций используются различные формы как материального, так и не ма-



териального стимулирования с целью воздействия на работников для улучшения их отношения к труду. Однако среди различных профессиональных групп работников использование данных форм носит неравнозначный характер.

Используемый в некоторых организациях лишь материальный (потребительский) способ мотивирования персонала недостаточен для повышения трудовой удовлетворенности и улучшения отношения к труду.

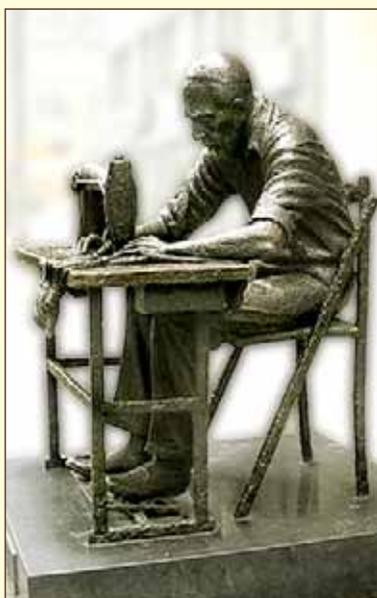
Так, лидирующие позиции в полученном рейтинге факторов, влияющих на улучшение отношения к труду, занимают формы морального поощрения, такие как: благодарность, почетная грамота, почетное звание и т.п. (19,8%). Чуть меньше респондентов указали на премии и доплаты (19,7%). Еще 13,0% отдали предпочтение социальным льготам. 11,8% отмечают создание благоприятных, комфортных условий труда. Напротив, 10,9% респондентов считают, что к ним применяют негативные формы жесткой мотивации, которые выражаются, в первую очередь, в повышении требовательности и использовании угрозы безработицы. Однако данный фактор, к сожалению, не становится побудительным стимулом для роста профсоюзного членства.

Распределение ответов в рейтинге влияющих факторов в зависимости от социального статуса показывает определенное единодушие в оценках. В то же время предприниматели и руководители гораздо чаще, чем другие, называли такую форму, как повышение требовательности, использование угрозы безработицы. Служащие и рабочие чаще, чем другие, указывали на использование моральных поощрений, а также премий и доплат. А вот специалисты оказываются более неприхотливыми - меньше всего обращают внимание на создание комфортных и благоприятных условий труда.

Не всегда используемые администрацией меры по улучшению отношения к труду достигают цели или находят однозначную поддержку у трудового коллектива. Согласно полученному распределению, наибольшие (модальные) расхождения ответов "действенные меры - применяемые меры" наблюдаются по позициям:

- возможность пользоваться объектами социальной инфраструктуры (+2,3%);
- участие в спортивных мероприятиях (-2,8%);
- негосударственное пенсионное обеспечение (-1,6%);
- возможность отправить ребенка в детский оздоровительный лагерь (-1,5%);
- возможность питаться в пунктах питания (+1,4%).

Представленный рейтинг свидетельствует о необходимости разработки дополнительных мер по более эффективному использованию имеющихся объектов социальной инфраструктуры, обеспечению дополнительной социальной защитой отдельных категорий



работников. Речь в данном случае идет о разработке и расширении таких мер социальной поддержки работников, которые бы носили устойчивый характер и отвечали интересам человека труда.

Как показало исследование, в исследуемых организациях существенное значение на разрабатываемые меры по повышению трудовой мотивации работников оказывает социально-экономическое положение предприятия. Согласно опросу, многие работники (34,1 %) считают, что их организации проявляют средний уровень социально-экономического состояния без динамики развития. Еще 35,5 % опрошенных в возрасте 18-35 лет и 29,3 % в возрасте 36-72 года полагают, что в их организациях наблюдается хорошая динамика и медленный рост. Предкризисное состояние дел и падение объемов производства отмечают 13,4 %. Еще 9,9 % респондентов всех возрастов предполагают, что в их организации в настоящее время значительная динамика развития и быстрый рост. И наименьшее число респондентов (1,8 %) обеих возрастных групп уверены, что на их предприятии сейчас кризис и сворачивание целых направлений производственной деятельности.

Как показывают результаты опроса, хорошее социально-экономическое положение позволяет администрации формировать более широкий перечень мероприятий по мотивированию работников. Интересно отметить, что респонденты из организаций со средним уровнем развития чаще, чем другие, затруднялись определить свое отношение к работе. Респонденты из организаций, которые показывают устойчивую динамику развития (значительная и хорошая динамика развития), чаще, чем в целом по выборке, говорили о том, что отношение к работе их устраивает. Чаще всего о плохом отношении к труду говорили представители кризисных организаций (сворачивание целых направлений производственной деятельности).

Особый вопрос исследования - каков уровень защиты трудовых прав и интересов работников? Более половины опрошенных считают, что за последние два года их трудовые права и интересы не нарушались - 56,6 %. Однако 35,9 % указали, что их права и интересы были нарушены.

В числе случаев нарушения трудовых прав и интересов работников были названы следующие:

- был существенно увеличен объем работ без увеличения оплаты труда (15,8 %; 1 место);
- установлен несправедливо низкий размер зарплаты (9,6 %; 2 место);
- условия труда не соответствовали принятым нормам (5,2 %; 3 место);
- переведен на другую, менее привлекательную работу (2,3 %; 4 место);
- не предоставлялись положенные льготы (1,4 %; 5 место);
- несвоевременно выплачивалась зарплата (1,4 %; 5 место);
- другое (0,2 %).

Представители группы в возрасте от 60 лет чаще, чем другие, связывали нарушение трудовых прав и интересов с установлением несправедливо низкого размера зарплаты. Представители молодежи (18-24 года) чаще, чем в целом по выборке, затруднялись с ответом на вопрос.

Таким образом, можно отметить, что за последние два года приблизительно каждый третий работник на исследуемых предприятиях, так или иначе, встречался с нарушением трудовых прав и интересов. Это все же высокий показатель. Многие из проблем, с которыми сталкивались работники, связаны с материальным стимулированием (размер зарплаты, предоставление льгот, несвоевременность оплаты труда и др.).

И тут сам собой напрашивается вопрос: могут ли работники



рассчитывать на защиту в случае возникновения подобной ситуации. Согласно распределению, подавляющее большинство респондентов указывает на наличие у них потенциальной возможности защитить свои трудовые права и интересы. Лишь немногие отметили, что у них такой возможности нет (1,2 %). Еще 1,1 % не знают о наличии такой возможности.

Кроме того, опрос показал, что большинство ответивших (25,9 %) для защиты своих прав обращаются в профсоюз. Заметим, что большая часть из выбравших данный ответ являлись членами профсоюза. Чуть меньше тех, кто может обратиться к руководителю структурного подразделения и администрации (соответственно 17,3 % и 11,6 %). Это во многом свидетельствует о невысоком доверии определенной доли работников к вышестоящим "административным инстанциям". Интересно отметить, что к коллегам по работе молодые люди обращаются охотнее, чем представители старшего поколения (8,4 % против 4,3 %). В определенной мере проблема видится в укреплении системы правового регулирования трудовых отношений, а также объективной оценке выполнения администрацией норм и правил трудового распорядка, принятых положений.

Регулирование социально-трудовых отношений на принципах социального партнерства - не просто приоритетная задача профсоюзов, а по существу стратегический курс, призванный обеспечить реализацию миссии профсоюзной организации.

Безусловно, ключевая роль в защите интересов наемных работников, а также формирование механизмов социального влияния на трудовую мотивацию принадлежит заключенному в организации коллективному договору. Из представленных данных следует, что наибольшая доля респондентов, вне зависимости от возраста, считает, что коллективный договор в организации затрагивает основные интересы работников и способствует формированию положительного отношения к предприятию (73,6 %). Каждый пятый говорит о том, что коллективный договор затрагивает второстепенные интересы работников и слабо влияет на отношение работников к предприятию (20,6 %). Значительно меньше тех, кто считает коллективный договор формальным документом, который не играет никакой роли (5,2 %).

В то же время в современных условиях для сторон колдоговорного процесса актуализируются вопросы, связанные с переходом на менее затратные методы нематериальной мотивации работников на основе уменьшения влияния рисков, связанных с потерей работы, несправедливой оценки трудового вклада, разбалансировки прав и обязанностей в сфере занятости. В этой связи открытыми остаются вопросы по оптимизации страхования по безработице, содействию образованию и переподготовке на протяжении всей жизни, содействию добросовестному и справедливому обеспечению доступа к образованию.

В целом же трудовая удовлетворенность самым непосредственным образом коррелирует со способностью профсоюзной организации артикулировать и транслировать интересы работников, обеспечивать их надежную защиту. При проведении исследования мы обнаружили как доказательства недостаточно высокого влияния профсоюзов, так и возможности его повышения. В частности, степень влияния профсоюзов на исследуемых предприятиях зависит от предпринимаемых ими усилий по формированию корпоративной солидарности, позитивного отношения к труду. Формы такой работы могут отличаться и включать: организацию совместного досуга, планирование продвижения работников, помощь в решении бытовых проблем, организацию совместного досуга и т.д.



Связь с автором: enwalker@bk.ru

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ПЕРВОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ

Николай Дмитриевич Захаров, к.т.н., внс НИЦ ЦИАМ им. П.И. Баранова, г. Лыткарино

В статье с помощью единственного дополнительного понятия, связанного с определением внутренней энергии газа, раскрыт физический смысл энтропии, что позволило найти общее решение уравнения первого закона термодинамики относительно количества тепла, подводимого к термомеханической системе для нагрева газа, совершающего при этом работу расширения (при $p \neq \text{const}$).

In the article, with the only additional concepts associated with the definition of internal energy of the gas, revealed the physical meaning of entropy, which allowed us to find the General solution of the equation of the first law of thermodynamics concerning heat quantity supplied to the thermo-mechanical system for heating gas, doing the work of expansion (with $p \neq \text{const}$).

Ключевые слова: Внутренняя (тепловая) энергия газа, тепло, работа расширения, абсолютная теплоёмкость, энтропия, энтальпия, вспомогательная температура, равновесное состояние, уравнение состояния, основное уравнение молекулярно-кинетической теории газа.

Keywords: The internal (thermal) energy of gas, heat, work of expansion, the absolute heat capacity, entropy, enthalpy, auxiliary temperature, a state of equilibrium, equation of state, the basic equation of molecular-kinetic theory of gas.

Молекулы газа (и других веществ), обладая массой и находясь в непрерывном движении, создают в совокупности запас механической энергии - кинетической и потенциальной. Газ, сжатый в замкнутом объёме, создаёт давление на стенки сосуда, обусловленное импульсным воздействием молекул при отражении от стенок. Если податливость стенок сосуда допускает изменение объёма, то при каждом фиксированном значении внешнего давления возникает равное ему внутреннее противодействие (действие равно противодействию). Причиной увеличения противодействия являются увеличение числа соударений молекул на единицу уменьшившейся площади внутренней поверхности сосуда и увеличение скорости их движения из-за увеличения межмолекулярных сил отталкивания, происходящего вследствие сближения молекул друг с другом при уменьшении объёма. Второй фактор является весьма важным для уяснения свойств газа. Дело в том, что увеличение скорости молекул может быть достигнуто другим способом, например, путём непосредственного изменения энергетического их состояния подводом тепла (так принято называть тепловую энергию, подводимую к газу от внешней среды) через стенки сосуда. Заметим, что оба отмеченных выше фактора дают ясное понимание эквивалентности теплоты и механической работы. Давление, создаваемое внешней работой сжатия газа (газовой пружины), увеличивает динамическую энергию беспорядочно движущихся молекул, за счёт которой создаётся эквивалентное противодействие. Для оценки интенсивности внутренней тепловой энергии газа используется специально введённый измеряемый параметр - температура, отражающая кинетическую энергию молекул - не всю, а только один её вид, связанный с поступательным движением этих молекул [1]. Такая избирательность температуры связана с физической возможностью её измерения, так как переход тепловой энергии от тела к телу (в том числе и к телу измерительного прибора) происходит только через импульсы поступательного движения. Кинетическая энергия, связанная с вращательным и колебательным движениями молекул, и потенциальная энергия их собственных полей, входящие в состав тепловой энергии, учитываются с помощью теплоёмкости - сопряжённым с температурой параметром. Количество тепла, поглощаемого газом, определяется умножением его температуры на теплоёмкость. Таким образом, теплоёмкость газа является его свойством, зависит, как видно из сказанного, от многих факторов и, поэтому, чаще всего определяется экспериментально. Для газов (и других веществ - твёрдых или жидких) составлены подробные таблицы, отражающие зависимость теплоёмкости от параметров состояния веществ. Некоторые газы, главным образом состоящие из одноатомных молекул, обладают важным свойством: их кинетическая энергия зависит преимущественно от поступательного (с учётом хаотичности) движения молекул, а теплоёмкость - от размера молекул. Изучение закономерностей поведения таких газов значительно упрощается; их свойства хорошо описываются с помощью свойств

так называемого идеального газа, для которого принимается, что его теплоёмкость (и другие константы, о которых будет сказано ниже) является строго постоянной величиной.

Количество тепла, подводимого к идеальному газу, определяется с помощью следующей формулы (предполагается, что рассматриваемый газ сосредоточен в фиксированном объёме, поэтому используется теплоёмкость C_v

$$\Delta Q = C_v(T - T_0). \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что количество тепла, поглощаемого газом, определяется его тепловым состоянием до и после подвода тепла. Тепловое состояние газа характеризуется полной (суммарной) энергией его молекул, которую Клаузиус назвал внутренней энергией и определил её в виде произведения абсолютной температуры и теплоёмкости.

$$U = C_v T \quad (2)$$

Из формулы (1), раскрыв в ней скобки, получаем два одночлена типа (2), разность которых будет соответствовать приращению внутренней энергии. Для уяснения выражения (2) можно поступить иначе - принять, что до подвода тепловой энергии, которую принято называть просто теплом, газ имел нулевую температуру ($T_0 = 0$); тогда после подвода внутренняя энергия будет равна подводимой тепловой энергии,

Для дальнейшего изложения здесь важно заметить, что с помощью формул (1) и (2) можно получить два выражения для определения теплоёмкости газа, значения которой будут одинаковыми, так как $C_v = \text{const}$, но ввиду важности самих выражений первую из теплоёмкостей будем далее называть локальной ($C_v = Q/T$), а вторую ($C_v = Q/T$) - абсолютной.

При выводе уравнения, отражающего связь между внутренней энергией газа и внешней потенциальной механической энергией удержания газа в сжатом состоянии в рассмотрение вводится, как уже сказано выше, противодействие (термодинамическое давление), которое при равновесном состоянии газа равно внешнему давлению. Для определения термодинамического давления вначале была использована простейшая модель движения молекул газа, а именно - упорядоченное движение. Принималось, что все молекулы имеют одинаковую скорость и что они движутся встречно только в направлениях трёх осей декартовой системы координат. Кроме того, принималось, что плотность молекул по всему объёму сосуда одинакова. Для такой модели молекулярного движения не трудно определить полное изменение импульса, происходящее на единице площади стенок сосуда за единицу времени, которое и будет равно давлению

$$p = 2mv \cdot vN/6V.$$

После простейших преобразований получается окончательный вид этого равенства, которое принято называть основным уравнением молекулярно - кинетической теории газа

$$pV = 2/3N(1/2mv^2) = 2/3U.$$



Указанные выше предположения, которые использовались при выводе этого уравнения, названы в [2] "совершенно невероятными"; позже вывод этого уравнения был сделан при менее грубых допущениях, но, как оказалось, результат получается одинаковым. Если в основном уравнении сделать подстановку выражения для внутренней энергии (2), то получим известное уравнение состояния газа

$$pV = RT, \quad (3)$$

где $R = \gamma C_v$; здесь через γ обозначена константа, входящая в основное уравнение. Величину R принято называть универсальной газовой постоянной, что справедливо, вообще говоря, только для идеальных газов.

Полученные выше термодинамические соотношения, характеризующие свойства идеального газа, позволяют получить решение дифференциального уравнения первого закона термодинамики в аналитическом виде. Рассмотрим некоторые исходные положения, которые определяют вид этого уравнения. Тепловая энергия в силу своей физической природы может рассматриваться в виде потока и, поэтому, для внутренней энергии газа можно записать уравнение неразрывности

$$dU/dt = q_{вх} - q_{вых},$$

где с помощью q обозначены тепловые потоки - соответственно входные и выходные для некоторой системы. Поскольку внутренняя энергия зависит от подвода/отвода не только тепла, но и механической работы, которая, как известно, не имеет потоковой формы и записывается только в виде дифференциала, то для учёта работы возникает необходимость приведенное выше уравнение неразрывности преобразовать к равенству дифференциалов

$$dU = (q_{вх} - q_{вых}) dt = dQ.$$

Дополняя полученное равенство дифференциалом работы и записывая его относительно дифференциала тепла, получаем уравнение первого закона

$$dQ = dU + pdV, \quad (4)$$

Для определения количества тепла с помощью уравнения (4) необходимо проинтегрировать обе его части. Трудность состоит в том, что правая часть равенства (4) зависит от двух переменных интегрирования и, поэтому, необходимо использовать методы математической теории криволинейных интегралов. В общем случае, когда известно выражение для пути интегрирования, криволинейный интеграл может быть сведён к виду обычного интеграла, зависящего от одной из двух переменных. Известно, что если криволинейный интеграл задан в координатной форме, а эта форма представляет собой полный дифференциал некоторой функции, то функция, получаемая после интегрирования, будет являться первообразной. В математике сформулировано условие интегрируемости криволинейного интеграла, при выполнении которого можно получить первообразную. В соответствии с формулой Ньютона-Лейбница определяемое значение криволинейного интеграла будет равно разности значений первообразной в конечной и начальной точках пути интегрирования, то есть не зависит от формы этого пути.

В термодинамике было найдено, что для одного из процессов совершения газом работы расширения, а именно - изобарического, условие интегрируемости для правой части уравнения (4) выполняется, поэтому можно интегрировать отдельно каждое слагаемое (выбирается удобный путь интегрирования - вдоль координатных осей). После интегрирования получаем

$$Q = U + pV. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что количество тепла зависит только от параметров состояния газа, поэтому Q становится в этом случае тоже параметром состояния. По этой причине она получила специальное название - энтальпия, для которой используется новое обозначение - обычно вместо Q пишут H . Если в правой части равенства (5) сделать подстановку из (2) и (3), то для энтальпии получим ещё более простое выражение

$$H = C_p T, \quad (6)$$

где $C_p = C_v + R$. Следует заметить, что теплоёмкость C_p (также как и C_v в формулах (1) и (2)) может быть определена с по-

мощью как абсолютных значений энтальпии и температуры, так и их приращений.

Переходим теперь к выводу соотношения для количества тепла, поглощаемого термомеханической системой при взаимосвязанных процессах повышения внутренней энергии газа и совершения им работы расширения без наложения ограничения в виде постоянства давления, используемого при выводе формулы для вычисления энтальпии, то есть для любых процессов. При анализе цикла Карно можно получить следующее равенство

$$Q_1/T_1 - Q_2/T_2 = 0, \quad (7)$$

где Q_1 и Q_2 - теплоты, соответствующие изотермическим работам расширения и сжатия газа. Из равенства (7) видно, что левая его часть представляет собой разность двух одинаковых теплоёмкостей, связанных с абсолютной температурой. Чтобы убедиться в этом, достаточно вместо Q_1 и Q_2 сделать подстановку выражений для изотермических работ, совершаемых при T_1 и T_2 и учесть равенство отношений удельных объёмов

$$v_2/v_1 = v_3/v_4,$$

где индексы соответствуют номерам точек обхода цикла Карно, а точка 4 выбрана так, чтобы выходящая из неё адиабата сжатия проходила через начальную точку этого цикла [3]. Если указанные в равенстве (7) температуры T_1 и T_2 сближать, устремляя их к некоторому единичному промежуточному значению (температуру, имеющую это значение, назовём вспомогательной), то для сохранения знака в равенстве (7) теплоты тоже должны стремиться к единичному значению, поэтому будем иметь $Q \rightarrow 0$. В математике нулевое предельное значение какой-либо переменной величины принято называть бесконечно малой величиной и обозначать с помощью префикса d (знак дифференциала) для того, чтобы иметь возможность использовать это нулевое значение в различных функциональных преобразованиях. Заметим, что при делении всех значений Q в процессе предельного перехода к dQ на вспомогательную температуру T , будут получаться не равные нулю приращения абсолютной теплоёмкости, так как в соответствии с равенством (7) теплоты Q_1 и Q_2 , определяющие Q , должны иметь разные значения. В предельной же точке, в которой $T_1 = T_2 = T$, их значения совпадут и, поэтому, при $Q \rightarrow dQ$ одновременно совершается предельный переход $C \rightarrow dC$, где через C обозначено приращение абсолютной теплоёмкости. Логика приведенных рассуждений позволяет записать следующее равенство

$$dQ/T = dC. \quad (8)$$

Таким образом, левая часть полученного равенства определяет дифференциал абсолютной теплоёмкости, которую изначально было принято называть энтропией и обозначать буквой S .

Существуют другие логические методы обоснования равенства (8), в котором вместо dC используется dS . Так, Р. Клаузиус [3] для введения понятия энтропии использовал аналогию между дифференциалом работы и тепла, то есть принимал, что

$$dQ = T \cdot dC, \quad (9)$$

где T - аналог давления, входящего в дифференциал работы, а для S аналога не нашлось, поэтому, как сказано в [3], S представляет собой "неизвестную величину". В современных книгах по термодинамике [4, 5] отмечается, что "довольно нелегко понять физический смысл энтропии" - остаётся только "научиться с ней обращаться", а в [6] приводятся слова Дж. фон Неймана, которые он в беседе сказал Шеннону: "никто не знает, что же такое эта энтропия на самом деле".

Равенство (9) можно обосновать иначе. Подвод тепла от термостата завершается в тот момент, когда наступает равновесие (равенство температур) между термостатом и термомеханической системой. Очевидно, что количество подведённого тепла зависит от теплоёмкости системы, поглощающей тепло. Из уравнения первого закона видно, что эта теплоёмкость обусловлена двумя факторами и связана в каждом из них с абсолютной температурой, поэтому количество подводимого тепла естественно должно быть представлено в виде зависимости

$$Q = T \cdot C, \quad (10)$$

где C - абсолютная теплоёмкость термомеханической системы

(об абсолютной теплоёмкости сказано выше), а T - температура в этой системе, равная температуре источника тепла. В дифференциальной форме равенство (10) принимает вид

$$dQ = T \cdot dC + C \cdot dT, \quad (11)$$

но, так как температура источника постоянна в процессе подвода тепла, то в правой части (11) остаётся только первое слагаемое, второе равно нулю. Отсюда следует, что $S=C$. Дальнейшие преобразования уравнения первого закона, проводимые путём подстановки (9) в (4), связываются с математическим формализмом выбора значения температуры источника тепла, поэтому температура T принимается в качестве интегрируемой переменной в уравнении равновесного состояния общей системы, состоящей из источника тепла и системы, поглощающей тепло.

Делая теперь очевидные подстановки в правой части уравнения первого закона (4), получаем

$$T S \cdot dS = C_v dT + RT/V \cdot dV \quad \text{и} \quad dS = C_v \cdot dT/T + R/V \cdot dV.$$

Для интегрирования правой части последнего равенства необходимо использовать, как и ранее, криволинейный интеграл. Легко проверить, что подынтегральное выражение является полным дифференциалом, поэтому сразу можем записать результат интегрирования на непрерывном интервале равновесных состояний системы между граничными точками 1 и 2

$$S_2 - S_1 = C_2 - C_1 = C_v \cdot \ln(T_2/T_1) + R \cdot \ln(V_2/V_1). \quad (12)$$

Возвращаясь к равенству (11) и интегрируя его (при $T=\text{const}$), получаем

$$\Delta Q = T \cdot \Delta C. \quad (13)$$

Подстановка (12) в (13) (полагая, что $C_2 - C_1 = \Delta C$, даёт

$$\Delta Q = C_v \cdot \ln(T_2/T_1) + R \cdot \ln(V_2/V_1) T. \quad (14)$$

Замечаем, что равенство (14) можно использовать для определения значения T . Если учесть, что первое слагаемое правой части (14) определяет часть подведённого количества тепла, которая необходима для повышения внутренней энергии газа, и, с другой стороны, это же количество тепла определяется с помощью исходных данных, то можно записать следующее равенство

$$C_v \cdot \ln(T_2/T_1) T = C_v \cdot \ln(T_2 - T_1),$$

из которого легко найти значение искомой температуры

$$T = (T_2 - T_1) / \ln(T_2/T_1). \quad (15)$$

После подстановки (15) в правую часть равенства (14), получаем

$$Q = [C_v + R \cdot \ln(V_2/V_1) / \ln(T_2/T_1)] \cdot (T_2 - T_1) \quad (16)$$

Правильность расчета количества тепла с помощью получен-

ной формулы можно проверить, применяя её для двух процессов - изохорического и изотермического. При $V=\text{const}$ имеем $\ln(V_2/V_1)=0$ Подстановка нулевого значения логарифма в (16) даёт правильный результат

$$\Delta Q = C_v (T_2 - T_1).$$

При постоянстве температуры имеем равенство $T_2=T_1$, использование которого в формуле (16) приводит к неопределённости типа $0/0$. Эта неопределённость, однако, легко раскрывается с помощью известного математического правила: необходимо продифференцировать отдельно числитель и знаменатель и, далее, сделать предельный переход в полученной таким образом дроби. Обозначая T_2/T_1 через χ , имеем

$$T_1 \lim_{\chi \rightarrow 1} (\chi - 1) / \ln(\chi) = T_1 = T.$$

Подставляя значение предела во второе слагаемое формулы (16) (первое становится равным нулю), получаем выражение для количества теплоты, эквивалентное работе изотермического расширения газа:

$$\Delta Q = RT \ln(V_2/V_1).$$

Формула (14) не охватывает изобарический процесс; может быть получена другая, аналогичная этой, но в этом нет необходимости, так как существуют интегральные выражения для энтальпии. Таким образом, полученная формула (16), является аналитическим решением дифференциального уравнения первого закона термодинамики. Использование этой формулы значительно упрощает расчёты по сравнению с графическими расчётами, которые проводятся с помощью TS -диаграмм. **□**

Литература

1. Б.М. Смирнов Введение в физику плазмы. М: "Наука", 1982.
2. Дж. Майер, М.Гепперт-Майер Статистическая механика. Пер. с англ. М: "Мир", 1980.
3. В. Шюле Техническая термодинамика. Пер. с нем. М-Л: ГРЭЛ, 1935.
4. Р. Хейвуд Термодинамика равновесных процессов. Пер. с англ. М: "Мир", 1983.
5. Р. Беккер Теория теплоты. Пер. с нем. М: "Энергия", 1974.
6. Н. Мартин, Дж. Инглэнд Математическая теория энтропии. Пер. с англ. М: "Мир", 1988.

Связь с автором: zaharov@rtc.ciam.ru

ИНФОРМАЦИЯ

Технологии трехмерной печати металлом используются все шире и шире для создания различных узлов реактивных двигателей, деталей автомобилей, самолетов и т.д. Но пока в данной технологии находит применение лишь небольшая часть из нескольких тысяч видов металлов и их сплавов. Проблема заключается в том, что в большей части металлов и сплавов после быстрого плавления от мощного излучения лазера и последующего быстрого охлаждения возникают трещины, раковины и другие дефекты, снижающие прочность детали.

Однако, исследователи из американской лаборатории HRL Laboratories, выяснили, что наночастицы определенного типа, добавленные в металлический порошок, препятствуют возникновению дефектов в ходе трехмерной печати. Это вселяет надежду на то, что вполне возможно расширение номенклатуры используемых для печати металлов и сплавов. А это позволит расширить список как изделий, изготавливаемых по технологии трехмерной печати, так и областей техники, в которых эти изделия найдут применение.

Исследователи сначала воспользовались специальной компьютерной программой для проведения анализа более 4,5 тысяч комбинаций различных сплавов и различных видов наночастиц, которые, по мнению ученых, смогут стабилизировать процесс трехмерной печати, что, в свою очередь, должно увеличить прочность создаваемых деталей. Наночастицы, смешанные с порошком металла, ведут себя подобно каплям воды, которые собирают на своей поверхности частички пыли при движении в атмосфере.

Теоретические расчеты показали, что для большинства алюминиевых сплавов идеальным стабилизатором являются частицы из циркония, стабилизированного водородом. Теория с успехом была проверена на практике. Исследователи предполагают, что изменился процесс кристаллизации: когда расплавленный лучём лазера металл подходил к точке кристаллизации, из него формировалось "зерно" с наночастицей в центре. Это обеспечивало более равномерный процесс охлаждения материала, что препятствовало возникнове-

нию микротрещин и других дефектов.

Исследователи считают, что подобный подход может быть использован не только для обеспечения высококачественной трехмерной печати сплавами алюминия, но и для печати другими металлами, для которых потребуется лишь найти соответствующие им наночастицы-стабилизаторы. И после этого при помощи трехмерной печати можно будет производить детали, способные выдерживать огромные нагрузки, к примеру, лопатки турбин и другие компоненты гиперзвуковых реактивных двигателей. **□**



50 ЛЕТ ПЕРВЫМ В СССР ИСПЫТАНИЯМ АВИАДВИГАТЕЛЯ НА ВОДОРОДЕ

Валерий Игнатьевич Гуров, д.т.н., начальник сектора ГНЦ РФ ЦИАМ им.П.И. Баранова, **Вячеслав Иванович Щербаков**, к.т.н., ведущий инженер по испытаниям авиадвигателя на водороде в 1967 году

Известно, что в середине 50-х годов прошлого века ЦИАМ совместно с ЦАГИ выступил с инициативой по применению в авиационных двигателях водорода в качестве топлива. Были обоснованы преимущества для тяжелых самолетов замены керосина на водород. Прежде всего - по дальности полета и экологическим показателям.

В 2013 году, журнал "Двигатель" уже помещал в № 5 статью В.И. Гурова о разработке и испытаниях уникального самолета Ту-155, использовавшего в качестве топлива водород. Для этого в Самарском (тогда - Куйбышевском) моторостроительном ОКБ, руководимом Н.Д. Кузнецовым, совместно с ЦИАМ, был создан двигатель НК-88 знаменитого семейства авиадвигателей НК-8.



ГТД-350

Но прежде, чем всё это случилось, применение водорода в газотурбинных двигателях было исследовано в стендовых условиях на меньшем двигателе ГТД-350 (в 400 л.с.) разработки ОКБ-117 под руководством генерального конструктора С.П. Изотова.

Накопление практического опыта использования водорода в авиационных двигателях началось с наземных испытаний в конце 1967 года вертолетного двигателя ГТД-350 в ЦИАМ на стенде У-6. Газообразный водород хранился в 16-ти баллонах объемом 40 литров каждый при давлении 15 МПа, что обеспечивало время испытаний на альтернативном топливе в пределах 10 минут. Двигатель испытывался попеременно на керосине и водороде, причем форсуночная головка ГТД-350 была дополнена форсунками, работающими на водороде и на природном газе (попеременно). В результате проведения серии успешных испытаний отработаны технологии запуска ГТД-350 и его плавного



Экипаж Ту-155

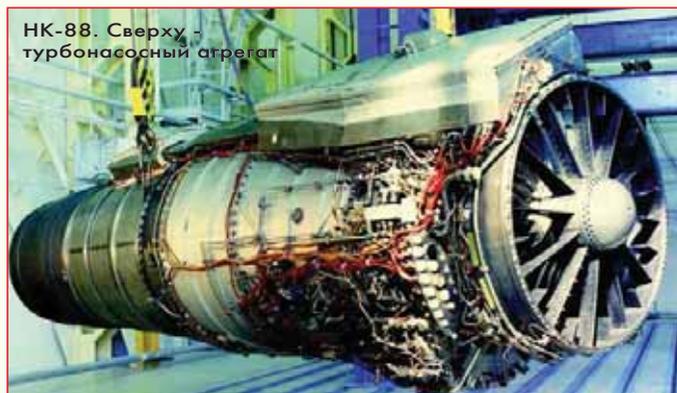
выхода на номинальный режим работы, устойчивой работы системы обеспечения испытаний, аварийного прекращения испытаний по факту возникших утечек водорода при превышении 4% объемного содержания H_2 в воздухе испытательного стенда, плавного перехода на малом газе замены керосина на водород или на природный газ, подтверждения расчетных данных по улучшению эффективности и экологичности функционирования двигателя и др.

Полученные результаты стали заметной вехой на пути к первому в мире полету 15 апреля 1988 года самолета Ту-155 с работой двигателя НК-88 на водороде. Было совершено 5 полетов с

суммарным временем 4 часа 27 минут. Неоценимый опыт отечественных достижений по применению жидкого водорода в авиации обобщен в монографии "Внимание газы: криогенное топливо для авиации", авторы В.А. Андреев, В.Д. Борисов, В.Т. Климов, В.В. Малышев, В.Н. Орлов, М. Изд-во Московский рабочий, 2011. В ней



Доработанный киль Ту-155 с дренажной системой



НК-88. Сверху - турбонасосный агрегат

авторы - руководящий состав создателей самолета Ту-155 - обращают внимание на следующие обстоятельства: "...Тема криогенных топлив вышла из моды. Бесценные наработки в этой области, как и во многих других, где российские специалисты занимали ведущие мировые позиции, могут быть безвозвратно утеряны. Но переход на новые альтернативные источники энергии является жестокой необходимостью. Ученые могут ошибаться на 50 и даже на 100 лет, однако ископаемые топлива в какой-то момент будут исчерпаны. Потеря источников

энергии - такой же "конец света", как и любые другие глобальные катастрофы и беды. Та страна, ученые и специалисты которой первыми найдут оптимальное решение проблемы перехода на неисчерпаемые источники энергии, получит доминирующее положение в мире. Особенно это важно для России с учетом огромного населения, богатейших природных ресурсов, занимаемого географического положения, климатических зон и расстояний".



ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

РЕНОВАЦИЯ ВТОРОГО НАЧАЛА И НОВЫЙ ИДЕАЛЬНЫЙ ЦИКЛ

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

Представлена новая формулировка второго Начала термодинамики в виде большого неравенства основных теплофизических свойств. Предложен идеальный термодинамический цикл, учитывающий в отличие от цикла Карно свойства газов. Определены границы существования понятия энтропии (R_μ и C_V).

Presents a new formulation of the second law of thermodynamics in the form of large inequalities basic teplofizicheskikh properties. Proposed ideal thermodynamic cycle, taking into account, in contrast to the Carnot cycle, properties of gases. Defined the boundaries of the existence of the concept of entropy (R_μ and C_V).

Ключевые слова: турбулентность, цикл, кпд.
Keywords: turbulence, cycle, efficiency.

Всегда, с момента открытия и по настоящее время, второе Начало термодинамики претерпевало изменения, связанные с его уточнением, конкретизацией, новыми способами математического представления и просто с более четким его пониманием. Такие величайшие умы как Клаузиус, Больцман, Гельмгольц, Гиббс и другие ученые-естествоиспытатели ввели в обиходную термодинамическую науку основы, которые сегодня считаются обычными, привычными и постоянно используются в работе и в процессе познания. Практически ни одна прикладная наука, связанная с техникой, химией и т.д., не обходится без термодинамики. Результаты термодинамических расчетов дают возможность не только количественно оценить эффективность той или иной машины, но и при необходимости преобразовать ее. Термодинамика снабжает начальными и граничными условиями фундаментальные уравнения: газовой динамики, устойчивости, акустики, химии.

Особую ценность представляют рабочие, т.е. инженерные методы. Они самые точные и нагляднее всего раскрывают смысл происходящих процессов.

Но! К сожалению, в термодинамике без гениальных догадок, смелых рискованных заявлений, а зачастую волевых решений не обошлось. Многие выводы были сделаны эвристически, а потом абсолютизированы. Часто не хватало непрерывных взаимозависимых переходов, перенесений рассуждений "без разрыва производных" ближе к поставленной цели. Поэтому и появились такие понятия как энтропия от Клаузиуса, которую он **ввел** в науку. Потом долго и мучительно понимали, что это такое. Складывается ощущение, что многие ученые до сих пор этого не знают. Или, например, Больцман **отождествил** логарифм функции распределения частиц по скоростям с физической энтропией Клаузиуса. Просто волосы дыбом встают от его гениальности. Соединил "ужа с ежом", а ввел всего-навсего коэффициент пропорциональности, константу Больцмана. Некоторые современные ученые используют для доказательств термин **потребую**. У кого? Какое ты имеешь право требовать у природы? Так ведь таким способом, тем не менее, достигается правильный результат. И вот еще. Замечательный инженер Карно **придумал** идеальный цикл: две адиабаты и две изотермы. Посчитал для него к.п.д. и сказал, что это самый большой к.п.д., который может быть достигнут в турбомашинных и других технических устройствах. До сегодняшнего дня все так и считают, что это именно тот цикл, который является крайним и закрывает справа интервал значений к.п.д. Пишется этот к.п.д. как единица минус отношение температур холодильника и нагревателя. А где здесь свойства газа? Что, если мы в качестве рабочего тела используем водород или гексафторид урана, ничего не изменится? И к.п.д. будет тем же? А все потому, что Карно этот цикл не вывел из основополагающих уравнений, а попросту сконструировал.

Вот почему особой ценностью в науке считается преемственность. Одно должно следовать из другого. И тогда многое можно объяснять.

Еще раз о втором Начале

В понятие "второе Начало термодинамики" на протяжении почти двухсот лет разные авторы вкладывают различное содержание. Наиболее логично, видимо, поступают те, кто понимает под этим законом основной постулат о передаче тепла от горячего к холодному, включая его вариации: постулат Клаузиуса, Томсона-Планка или эквивалентные им утверждения Оствальда. Другие исследователи сводят содержание второго Начала термодинамики к двум положениям, являющимся следствием основного постулата: 1. Существованию энтропии как функции состояния и 2. Принципу ее возрастания. Эти два положения, как впервые отметила Т.А. Афанасьева-Эренфест, логически независимы друг от друга.

В работе [1] была сделана еще одна попытка формулировки второго Начала термодинамики. Было показано, что энтропия в любом процессе всегда больше или равна газовой постоянной. При этом газовая постоянная, входящая в уравнение Менделеева-Клапейрона, является левой границей значений энтропии, а сама, естественно, и есть энтропия. В работе [2] было строго доказано это равенство с использованием аппарата статистической физики Больцмана. В этой же работе впервые было записано тройное неравенство для основных физических характеристик, а по существу основных энергий:

$$R_\mu \leq S \leq C_V \leq C_p.$$

Но в этом неравенстве не хватает еще одной характеристики - С. Тогда:

$$R_\mu \leq S \leq C_V \leq C \leq C_p.$$

Почему именно это неравенство может быть формулировкой второго Начала термодинамики? Потому, что именно оно строго следует из первого начала и определений основных термодинамических потенциалов [3].

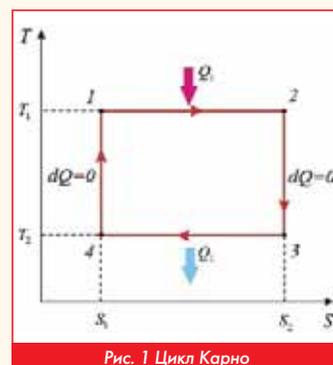


Рис. 1 Цикл Карно

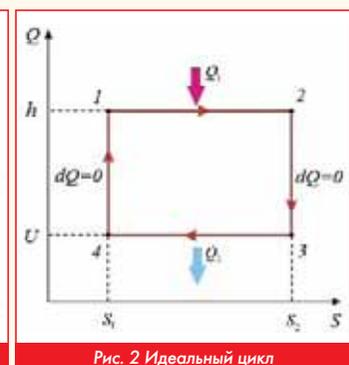


Рис. 2 Идеальный цикл

Анализ последнего неравенства показывает, что энтропия ограничена сверху теплоемкостью при постоянном объеме. Другими словами, произведение ST будет всегда меньше внутренней энергии, а в правую часть энтропия никогда не попадет. По существу, в правой части будет текущая теплоемкость, и она будет всегда находиться между минимальным C_v и максимальным C_p значениями. Или, проходящее по циклу тепло, всегда будет ограничено внутренней энергией слева и энтальпией справа.

Получается так, что C_v или внутренняя энергия U термодинамической системы разделяет это большое неравенство на две половинки, отдельно на два двойных неравенства:

$$R_{\mu} \leq S \leq C_v \text{ и } C_v \leq C \leq C_p.$$

И это не просто так. Именно C_v отделяет процессы без изменения объема, то есть внутренние процессы без совершения работы (первое неравенство) и процессы, где совершается работа (второе неравенство). Именно в диапазоне $[C_v, C_p]$ допускается изменение объема и давления.

Другими словами, левая половина большого неравенства отвечает, в основном, за химическую термодинамику и здесь уместны, в том числе, потенциалы Гиббса и Гельмгольца, а правая - за техническую. Причем техническая термодинамика, построенная во многом на циклах, реальных процессах, характеризуется в итоге параметрами эффективности - полезной работой и к.п.д.

Для идеального газа второй интервал по длине составляет величину, равную R_{μ} . То есть максимальная полезная работа будет равна величине $R_{\mu}T$. Это очевидно из уравнения первого начала термодинамики - левая часть (тепло) равна правой (внутренняя энергия плюс работа). Другими словами [4], массовая теплоемкость идеального газа в общем случае есть сумма массовой теплоемкости при постоянном объеме и удельной работы:

$$C = C_v + A.$$

Из формулы следует, что первое слагаемое для всех процессов одинаково (C_v), второе же различно. В пределе получаем уравнение Майера

$$C_p = C_v + R_{\mu},$$

где R_{μ} - удельная работа газа при постоянном давлении, то есть работа расширения одного килограмма газа при нагревании его на один градус.

Итак. Что же все-таки понимать под вторым Началом термодинамики в связи с последним анализом? В общем все положения остаются. Энтропия по-прежнему возрастает. Но! Только до величины C_v . Причем с уменьшением показателя адиабаты ($k - 1$) энтропия будет стремиться к бесконечности. Правая часть большого неравенства, куда энтропия по своему физическому смыслу не входит, строго соответствует первому Началу. Очень важным установленным фактом является ограничение энтропии справа величиной C_v . Это означает, что процессы внутри системы проходят строго в замкнутом ограниченном пространстве. То есть левая часть неравенства справедлива только в случае замкнутого ограниченного пространства, а значит распространять это неравенство на всю Вселенную несправедливо. Ведь она бесконечна! И здесь действительно Юлиус Клаузиус перебрал. Хотя, кто знает? Может это только нам, людям, кажется, что Вселенная бесконечна. Бог ее знает.

Еще более идеальный цикл

Уже все привыкли и смирились с тем, что термодинамический цикл Карно является идеальным и его коэффициент полезного действия самый, возможно, большой. То есть нельзя сделать турбомашину или другой агрегат, работающий в соответствии с теорией циклов, у которой к.п.д. будет больше, чем у Карно.

Воспользовавшись новой интерпретацией второго Начала термодинамики, покажем, что при разработке своего идеального цикла, Карно не все учел. Основное, что он не учел - это свойства газов.

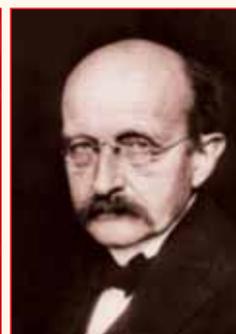
Как уже было сказано, у тяжелых и легких газов наблюдаются большие различия в показателях адиабаты. Достаточно сказать, что у гелия $k = 1,67$, а у продуктов сгорания твердого топлива БК-8 (условное название) - $k = 1,16$.



Вильгельм Фридрих
Оствальд,
немецкий физик и химик



Татьяна Алексеевна
Афанасьева-Эренфест,
русский и голландский
математик и физик



Макс Карл Эрнст
Людвиг Планк,
немецкий физик-теоретик

Итак, воспользуемся следующим положением второго Начала термодинамики:

$$C_v < C < C_p.$$

Границы этого неравенства определяют максимально возможную работу цикла. Пока мы не знаем, что это за цикл, проанализируем уравнение для первого начала термодинамики:

$$dQ = dU + dA.$$

То есть тепло в цикле расходуется на внутреннюю энергию и механическую работу, т.е. $Q = U + A$.

Тогда работа - это разница между поступающим теплом и внутренней энергией системы:

$$A = Q - U,$$

а к.п.д.:

$$\eta = \frac{Q - U}{Q} = 1 - \frac{U}{Q}.$$

Максимальным к.п.д. будет только в том случае, когда тепло будет реализовано при постоянном давлении, то есть воспроизведется энтальпия системы h (правая граница неравенства). Это тепло поступит в систему, а остатки после производства работы уйдут в виде внутренней энергии. Другими словами, в систему поступает максимально возможное тепло, а сбрасывается минимально необходимая его часть. Коэффициент полезного действия при этом запишется в виде

$$\eta = 1 - \frac{U}{h}.$$

Поступившее в цикл тепло, имеющее высокую температуру T_1 , будет сработано, а низкопотенциальный газ будет сброшен с существенно низкой температурой T_2 . Прямо как у Карно - поступающий газ имеет температуру нагревателя T_1 , а сбрасываемый, отработанный - температуру холодильника. Тогда можно переписать к.п.д.:

$$\eta = 1 - \frac{C_v T_2}{C_p T_1}.$$

Или окончательно

$$\eta = 1 - \frac{1}{k} \cdot \frac{T_2}{T_1}.$$

Вот и все. Получили формулу для самого идеального цикла. Видно, что из-за свойств формула дает к.п.д., больший, чем у Карно.

Последняя формула превращается в формулу Карно при показателе $k \rightarrow 1$. То есть при уменьшении показателя адиабаты формула для к.п.д. стремится к формуле Карно. Известно, что легкие газы (гелий и др.) имеют самые большие показатели адиабаты, а тяжелые - самые маленькие. Из формулы для к.п.д. следует, что менее эффективными с точки зрения к.п.д., к сожалению, будут аппараты, работающие на твердом топливе, так как молекулы продуктов сгорания СТТ имеют очень большую и разветвленную структуру.

Теперь, когда получена формула для расчета к.п.д. идеального цикла, представим себе этот цикл. По аналогии с циклом Карно (рис. 1), где имеется две адиабаты и две изотермы, оставим лишь две адиабаты, а вместо изотермы введем две изотеплоты.

То есть будем считать, что на двух противоположных сторонах криволинейного четырехугольника, составляющего цикл (в P - V координатах), будут две изотеплоты. Верхняя будет соответствовать

энтальпии при исходной температуре газа после нагревателя, а нижняя - внутренней энергии при температуре холодильника. Для наглядности цикл изобразим в виде ку-эс диаграммы (более привычно и-эс диаграммы), где по абсциссе откладывается энтропия (теперь уже ее аналог), а по ординате - тепло (энтальпия и внутренняя энергия). В этих координатах (рис. 2) в наглядном виде представлен тот самый идеальный цикл. Он выглядит как прямоугольник. Так же, как известно, выглядит цикл Карно в T - S координатах.

Следует отметить, что формулу для к.п.д. идеального цикла не следует рассматривать как формулу для предельного цикла и устремлять T_1 к T_2 , чтобы получить асимптотическое значение. Это - не корректно. Правильно устремлять $h(Q)$ к U . В этом случае она (формула для к.п.д.) будет сходиться к нулю.

И еще. Как было показано, C_v является некой границей, разделяющей химическую термодинамику и термодинамику тепловых машин. Если большое неравенство переписать в отношениях к C_v , то получим:

$$(k - 1) \leq \frac{S}{C_v} \leq 1 \leq \frac{C}{C_v} \leq k$$

и это новое неравенство очень показательно. Левая половина неравенства соизмеряется с изоэнтропическими процессами, а правая - с адиабатическими.

Изоэнтропические процессы характеризуют некую стабильность, равновесность химических процессов. Адиабатические процессы (процессы без подвода тепла к системе) характерны для тепловых циклов. **П**

Литература

1. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Новая интерпретация второго Начала термодинамики и теорема векторного анализа о соотношении движений // Двигатель №6, 2016.
2. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Энтропийные потоки и коэффициенты переноса // Двигатель №4, 2017.
3. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Базис-определяющие тензоры термодинамики // Двигатель №3, 2017.
4. В.В. Сушков. Техническая термодинамика // М.-Л. Государственное аналитическое издательство, 1953.

Связь с автором: swgeorgy@gmail.com

ИНФОРМАЦИЯ

В июне этого года самый большой на сегодняшний день в мире самолет Stratolaunch впервые покинул свой ангар.

И уже в сентябре были запущены все шесть огромных двигателей этого гигантского самолета. Испытания двигателей проводились в рамках программы наземных испытаний, после завершения которых самолет сможет подняться в воздух. Ожидается, что это должно произойти в 2019 году.

На самолете Stratolaunch, размах крыльев которого составляет 117 метров, сейчас установлены шесть турбореактивных двигателей Pratt & Whitney, которые были сняты с двух самолётов Boeing 747-400 и на которых был выполнен капитальный ремонт. Двигатели на Stratolaunch установлены по три на одном крыле и каждый из них имеет свою собственную систему подачи топлива, систему управления и прочие системы, которые позволяют пилотам управлять работой каждого двигателя индивидуально.

Недавние испытания были проведены в три этапа. Сначала двигатели приводились во вращение с помощью электростартеров. Затем во вращающиеся двигатели подавалось топливо, но зажигание не подавалось. На третьем этапе каждый из двигателей был запущен в нормальном режиме и прорабо-



тал какое-то время на минимальных оборотах. Затем постепенно, в течение нескольких месяцев, будут гонять двигатели самолета на разных режимах и разной мощности. И испытания на максимальной мощности будут проводиться уже ближе к сроку начала полетов.

Самолёт Stratolaunch построен компанией Stratolaunch Systems, основанной семь лет назад Полом Г. Алленом (Paul G. Allen), одним из учредителей компании Microsoft. Целью создания этой компании является разработка многоразовой системы воздушных космических запусков. Использо-

вание для этих целей специализированных самолетов позволит избавиться от необходимости использования наземных стартовых площадок, часть оборудования которых требуется менять после каждого запуска. При этом, вывод в космос полезного груза будет осуществляться при помощи небольшой одноступенчатой ракеты-носителя. **П**





XIV МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ — ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

проводится в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 апреля 2014 г. № 541-р

**15-17 мая 2018 г.,
Москва, ВДНХ,
павильон 75, «Россия»**

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ
ВЫСТАВКИ



ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Консолидация усилий власти, науки и бизнеса в развитии отечественного приборостроения для обеспечения нужд промышленности и оборонного комплекса страны, а также повышение эффективности российской системы измерений, совершенствование нормативной базы метрологии с учетом международных тенденций в целях поддержки инноваций и их продвижения.

ПРОГРАММА ФОРУМА



METROLEXPO

Метрология и Измерения

14-я выставка средств измерений, испытательного оборудования и метрологического обеспечения.



CONTROL&DIAGNOSTIC

Контроль и Диагностика

7-я выставка промышленного оборудования и приборов для технической диагностики и экспертизы.



RESMETERING

Учёт энергоресурсов

7-я выставка технологического и коммерческого учета энергоресурсов.



LABTEST

Лабораторное оборудование

6-я выставка аналитических приборов и лабораторного оборудования промышленного и научного назначения.



PROMAUTOMATIC

Приборостроение и автоматизация

6-я выставка оборудования и программного обеспечения для технологических и производственных процессов.



WEIGHT SALON

Весовой салон

2-я выставка весового оборудования.

Организаторы



РОССТАНДАРТ

Поддержка



Международные партнеры



Стратегический партнер



Ключевые партнеры выставки



Генеральный партнер



Устроитель и выставочный оператор



ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

129344, Москва, ул. Искры д. 31, корп. 1, Технопарк ВДНХ
Тел./Факс: +7 (495) 937-40-23 (многоканальный)

www.metrol.exprom.ru
E-mail: metrol@exprom.ru

ТРИДЦАТЬ ТРИ ГОДА В РАКЕТНОЙ ТЕХНИКЕ: УСПЕХИ, РАЗНОГЛАСИЯ, КОНФЛИКТЫ

Вячеслав Фёдорович Рахманин,
Лауреат Государственной премии СССР, к.т.н.

(Продолжение. Начало в 4-6 - 2015, 1-6 - 2016, 1-4 - 2017)

СТЕНДОВАЯ ОТРАБОТКА ДВИГАТЕЛЯ 8Д716

Предпринятая Королёвым в ноябре 1959 г. попытка отстранить ОКБ-456 от разработки двигателя для ракеты Р-9А и связанная с этим работа комиссии под председательством К.Н. Руднева, не нарушили существующего порядка проведения работ по созданию новых ракет, который предусматривал выдачу заключения Управлением заказчика на представленные эскизные проекты. "Заключение 4-го Управления Начальника реактивного вооружения по эскизному проекту двигателя 8Д716" было подписано 25 ноября 1959 г., 15 декабря 1959 г. его утвердил генерал-майор НТС А.Г. Мрыкин, и 21 декабря оно было направлено в адрес В.П. Глушко, С.П. Королёва, зам. председателя ВПК Г.Н. Пашкова и зам. председателя ГКОТ Л.А. Гришина. "Заключение" изложено



А.Г. Мрыкин

Г.Н. Пашков

Л.А. Гришин

на 15 машинописных страницах и содержит весьма подробный анализ не только технических характеристик и конструкторских решений двигателя 8Д716, но и анализ состояния и перспектив развития отечественного ракетного двигателестроения. Объём журнальной статьи не позволяет изложить рассмотренные в "Заключении" многочисленные технические замечания и предложения. Однако одно замечание, на которое на первом этапе разработки двигателя не обратили должного внимания, следует привести: "По данным эскизного проекта изделия 8К75 (заметим - ракеты Р-9А, а не двигателя - В.Р.) для обеспечения повышенной боеготовности предполагается использование переохлаждённого кислорода. В эскизном проекте двигателя 8Д716 это не нашло отражения".

Что касается выводов, то ограничимся цитированием той их части, которая имеет отношение к оценке эскизного проекта предлагаемого к производству двигателя:

"1. Эскизный проект двигателя 8Д716, разработанный ОКБ-456 ГКОТ в соответствии с Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР, представлен в установленный Правительством срок и содержит, в основном, все необходимые материалы для оценки конструкции двигателя и его основных агрегатов.

2. Основные характеристики двигателя 8Д716, указанные в эскизном проекте, удовлетворяют ТТЗ на его разработку и проекту ТПТ на изделие 8К75. Однако достаточным экспериментальным материалом основные параметры и конструктивные решения не подтверждены.

Учитывая сжатые сроки разработки двигателя, ОКБ-456 необходимо значительно ускорить экспериментальную проверку требуемых по ТТЗ основных параметров и отработку схемных решений двигателя.

3. Двигатель 8Д716 является дальнейшим этапом в развитии мощных кислородных ЖРД и обладает по проектным данным более конструктивным совершенством, простотой конструкции, лучшими энергетическими, весовыми и эксплуатационными характеристиками, чем двигатель ракеты Р-7. [...]

4. Наряду с высокими проектными характеристиками двигателя, упрощением его конструкции и эксплуатации, при проектировании двигателя 8Д716, по нашему мнению, не в полной мере использованы реальные возможности повышения его конструктивного совершенства. [...]

В ходе дальнейшей отработки двигателя для изделия 8К75 особое внимание должно быть уделено обеспечению устойчивости режима рабочего процесса в камере сгорания.

Недостатки, указанные в настоящем заключении, должны быть устранены при отработке двигателя".

В вышеизложенных выводах дана положительная оценка представленному ЭП, что же касается замечаний и предложений, то, во-первых, это является обязательной частью таких заключений, а, во-вторых, если бы ОКБ-456 было предложено изложить свои взгляды на конструкцию перспективного мощного ЖРД, то к предложениям военного ведомства было бы добавлено ещё немало новых технических решений по конструкции ЖРД. Но в жизни нельзя отделять разработку новых конструкций от сроков их реализации в промышленности. И зачастую именно конечные жёсткие сроки сдачи в эксплуатацию боевого или космического ракетного комплекса сдерживали внедрение прогрессивных конструкторских решений.

Однако заключение составлено так, будто бы его авторам было не известно, что одним из основных доводов целесообразности разработки новой кислородной ракеты 8К75 явилось обязательство создать её с наименьшими временными и экономическими затратами. А возможность создания на таких условиях двигателей основывалась на максимальном использовании конструкторских решений и опыте разработки двигателей ракеты Р-7. В дополнение к этому, в деятельности участников разработки ракеты 8К75, особенно у головного разработчика ОКБ-1, просматривалась и неофициальная задача - не уступить в конкурентной гонке по срокам сдачи в эксплуатацию ракеты Р-16, разрабатываемой под руководством М.К. Янгеля в ОКБ-586.

Следует отметить, что даже в узких рамках ограничения внедрения новых технических решений, конструкторы ОКБ-456 взяли ответственность за разработку качественно нового двигателя, который не только соответствовал всем предъявленным к нему по ТТЗ требованиям, но и превышал по техническим характеристикам все существующие в мире на этот период времени ЖРД. Что же касается конкретных замечаний и предложений, изложенных в заключении 4-го Управления Начальника реактивного вооружения, то представители ОКБ-456 и военного ведомства провели их обсуждение.

Однако будем следовать хронологии событий. До обсуждения замечаний заказывающего управления МО, ОКБ-1 15 января 1960 г. направило письмо в ОКБ-456, в котором подтверждалось соответствие разработанного проекта двигателя 8Д716 требованиям технического задания и сделано всего лишь два замечания. Краткость заключения объясняется, видимо, тем, что практически все вопросы по двигателю были обсуждены в процессе работы комиссии К.Н. Руднева.

Первое замечание касалось несколько заниженного уровня удельного импульса тяги. Но Глушко уже ранее взял обязательство довести эту характеристику двигателя до требуемой величины: 274 с на Земле и 317 с в пустоте.

Второе замечание относилось к предложению ОКБ-456 использовать вместо керосина новое, более эффективное горючее НДМГ, которое по расчётам специалистов ОКБ-456 должно увеличить дальность действия ракеты Р-9А на 2000 км. Но по расчётам работников ОКБ-1 эта величина составляла лишь 200 км и, учитывая высокую стоимость промышленного производства и сложность эксплуатации НДМГ, ОКБ-1 посчитало нецелесообразным его использование в ракете Р-9А. Это был второй случай, когда руководство ОКБ-1 опротестовывало результаты расчётов дальности полёта ракеты, полученные в других ОКБ. И как показали последующие практические результаты, "прогнозы" ОКБ-1 не подтвердились. Ракета Р-16 на азотнокислотном окислителе вопреки расчётам ОКБ-1, обеспечивала межконтинентальную дальность, а применение НДМГ в паре с кислородом в двигателе 8Д710 обеспечило получение рекордного для открытых схем удельного импульса тяги в 352 с. Но оба раза оказавшиеся недостоверными результаты расчётов ОКБ-1 использовались руководством этого ОКБ для того, чтобы отклонить предлагаемый компонент топлива взамен кислорода или керосина.

Нарушенный письмом Королёва в Отдел ЦК КПСС сложившийся алгоритм рассмотрения эскизных проектов, а также работа комиссии К.Н. Руднева привели к вторичному рассмотрению в Министерстве обороны эскизных проектов альтернативных двигателей для ракеты Р-9А. В результате этого в конце января 1960 г. вышло новое "Заключение по двигателям 8Д716 (конструкции ОКБ-456 ГКОТ) и 8Д717 (конструкции ОКБ-276 ГКАТ) для изделия 8К75". В этом заключении ещё раз приведён анализ эскизных проектов теперь уже обоих двигателей, сравнение их рабочих параметров и технических характеристик, предлагаемых конструкторских решений и подведены итоги выполнения на момент выпуска заключения экспериментальных работ в ОКБ-456 и ОКБ-276, а также сделан прогноз завершения работ по каждому двигателю.

Поскольку это заключение окончательно определило выбор двигателя для первой ступени ракеты Р-9А, изложим его основные выводы:

2. Двигатель конструкции ОКБ-456, хотя несколько и уступает по своим характеристикам двигателю ОКБ-276, однако разрабатывается на основе уже проверенных на двигателях изделия Р-7 конструктивных решений, что даёт уверенность в возможности создания двигателя в заданные сжатые сроки с принятыми основными характеристиками. К настоящему времени в ОКБ-456 уже получены положительные результаты по отработке процесса горения в камере и ведётся экспериментальная отработка агрегатов автоматики.

3. Более сложная схема двигателя ОКБ-276, наличие в её основе принципиально новых, ещё не проверенных конструктивных решений, отсутствие опыта по созданию ЖРД, а также отсутствие собственной стендовой базы, потребует от ОКБ-276 значительно большего времени на разработку двигателя чем от ОКБ-456, и, по нашему мнению, приведёт к увеличению заданных Правительством сроков по созданию изделия 8К75 на 1 - 1,5 года.

4. Учитывая сжатые сроки отработки изделия 8К75 и технические трудности, которые могут встретиться в случае создания двигателей по замкнутой схеме, по нашему мнению, в первую очередь целесообразно отработать это изделие с двигателем ОКБ-456. Вопрос о применении на изделии 8К75 двигателей конструкции ОКБ-276 может быть решён после получения положительных ре-

зультатов огневых стендовых испытаний этого двигателя".

Это заключение после его утверждения 27 января 1960 г. генерал-майором А.Г. Мрыкиным рассмотрел зам. министра МО маршал артиллерии М.И. Неделин, который внимательно следил за выбором двигателя первой ступени ракеты Р-9А. Выводы заключения им были одобрены и 2 февраля он подписал сопроводительные письма для рассылки документов в соответствующие адреса. Подпись под сопроводительным письмом косвенно информировала адресата о согласии Неделина с выводами заключения МО.



М.И. Неделин

Все необходимые заключения по ЭП были выданы и получены разработчиками двигателей, пришло время для обсуждения и принятия согласованных решений по содержащимся замечаниям и предложениям.

Обсуждение представителями ОКБ-456 и ГУРВО замечаний и предложений военного ведомства на ЭП двигателя 8Д716 состоялось в конце марта 1960 г. и завершилось выпуском "Протокола рассмотрения "Заключения 4-го Управления ГУРВО МО по эскизному проекту двигателя 8Д716". Протокол составлен в форме изложения замечания или предложения из "Заключения" и согласованного решения участников совещания. Приведём два таких пункта "Протокола", имеющих принципиальное значение для разработчиков двигателя.

"Замечание: в проекте не нашло отражение использование переохлаждённого кислорода.

Результат обсуждения: проект двигателя соответствует ТЗ, в котором не предусматривается работа двигателя на переохлаждённом кислороде, температура кислорода на входе в двигатель составляет минус 183 °С. По имеющимся в ОКБ-456 сведениям, переохлаждение кислорода прорабатывается только применительно к его хранению.

Замечание: в двигателе 8Д716 не предусматривается дожигание турбогаза в основных камерах сгорания, что приводит к снижению удельной тяги.

Результаты обсуждения: ОКБ-456 приняло решение о создании двигателя без дожигания турбогаза и потерей удельной тяги на 1,8 % с целью обеспечения разработки двигателя в требуемые сжатые сроки; при значениях удельной тяги, согласованных в техническом задании на двигатель 8Д716, обеспечиваются ТПП на изделии. Для вновь разрабатываемых двигателей ОКБ-456 приняло схему с дожиганием".

Упомянутый "Протокол рассмотрения..." после его утверждения в мае 1960 г. в ОКБ-456 и ГУРВО был разослан в адреса, получившие исходное "Заключение 4-го Управления ГУРВО МО..." - ОКБ-456, ОКБ-1, ВПК, ГКОТ.

У руководства ОКБ-1 этот протокол вызвал раздражение: в его выпуске было усмотрено ущемление эксклюзивных прав головного разработчика, претендующего на участие в решении всех технических вопросов, касающихся разработки ракетного комплекса. В июне 1960 г. зам. Главного конструктора ОКБ-1 Мишин направил в ГУРВО письмо с упреком, что совещание было проведено без участия ОКБ-1:



В.П. Мишин

"Техническое задание на разработку двигателя 8Д716 выдано ОКБ-1. Поэтому становится неясным, как 4-е Управление ГУРВО может решать вопросы о выполнении тех или иных пунктов технического задания без участия ОКБ-1".

Получив упрек об игнорировании головного разработчика в обсуждении технических вопросов, изложенных в заключении Управления заказчика на эскизный проект по двигателю 8Д716,

командование ГУРВО в ответ на обвинение в сепаративной деятельности дало разъяснение в ответном письме: "Относительно совместного протокола, составленного после рассмотрения заключения 4-го Управления ГУРВО, сообщаем, что в этом протоколе изложено фактическое состояние дел с реализацией замечаний 4-го Управления ГУРВО. Вопрос целесообразности выполнения тех или иных пунктов ТЗ ОКБ-1 на двигатель 8Д716 в протоколе не рассматривался".

Упоминание об этом по существу незначительном факте мне понадобилось для акцентирования внимания читателей на другом аспекте истории разработки ракеты Р-9А. Ни в этом письме, ни в ранее представленном в ОКБ-1 эскизном проекте двигателя 8Д716 ничего не сказано о необходимости отработки двигателя на переохлажденном кислороде. Более того, без возражения принято согласованное с Управлением заказчика мнение ОКБ-456, что в ТЗ на двигатель "не предусматривается работа двигателя на переохлажденном кислороде" и что использование такого "прорабатывается только применительно к его хранению". В связи с этим есть все основания считать, что ОКБ-1 в этот период было согласно с изложенным пониманием ОКБ-456 об использовании переохлажденного кислорода. О том, как изменится отношение ОКБ-1 к принятой в ОКБ-456 методике отработки двигателя без использования переохлажденного кислорода, будет изложено позднее.

Разработка двигателя в ОКБ-456 началась практически сразу же после согласования 30 октября 1958 г. предварительных технических требований ОКБ-1. В концепцию разработки было положено условие максимального использования опыта, полученного при разработке двигателей для ракеты Р-7, а также имеющегося технологического оборудования и матчасти этих двигателей. Такой подход позволил начать отработку отдельных фрагментов конструкции и внутриводительных процессов до получения утвержденного ТЗ и выхода правительственного Постановления.

В январе 1959 г. состоялась первое огневое испытание двухкамерной экспериментальной сборки с "очковым" (без сопла) вариантом камеры и доработанным ТНА двигателя РД-107 от ракеты Р-7. Смесительная головка камеры была рассчитана на номинальные расходы компонентов топлива камеры двигателя 8Д716. Первые испытания таких экспериментальныхборок показали, что повышение давления в камере с 60 атм до 80 атм приводит к возникновению высокочастотных колебаний давления, разрушающих камеру сгорания. Дальнейшие попытки путём изменения перепадов давления и других гидравлических и конструкторских изменений двухкомпонентных форсунок не привели к устойчивому горению.

Вариант применения смесеобразования по типу камер двигателя РД-107 не оправдал возлагаемых на него надежд и пришлось, затратив несколько месяцев на бесплодные поиски устойчиво работающего варианта смесеобразования, перейти на принципиально другую схему - с однокомпонентными форсунками, которые после испытания нескольких вариантов смесеобразования показали устойчивое горение в "очковых" камерах двухкамерныхборок. Положительные результаты этих испытаний создали уверенность у конструкторов и руководителей ОКБ-456 в возможности достаточно быстро завершить отработку штатной конструкции двигателя 8Д716. Созданию атмосферы уверенности во многом способствовало успешное завершение для ОКБ-456 конфликтной ситуации с ОКБ-1 по выбору схемы и разработчика двигателя первой ступени ракеты Р-9А. Но дальнейшие события показали, что этот конфликт - только начало в длинной цепи преодоления как технических задач, так и организационных проблем на пути к успешному завершению разработки двигателя 8Д716.

10 мая 1960 г. состоялось первое огневое испытание двигателя 8Д716 в комплектации с четырьмя полноразмерными камерами с хорошо зарекомендовавшими себя при испытаниях "очковых"борок с крупными однокомпонентными форсунками. И окончилось оно преждевременно разрушением одной из камер из-за возникших ВЧ-колебаний давления на основном режиме работы. Второе испытание такого же двигателя завершилось так же аварийно. Обработка результатов испытаний показала, что зона неустойчи-

вой работы камеры лежит вблизи номинального режима. Два полноразмерных подряд аварийных исходов испытаний с выбранным ранее вариантом смесительной головки указывали на то, что отработку камеры по устойчивости горения на основном режиме в составе полноразмерного двигателя предстоит проводить заново.

Нельзя сказать, что аварийные результаты испытаний и сделанный на их основе вывод вызвал у конструкторов шок, это будет слишком сильное определение того состояния, в котором они находились. Точнее будет сказать, что они были в растерянности, их постигло глубокое разочарование. Уж очень сильна была уверенность в наличии отработанного варианта камеры.

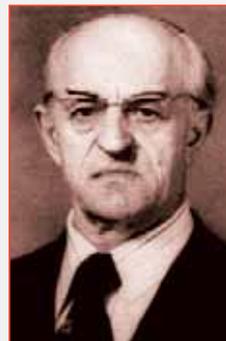
Не оправдал себя так удачно, казалось бы, найденный вариант предварительной отработки камер с использованием матчасти от двигателя предыдущей разработки. И всё-таки это было более правильное решение по сравнению с пассивным ожиданием изготовления двигателя штатной конструкции.

Дальнейшие поиски работоспособного варианта камеры велись практически теми же методами, что и при доводке двигателей ракеты Р-7: при различных уровнях перепадов давления на форсунках, с различными расходами на "завесу" от периферийных форсунок, при различных длинах цилиндрической части камеры. Такой подход к созданию вариантов смесительных головок - различные сочетания из указанных трёх переменных составляющих - дал основание местным остроумцам провести сравнение нашей работы с известной манипуляцией пальцами, когда при комбинации из трёх пальцев получается шиш. Этим подчёркивалось, что все наши потуги разработать смесительную головку олицетворяются этой классической фигурой. Однако в нашей методике работы по созданию смесительной головки всё же имелся прогресс.

При испытаниях проверяемого варианта пытались установить границу неустойчивой работы, для чего на каждое испытание разрабатывалась своя индивидуальная программа ступенчатого набора давления в камере сгорания до номинального режима. Определённый таким образом режим начала возникновения развитых ВЧ-колебаний давления становился отправной точкой для выбора следующего варианта смесительной головки.

Особая сложность в отработке заключалась в том, что характеристики высокочастотной устойчивости проверяемых вариантов камер сгорания оказались слабо воспроизводимыми. Ряд вариантов, показавших при нескольких последовательно проведённых испытаниях высокую устойчивость на режимах вблизи номинального значения, при последующих испытаниях в составе тех же доводочных двигателей разрушался от ВЧ-колебаний давления на ранее устойчивом режиме работы. Это были наиболее трудные случаи в процессе доводки, т.к. каждый такой вариант вселял надежду, что нужно что-то чуть-чуть подправить и задача будет решена. Вот только никто не мог указать на это "что-то" и "чуть-чуть".

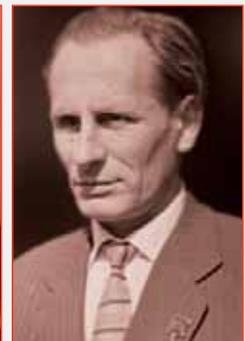
Время неумолимо бежало, срывались все сроки и рушились графики стендовой отработки двигателя. Повторение ранее проверенных на "очковых" камерах мер по устранению неустойчивости вызвало сомнение в эффективности выбранного плана доводочных работ. А доводка двигателя контролировалась не только военным представительством при ОКБ-456, но и специализирующимися в области ракетных двигателей работниками ОКБ-1 И.И. Райковым, Б.А. Соколовым, М.В. Мельниковым. Консультатив-



И.И. Райков



Б.А. Соколов



М.В. Мельников

ную помощь при обсуждении результатов испытаний и в разработке вариантов камер сгорания оказывали научные сотрудники НИИ-1 и НИИХИММАШ (НИИ-229).



А.П. Ваничев

В.П. Беляков

В совещаниях, проводящихся у В.П. Глушко по итогам цикла испытаний, принимали личное участие научные руководители этих институтов А.П. Ваничев и В.П. Беляков.

И хотя ни одна из предложенных научными сотрудниками НИИ рекомендаций не стала определяющей для окончатель-

ного варианта смесительной головки, их постоянная поддержка вселяла в нас уверенность в скорую возможность создания двигателя на заданные параметры.

На совещаниях, проходивших у руководства ОКБ, тщательно обсуждалось любое конкретное предложение для повышения устойчивости горения. В связи с недостаточным теоретическим исследованием природы появления неустойчивого горения топлива в камерах ЖРД, поиск работоспособной конструкции камеры шёл, к сожалению, практически "в слепую", предлагаемые варианты не имели достаточного научного обоснования, все доводы основывались на интуиции и собственном анализе результатов испытаний двигателей. На фоне наших обоснований предложения представителей НИИ отличались использованием научной терминологии, ссылками на опыт других КБ и на выводы собственных научно-технических отчётов. Практически все предложения НИИ принимались руководством ОКБ-456 без возражений, а вот между представителями институтов чувствовалось присутствие духа конкурентности, тогда это называлось духом соревновательности. Как убедительно, порой, звучали их доводы! А вот при испытаниях этих научно-обоснованных вариантов результаты были те же - разрушение камеры, если не на первом, то на втором-третьем испытании обязательно. Другие задачи выполняли представители ОКБ-1. Они появлялись после проведения нескольких огневых испытаний, записывали в блокноты параметры работы двигателя, конструктивные особенности испытываемого варианта смесительной головки, при этом расспрашивали о соотношении количества движения при соударении конусов распыла, о скоростных напорах истекающих из форсунок компонентов топлива, об изменении дисперсности распыла капель при разных перепадах давления на форсунках, которые называли "дискретными элементами смесеобразования", и прочих премудростях из области гидравлики и теории смесеобразования. Такие вопросы ставили в тупик наших конструкторов. Нельзя сказать, что мы совсем не пользовались научными основами при разработке вариантов смесительных головок, но до таких тонкостей не доходили.

Характер этих вопросов насторожил начальника бригады камер А.Д. Вебера. По всей видимости, он опасался, что такие или аналогичные вопросы могут быть заданы и ему представителями ОКБ-1 на совещании у В.П. Глушко. И он поручил мне через мои приятельские каналы узнать, как в ОКБ-1, в двигательном отделении у М.В. Мельникова, используют при проектировании камеры ЖРД все эти гидравлические премудрости. Почему такое поручение дано было мне? Дело в том, что в те годы я был профоргом бригады и как "лицо, приближённое к руководству", пользовался, видимо, особым доверием. Мой "агент" из ОКБ-1 рассказал, что после успешного запуска первого спутника многие руководители подразделений в ОКБ-1 без защиты диссертации стали докторами и кандидатами технических наук и теперь, общаясь с другими сотрудниками, стремятся соответствовать своим научным званиям. Особенно запомнился мне финал этой части нашей встречи. Мой приятель, будучи человеком, склонным к образному изложению своих мыслей, так заключил свой рассказ о свежеспечённых научных специалистах ОКБ-1: "Помнишь фильм "Свадьба" по А.П. Чехову? Там есть такая реплика в адрес телеграфиста: "Они свою учёность хо-

нут показать и поэтому говорят про непонятное". Кстати, ты не помнишь, кто играет этого телеграфиста?". Выяснением этого вопроса и ещё ряда других, не относящихся к классической русской литературе и кинематографу, мы продолжили нашу встречу.

Переданные на следующий день Веберу результаты моей "глубокой разведки" в ОКБ-1 его успокоили и даже рассмешили. И мы продолжали вести разработку новых вариантов смесеобразования без излишних премудростей, тем более, что никто не мог с требуемой достоверностью объяснить, какие именно величины гидравлических параметров дадут положительный результат.

Затянувшаяся череда аварийных испытаний двигателей 8Д716 особенно контрастировала с буквально триумфальными результатами испытаний азотнокислотных двигателей для янгелевских ракет Р-14 и Р-16, проводившихся в ОКБ-456 на соседнем стенде № 2. К середине 1960 г. практически была завершена доводка двигателей для первых ступеней этих ракет, изготовление двигателей уже началось на серийном заводе в Днепропетровске, в августе 1960 г. начались огневые испытания ступеней ракет Р-14 на стенде в НИИ-229.

Королёв очень ревностно относился к успешной отработке двигателей ракеты Р-16, конкурирующей с ракетой Р-9А. Он считал, что сложившаяся ситуация с доводкой двигателя 8Д716 является следствием недостаточного внимания со стороны Глушко к отработке этого двигателя и что этими работами занимается малокачественный инженерный состав ОКБ-456. Могу засвидетельствовать, что это не так. К работе над двигателем 8Д716 привлекался весь состав бригады камер и трудились мы добросовестно.

Энтузиазм в те годы среди работников ракетной промышленности был обычным, рядовым явлением. Никто не принуждал, не "мобилизовывал" конструкторов на вечерние работы. В ОКБ-456 рабочий день формально заканчивался в 17 часов 45 минут, однако многие продолжали свою работу за кулисами без последующих требований отгулов, а об оплате сверхурочных работ никогда не возникало даже разговоров. Нам нравилась наша работа, мы находили в ней удовольствие, ощущали своё самовыражение. Задерживающиеся москвичи заканчивали работать в 19 часов, когда к корпусу КБ подходил заводской автобус, который следовал до ближайшей в те годы станции метро "Сокол". Жители Химок задерживались и того дольше.

В среде отечественных специалистов в области ракетных двигателей на фоне непрерывно продолжающихся в ОКБ-456 аварийных испытаний появились даже сомнения в возможности создания мощного кислородно-керосинового двигателя. Факт успешной разработки двигателей РД-107 и РД-108 трактовался ими как исключительная случайность, которую развить и преумножить не представляется возможным. Странники использования высококипящего ракетного топлива стали поговаривать, а не вспомнить ли вариант ракеты Р-9В с азотной кислотой вместо кислорода, и что напрасно Министерство обороны уступило нажиму Королёва и согласилось на разработку боевой кислородной ракеты. Но ни Глушко, ни другие руководители ОКБ-456 не предлагали, как утверждают некоторые авторы мемуаров, перейти на другое топливо для ракеты Р-9А. Они упорно продолжали искать конструкцию работоспособного варианта кислородной камеры для двигателя 8Д716. Стремясь развеять сомнения в правильности принятия решения о разработке Р-9А, апологет применения кислородного топлива Королёв в доказательство правильности выбранного им направления дальнейшего развития ракетного вооружения и принятого решения о разработке ракеты Р-9А, ссылался на американский опыт создания и эксплуатации боевой ракеты "Титан-1", в которой в качестве окислителя использовался жидкий кислород, а горючего - американская вариация нашего керосина.

Но это были успехи специалистов ракетной техники США. У нас же пока успехов в отработке двигателя не было. Довольно точную характеристику положению дел с отработкой двигателя 8Д716 дал А.М. Исаев, главный конструктор двигательного ОКБ-2: (цитируется по книге Б.Е. Чертока "Ракеты и люди"): "Дело не в том, что Глушко не хочет. Он просто не может и не знает, как сделать устой-

чивым процесс на кислороде в камерах таких больших размеров. И я не знаю. И, по-моему, никто пока не понимает истинных причин появления высокой частоты".

И как бы в подтверждение заявления А.М. Исаева, что и он не знает, что делать для повышения устойчивости горения в камерах кислородно-керосинового двигателя, были получены отрицательные результаты испытаний двигателей 8Д716 с установленным в камерах металлическими перегородками ("крестами"), широко и успешно применяемые в ОКБ-2 для устранения ВЧ-колебаний давления в камерах двигателей, работающих, однако, на высококипящем топливе.

Не были безучастны к процессу отработки двигателя и офицеры военного представительства при ОКБ-456. Формально их задачей являлся контроль выполнения при разработке и изготовлении двигателей требований технического задания, нормативно-технической, конструкторской и технологической документации. Но военпреды, в большинстве своём выпускники Военно-инженерной академии им. Ф.Э. Дзержинского, являющиеся специалистами в области ракетной техники, наравне с конструкторами ОКБ-456 участвовали во всех совещаниях, практически все технические документы на изготовление и испытания двигателей согласовывались с военным представительством и его офицеры по праву считали себя участниками отработки двигателя. Предложения представителей других ОКБ и отраслевых НИИ вдохновили, видимо, и военпредов на разработку собственных вариантов камеры. Некоторые из них, по природе своей весьма деятельные натуры, активно вмешивались в процесс "лечения" камеры, на совещаниях настойчиво, а порой и безапелляционно предлагали свои варианты повышения устойчивости горения.

Обсудив в своём кругу состояние дел с отработкой двигателя, начальник военного представительства при ОКБ-456 инженер-подполковник Б.Я. Копылов в декабре 1960 г. направил В.П. Глушко письмо, в котором обобщил все известные на то время меры по устранению неустойчивого горения и предложил их включить в план экспериментальных работ по двигателю 8Д716. Получив письмо, Глушко сделал на нём запись: "Б.Я. Копылову. Я полагаю, Вам известно, что почти всё Вами рекомендованное уже реализуется в работе ОКБ-456!!". Каких-либо поручений по предложениям письма не последовало. Для исторической объективности следует указать - более точной была бы запись, что все предложения по обеспечению устойчивого горения уже обсуждались на совещаниях и были приняты в качестве резервных, т.к. уверенности в их эффективности не было даже у их авторов - работников других ОКБ и НИИ.

Принимались попытки оказать помощь в установлении причин затянувшейся череды аварийных исходов испытаний двигателей и режимные органы. В тайне от остальных сотрудников КБ представители этих органов приглашали для беседы некоторых конструкторов. О таких приглашениях участники бесед делились между собой спустя несколько лет. На беседах, если отбросить обязательную в таких случаях начальную "дымовую завесу" о патриотизме и ответственности каждого из нас за разработку оборонной техники, предлагалось ответить на вопросы типа: "Что Вы можете сказать о людях, разрабатывающих элементы двигателей, приводящих к аварийному исходу?". Или "Что нужно сделать, чтобы получать аварии, продолжающиеся столь долгий период?". Второй вопрос имел инвариантность: "Что бы Вы сделали, если бы Вам поручили организовать столь длительный период аварийных испытаний?". Ответы были тоже не очень оригинальны. "Над обеспечением работоспособности камеры работает большой коллектив конструкторов с привлечением научных сотрудников НИИ. Предполагаемое изменение конструкции подвергается обсуждению на совещаниях различного уровня, изготовление матчасти двигателя и подготовка его к испытаниям также ведётся коллективно и под контролем ОТК и военного представительства, так что при столь коллективной работе воздействие на конечный результат какого-либо злоумышленника практически невозможно. Отрицательные результаты серии испытаний связаны с отсутствием научно-обоснованных методик и рекомендаций по обеспечению устойчивого процесса горе-

ния топлива в камере ЖРД". Насколько удовлетворяли работников режимных органов такие результаты бесед, нам не было известно. Думаю, что они тоже не строили иллюзий решить таким путём проблему устранения аварийной работы камеры. Скорее всего, по линии обеспечения государственной безопасности тоже разрабатывались планы мероприятий и это был один из пунктов этих планов. Но каких-либо неприятностей для работников ОКБ-456 от службы безопасности в этот период отмечено не было.

Не могла остаться в стороне и парторганизация КБ. Начальника бригады камер А.Д. Вебера несколько раз заслушивали на партбюро, а в сентябре 1960 г., после окончания рабочего дня, в КБ было проведено открытое партийное собрание. Это, в общем-то, рядовое мероприятие осталось в памяти благодаря одному событию. Тема собрания была обозначена примерно так: "Организация работ в бригаде камер по двигателю 8Д716". Но, как водится в инженерной среде, все выступления вращались вокруг технической основы предмета собрания - конструкции камеры. Председательствующему приходилось практически каждому напоминать, что он на партийном собрании, а не на техническом совещании. После одного из выступлений с резкими выпадами в адрес конкретных работников бригады камер страсти разгорелись, начали припоминать неправильное, по мнению выступающих, поведение при принятии технических решений не только Вебером, но и другими работниками бригады и не только по двигателю 8Д716. И вдруг от волны акустического давления задрожали стёкла окон конструкторского корпуса, ворвавшийся вязкий гул заполнил всё помещение зала, где происходило собрание, у собравшихся заложило уши. В вечернем полумраке всё пространство за окнами озарилось неестественно белым, до голубого оттенка пульсирующим светом. Все участники собрания как по команде устремили свои взгляды на секундные стрелки часов. И так продолжалось долгие 50 секунд, пока работал на стенде, примерно в 800 метрах от конструкторского корпуса, доводочный двигатель 8Д716. Отключение, судя по продолжительности работы двигателя, прошло по программе, и все принялись поздравлять Вебера с успешным завершением ещё одного испытания.



А.Д. Вебер

Далее было не интересно: прочитали заранее подготовленный проект решения, приняли его за основу, внесли дополнения в свете выступлений и члены партии проголосовали в целом за это решение. Сейчас уже не помнится, что было в этом решении, но 50 секунд немой сцены под всепроникающий равномерный гул работающего двигателя хранятся в памяти вот уже 57 лет.

Поиски работоспособного варианта камеры продолжались, рождались новые надежды... Но вся совокупность проведённых стендовых испытаний не позволяла выбрать ни одного варианта камеры, пригодного для дальнейшей доводки. И в то же время полученный опыт не мог остаться бесполезным. Отработка камеры ЖРД - это, по существу, выполнение тематической научной работы. А в науке отрицательный результат - тоже результат. Только нужно уметь его использовать с пользой для проведения дальнейших исследований. Должен же сработать философский закон о переходе количества в качество. В нашем случае этот закон наконец-то сработал.

У меня сохранилась рабочая тетрадь с указаниями чертёжных обозначений всех разработанных и испытанных вариантов смесительных головок камер экспериментальных двигателей 8Д716. Их общее количество составляет 34 наименования. Последний из указанных вариантов стал штатной смесительной головкой. Этот вариант отличается от предыдущих измельчением чьеёк смесиобразования, образованных однокомпонентными форсунками при "шахматной" схеме их установки. Такая организация смесиобразования хорошо увязывалась с широко обсуждаемой в то время гипотезой о первопричине возникновения ВЧ-колебаний давления, которая

казалась тогда достаточно убедительной. Суть её заключалась в следующем: при применении "крупных" однокомпонентных форсунок в подконусных зонах у огневого днища образовывались застойные объёмы, заполненные газом, обогащённым керосином. В случае попадания в одну из этих зон свободного кислорода происходило резкое выгорание смеси и возникший локальный импульс давления инициировал колебательный процесс во всём газовом объёме камеры сгорания. В доказательство правомерности существования такого механизма возникновения ВЧ-колебаний давления приводилась статистика десятков аварийных испытаний, на которых практически независимо от величины соотношения компонентов топлива и других факторов колебания самопроизвольно возникали в любой момент работы камеры в интервале времени от 10 с до 97 с при продолжительности испытания двигателя 100 с.



Расположение форсунок в камере ЖРД: шахматное (в центре) и концентрическое: 1 - форсунка окислителя; 2 - форсунка горючего

Для измельчения ячеек смесеобразования было увеличено в 1,5 раза количество однокомпонентных форсунок (вместо 601 стало 993), одновременно уменьшен на 20 % расход горючего в периферийном ряду форсунок - в "газовую завесу" в пристеночном слое продуктов сгорания. Эти мероприятия обеспечили не только устойчивое горение в камере, но и повысили удельный импульс тяги до 319 с. Имея опыт проявления неустойчивого горения у некоторых предыдущих вариантов камер только на третьем-четвёртом испытании, были проведены подтверждающие, а затем "закрепляющие" вариант смесительной головки двенадцать подряд положительных результатов испытаний трёх двигателей. Эти испытания объективно показали, что по устойчивости и экономичности на номинальном режиме двигателя обеспечивают технические требования. Проблема работы двигателя на основном режиме была закрыта.

Одновременно с поисками варианта эффективного смесеобразования, обеспечивающего требуемую величину удельного импульса тяги и устойчивое горение, проводились поиски надёжного запуска двигателя. Начиная с первых согласований технических характеристик двигателя 8Д716, ОКБ-1 постоянно ставило перед ОКБ-456 требование отработки запуска двигателя с возможно меньшей продолжительностью предварительной ступени или вообще без неё. Предварительная ступень - это этап процесса запуска двигателя, при котором зажигание в камере происходит при подаче топлива под давлением столбов компонентов и наддува баков. Эта ступень запуска была предложена и внедрена при разработке двигателей ракеты Р-7. Она обеспечивала синхронизацию работы всех камер до подъёма ракеты из пускового устройства.

Отработка нового запуска в ОКБ-456 началась с первых же испытаний "очковых" сборок двухкамерных экспериментальных двигателей. Ко времени перехода к испытаниям экспериментальных четырёхкамерных двигателей в начале мая 1960 г. это требование получило дополнительное техническое обоснование: 30 мая 1960 г. вышло правительственное Постановление о боевой эксплуатации ракет Р-9А как с открытых позиций, так и из шахтных сооружений. В связи с этим необходимо было разработать универсальную схему запуска, учитывая особенности пуска ракет, как с наземного старта, так и из шахтного сооружения. В представлении работников ОКБ-1 новый запуск двигателя 8Д716 должен был сократить предстартовые расходы топлива, свести к минимуму продолжительность воздействия пламени на стартовое сооружение или шахтное оборудование, исключить необходимость создания системы эжекции, обеспечить максимальную скорострельность. А это накладывало особые требования. Американцы, например, свою кислородную ракету "Титан-1", находящуюся на боевом дежурстве в шахте, перед пуском поднимали на специальном лифте на уровень земли и только после этого осуществляли запуск двигателя.

Отработка запуска двигателя 8Д716 представляла собой решение двуединой задачи: обеспечение выхода на номинальный режим в заданное время и отсутствие в этот период ВЧ-колебаний давления. Поиски новой циклограммы подачи команд на агрегаты двигателя, обеспечивающей расчетный градиент набора давления в камере, осложнялись отсутствием предварительной ступени, во время которой подавались команды на агрегаты, участвующие в запуске двигателя. На процесс запуска оказывали влияние величина газопроизводительности пиростартера для запуска турбины, градиент набора оборотов ТНА, момент зажигания топлива в газогенераторе, время опережения подачи в камеру окислителя, момент воспламенения топлива в камере от порохового зажигательного устройства. И если при наличии предварительной ступени продолжительностью 3-3,2 с можно было варьировать временами срабатывания агрегатов и устройств, участвующих в запуске, то при сокращении продолжительности этой ступени до 0,15-0,3 с такая возможность практически исключалась. Такой запуск имел "пушечный" характер.

Что же касалось возникновения ВЧ-колебаний давления, то их проявление связывалось с организацией первичного смесеобразования в момент зажигания топлива и, как неожиданно выяснилось в процессе экспериментальных работ, со скоростью набора оборотов ТНА и особенностью течения окислителя в трубопроводах при его подаче в камеру.

Не имея сегодняшних возможностей математического моделирования процессов запуска и точных приборов для фиксации динамики изменения параметров, конструкторы того времени использовали свою интуицию, собственное представление о динамике происходящих процессов и опирались на результаты многочисленных специально проводимых экспериментальных огневых испытаний двигателей на режиме запуска продолжительностью 3-3,5 с.

Шёл процесс познания, практические потребности техники опережали научно-теоретические знания. Все, что сейчас является предметом изложения в учебниках и пособиях по проектированию и стендовой отработке ЖРД, тогда познавалось на практике путём проб и ошибок.

Полученные в сентябре-октябре 1960 г. положительные результаты серии стендовых испытаний двигателей поставили перед их разработчиками злободневный вопрос - годится ли такой двигатель для проведения дальнейших работ в составе ракеты или требуется продолжение его стендовой отработки? Вся предыдущая статистика отработки двигателей указывала на необходимость острой оценки полученных положительных результатов. Нужна была более широкая проверка работоспособности двигателя во всём диапазоне изменения внешних факторов, заданных в ТЗ головного разработчика. Но на календаре был октябрь 1960 г., а установленный правительственным Постановлением срок начала поставки двигателей в ОКБ-1 для сборки ракет 8К75 для проведения их наземных огневых совместных испытаний (ОСИ) в составе ступени на стенде НИИ-229 в Загорске - июнь-июль 1960 г.

ОСИ являются важным этапом в отработке ракетной техники. Цель их проведения - комплексная проверка работы всех систем двигательной установки (ДУ) в составе ракетной ступени. При составлении графика отработки ракеты предполагается, что для сборки ступени ракеты для проведения ОСИ все ракетные системы поставляются после успешного завершения автономной отработки.

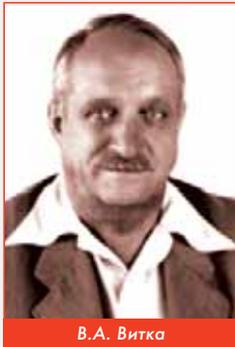
Мне не известна степень отработанности на конец октября 1960 г. других ракетных систем, что же касается двигателя, то он в большой мере продолжал быть ещё "вещью в себе". Это понимали двигателисты, должны были понимать и в ОКБ-1. Но сроки! Опять стала известна дилемма: хорошо или вовремя? Выбор варианта решения этой дилеммы обычно зависит от многих входящих в неё условий и факторов. В истории человеческого общества имеются примеры, подтверждающие правильность выбора любого из рассматриваемых вариантов.

В создавшемся положении Глушко обратился к Королёву с предложением отодвинуть начало проведения ОСИ на более поздние сроки. Но Королёв возразил: "На сколько нужно отодвинуть

сроки? На месяц? Два? И что, за это время двигатели станут более надёжными? Они хоть изредка и "чихают", но в большинстве своём всё-таки работают. А мне нужно проверить другие системы, о работе которых и представления ещё не имеется. Да и сроки поджимают, нужно не отодвигать совместные испытания, а ускорять работы".

Было и ещё одно обстоятельство для ускорения проведения ОСИ и последующего выхода на ЛКИ. В необъявленном соревновании на более раннюю поставку ракеты Р-9А по сравнению с янгелевской Р-16 появился дополнительный шанс. После трагической попытки 24 октября 1960 г. первого пуска ракеты Р-16 наступила пауза. Расследование и устранение причин аварии, унесшей десятки человеческих жизней, подтверждение правильности принятых конструктивных мер, преодоление, наконец, психологического барьера для принятия решения о продолжении ЛКИ ракет Р-16 - всё это займёт неопределённое время и его можно и нужно было использовать с максимальной эффективностью. Как это часто бывало при отработке и эксплуатации ракетной техники, необходимость решения поставленной задачи превалировала над используемыми средствами достижения цели.

Не получив согласия у ОКБ-1 на отсрочку доставки двигателей для ОСИ, в ОКБ-456 были проведены КТИ трёх двигателей и они вместе с сопроводительной технической документацией были отправлены в ОКБ-1. При оформлении сопроводительной документации на поставляемые двигатели возникли разногласия с военным представительством при ОКБ-456. Военные посчитали двигатель недостаточно отработанным для начала ОСИ и не подписали формуляры двигателей. В этой обстановке руководство ОКБ-456 пошло на крайнюю меру - и.о. главного конструктора В.А. Витка воспользовался правом второй подписи, "закрывающей" отсутствие других необходимых подписей в формуляре двигателя.



В.А. Витка

Однако такой вариант решения поставки двигателя был опротестован военным представительством при ОКБ-456, которое направило в конце октября 1960 г. письмо Председателю комиссии по проведению стендовых испытаний блока "А" ракеты 8К75 с отрицательным заключением об использовании этих двигателей. В письме достаточно подробно изложены недоработки двигателя 8Д716, мы же ограничимся только приведением нескольких фрагментов письма.

"В настоящее время Опытный завод ОКБ-456 начал изготовление двигателей 8Д716 для товарных поставок. Однако по состоянию отработки данный двигатель ещё не обладает требуемой надёжностью, а всесторонняя его проверка не завершена. Имеющаяся статистика огневых испытаний свидетельствует о ряде серьёзных недостатков данного двигателя.

Из общего числа 26 испытаний только 8 прошли без дефектов. Конструкция камер сгорания, принятая для товарных двигателей, проверена только на 7 двигателях, из которых на 2-х разрушились камеры из-за возникновения неустойчивости рабочего процесса. Необходимо отметить также, что причины возникновения высокочастотных пульсаций давления в камере сгорания и факторы, влияющие на эти пульсации, в настоящее время не выяснены.

Кроме того, двигатели 8Д716 выдают тягу ниже заданной по ТТЗ на 2 %.

При данном состоянии отработки двигателя 8Д716 военное представительство считает нецелесообразным вести приёмку двигателей 8Д716 для комплектации изделий".

Получив такое заключение, комиссия по проведению ОСИ блока "А" приняла решение воздержаться от испытаний двигателя, не принятых представительством заказчика при ОКБ-456, и возвратить их изготовителю. Для снятия разногласий между ОКБ-456 и военным представительством было предложено провести повторные КТИ этих двигателей и по их результатам принять окончательное согласованное решение. Двигателистам ОКБ-456

не повезло - сработало правило: "Покупатель (в данном случае заказчик) всегда прав!". Из трёх повторно испытанных двигателей в двух возникли ВЧ-колебания давления и камеры разрушились. Пришлось отложить поставку двигателей для проведения ОСИ, интенсивно набирать статистику успешных испытаний с новым вариантом камеры. В декабре 1960 г. новые двигатели для установки в блоки "А" ракет 8К75 были изготовлены, на этот раз военное представительство согласовало их отправку для огневых испытаний блока "А" изделия 8К75.

Первое ОСИ состоялось 20 февраля 1961 г., проводилось оно на кипящем кислороде при температуре на входе в двигатель минус 176 °С. Испытание прошло успешно, по его результатам был выпущен технический отчёт, в выводах которого указано: *"Все системы двигательной установки функционировали нормально, выявленные отдельные замечания подлежат анализу и устранению. Двигатель обеспечил работу на расчётном режиме, все параметры и характеристики соответствуют требованиям основных характеристик ТУ-ОХ".*

В соответствии с основной программой проведения ОСИ блока "А" в НИИ-229 второе испытание должно стать повторением первого. Однако ОКБ-1, неожиданно для ОКБ-456, предложило провести его на переохлаждённом кислороде.

Такое требование ОКБ-1 для руководителей ОКБ-456 прозвучало тревожным сигналом к началу стремительно развивающихся событий. Для лучшего понимания этой части истории отработки двигателя 8Д716 целесообразно вернуться к истокам предложения использовать в ракетной технике переохлаждённый кислород.

В 1959 г. Главные конструкторы, потенциальные участники разработки новой кислородной ракеты Р-9, обратились в правительство СССР с предложением дальнейшего совершенствования технологии производства, транспортировки и хранения жидкого кислорода. Это обращение стало основой для выпуска 16 ноября 1960 г. правительственного Постановления, которым ряду Министерств и Госкомитетов было дано поручение развернуть НИР и ОКР для совершенствования работ с криогенными жидкостями. Особое внимание обращалось на выполнение НИР по изучению свойств новых для того времени компонентов топлива, таких как жидкие водород, фтор, аммиак, переохлаждённый кислород и на создание промышленной базы для дальнейшего их использования в ракетной технике. Некоторые требования этого Постановления приказом по ГКОТ от 3 декабря 1960 г. были доведены до ОКБ-456, которому наряду с другими работами поручалось провести в первом квартале 1962 г. строительно-монтажные работы для получения переохлаждённого кислорода. Однако на эту строку приказа руководство ОКБ-456 не обратило должного внимания.

Объяснить такое отношение к документам государственного уровня у ответственных руководителей ОКБ-456 можно только их глубоким убеждением, что переохлаждение кислорода требуется только для сокращения потерь на испарение в процессе длительного хранения и при заправке баков ракеты перед пуском. А в двигатель жидкий кислород будет поступать с температурой, указанной в техническом задании ОКБ-1, т.е. минус 183 °С. Такое понимание использования переохлаждённого кислорода в ракете 8К75 руководители ОКБ-456 неоднократно излагали в письмах, адресуемых в ОКБ-1, ГКОТ и Гурво.

Это же подтверждается письмом зам. Главного конструктора ОКБ-456 В.И. Курбатова в Главное управление ГКОТ 14 февраля 1961 г.: *"Учитывая усложнение кислородных установок и стенда, связанное с переходом на переохлаждённый кислород, ОКБ-456 предлагает всю отработку двигателей проводить на обычном кислороде.*

Проверку работоспособности отработанных двигателей на переохлаждённом кислороде целесообразнее всего провести в НИИ-229, в котором по упомянутому приказу (от 3 декабря 1960 г. - В.Р.) должна быть создана экспериментальная база с соответствующим лабораторно-стендовым комплексом".

Характерно, что это письмо написано и подписано Курбатовым без каких-либо согласующих виз работников ОКБ. Чтобы вот

так, единолично, принять принципиальное решение об отказе проведения работ для получения переохлаждённого кислорода, предписываемых, кстати, вышестоящей организацией, нужна большая уверенность в собственной правоте. На чём же она основывалась?

В ноябре 2003 г., до смерти Курбатова в январе 2004 г., я встречался с ним в московской квартире и среди ряда вопросов по истории НПО Энергомаш спросил и об отработке двигателя 8Д716, включая организацию работ по получению переохлаждённого кислорода в ОКБ-456. Для восстановления в памяти событий более чем 40-летней давности я захватил с собой ксерокопии некоторых документов, относящихся к этому делу. И, видимо, напрасно, т.к. наша беседа приобрела другой характер. Владимир Иванович после внимательного прочтения документов как-то замкнулся, его взгляд устремился куда-то в пространство. Казалось, что мысленно он переместился в те далёкие годы... Беседа наша продолжилась, но его рассказ стал более сухой, без подробностей, хотя на все вопросы он ответил.

Систематизированные воспоминания Курбатова предлагают читателю в тезисной форме изложения:

- начиная с первых упоминаний об использовании переохлаждённого кислорода на ракете Р-9А всегда и всеми в ОКБ-456 понималось его необходимость только для снижения потерь на испарение в процессе хранения и при заправке баков;

- в техническом задании указана температура жидкого кислорода на входе в двигатель, она составляет минус 183 °С, что соответствует точке кипения кислорода при давлении одна атмосфера;

- не располагая информацией о технических возможностях получения переохлаждённого кислорода, испытателям ОКБ-456 представлялось, что для дополнительного охлаждения кислорода потребуются применение нового хладагента и оборудования стендовых баков и кислородных магистралей дополнительной теплоизоляцией, что в связи с необходимостью проведения серьёзных технических изменений приведёт к остановке стенда в разгар отработки двигателя;

- по химическим константам переохлаждённый кислород отличается от кипящего только удельным весом, что не должно было сказаться на процессах горения в камере и газогенераторе. Подтверждение этому нужно было получить при нескольких испытаниях окончательно доведённого двигателя, которые следовало провести на стенде в НИИ-229. Поскольку в перспективе в ОКБ-456 предполагалось разрабатывать только азотнокислотные двигатели, перестраивать стендовые системы из-за проведения нескольких испытаний было нецелесообразно;

- по правительственному Постановлению и приказу Комитета переоборудование стендов в ОКБ-456 намечалось на 1 квартал 1962 г., а в начале 1961 г. все считали, что к этому времени вся наземная отработка двигателей должна быть завершена. Никто и представить не мог, что А.Д. Дарон с А.Д. Вебером так долго будут возиться с этим двигателем.

Вернёмся и мы в начало 1961 г.

Первые установки для получения переохлаждённого кислорода были смонтированы в НИИ-229 для проведения ОСИ первой ступени ракеты Р-9А. Перед началом этих испытаний специалисты ОКБ-1 приступили к детальному исследованию изменения температуры кислорода в баках ракеты после их заправки и в заполняемых магистралах двигательной установки. В ТЗ заказчика указывалось, что переохлаждённый кислород заправляется в баки ракеты, дальнейшее изменение его температуры по магистралям двигательной установки было зоной ответственности разработчиков ракеты.

Конструкторские подразделения ОКБ-1 при выдаче в 1959 г. технического задания (ТЗ) на двигатель 8Д716, видимо, по аналогии с предыдущими ТЗ на кислородные двигатели, назначили температуру на входе в двигатель минус 183 °С, что нашло своё отражение



В.И. Курбатов

в согласованном ОКБ-1 двигательном ТУ-ОХ (технические условия, содержащие основные характеристики из технического задания, выданного ОКБ-1 на двигатель - В.Р.). Эти документы были утверждены либо согласованы лично Королёвым и, как неоднократно на это обращалось внимание читателя, указанная в ТЗ температура окислителя не вызывала сомнения в ОКБ-1 на всём протяжении работ с двигателем в ОКБ-456.

Но при подготовке проведения ОСИ первой ступени ракеты Р-9А специалисты по эксплуатации ракет в ОКБ-1 пришли к выводу, что при использовании переохлаждённого кислорода температура на входе в двигатель перед запуском будет ниже, чем это указано в ТЗ, что должно быть реализовано в процессе стендовой отработки двигателей. Это обстоятельство послужило основанием Королёву 13 февраля 1961 г. обратиться к Глушко с письмом, в котором впервые были выдвинуты требования обеспечения работоспособности двигателя на переохлаждённом кислороде: *"В настоящее время ОКБ-456 отработывает двигатель 8Д716 для изделия 8К75 на кислороде с обычной температурой (Т минус 183 °С).*

Согласно справке, направленной в Совет Министров СССР "Основные данные по ракете 9-А", подписанной главными конструкторами 31 августа 1959 года, в изделии 8К75 "жидкий кислород применяется в переохлаждённом состоянии, что даёт существенные эксплуатационные преимущества: позволяет производить заправку в течение 6 минут и этим обеспечивает боеготовность изделия в течение 15 минут.

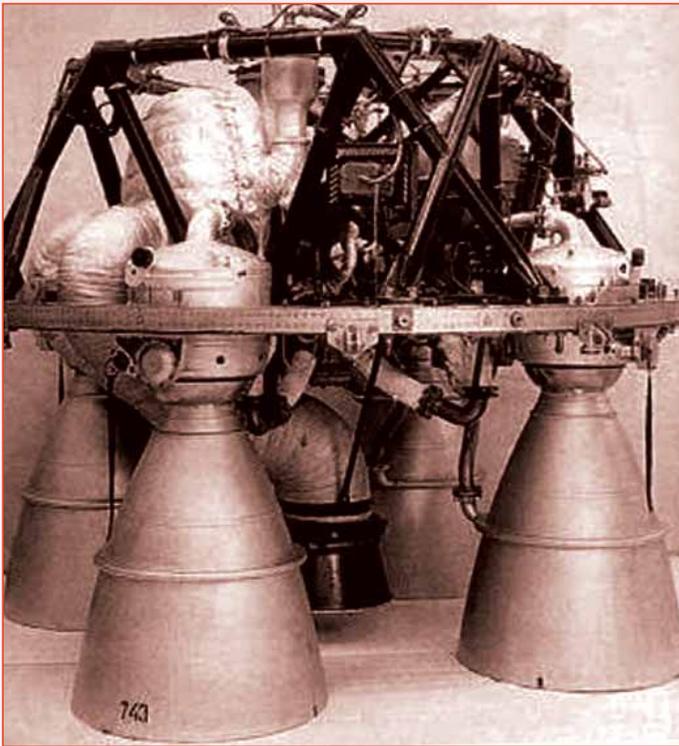
ОКБ-1 считает необходимым напомнить ОКБ-456 о том, что изделие 8К75 разрабатывается с применением в нём переохлаждённого кислорода. На первом этапе работы температура жидкого кислорода в изделии будет минус 189...минус 183 °С. В последующем возможно переохладение жидкого кислорода до минус 203 °С.

В связи с применением на изделии 8К75 переохлаждённого кислорода, прошу Вас провести отработку двигателя 8Д716 также и на переохлаждённом кислороде и внести в ТУ-ОХ соответствующие коррективы о надёжной работе двигателя на жидком кислороде с температурой до минус 189 °С".

Содержание письма вызывает ряд вопросов. Во-первых, как и насколько точно были определены указанные температуры? Ведь оборудования для переохладения кислорода в начале 1961 г. в ОКБ-1 ещё не было и поэтому никакой экспериментальной заправки переохлаждённого кислорода в баки, как и фактического определения его температуры при этой операции быть не могло, а определение расчётным или, как в данном случае, экспертным путём неизбежно приводит к существенным погрешностям. Кроме того, в ТЗ ОКБ-1 на разработку двигателя 8Д716 указана температура окислителя минус 183 °С на входе в двигатель. Эту температуру двигателисты использовали при отработке запуска двигателя, а в письме указывается *"температура жидкого кислорода в изделии"*, что позволяет понимать это как температуру в баке ракеты.

Во-вторых, вызывает недоумение попытка задания новых технических требований к работе двигателя не изменением собственного технического задания, выданного в апреле 1959 г., а предложением уточнить в феврале 1961 г. документ из комплекта конструкторской документации на двигатель, разработанный конструкторами ОКБ-456 на основе требований ТЗ ОКБ-1. Предложенная схема проведения изменения одного из основных параметров является скрытой попыткой переложить ответственность за неправильное, судя по содержанию письма, назначение температуры окислителя с ОКБ-1 на ОКБ-456. Изменение параметров работы двигателя, указанных в ТУ-ОХ, ОКБ-456 могло провести только выпуском ведомости изменения. Уловка Королёва, судя по "разметке" автора письма, заключалась в том, чтобы Глушко стал инициатором изменения параметра работы двигателя без (или до) изменения ТЗ ОКБ-1. Поскольку изменения ТУ-ОХ проходят обязательное согласование с ОКБ-1 и, главное в данном случае, у заказчика, то, кто меняет свой документ, тот и виноват. Не любил Королёв признавать свои ошибки, очень не любил.

Письмо Королёва, хотя и написано в сдержанной форме, но имеет обвинительный характер. Однако, судя по ответу, это не про-



Четырехкамерный ЖРД РД-111 (8Д716) первой ступени ракеты Р-9А

извело впечатления на руководство ОКБ-456. 17 февраля 1961 г. в ОКБ-1 было направлено письмо, подписанное Глушко (приводится с сокращениями): "ОКБ-456 обращает внимание на то, что двигатель 8Д716 разработан для изделия 8К75 без учёта использования переохлаждённого кислорода, поэтому необходима специальная проверка его работоспособности на переохлаждённом кислороде в стендовых условиях."

Кислородные установки ОКБ-456 не приспособлены для выработки переохлаждённого кислорода, а стенд №1 ОКБ-456 не приспособлен для работы с ним. В связи с изложенным проверку работоспособности двигателя 8Д716 на переохлаждённом кислороде по мнению ОКБ-456 целесообразно провести на стенде №5 НИИ-229 ГКОТ, где имеются возможности получения переохлаждённого кислорода".

Реакции на это письмо со стороны ОКБ-1 сразу же не последовало. Было не до переписки, подошло время проведения ОСИ в НИИ-229. Первое ОСИ, как уже указано, было проведено 20 фев-

ря 1961 г. на кипящем кислороде. По ранее согласованной программе второе ОСИ должно было стать повторением первого. Но, основываясь на полученных успешных результатах, ОКБ-1 решило несколько сократить программу проведения ОСИ и следующее испытание блока "А" провести на переохлаждённом кислороде, о чём и сообщило в ОКБ-456 2 марта 1961 г. телеграммой с просьбой "подтвердить согласие очередных испытаний ступени 8К75 в НИИ-229 на переохлаждённом кислороде". Вообще-то это предложение вписывалось в избранную ОКБ-456 методику подтверждения работоспособности двигателей, отработанных на кипящем кислороде, но... поскольку к этому времени в ОКБ-456 опыта автономной работы двигателя 8Д716 на переохлаждённом кислороде не было, решено было проявить осторожность и в ответной телеграмме, подписанной Глушко в тот же день, сообщалось: "В ответ на Вашу телеграмму сообщаем о желательности проведения испытаний двигателя 8Д716 на переохлаждённом кислороде прежде на стенде №5 НИИ-229, т.к. испытание в составе ступени составляет риск первого пуска в изменённых условиях. Если бы не было возможности испытания на стенде №5, то следовало бы рассмотреть вопрос о допустимости испытания сразу же на изделии 8К75 при условии охлаждения не более 4 °С ниже точки кипения кислорода для первого испытания". Ответ получился уж очень "дипломатичным". И возражения вроде бы нет, но и согласие обставлено дополнительными условиями.

Проигнорировав предложение ОКБ-456 о проведении предварительного автономного испытания двигателя 8Д716 на стенде №5 НИИ-229 с переохлаждённым кислородом, ОКБ-1 воспользовалось согласием с проведением ОСИ блока "А" с температурным ограничением переохлаждённого кислорода.

Второе ОСИ "А" состоялось 14 марта 1961 г. В отличие от первого ОСИ температура на входе в двигатель составляла минус 186 °С. Двигатель отработал без замечаний, выводы о результатах испытания практически совпадали с выводами отчёта о первом ОСИ. От проведения испытаний двух оставшихся из четырёх запланированных для ОСИ блоков "А" было решено воздержаться и готовить ракету 8К75 для проведения первого лётно-конструкторского испытания (ЛКИ).

Отчёт о втором ОСИ стал одним из последних документов, представленных в Госкомиссию по проведению ЛКИ ракет 8К75, формально "закрывающих" перечень обязательных работ перед началом проведения ЛКИ. Но программа проведения ЛКИ предусматривала испытания на переохлаждённом кислороде, а ряд технических вопросов по его использованию ещё не был решён. □

(Продолжение следует.)

ИНФОРМАЦИЯ

Представители компании ARCA Space Corporation объявили, что ее специалисты закончили разработку и начали проведение начальных тестов нового клиновоздушного ракетного двигателя (linear aerospike engine), который уже установлен на небольшой экспериментальной ракете Demonstrator 3. Такие двигатели должны стать основой первой в мире системы запуска, в которой для вывода груза на околоземную орбиту будет использоваться одноступенчатая ракета. До сих пор в основном для запуска полезной нагрузки используются двухступенчатые ракеты-носители. Такой метод используется из-за того, что двигатели первой ступени рассчитаны на наимышшую эффективность работы в плотной атмосфере, а двигатели второй ступени рассчитаны на работу в разреженном воздухе и в условиях космоса.

Клиновоздушный ракетный двигатель

отличается от других двигателей тем, что он формирует из выхлопных струй ракетного двигателя два независимых потока и снова совмещает эти потоки в один поток, имеющий коническую форму. В этом случае окружающий воздух выступает в роли конического раструба сопла обычного ракетного двигателя. И, по мере подъема ракеты на большую высоту, что сопровождается снижением плотности воздуха, этот "виртуальный" воздушный раструб двигателя как бы увеличивается в размерах. Это позволяет двигателю адаптироваться к изменяющимся условиям полета.

Опытный образец клиновоздушного ракетного двигателя ARCA использует в качестве топлива смесь из 70 % пероксида водорода, смешанного с авиационным керосином RP-1. Двигатель развивает тягу 4,2 тс на уровне моря.

После завершения наземных испыта-

ний ракета Demonstrator 3 будет запущена с космодрома Spaceport America, расположенном в штате Нью-Мексико. Эта ракета совершит суборбитальный полет, поднявшись на высоту в 120 км.

Конечная цель компании ARCA - разработка полностью рабочего варианта двигателя Naas 2CA SSTO, который будет установлен на ракете, запуск которой будет произведен в 2018 г. с космодрома NASA Wallops Flight Facility. Стоимость запуска одного небольшого спутника с помощью таких одноступенчатых ракет-носителей будет менее \$1 млн. □



XXVII
ОЛДАЙМЕР-ГАЛЕРЕЯ
Улицы Сарожина

СКОРО!

**ВЫСТАВКА
СТАРИННЫХ
АВТОМОБИЛЕЙ**



7-11 МАРТА
КВЦ **2018**
"СОКОЛЬНИКИ"

OLDTIMER.RU

JAZZ 89.1 FM

телеканал
Москва 24

"ОЛДТАЙМЕР-ГАЛЕРЕЯ" 2017 ГОД

Александр Иванович Бажанов, академик Международной инженерной академии
(Окончание. Начало в № 2-4 - 2017)

White (САСШ, 1916 год)

История White Motor Company начиналась с паровых автомобилей - первую партию собрали в 1900 году. Через семь лет паровой "Уайт" появился в гараже Белого дома, им пользовался 26-й американский президент Теодор Рузвельт. В 1911 году выпуск паровых автомобилей прекратился, и компания занялась производством моделей с двигателями внутреннего сгорания.

В России легковые и грузовые автомобили "Уайт" получили известность в 1912 году, когда участвовали в пробеге Военного ведомства. Представителем компании был М.С. Фриде, торговавший также автомобилями марки "Форд". Но поставки грузовиков "Уайт" для Русской Императорской армии начались только во время Первой мировой войны, а к началу революции они стали самыми распространенными грузовиками. По состоянию на 1 июля 1917 года в армии числилось 8378 грузовых автомобилей, из них 2591 - марки "Уайт". Американские грузовики служили во всех родах войск - на шасси "Уайтов" устанавливались цистерны, походные мастерские, радиостанции, зенитные орудия, лебедки для аэростатов.

На выставке представлен санитарный автомобиль на полуторсионном шасси "Уайт" с кузовом конструкции доктора Климовича. В кузове на центральной продольной перегородке устанавливались по три откидных сиденья с каждой стороны для перевозки легкораненых, а для лежачих раненых предусматривалось четверо носилок, подвешенных на стойках. Даже при боковом наклоне автомобиля носилки оставались в горизонтальном положении, а установленные наискосок пружины смягчали не только вертикальные, но и боковые толчки. Автомобили оборудовались брезентовыми полами для защиты от дождя и снега. Подобные санитарные кузова изготавливала во время Первой мировой войны придворная экипажная фабрика "Ив. Брейтигам" в Санкт-Петербурге.



Ford Model T Ambulance (САСШ, 1917 год)

За всё время производства Ford Model T рама, двигатель, трансмиссия и подвеска оставались прежними, но внешне автомобиль изменялся несколько раз. В 1917 году на смену капоту в форме пятигранной призмы пришел более скругленный капот с плавным переходом к моторному щиту. Немногом ранее на боковинах капота появилось шесть вертикальных прорезей-жалюзи. Обновились и формы предлагаемых кузовов.

Все эти изменения происходили во время Первой мировой войны, когда многие автомобили "Форд" были задействованы в армиях стран Антанты - России, Франции и Великобритании. Военных привлекала простота, надежность, ремонтпригодность и высокая проходимость автомобилей "Форд". В Русской Императорской армии их число было невелико, так как многие американские машины были освобождены от военно-автомобильной повинности из-за несоответствия принятым требованиям, в том числе и Ford Model T. В основном, "Форды" использовались в тылу для перевозки раненых - этим занимались общественные организации Всероссийский земский союз и Всероссийский союз городов. Специально для этого строились санитарные автомобили с кузовами, рассчитанными на четырех лежачих раненых, в которых носилки подвешивались одна над другой с каждой стороны



Моторный трицикл "Кудель" (Германия, 1899 год)

В самом конце XIX века моторные трициклы стали одним из самых популярных и распространенных видов транспорта. Компонентная схема таких машин была достаточно проста: экипажная часть классического трицикла с педальным приводом; одноцилиндровый четырехтактный двигатель воздушного охлаждения устанавливался за задней осью и приводил в движение колеса через шестеренчатый механизм и дифференциал.

Первые трициклы были построены французской фирмой De Dion-Bouton ("Де Дион-Буто́н") в 1897 году. За два года до этого фирма начала выпуск одноцилиндрового мотора, настолько удачного по конструкции, что лицензии на его производство при-

обрели сразу несколько предприятий. Мощность 0,5 л.с. двигатель развивал при 1500 об/мин - такое высокое число оборотов было внушительным показателем для того времени. Весил мотор всего 20 кг.

Кроме самой фирмы De Dion-Bouton моторы и трициклы по лицензии производились в разных странах, в том числе и в Германии под маркой Cudell. Предприятие Cudell & Co в Аахене основал в 1898 году немецкий промышленник Макс Кудель специально для производства автомобилей и трициклов французской конструкции, которые он выпускал до 1904 года. К трициклам предлагались различные коляски для пассажиров, как цепляемые сзади в виде прицепа, так и спереди вместо колеса - в таком случае трицикл превращался в квадрицикл.

Представленный на выставке экземпляр трицикла "Кудель" изготовлен в 1899 году и, по некоторым данным, принадлежал одному из великих князей. Достоверно известно, что трицикл хранился в гараже Гатчинского дворца, откуда поступил на Ипатьевские военные склады, а в 1941 году был передан в Политехнический музей.



"Россия" (Россия, 1903 год)

Название "Россия" носили первые велосипеды и мотоциклы отечественного производства, которые выпускались на фабрике Александра Александровича Лейтнера, основанной в 1886 году в Риге. Десять лет спустя производство велосипедов достигло промышленного размаха и составляло от 1,5 до 2 миллионов в год. В 1895 году на фабрике был испытан мотоцикл, вероятнее всего, немецкого производства, и результат испытаний побудил Лейтнера заняться еще и моторным транспортом.



В 1899 году на фабрике "Россия" началось производство двух- и трёхколёсных моторных велосипедов, оснащенных моторами, сделанными на самой фабрике. Тогда же Лейтнер начал и сборку автомобилей, но построив всего семь машин, прекратил работы в этом направлении по причине невыгодности производства: таможенные пошлины на узлы и агрегаты были выше, чем на готовый автомобиль.

После неудачи с автомобилями Лейтнер вернулся к мотоциклам: для них требовался только двигатель, а всё остальное делалось в Риге. С 1903 по 1907 год на фабрике строили мотоциклы "Россия" с немецким четырехтактным одноцилиндровым двигателем Fafnir объемом 250 см³ и мощностью 2,5 л.с. Машина в снаряженном состоянии весила 74 кг и развивала скорость до 40 км/ч. Привод на заднее колесо осуществлялся при помощи клиновидного ремня.

Представленный на выставке экземпляр мотоцикла "Россия" до революции служил в качестве наглядного пособия в Учебной автомобильной роте - поэтому его мотор имеет несколько разрезов, открывающих внутреннее устройство агрегата.

Humber (Великобритания, 1912 год)

Английская марка Humber известна в первую очередь своими велосипедами, получившими распространение и в дореволюционной России. В нашей стране Humber вопреки всем нормам произношения английских слов называли "Гумбер".

Фабрику по производству велосипедов основал в 1869 году Томас Хамбер, а в 1896 году появился и первый экспериментальный мотоцикл, но серийно производство началось только в 1902 году. Также фирма выпускала трициклы и квадрициклы. "Гумберы" считались одной из лучших существовавших на тот момент британских марок мотоциклов. Тщательно выверенная конструкция, изящество отделки, безукоризненное качество материала - всё это было присуще мотоциклам Humber. К тому же, они отличались высокой прочностью и были отлично приспособлены для езды по любым дорогам, а благодаря большой мощности мотора были пригодны для езды с коляской.



Велосипеды "Гумбер" начали продаваться в России в 1892 году - представителем фирмы в Москве являлся торговый дом "Георгий Жемличка и К". Мотоциклы "Гумбер" в Санкт-Петербурге можно было приобрести в торговом доме "Лир и Россбаум", расположенном по адресу: Гороховая улица, дом 46. Большое количество мотоциклов "Гумбер" находилось в Русской Императорской армии.

FN-4 (Бельгия, 1913 год)

Бельгийская компания FN в 1904 году первой в мире создала и начала серийный выпуск мотоциклов с рядным 4-цилиндровым двигателем. На тот момент "эфэновская четверка" стала революцией в мототехнике, а мотоциклы FN - одними из самых быстрых в мире. Модель оказалась не только необычной по конструкции, но и надежной и ремонтпригодной.

В России представителем марки FN являлся петербургский торговый дом "Победа", владелец которого, Фёдор Иванович Танский, сам был большим энтузиастом автомобиля и мотоцикла и даже участвовал в состязаниях. В магазине торгового дома "Победа" на углу набережной Мойки и Кирпичного переулка продавались бельгийские мотоциклы FN, немецкие NSU и американские Indian.



На выставке представлен мотоцикл 1913 года с мотором объемом 500 см³ и мощностью 6 л.с., оснащенный двухскоростной коробкой передач и приводом на заднее колесо посредством вала.



Indian Model G (САСШ, 1915 год)

Мотоциклы марки Indian начали выпускаться в 1901 году в Спрингфилде, штат Массачусетс, компанией Hendee Manufacturing Company, основанной в 1897 году предпринимателем и бывшим велогонщиком Джорджем М. Хенди. Первоначально компания выпускала велосипеды, и экспортное название одной из моделей American Indian вскоре сократилось до Indian, и стало торговой маркой. Этим же именем назвали и первый мотоцикл Indian Single, созданный в 1901 году.

Indian Single отличался передовой для своего времени конструкцией - одним из первых на нём применялась цепная передача от двигателя к заднему колесу. В 1904 году компания начала



красить мотоциклы в красный цвет, который станет визитной карточкой марки Indian. Производство год от года росло, сначала только немного превышая 500 мотоциклов в год, и достигло пика в 1913 году на показателе 32 000 мотоциклов.



В России мотоциклами "Индиан" сначала торговал некий Франк

Гольден - его реклама встречается в журналах 1912 года, а затем представительство перешло к торговому дому "Победа". В Москве "Индианы" продавал А.Ф. Круминг, указывавший в рекламе адрес: 3-я Тверская-Ямская, дом 22. На мотоцикле "Индиан" в 1913 году гонщиком Владимировым был установлен всероссийский рекорд скорости - более 100 верст в час (107 км/ч). В ходе Первой Мировой войны мотоциклы Indian стали самой распространенной маркой в Русской Императорской армии.

Triumph Model H (Великобритания, 1915 год)

Triumph - старейшая и одновременно самая молодая мотоциклетная марка Великобритании, появившаяся в 1902 году и вторично возобновленная в 1991 году. Первоначально под маркой Triumph выпускались велосипеды, а компания называлась Triumph Cycle Company. Основали её в 1887 году два эмигранта из Германии - Зигфрид Беттманн и Мориц Шульте. Первые велосипеды марки Triumph, изготовленные в Ковентри, появились в 1889 году.

В 1902 году появился первый мотоцикл "Триумф", получившийся настолько удачным, что его выпуск в первый же год составил более 500 экземпляров. Последующие несколько лет мотоциклы Triumph успешно продавались на родине, благодаря чему компания расширила производство. В 1906 году компания сфор-

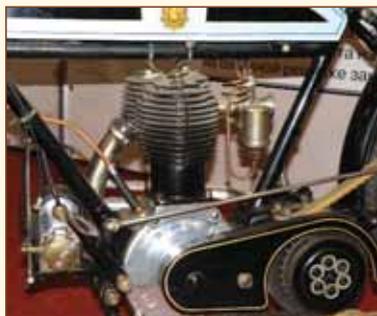


мировала своё окончательное название Triumph Engineering Co. Ltd., которое оставалось таковым вплоть до 1983 года. В годы Первой мировой войны правительство Великобритании сделало

заказ 30 000 мотоциклов Triumph, тем самым серьезно поддержав производителя.

В России марка Triumph стала известной еще задолго до начала войны. В 1895 году велосипедами "Триумф" начал торговать в Москве Иосиф Эйхенвальд, упоминавший в рекламе о том, что в 1894 году за 18 дней на велосипеде этой марки был проделан путь от Петербурга до Парижа. Кроме Москвы и Петербурга велосипеды Triumph продавались в Киеве, Одессе и Варшаве. Мотоциклы Triumph впервые появились в продаже в 1912 году в Санкт-Петербурге - представителем британской марки являлся торговый дом "Роберт Гетц", расположенный на углу Садовой и Гороховой улиц.

Представленный на выставке Triumph Model H появился в 1915 году и выпускался до 1923 года. Двигатель был одноцилиндровым, с рабочим объемом 550 см³, его мощность составляла 4 л.с. - вполне прилично по тем временам. Эти мотоциклы, прозванные за свою надежность и неприхотливость Trusty или "верный", воевали на всех фронтах Антанты, в том числе и в Русской Императорской армии.



Чернильница

Рассказ о прошедшей XXVI Выставке старинных автомобилей и антиквариата "Олдтаймер-Галерея" продолжим в виде небольшого фотоотчета, в котором покажем наиболее интересные экспонаты, выставленные в соседнем зале.



Советский гусеничный трактор средней мощности марки СТЗ-5 разработан конструкторским бюро, сформированным из специалистов Сталинградского тракторного завода и НАТИ под руководством В.Я. Слонимского. Трактор спроектирован по обычной для артиллерийских тягачей схеме с передним расположением двигателя в кабине механика-водителя. Карбюраторный 4-цилиндровый двигатель 1МА имел объем 7460 см³ и развивал мощность до 56 л.с. при 1200 об/мин. Мощности было достаточно для перевозки 1500 кг груза в кузове и буксировки прицепа массой до 7 т со скоростью 21,5 км/ч по шоссе



Завоевав признание в начале прошлого века, Cadillac на протяжении столетия подтверждал статус самого комфортабельного, самого мощного, самого стильного, самого харизматичного и самого неординарного автомобиля всех времен.

Эти качества как магнит притягивали к автомобилям данной марки многих выдающихся личностей (Франклина Рузвельта, Кларка Гэйбла, Сальвадора Дали, Элвиса Пресли и других).

Не прошли мимо и президенты США. Первым в своём гараже завёл такую машину 28-й президент США Вудро Вильсон, который купил Cadillac типа 51 в 1915 году. С тех пор большинство американских президентов пользовались только автомобильной маркой Cadillac. Основателем марки стал Генри Лилэнд. В свои 60 лет талантливый инженер-механик, проработавший на оружейной фирме "Кольт", а затем основавший компанию Leland & Faulconer по производству автомобильных двигателей и деталей подвески, сумел поставить фирму на ноги, уговорив Генри Форда не закрывать производство автомобилей.

Уже через пять лет после выпуска первого автомобиля Cadillac (1902 год), название марки прозвучало на весь мир, удостоившись "Трофея Дюара" - высшей награды в автомобилестроении. В 30-е годы Cadillac становятся эталоном классической американской роскоши и технического совершенства. Создание 12- и 16-цилиндровых V-образных двигателей, а также первых мощных тормозных механизмов с вакуумным усилителем вывело компанию в лидеры автомобильной индустрии, как с точки зрения объемов выпуска продукции, так и с позиции технологического превосходства. В последующие годы компания внедрила: плоское безопасное небьющееся стекло; изобрела первую в мире коробку передач с синхронизаторами; усилитель рулевого управления в качестве базового оборудования; автоматическую систему отопления и кондиционирования воздуха в салоне автомобиля; конструкцию рулевой колонки, регулируемой по высоте и углу наклона; создала самый большой в мире двигатель для легкового автомобиля (V-образный, 8-цилиндровый, объём 8,2 л, мощность 400 л.с.). В 1941 г. Cadillac первым в мире представляет гидромеханическую автоматическую коробку передач.

На фотографии представлен Cadillac 353, выпущенный в 1930 году. Его 8-цилиндровый V-образный двигатель объемом 5,8 л развивал мощность 95 л.с.



Покрытые кожей машины не раз появлялись на выставках олдтаймер, но у хот-рода, прибывшего на выставку в этот раз, помимо кузова в кожу зашили и элементы моторного отсека. Красиво жить не запретишь...

И в заключение отметим, что выставка организаторам удалась на славу. В ней приняло участие 170 экспонатов из 17 стран, и за 5 дней её успешно посетить 40 000 человек. 350 аккредитованных журналистов донесли информацию о выставке до своих читателей, слушателей и телезрителей. Нам же остаётся с нетерпением ждать очередную "Олдтаймер-Галерею", которая состоится 7-11 марта 2018 г. в КВЦ Сокольники. 

СЛАВНЫЕ ИМЕНА ИНЖЕНЕРИИ ОТЕЧЕСТВА

БОРИС ГРИГОРЬЕВИЧ ЛУЦКОЙ

(ПРОДОЛЖЕНИЕ. НАЧАЛО В № 2 (110) И № 4 (112) 2017 г.)

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ Б.Г. ЛУЦКОГО В КОМПАНИИ "МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО НЮРНБЕРГ"

Дмитрий Александрович Боев, генеральный директор журнала "Двигатель"

Грандиозная (без изъятия) исследовательская работа, проделанная автором книги о нашем соотечественнике Луцком Александром Фирсовым не только восстанавливает реальный ход событий начала XX века, но и позволяет нам почувствовать атмосферу времени, когда совершенно менялось представление людей о мире, времени и своих возможностях в этом мире. И известные нам действующие лица того времени из безмолвной привычной портретной галереи вновь видятся людьми со своими страстями, слабостями, желаниями, возможностями и гениальными озарениями. И это - крайне интересный процесс.

Компания "Машиностроительное акционерное общество "Нюрнберг" в 1903-904 гг преобразовано в "М.А.Н. Машинная фабрика Аугсбург Нюрнберг АГ" ("M.A.N. Maschinenfabrik AugsburgNürnberg AG". Сегодня концерн "МАН" известен во всем мире.

До 1890 г. компания "Машиностроительное акционерное общество Нюрнберг" изготавливала чугунные изделия, краны, паровые двигатели, железнодорожные вагоны, машины для испытания материалов и мостов. В 1890 г. руководство компании решило заняться производством газовых ДВС.

Необходимо отметить, что в то время основным производителем газовых двигателей в Германии, да и во всей Европе была компания "Газмоторенфабрик Дойц", которая выпускала 4-тактные газовые двигатели по патентам Отто. Эта фабрика имела свои представительства во многих городах Германии и Европы. В частности, в Нюрнберге было представительство этой фабрики, которое занималось продажей её газовых двигателей. Так как у компании "Машиностроительное акционерное общество Нюрнберг" не было лицензии фабрики "Дойц" на изготовление двигателей по патентам Отто, руководство компании пригласило к себе на работу инженера Луцкого, чтобы он создал собственный "нюрнбергский" двигатель, более эффективный и экономичный, чем у фабрики "Дойц".

В письме исторического архива концерна МАН от мая 1956 г. написано: "Г-н Борис Луцкий из Бердянска (Россия) в период с 1891 по 1897 гг. работал в качестве главного инженера и конструктора на нашем Нюрнбергском заводе. Он руководил строительством газовых двигателей, в том числе и двигателей системы Луцкого мощностью от 1 до 12 л.с.". Следовательно, под руководством Б.Г. Луцкого на заводе создавались и изготавливались также паровые двигатели, железнодорожные вагоны, машины для испытания материалов и мостов и др. Хочется особенно подчеркнуть, что 25-летний Б.Г. Луцкий был принят на работу в компанию "Машиностроительное акционерное общество Нюрнберг" не рядовым инженером, а главным инженером всего огромного завода, на котором в то время работало 3000 человек.

За время работы в Нюрнберге Б.Г. Луцкий создал целый ряд уникальных ДВС. В 1891 г. он разработал газовый двигатель, у которого открытие и закрытие клапанов осуществлялось непосредственно самим маятниковым регулятором газораспределительного механизма (немецкий патент № 63121). В 1892 г. Б. Г. Луцкий разработал "безопасный" бензиновый ДВС. Этот двигатель назывался "безопасным" потому, что в нем образование бензино-воз-

душной смеси происходило внутри двигателя, а не снаружи, как было тогда принято у двигателей других компаний. В этом двигателе Б.Г. Луцкий впервые в мире применил жиклер, который имел маленькие отверстия для распыливания горючей смеси в камере сгорания. Лишь через год после изобретения Б.Г. Луцким жиклера сначала венгр Донат Банки, а позже немец Вильгельм Майбах запатентовали, используя идею Б.Г. Луцкого, свои карбюраторы.

В 1894 г. Б. Г. Луцкий создал самый оригинальный ДВС за всю историю моторостроения, так называемый "Батарейный" двигатель ("BatterieMotor"). При разработке этого двигателя он первым в мире использовал идею адиабатного процесса. В этом же году Б.Г. Луцкий создал "оппозитный" двигатель внутреннего сгорания с двумя цилиндрами, размещенными друг напротив друга, и с кривошипами коленчатого вала, расположенными под углом 180°. Такое расположение кривошипов обеспечивало уравновешенность двигателя и устраняло интенсивные вибрации. Эта конструкция коленчатого вала была впоследствии использована многими компаниями, в частности, компаниями "Даймлер Моторен Гезельшафт" и "Бенц и Ко." при создании двигателей "Феникс", "Мерседес", "Контрамотор".

Создание "безопасного" бензинового двигателя внутреннего сгорания

Существующие двигатели для подготовки бензино-воздушной смеси использовали отдельные устройства (карбюраторы), расположенные снаружи двигателя. Б.Г. Луцкий применил в раз-

работанном двигателе совершенно новый метод. По методу Луцкого образование бензино-воздушной смеси происходило не снаружи двигателя, что считалось очень взрывоопасным, а внутри. Метод Луцкого заключался в следующем. Бензин в жидком состоянии самотеком поступал одновременно во впускной клапан L двигателя и нагревательную лампу G из резервуара, расположенного над двигателем. Маленькие отверстия u, расположенные вокруг седла клапана L, всегда были заполнены бензином, но он не мог попасть в цилиндр, пока клапан не поднят. Всасывание воздуха происходило с помощью поршня через впускной

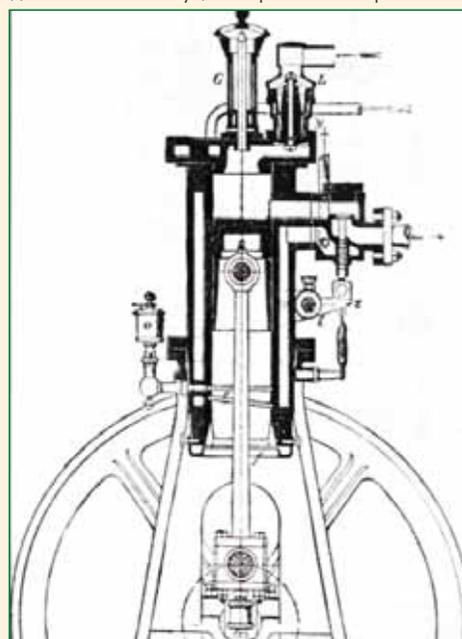


Рис. 1 "Безопасный" двигатель Б.Г. Луцкого (рисунок взят из книги Ф. Засса): a, b, c - трубопровод подачи бензина; d - впускной клапан; e - отверстия для подачи бензина к воздуху; f - калильная трубка; g - подогрев калильной трубки; h - трубопровод подачи воздуха; i - трубопровод подачи охлаждающей воды; k - выпускной клапан

клапан L от трубопровода, показанного на рисунке сверху, в направлении, указанном стрелкой. При движении поршня вниз под действием потока воздуха происходило впрыскивание бензина через мелкие отверстия у внутри смесительной камеры. При этом мелко распыленный бензин смешивался с потоком воздуха. Затем бензиновоздушная смесь поступала в рабочий цилиндр, сжималась и воспламенялась. Выпуск отработавших газов происходил обычным путем. Впускной и выпускной клапаны приводились в действие с помощью кулачков и коромысел от распределительного вала. Маятниковый регулятор регулировал открывание и закрывание клапанов в зависимости от скорости вращения коленчатого вала. Этот бензиновый двигатель Нюрнбергский машиностроительный завод выпускал в диапазоне мощностей от 1 до 10 л.с. Скорость вращения коленчатого вала составляла 190 об/мин.

На рис. 1 представлена одна из конструкций "безопасного" бензинового ДВС, которую Ф. Засс привел в книге "История немецкого моторостроения с 1860 по 1918 гг.". Как видно из рисунка в этом "безопасном" бензиновом двигателе, по сравнению с газовым, Б.Г. Луцкий использовал более короткую калильную трубку зажигания и другую конструкцию горелки.

Разработанный Б.Г. Луцкий метод подачи бензина в цилиндр ДВС и его распыления с помощью воздуха является гениальным изобретением. Об этом писал Ф. Засс: "Об изобретательности Луцкого свидетельствуют результаты, полученные им при настройке нюрнбергских двигателей для работы на бензине. Луцкий хотел избавиться от того требования, что поплавков карбюратора должен находиться примерно на одном уровне с рабочим пространством двигателя. И ему в голову пришла мысль: использовать для подачи бензина в цилиндр и его распыления воздух, всасываемый рабочим поршнем двигателя. Это тот же принцип, на котором основана форсунка карбюратора, изобретенного Вильгельмом Майбахом год спустя. ...Метод Луцкого является гениальным изобретением...".

После создания Б. Г. Луцким нового, безопасного метода образования бензиновоздушной смеси его стали использовать многие моторостроительные компании Германии и других стран. Английский историк К.К. Лонгридж в обширной статье "Нефтяные двигатели автомобилей 1902 г.", которая в 1902-1903 гг. была опубликована во многих журналах, пишет: "В бензиновом двигателе немца Луцкого, построенного Нюрнбергским машиностроительным заводом, топливо поступает в цилиндр в жидком состоянии и испаряется за один ход (такт) по мере необходимости. Фактически, в очень многих немецких нефтяных двигателях принято не допускать контакта воздуха с топливом, пока оно не достигнет цилиндра, даже в том случае, когда используется испаритель".

Далее он пишет: "Например, бензиновый двигатель американца Вебера (Weber). В нем топливо берется из бака и поставляется непосредственно в цилиндр в жидком состоянии. При этом не используется испаритель и топливо не вступает в контакт с воздухом до тех пор, пока оно не достигнет камеры сгорания. ...В бензиновом двигателе Отто, построенном американской компанией с одноименным названием, не используется карбюратор.

Создание "батарейного" двигателя внутреннего сгорания

"Батарейный" ДВС был создан на основании патента на изобретение под названием: "Углеродная машина с двумя жестко соединенными, с тремя рабочими поверхностями пустотелыми поршнями, при однократном способе работы машины" Этот патент под № 81530 был выдан Б. Г. Луцкому германским патентным ведомством 31 июля 1894 г. Основными идеями при разработке "батарейного двигателя", как сообщил сам Б.Г. Луцкий, были: "...уменьшение теплового излучения наружу; минимальное использование охлаждающей воды; принцип двойного действия без сальниковых уплотнителей" [79].

Этот, по сути дела двухцилиндровый двигатель, на котором поршни двух расположенных по оси цилиндров имеют вид жестко соединенных цилиндрических гильз и работают поочередно и на

всасывание горючей смеси в цилиндр, и на сжатие, и на выхлоп. В книге Хуго Гюльднер пишет: "Небольшой бензиновый двигатель редчайшей оригинальности проиллюстрирован на фиг. 183186. Борис Луцкий в 1894 г. построил для транспортных средств двигатель уникальной компоновки, которая обеспечивала поразительное снижение веса двигателя.

Двигатель был двойного действия. Воспламенение бензиновоздушной смеси в двух концах цилиндра происходило поочередно, после поворота коленчатого вала на 180° и 540°. ...В 189495 гг. Нюрнбергский машиностроительный завод проводил испытания построенных двигателей, вес которых составлял 33 кг. При 1200 об/мин мощность двигателя достигала 4,4 л. с. Двигатель работал очень тихо и расход охлаждающей воды был чрезвычайно низким" [80].

Приводим описание этой весьма нетривиальной конструкции, данное в книге А.Фирсова: Первый вариант двигателя представлен на рис. 2. Данный двигатель представляет собой как бы два двигателя, надстроенных друг над другом. Двигатель имеет две камеры сгорания А и В (Fig. 1), которые окружены теплоизолирующей рубашкой а и b для более полного использования тепловой энергии. Снаружи эту двойную рубашку камер сгорания охватывают поршни K1 и K1, которые расположены друг под другом и жестко связаны между собой. На чертеже (Fig. 2) они изображены в виде пустотелого цилиндра (гильзы). Этот цилиндрический двойной поршень имеет ок на S и проходит сквозь промежуточную цилиндрическую крышку C2, благодаря наличию в ней щелевидных прорезей S' (Fig. 3). Поршень скользит по поверхности внутренней стенки корпуса G (Fig. 4). В камеры А и В через каналы e1 и e2 поступает смесь из воздуха и бензина и там, например, с помощью калильной трубки, она воспламеняется. От перегородок (днищ) и w1 и w2 общего поршня K1K2, усилие через палец М шатуна передается на кривошип. Таким образом, двигатель при каждом повороте кривошипа испытывает одно толчковое усилие и работает так, как при использовании шатуна на двухцилиндровом двигателе.

Объединенный поршень K1K2 в данном изобретении может служить, вследствие его своеобразной конструкции, одновременно и как воздушный насос. Для достижения этой цели нижняя цилиндрическая крышка C2 имеет клапан v, расположенный в цилиндрическом корпусе O. При движении поршня K1K1 вниз перегородка w1 соприкасается с выступающим цилиндрическим корпусом, как бы охватывая его. При этом сжатый воздух проходит через клапан v в корпус O и далее в сосуд R, заставляя керосин или бензин вытекать из емкости.

Второй вариант двигателя представлен на рис. 3. В этом варианте бензиновоздушная смесь воспламеняется в камерах А и В, расположенных за перегородками (днищами) w1 и w2 поршня K1 (Fig. 5). Объединенный поршень K1-K2 в данном варианте также служит, как воздушный насос. Только в данном случае клапан v

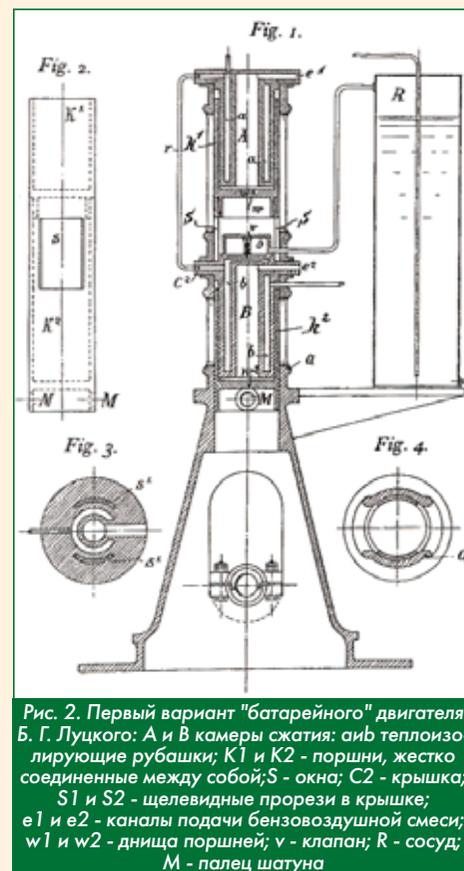


Рис. 2. Первый вариант "батарейного" двигателя Б. Г. Луцкого: А и В камеры сжатия; а и b теплоизолирующие рубашки; K1 и K2 - поршни, жестко соединенные между собой; S - окна; C2 - крышка; S1 и S2 - щелевидные прорези в крышке; e1 и e2 - каналы подачи бензовоздушной смеси; w1 и w2 - днища поршней; v - клапан; R - сосуд; М - палец шатуна

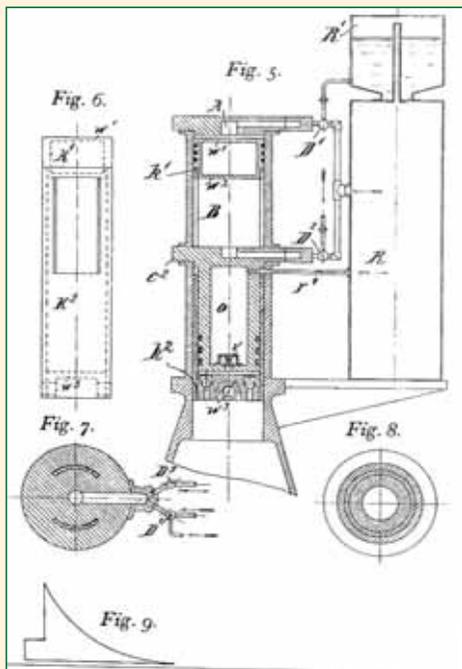


Рис. 3. Второй вариант "батарейного" двигателя Б. Г. Луцкого: А и В - камеры сжатия; К1 и К2 - поршни, жестко соединенные между собой; С2 - крышка; D1, D2, и D3 - поворотные золотники; w1 и w2 днища поршня К1; w3 - днища поршня К2; v - клапан; R - сосуд; R1 - дополнительный сосуд

расположен внизу под крышкой С2, возле перегородки w3. При движении поршня К1К2 от нижней мертвой точки к верхней сжатый воздух проходит через клапан v в корпус О и далее через трубку r1 попадает в сосуд R. Кроме сосуда R в данном двигателе имеется и дополнительный сосуд R1 в котором в неподвижном состоянии находится бензин или керосин. Под действием атмосферного давления бензин, находящийся в сосуде R1, начинает из него вытекать и по трубопроводам двигается к золотникам Dх и D2. Одновременно с этим к золотникам D1 и D2 из сосуда R подводится сжатый воздух. Затем попеременно через поворотные золотники D1 и D2

бензиновоздушная смесь попадает в камеры сгорания А и В. После закрытия клапанов происходит воспламенение горючей смеси, как показано на диаграмме.

Выхлопные газы выходят через поворотный золотник D3. В данном варианте двигатель разгоняется сам собой, для этого сосуд R всегда должен быть заполнен сжатым воздухом под давлением до одной атмосферы. Данный двигатель является двигателем двойного действия с однократным способом работы.

В этом двигателе впервые в мире было применено боковое одностороннее расположение впускных и выпускных клапанов, на каковом работают сейчас практически все применяемые современные двухтактные двигатели разных схем. Кроме того, хотя двигатель и охлаждался водой, каждая из цилиндрических камер сгорания была окружена теплоизолирующим веществом для более полного использования тепловой энергии. Тем самым двигатель Луцкого предвосхищал идею "адиабатного двигателя", в котором сводятся к минимуму потери теплоты в систему охлаждения и с отработавшими газами, над чем специалисты многих стран работают в настоящее время.

"Батарейный" двигатель Б. Г. Луцкого был самым быстроходным ДВС того времени в мире (двигатели Даймлера имели частоту вращения не более 750 об/мин). Он имел удельную массу всего 7,5 кг/л.с. [81]. Для сравнения в 1895 г. двигатель Даймлера мощностью 2 л.с. при 700 об/мин имел вес 150 кг (удельная масса 75 кг/л.с.)

"Батарейный" двигатель Б. Г. Луцкого, опередивший свое время, изза сложности и дороговизны в производстве был изготовлен только в нескольких экземплярах. Несмотря на это многие журналы мира того времени с восхищением писали о создании этого уникального двигателя.

Создание "оппозитного" двигателя внутреннего сгорания



Рис. 4. Схема оппозитного двигателя

И ещё одну конструкцию Луцкого этого периода его творчества хотелось бы вспомнить в связи с тем, что и она послужила началом весьма и весьма многих раз-

работок.

Это - оппозитный двигатель (первоупотребление термина примени тельно к двигателю предположительно принадлежит тоже Луцкому). Поршневой ДВС, у которого угол между цилиндрами составляет 180°, а коленчатый вал расположен между ними (рис. 4). Такое оппозитное (противоположное) расположение поршней позволяет им взаимно нейтрализовать вибрации, благодаря чему двигатель имеет более плавную рабочую характеристику. Оппозитные двигатели менее вибронгружены, чем рядные или Vобразные и не требуют противовеса коленчатом валу, поскольку системно сбалансированы. Именно такой двигатель разработки Б.Г. Луцкого в 1894 г. экспонировался на Эрфуртской торговопромышленной выставке. Патент на этот двигатель под № 248989 был получен Б.Г. Луцким 18 июля 1895 г. во французском патентном ведомстве. Он имел название: "Патент для газового и углеводородного двигателя, имеет два цилиндра, размещенных друг напротив друга и кривошипы, расположенные под углом 180°"

Как утверждает исследователь творчества Луцкого, книгу ко торого мы здесь постоянно цитируем: "О том, что Б.Г. Луцкий в 1894 г. изобрел первый в мире "оппозитный" двигатель внутреннего сгорания и запатентовал его во Франции практически, как ни странно, не знает ни один современный историк. По крайней мере отсутствуют публикации, в которых бы речь шла об этом двигателе Б.Г. Луцкого. Возможно из-за этого в СМИ приоритет в создании "оппозитного" ДВС отдается немецкому конструктору Карлу Бенцу." Автору пришлось просмотреть "все патенты подряд по номерам, а их оказалось более 300000 шт... Среди этих патентов отсутствует патент на "оппозитный" ДВС. Это позволяет констатировать тот факт, что Карл Бенц не является изобретателем "оппозитного" ДВС. Он лишь использовал, одним из первых, двигатели такого типа на своих автомобилях."

В начале XX века, после упомянутой Эрфуртской выставки, количество патентов на разнообразные схемы оппозитных двигателей превысило несколько сот. И до сих пор заявки на двигатели подобной схемы не редкость.

(Продолжение следует)



Рис. 5. Реклама компании "Панар и Левассор"



Рис. 6. Схема оппозитного двигателя Бенца

В начале XX века, после упомянутой Эрфуртской выставки, количество патентов на разнообразные схемы оппозитных двигателей превысило несколько сот. И до сих пор заявки на двигатели подобной схемы не редкость.



Рис. 7. Схема оппозитного двигателя Хенрайда

Литература

1. Фирсов А.В. Борис Григорьевич Луцкий (Луцкой) - инженер, конструктор, изобретатель. - Запорожье: Издательство АО "МОТОР СИЧ", 2015 г. - 653 с.

К 110-ЛЕТИЮ ВЫХОДА ПЕРВОГО НОМЕРА ЖУРНАЛА "ДВИГАТЕЛЬ"

Уважаемые коллеги!

2017 год - 110 лет с тех пор, как увидел свет первый номер журнала «Двигатель». Это было издание, призванное объединить всех интересующихся техническими новациями в самых различных областях техники и промышленности, транспорта и спорта. Его организовали на свой страх и риск инженеры, предприниматели, военные, спортсмены (стоит помнить, что тогда автомобиль, а уж тем более – аэроплан – были по большей части спортивными снарядами). Это прежде всего известный инженер, спортсмен, репортер и предприниматель Андрей Платонович Нагель и бывший его бессменным главным редактором талантливый русский инженер Николай Григорьевич Кузнецов – автор известнейшего "Курса автомобилизма" – самого издаваемого в течении 20 лет учебника по автоделу.

В таком виде, меняясь сообразно времени, журнал просуществовал почти ровно 10 лет – до февральской революции 17-го года, когда существовавшая государственная система пошла вразнос. И хотя в журнале не было ни слова о политике – только о технике и людях – барьера двух революций и гражданской войны он не преодолел. Первоиздатели успели выпустить почти две с половиной сотни номеров. Естественно, что в полном объеме этот журнал до нас дойти не смог – сколько разных казусов случилось за это время! Но и по тому, что можно сейчас видеть, понятно, что взгляд на пути развития техники и свое место в этом процессе у нас совпал почти без зазоров. И не удивительно: состав редакции и авторов уж больно повторился по качеству: инженеры, ученые, военные, спортсмены. Профессионалы. И все – любители. Своего дела. Так же как и те, чьими статьями наполнялся «Двигатель» на границе тысячелетий.

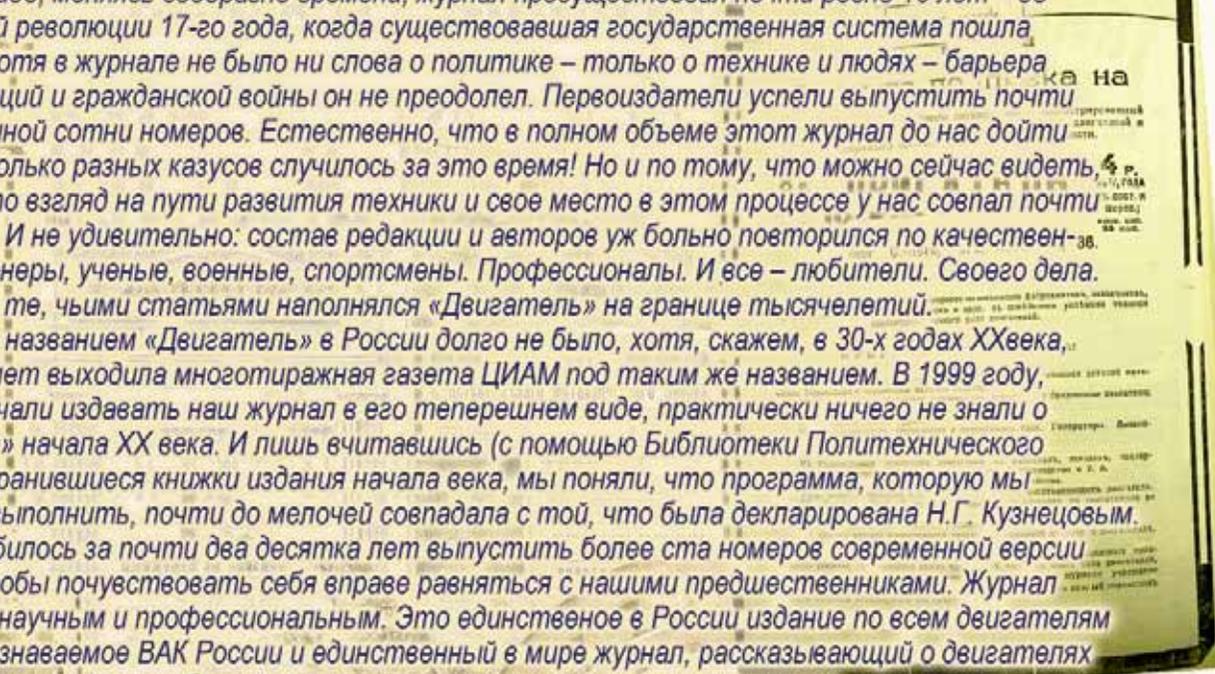
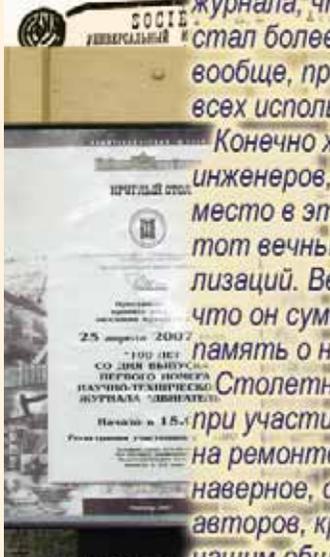
Журнала с названием «Двигатель» в России долго не было, хотя, скажем, в 30-х годах XX века, порядка 10 лет выходила многотиражная газета ЦИАМ под таким же названием. В 1999 году, когда мы начали издавать наш журнал в его теперешнем виде, практически ничего не знали о «Двигателе» начала XX века. И лишь вчитавшись (с помощью Библиотеки Политехнического музея) в сохранившиеся книжки издания начала века, мы поняли, что программа, которую мы старались выполнить, почти до мелочей совпадала с той, что была декларирована Н.Г. Кузнецовым. Нам понадобилось за почти два десятка лет выпустить более ста номеров современной версии журнала, чтобы почувствовать себя вправе равняться с нашими предшественниками. Журнал стал более научным и профессиональным. Это единственное в России издание по всем двигателям вообще, признаваемое ВАК России и единственный в мире журнал, рассказывающий о двигателях всех используемых и разрабатываемых типов в различных отраслях техники.

Конечно же, стараемся продолжить славную традицию связи поколений российских мотористов – инженеров, рабочих, ученых, эксплуатационников; горды сознанием того, что и нам нашлось место в этой цепочке. Связь поколений, передача плодов разума потомкам – вот на самом деле тот вечный двигатель, которым приводятся в действие и маховик прогресса и развитие цивилизаций. Вечной жизни для отдельного живого существа нет, но душа каждого, вложенная в то, что он сумеет донести до следующих поколений, будет присутствовать в этом мире, когда и память о нас самих уже давно сотрется.

Столетний юбилей нашего журнала отмечался 25 апреля 2007 года в Политехническом музее при участии широких кругов научной и технической общественности. Сейчас Политехнический на ремонте и мы не предполагаем столь объёмных собраний. По крайней мере, ещё лет 40, наверное, обождем. Так что позвольте попросту поздравить всех вас: наших читателей, авторов, критиков и редакторов; тех, чьими трудами, ради кого и для кого мы существуем – с нашим общим юбилеем!

Всегда ваши, издатели журнала:

Александр Иванович Бажанов, главный редактор журнала
Дмитрий Александрович Боев, генеральный директор издательства



СТОЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ



ТАНКИ ОТ И ДО

Олег Никитич Брилёв,

д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ,
начальник кафедры танков ВАБТВ (1975-1987 гг.)



(Продолжение. Начало в 6 - 2014, 1-6 - 2015, 1-6 - 2016, 1-4 - 2017)

В предыдущем номере журнала было рассказано о создании тяжёлого танка ИС-4 (ИС-4М) и последующих работах по его усовершенствованию и устранению недостатков, приведших к созданию ИС-5, ИС-6 и ИС-7. В результате дальнейших конструктивных проработок (ИС-8 и ИС-9) был создан танк Т-10 (главный конструктор Ж.Я. Котин, разработчик А.С. Ермолаев, Ленинград), а затем его усовершенствованная модификация - танк Т-10М. Благодаря более рациональной компоновке, совершенствованию конфигурации корпуса и башни и соответственно ярко выраженной дифференциации броневой защиты удалось практически сохранить ее уровень (до 250 мм) и в то же время уменьшить массу танка на 10 т, что позволило поднять подвижность 50-тонного тяжелого танка до уровня средних танков типа Т-54.



ИС-8

Одним из основных требований при создании тяжёлого танка ИС-8 являлось ограничение боевой массы - не более 50 т. Разработчиком было определено КБ Челябинского завода Министерства транспортного машиностроения СССР, а главным конструктором назначили Ж.Я. Котина.

К апрелю 1949 г. техпроект новой машины был разработан.

В мае для отработки основных функциональных решений построили деревянный макет в натуральную величину, а затем в опытном цехе началось изготовление первого прототипа ИС-8. Заводские испытания подтвердили правильность принятых конструктивных решений и соответствие техзаданию, что послужило принятию решения о выпуске установочной партии из 10 танков. В том же году танки прошли два этапа заводских испытаний, а в апреле-мае 1950 г. на НИИТ полигоне в Кубинке состоялись госиспытания.

По их результатам Государственная комиссия рекомендовала начать серийное производство ИС-8, но с доработками. В частности, недостаточным признали ресурс двигателя. Поэтому летом 1950 г. в Туркмении были проведены испытания на гарантийный ресурс двигателя, а осенью - войсковые испытания. Однако, не все было хорошо с новой машиной: пришлось производить много доработок, вследствие чего танк прошел большой цикл повторных и контрольных полигонных и заводских испытаний, которые закончились только к декабрю 1952 г. При этом проект менялся несколько раз, в результате чего машина получила сначала индекс ИС-9, а затем и ИС-10.

После смерти Сталина в 1953 г. аббревиатура "ИС" больше танкам не присваивалась, и в конце этого года танк был принят на вооружение Советской Армии под обозначением Т-10.

Сварной корпус его имел сложную коробчатую форму с лобовой частью в форме "щучьего носа". Борта составные, из верхней наклонной и нижней гнутой частей. Верхний кормовой лист корпуса был выполнен откидным для обеспечения доступа к агрегатам трансмиссии. Днище корпуса штампованное, корытообразной формы. В задней части (под силовой передачей) днище плоское. Жесткость днища усиливалась также сваренными в него кронштейнами балансиров. Для обслуживания агрегатов и механизмов в днище имелись люки и отверстия, закрытые броневыми крышками или пробками на резьбе. Место механика-водителя находилось впереди по оси машины.

Башня литая, обтекаемой формы с переменными углами наклона стенок и переменной толщиной от 250-мм в носовой части до 40-мм на литой части крыши. Башня устанавливалась на шариковой опоре над вырезом подбашенного листа крыши корпуса танка. Передняя часть крыши башни отливалась заодно с корпусом башни, а задняя изготавливалась из броневых листов и вваривалась в крышу. В этом листе располагался люк

На танке Т-10М устанавливалась пушка более высокой баллистики, чем на ИС-4. Кроме того, были применены двухплоскостная система стабилизации пушки, частичная механизация заряжания (досылатель). На танке был установлен ночной прицел.

В конструкции броневой защиты заслуживают внимания форма носовой части корпуса "корабельного" типа (как на танке ИС-3) и гнутые броневые листы бортов. На танке были установлены автоматическая система защиты от ядерного оружия и автоматическая система противопожарного оборудования. В моторной установке были использованы дизельный двигатель с механическим наддувом и оригинальная компактная эжекционная система охлаждения (поток воздуха через радиатор организуется не вентилятором, а выхлопным трактом двигателя за счет эжекции).

заряжающего, над которым монтировалась установка зенитного пулемета. Слева располагался люк, над которым размещалась командирская башенка. Механизм поворота башни планетарный, с самотормозящей червячной парой, с ручным и электрическим приводами.

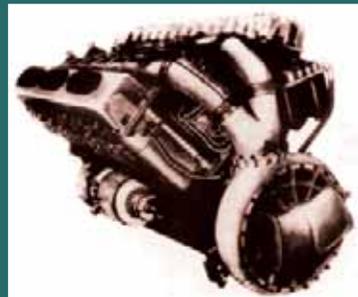
Вооружение состояло из 122-мм танковой пушки Д-25ТА (длина ствола 48 калибров) и спаренного с ней 12,7-мм пулемета ДШКМ, которые были установлены в литой маске. Пушка имела двухкамерный дульный тормоз и горизонтальный автоматический клиновой затвор. Начальная скорость бронебойного снаряда составляла 795 м/с. Прицельная дальность стрельбы с помощью телескопического прицела ТШ2-27 составляла 5000 м, а с помощью бокового уровня 15 000 м. Заряжание облегчалось установленным механизмом досылания. Скорострельность при этом составляла 3-4 выстрела в минуту, а при заряжании вручную - 2-3 выстрела.

На турели люка заряжающего устанавливался зенитный 12,7-мм пулемет ДШКМ с коллиматорным прицелом К10-Т. Боекомплект пушки состоял из 30 выстрелов раздельного заряжания, а пулеметов - 1000 патронов.

12-цилиндровый четырехтактный V-образный дизельный двигатель В-12-5 жидкостного охлаждения имел рабочий объём 38 880 см³ и максимальную мощность 700 л.с. при 2100 об/мин. Двигатель устанавливался на постаменте, состоявшем из четырех кронштейнов, приваренных к бортам и связанных между собой продольными угольниками.

Двигатель В-12-5 (дальнейшее развитие дизеля В-2) имел некоторые отличия, позволившие увеличить мощность, повысить надёжность и улучшить эксплуатационные характеристики. К его основным особенностям можно отнести: наличие центробежного нагнетателя воздуха АМ-42, что позволило увеличить его мощность; установка комбинированного двухсекционного масляного фильтра Кимаф-3; применение в топливной системе и системе смазки двигателя гибких шлангов; отсутствие выпускных коллекторов, вместо которых к фланцам выпускных окон крепились патрубки эжекционной системы охлаждения; наличие двойного подвода масла к коленчатому валу между седьмой и восьмой коренными шейками; установка маслозакачивающего насоса с электромотором для обеспечения двигателя смазкой при запуске и др. Головки блоков цилиндров имели бронзовые направляющие клапанов, а кулачки распределительных валов выпуска - профиль, позволивший увеличить продолжительность фазы выпуска. Изменениям подверглись и поршни цилиндров (уменьшили диаметр юбки и увеличили глубину вырезов для клапанов). В нижней половине картера изменили расположение водяного и масляного насосов, что позволило сократить общую высоту двигателя. Запуск двигателя осуществлялся электростартером СТ-700 или сжатым воздухом.

В топливную систему танка входили три внутренних бака - два задних емкостью по 185 л и один передний на 90 л. Все три бака соединялись между собой трубопроводами. На крыльях в корме танка было установлено по одному наружному топливному баку емкостью по 150 л каждый, которые подключались к топливной системе танка. Общая емкость всех баков составляла 760 л. После установки внутренних задних топливных баков общей емкостью 270 л общая емкость возросла до 930 л. Ведущие колеса заднего расположения имели съёмные венцы с 14 зубьями. На каждом борту было 7 литых сдвоенных опорных катков с металлическим ободом и три поддерживающих катка. Подвеска независимая, с пучковым



Следует подчеркнуть, что на тяжелых танках сохранилась классическая компоновка, но с продольным расположением двигателя. Широкие гусеницы тяжелого танка и строгие ограничения общей ширины машины не позволяют осуществить поперечное расположение двигателя.

Концепция тяжелых танков сохранилась та же, что и в годы войны, - по сравнению со средними танками более высокая огневая

мощь и более надежная броневая защита, достигаемые путём увеличения массы и некоторого снижения подвижности. Их предполагалось использовать для борьбы с танками противника и в качестве "тарана" при прорыве обороны. В СССР тяжелыми танками были укомплектованы несколько тяжелых танковых дивизий с более высокими боевыми возможностями. Танк Т-10М в экспортном исполнении не создавался и на экспорт не поставлялся.

торсионом и упругим упором. Пучковые торсионы имели 7 стержней с шестигранными головками.

В 1955 году были созданы две опытные машины - объект 267 сп.1 со стабилизатором наведения в вертикальной плоскости и объект 267 сп.2 с двухплоскостным стабилизатором.

Годом позже стабилизатор наведения в вертикальной плоскости был внедрен на модификации Т-10, принятой на вооружение приказом Министра обороны СССР от 11.06.1956 г. под названием Т-10А. Его серийное производство было организовано в 1957 г. в Челябинске. Модернизированный танк отличался установкой пушки Д-25Т с измененным затвором и эжекционной продувкой канала ствола для уменьшения загазованности боевого отделения, а также применением стабилизатора вертикального наведения пушки ПУОТ-1 "Ураган", гироскопа ГПК-48 и ИК-прибора механика-водителя ТВН-1. Вместо прицела ТШ-2-27 были устанавливались перископический прицел ТПС-1 и дублирующий телескопический прицел ТУП. В результате установки пушки с измененными приводами, а также для улучшения бронезащиты башню и маску орудия модернизировали. Дополнительно ввели механизм досылания снаряда и заряда и новый подъемный механизм.

Все эти изменения существенно повысили боевую эффективность танка.

Т-10А



Из-за появления новой модификаций - Т-10Б, принятой на вооружение уже в следующем году, танков Т-10А было выпущено всего 30 машин.

Внешне почти не отличается от Т-10А. Основное отличие - установка теперь уже двухплоскостного стабилизатора ПУОТ-2 "Гром" и прицела Т2С-29-14. Выпускали Т-10Б только год, за который было изготовлено 130 танков.

Т-10Б



Следующая модификация танка Т-10 разрабатывалась в соответствии с решением пленума Научно-технического комитета ГБТУ, состоявшегося 14 декабря 1954 г. Модернизация коснулась в первую очередь вооружения танка. 122-мм орудие Д-25Т, которое устанавливалось ещё на танках ИС-2, было, наконец, отправлено на покой. Вместо него танк получил существенно более мощное орудие М-62Т2С (2А17), хотя и того же калибра.

Орудие М-62 проектировалось в КБ завода №172 в Перми. Опытные экземпляры прошли испытания в 1953 г. и показали значительно лучшие баллистические характеристики. Так, начальная скорость броневой снаряда составляла 950 м/с, что обеспечивало пробиваемость брони толщиной 225 мм на расстоянии 1000 м (против 795 м/с и 145 мм у Д-25).

На М-62 был установлен дульный тормоз щелевого типа, поглощавший до 70 % силы отдачи при выстреле.

Обновили на танке и пулемётное вооружение, оснастив его более мощными 14,5-мм пулемётами КПВТ. Один из пулемётов, спаренный с орудием, мог использоваться и в качестве пристрелочного на дальностях до 2000 м. На его

Т-10М

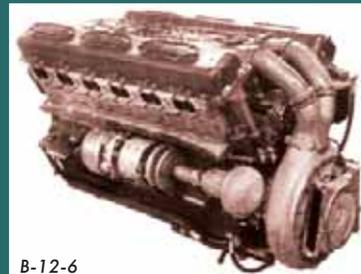


прицеле Т2С-29 для этого имелась специальная прицельная шкала. Другой пулемёт - зенитный с коллиматорным прицелом ВК-4 - размещался на башне, на погоне люка заряжающего; его наибольшая прицельная дальность составляла 1000 м. При необходимости из этого пулемёта можно было вести огонь и по наземным целям, используя уже оптический прицел ПУ-1.

Все члены экипажа, кроме заряжающего, имели приборы ночного видения: командир - ТКН-1Т, механик-водитель - ТВН-2Т, наводчик - ТПН-1-29-14 "Луна", позволявший вести прицельную стрельбу ночью с максимальной дальностью 1150 м.

Установили на танке более мощный дизель В-12-6, имевший 750 л.с. при 2100 об/мин и отличавшийся конструкцией картера, коленчатым валом,

поршнями цилиндров и т.д. Ввели ножную педаль тормоза и новые бортовые редукторы, у которых планетарный ряд размещался внутри ведущего колеса. Для улучшения плавности хода число гидроамортизаторов увеличили до шести, а динамический ход опорного катка возрос до 172 мм. В результате всех этих изменений масса танка возросла до 51,5 т, но благодаря более мощному двигателю и другим усовершенствованиям,



В-12-6

максимальная скорость танка по шоссе возросла до 50 км/ч.

Государственные испытания "объекта 272" завершились в декабре 1956 г. По их результатам танк был рекомендован к производству. Но, если до этого танки Т-10, Т-10А и Т-10Б производились только на ЧКЗ, то теперь к выпуску новой модификации подключили ЛКЗ. Как ни удивительно, но, несмотря на все усилия, приложенные конструкторами и руководством отрасли, добиться полной унификации машин, выпускавшихся на этих двух заводах, не удавалось. Поэтому 26 сентября 1957 г. приказом министра обороны было принято на вооружение под обозначением Т-10М сразу два танка: "объект 272" - "ленинградский" и "объект 734" - "челябинский".

Машины ЧКЗ отличались конструктивными изменениями в приводах управления трансмиссией, бортовых редукторах, системе питания топливом. Хотя такая ситуация и шла вразрез с требованиями по стандартизации и унификации вооружения и военной техники, тем не менее танки с этими конструктивными отличиями находились в серии вплоть до 1962 г., когда производство Т-10М в Челябинске завершилось; на ЛКЗ их выпуск продолжался до конца 1965 г.

В 1957 г. был создан танк ("Объект 266" - Т-10 с пушкой Д-25ТА), на котором опробовали гидромеханическую трансмиссию (ГМТ).

Сравнительные государственные испытания танка "Объект 266" с модернизированной ГМТ и серийного тяжелого танка Т-10 с механической трансмиссией, проведенные в 1955 г., показали, что применение ГМТ является перспективным направлением.

Главное преимущество ГМТ заключалось в их автоматичности, то есть в способности преодолевать изменяющееся сопротивление движению танка без существенного изменения нагрузки на двигатель. Благодаря этому свойству

полнее использовалась мощность двигателя. К числу других преимуществ относились: повышение надежности и долговечности работы поршневого двигателя и трансмиссии, лучшие поворотливость и плавность хода машины, меньшее число передач, удобство и легкость управления, уменьшившие утомляемость механика-водителя, отсутствие заглохания двигателя во время движения танка, отсутствие необходимости проведения эксплуатационных регулировок фрикционных устройств. Все это достигалось благодаря



ГМТ

эластичной связи насосного колеса и турбины гидропередачи через поток масла. Крупным недостатком при использовании ГМТ оказался перерасход топлива (в среднем на 15 %). Трансмиссия не была рекомендована к установке в серийный танк Т-10 из-за неудачного совмещения характеристик двигателя и ГМТ, что приводило к выходу двигателя из строя.

После замены комплексной гидропередачи ГТК-I на более совершенную комплексную гидропередачу ГТК-II, имевшую КПД на 2...3 % выше (максимальный КПД - 0,86), и изменения передаточных чисел в трансмиссии удалось использовать зону частот вращения коленчатого вала двигателя на более экономичных режимах работы.

Проведенные в 1957 г. сравнительные испытания танка "Объект 266" с новой ГМТ и серийного танка Т-10 с механической трансмиссией показали, что у танка с ГМТ перерасход топлива составил всего 3...5 %. Однако дальнейшее совершенствование гидромеханической трансмиссии было прекращено в связи с разработкой гидромеханической трансмиссии с автоматикой переключения передач, которая считалась более перспективной.

В процессе производства в конструкцию Т-10М постоянно вносились изменения. Так, с декабря 1962 г. стали устанавливать более простую в изготовлении механическую трансмиссию, первоначально разработанную в качестве резервного варианта. Она была на 507 кг легче прежней и имела значительно меньшие габариты, что позволило дополнительно разместить в бронированном объеме 100 л топлива.

С 1963 г танки оснащались оборудованием для подводного вождения (ОПВТ)

Предполагалось изготовить 200 таких комплектов для Т-10, 140 - для Т-10А и 20 - для Т-10Б. В состав съёмной части комплекта входили: воздухопитающая труба; труба-лаз с переходником (для учебных целей); различные уплотнения (например, броневой маски пушки, командирской башенки, погона башни, дульного тормоза и т.д.) и водооткачивающая система. К несъёмной части относились: уплотнения корпуса танка; система защиты двигателя от попадания воды в цилиндры двигателя при его заглохании при движении под водой; клапаны защиты от попадания воды в воздухоочистители и т.д. Кроме того, в комплект ОПВТ входили изолирующие противогазы ИП-46М и спасательные жилеты СЖТ-58 для каждого члена экипажа.

В 1955-1957 гг. проводились работы и по оснащению танка Т-10 индивидуальным плавсредством. К разработке было привлечено ЦКБ-50 Министерства судостроительной промышленности. Понтон поручалось изготовить заводу "Красное Сарово". Заводские испытания танка "Объект 755" с индивидуальными средствами переправы состоялись с 26 августа по 26 ноября 1957 г. в районе Челябинска. Они подтвердили соответствие предъявляемым требованиям. Этот вид преодоления водных преград предполагалось распространить и на танк Т-10М.

Т-10А с ОПВТ перед форсированием водной преграды



В 1950-е годы 122-мм советские танковые орудия без проблем пробивали своими бронейными калиберными снарядами броню любых танков НАТО, то в 1960-х ситуация изменилась. Калиберные бронейные снаряды нашего орудия М-62 не брали лобовую броню американского танка М60 и английского "Чифтена". В сложившейся ситуации по заданию Министерства обороны и Государственного комитета по оборонной технике началась разработка 122-мм подкалиберных и невращающихся кумулятивных снарядов для орудия М-62Т2С. Выстрел с кумулятивным снарядом, пробивавшим вертикально расположенную броневую плиту толщиной 450 мм, приняли на вооружение 30 ноября 1964 г. С 1967 г. в боекомплект Т-10М был включен и бронейноподкалиберный снаряд с начальной скоростью 1600 м/с, пробивавший 320-мм броню на дальности 2000 м.

Танк Т-10 "Объект 755" на выходе из воды



С 1953 по 1965 г. было выпущено всего 1439 танков Т-10 всех модификаций. На базе танка Т-10 испытывались новые технические решения, создавались опытные образцы, а на базе шасси танка Т-10 и новые машины. В целях усиления огневой мощи танка Т-10М выполнялись работы по установке различных противотанковых ракетных комплексов. Так, в октябре-декабре 1960 г. на двух Т-10М были проведены специальные испытания ПТРК "Фаланга" с целью определения возможности использования этого комплекса для вооружения ракетного танка "Объект 287" конструкции ОКБТ ЛКЗ. В I квартале 1961 г. состоялись стрельбы ПТУР "Фаланга". Практически одновременно, в начале 1961 г. на опытном танке "Объект 272" установили макетный образец ПТРК "Скорпион". Пусковая установка комплекса с ПТУР крепилась на стволе пушки. Ракета управлялась по

проводам, а её наведение на цель осуществлялось через штатный прицел с помощью пульта управления, который располагался справа от прицела.

В ходе испытаний была подтверждена возможность стрельбы ПТУР "Скорпион" как с места, так и с ходу. Наведение ракеты осуществлялось по трассеру. Стрельба производилась на дальность 1,5 км. Из-за значительных габаритов ПТРК "Скорпион" и трудности уравнивания пушки от применения этого комплекса отказались. Как отказались и от ПТРК "Фаланга". Одной из основных причин было то, что к этому времени уже шла отработка ПТРК "Малютка" с ПТУР 9М14, имевшей более компактные размеры. Испытания машины были проведены в 1963-1964 гг.

По результатам испытаний рекомендовалось выпустить опытную партию танков для войсковых испытаний, но в конечном итоге и от её установки отказались из-за невозможности обеспечения стрельбы с хода и защиты пусковой установки от огня стрелкового оружия. К тому же появились опытные образцы новых ракетных танков, создававшихся в ОКБТ ЛКЗ на базе среднего танка "Объект 432".

Что же касается других объектов, создаваемых на базе танка Т-10, то можно отметить постронную в 1956 г. в единственном экземпляре САУ ("Объект 268"), напоминавшая по компоновке ИСУ-152. Самоходка была вооружена 152-мм пушкой М-64 в просторной броневой рубке. Броневые листы её лобовой части имели толщину 187 мм.

Орудие М-64 – с раздельным заряжением, начальная скорость его снаряда составляла 720 м/с. Процесс заряжания 50-килограммовыми снарядами был механизирован. На крыше рубки находился зенитный 14,5-мм пулемёт КПВТ, а на командирской башенке – дальномер ТКД-09. В боекомплект входило 35 выстрелов для орудия и 500 патронов к пулемёту. Машина имела боевую массу 50 т. Экипаж – четыре человека.



Т-10М с ПТРК "Фаланга"

Т-10М с ПТРК "Скорпион"

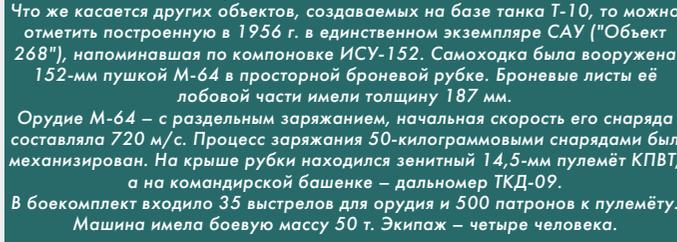


Испытания машины были проведены в 1963-1964 гг.

Т-10М с ПТУР "Малютка"



САУ на базе Т-10 "Объект 268" с 152-мм орудием М-64



САУ на базе Т-10 "Объект 268" с 152-мм орудием М-64

С использованием силовой установки и элементов ходовой части танка Т-10 были спроектированы и более мощные самоходные орудия, способные вести огонь атомными тактическими зарядами. Калибр орудия определяли габариты спецбоеприпасов, у которых на тот момент диаметр составлял более 400 мм. Разработка этих самоходных установок на гусеничном шасси велась с 1954 г. В 1957 г. было изготовлено два опытных образца. Один из них - "Конденсатор 2П" ("объект 271", 2А3) с 406-мм гаубицей СМ-54 создали на

С использованием силовой установки и элементов ходовой части танка Т-10 были спроектированы и более мощные самоходные орудия, способные вести огонь атомными тактическими зарядами. Калибр орудия определяли габариты спецбоеприпасов, у которых на тот момент диаметр составлял более 400 мм. Разработка этих самоходных установок на гусеничном шасси велась с 1954 г. В 1957 г. было изготовлено два опытных образца. Один из них - "Конденсатор 2П" ("объект 271", 2А3) с 406-мм гаубицей СМ-54 создали на

С использованием силовой установки и элементов ходовой части танка Т-10 были спроектированы и более мощные самоходные орудия, способные вести огонь атомными тактическими зарядами. Калибр орудия определяли габариты спецбоеприпасов, у которых на тот момент диаметр составлял более 400 мм. Разработка этих самоходных установок на гусеничном шасси велась с 1954 г. В 1957 г. было изготовлено два опытных образца. Один из них - "Конденсатор 2П" ("объект 271", 2А3) с 406-мм гаубицей СМ-54 создали на



406-мм САУ 2А3 "Конденсатор 2П". Парад на Красной площади, 1957 г.

Ленинградском Кировском заводе. Другой - 420-мм миномёт "Ока" ("Объект 273", 2Б1) спроектировали в Коломенском КБМ.

Для размещения таких мощных артиллерийских систем построили восьмикатковую ходовую часть с опускающимся ленивцем и гидромортизаторами, которые должны были частично поглощать энергию отдачи при выстреле. Двигатель на обеих установках был один и тот же - дизель В-12-6Б, с наддувом, мощностью 751 л.с.

На первых же испытаниях огромная сила отдачи при выстреле 570-килограммовым снарядом вызвала многочисленные поломки ходовой части: разрушались ленивцы, срывало с креплений коробку передач и т.д., но со временем удалось преодолеть эти проблемы. Изготовление первой партии (четыре гаубицы 2А3 и четыре миномёта 2Б1) было поручено ЛКЗ.

420-мм миномёт "Ока"



Испытания обеих систем продолжались до 1960 г., но на вооружение они так и не были приняты.

Элементы шасси Т-10 использовались в самоходных пусковых установках. Так, в апреле 1961 г. постановлением СМ СССР поручалось ОКБ-586 (Янгеля) выпонить НИР по созданию малогабаритной твердотопливной МБР со стартовой массой не более 25 т. Через два года очередным постановлением ОКБ-586 поручалась разработка предэскизного проекта комбинированной ракеты со стартовой массой не более 30 т. На основании положительных результатов проведенных проектных и экспериментальных работ руководство ОКБ и завода в ноябре 1963 г. вышло в правительство с предложением о создании подвижного ракетного комплекса на гусеничном ходу с комбинированной двухступенчатой МБР (первая ступень твердотопливная, вторая - с ЖРД). Эскизный проект ракеты выпущен в декабре 1964 г. Согласно требованиям техзадания КБ Ленинградского Кировского завода поручалось разработать самоходную ПУ (СПУ) на гусеничном ходу для пуска МБР из транспортно-пускового контейнера. За основу было взято шасси танка Т-10 с добавлением одного катка ("объект 821"). Масса СПУ составила почти 79 т. Скорость по шоссе достигала 40 км/ч, а по бездорожью - 20 км/ч.

СПУ на шасси "Объект 821" с МБР РТ-20П на параде 7 ноября 1967 г.



После проведенных испытаний (в первую очередь пусков ракет) комплекс на вооружение принят не был - в основном из-за низкой надёжности ракеты.

Коль скоро речь пошла о ракетах, то на базе Т-10 создавались, так называемые, ракетные танки. История их создания давняя, эта тема достойна отдельной статьи - и к ней мы ещё вернёмся. А в 50-х годах начало работ по созданию ракетного танка на базе Т-10 положило конец созданию САУ "Объект 268" на базе того же самого танка Т-10. Появился эта САУ в конце 40-х - начале 50-х, шансы пойти в серию у него были бы очень высокими. Машина получилась удачной, вполне удобной для работы экипажа и хорошо защищённой. Но, к 1957 г. произошёл целый ряд событий, которые в совокупности сделали запуск в серию подобных САУ бессмысленным. Дело в том, что с 1955 г. началась разработка тяжёлых танков нового поколения ("Объект 277", "-278", "-279" и "-770"), имевших значительно более высокий уровень броневой защиты. Против них даже пушка М64, установленная на этой САУ, была уже неэффективна. В ГБТУ прекрасно отдавали себе отчёт, что зарубежные конструкторы бронетанковой техники тоже не сидят на месте.

Получалось, что перспективная самоходная установка вооружена артиллерийской системой, которая уже устарела. Кроме того, её пушка не имела решающего превосходства над пушкой МЛ-20, да ещё в середине 50-х годов началась программа по модернизации ИСУ-152, которая значительно продлевала срок эксплуатации этих машин.

Да и планы по производству танков Т-10 постоянно не выполнялись, и

"лишних" шасси для САУ взять было не откуда. И ещё одна причина: в СССР начались работы по противотанковому управляемому ракетным комплексам. 8 мая 1957 г. Совет министров СССР санкционировал работы по разработке танков и самоходных установок, вооружённых управляемыми ракетами.

В принятии такого решения основную роль сыграло то, что пусковая установка для противотанковой ракеты гораздо компактнее, чем пушка. Запуск ракеты куда проще, а главное, ею можно управлять в полёте. Из-за того, что вероятность поражения цели управляемой ракетой намного больше, чем при стрельбе снарядами, применение ракетного вооружения оказалось на порядок эффективнее.

В 1959 г. с использованием узлов и агрегатов серийного тяжёлого танка Т-10 был изготовлен ходовой макет танка ("Объект 282Т").

Броневой корпус был разделен на три отделения - носовое, обитаемое и МТО. Во внутреннем объёме носового отделения были размещены баки с дизельным топливом, которое усиливало защиту членов экипажа от проникающей радиации ядерного взрыва. Обитаемое отделение было отделено от носового 30-мм броневой перегородкой. В передней части обитаемого отделения размещалось рабочее место механика-водителя, за ним в низкой вращающейся плоской башенке с подвесным полом располагалось рабочее место командира-оператора.

Броневая защита танка "Объект 282Т" - противоснарядная. Сварной броневой корпус имел трехскатную конструкцию носовой части с расположением верхних лобовых листов толщиной 150 мм под углом наклона 64° от вертикали. Лобовая часть танка не пробивалась 122-мм броней снарядом с начальной скоростью 1000 м/с и 85-мм кумулятивным снарядом в пределах курсовых углов ±45°. Отсутствие тяжелых башни и пушки позволили снизить массу танка до 44 т, компоновочная схема танка и корпуса позволили получить самый высокий по тому времени уровень защищенности от обычных средств поражения и ядерного оружия.

На танке устанавливался дизель В12-Ф мощностью 1000 л.с., который обеспечивал по шоссе скорость до 55 км/ч, а топлива хватало на 500 км. Техническим проектом предусматривалось размещение вдоль бортов обитаемого отделения и МТО двух пусковых установок для управляемых ракет ПТРК "Саламандра". В барабане левой и правой пусковой установки должно было находиться по четыре ракеты. ПТУР "Саламандра" с боевой кумулятивной частью имела калибр 170 мм, длину 1550 мм, размах крыльев 540 мм и бронепробиваемость 500 мм. Система слежения за целью - оптическая и радиолокационная. Наведение ракеты на цель должно было осуществляться полуавтоматической системой управления с передачей команд по радиоканалу. Максимальная дальность стрельбы ракетами ПТРК "Саламандра" предполагалась порядка 3000 м днём и 1000 м - ночью. В состав боекомплекта танка должны были входить 20-25 управляемых ракет. Кроме того, предусматривалось использование неуправляемых реактивных снарядов, а в качестве вспомогательного оружия - 7,62-мм пулемета СГМТ.

"Объект 282Т" - проект



Однако в связи с тем, что в заданный срок ПТРК "Саламандра" не был разработан (на тот момент эта разработка опередила существующие возможности радиоэлектроники), все экспериментальные исследования были проведены на ходовом макете танка с имевшимися в наличии неуправляемыми турбореактивными снарядами ТРС-132 и ТРС-152 и системой дистанционного управления огнем "Тополь" ("турбореактивными" снаряды назывались не от того, что на них стоял турбореактивный двигатель, а от того, что снаряд приводился во вращение вокруг оси ("турбо-") с помощью специальных сопел, отбравших часть газов от ракетного двигателя ("реактивного")). В боевом отделении были смонтированы по три барабанных укладки у левого борта на 8 ракет калибром 132 мм и у правого борта - на 6 ракет калибром 152 мм. Турели пусковых установок размещались по бортам в кормовой части танка. Заряжание производилось со стороны казенной части пусковой установки.

Под пусковыми установками в средней части корпуса танка размещались дополнительные укладки: на правом борту пять 152-мм снарядов, на левом - семь 132-мм реактивных снарядов. Управление пусковой установкой осуществлялось с помощью электрической следящей системы.



Ходовой макет "Объект 282Т"

Подъем и вертикальное наведение пусковой установки осуществлялись с помощью гидроцилиндров. В системе управления огнем "Тополь" использовалось счетно-решающее устройство. Проведенные испытания показали сложность и недостаточную надежность системы управления огнем "Тополь", однако они подтвердили возможность создания танка с управляемым оружием на более легкой базе.

С целью повышения огневой мощи танка "Объект 282Т" был разработан проект с дополнительным размещением в кормовой части танка ПТРК с одной пусковой установкой. Данный проект танка получил обозначение "Объект 282К". Боевая масса возросла до 46,5 т. В боекомплект танка входили 40 неуправляемых снарядов (ТРС-132 и ТРС-152) и 9 ПТУР.

На вооружение ракетный танк "Объект 282Т" не принимался и в серийном производстве не состоялся.

В середине 50-х годов в КБ ЛКЗ были начаты работы по созданию тяжелого танка нового поколения. Танк разрабатывался в двух вариантах: с дизельным двигателем - "Объект 277" и с газотурбинным - "Объект 278". Новый танк должен был иметь массу не более 55 т, его вооружение - 130-мм нарезная пушка, у которой начальная скорость снаряда должна была составлять 1000 м/с.

Двигатель мощностью 1000 л.с. должен был обеспечить скорость по шоссе порядка 55 км/ч.

К 1957 году были созданы два опытных образца машины с дизельным двигателем и два опытных образца газотурбинного двигателя ГТД-1.

"Объект 277" был спроектирован с использованием конструктивных решений танков ИС-7 и Т-10. Вооружение танка состояло из 130-мм нарезной пушки М-65 и спаренным 14,5-мм пулеметом КПВТ. На танке устанавливался двухплоскостной стабилизатор "Гроза", ночные приборы стрельбы и наблюдения. Боекомплект состоял из 26 выстрелов и 250 патронов. В качестве силовой установки использовался V-образный 12-ти цилиндровый дизельный двигатель М-850 мощностью 1090 л.с. Двигатель снабжался эжекционной системой охлаждения и нагнетателем. Трансмиссия с механизмами поворота была установлена в один блок с двигателем. Танк был оснащен системами противоатомной защиты, термодымовой аппаратурой, системой очистки приборов наблюдения и оборудованием подводного вождения. Экипаж танка состоял из 4 человек.

В 1957-1958 гг. оба дизельных танка с успехом прошли государственные испытания. Началась постройка танков для установки газотурбинных двигателей, но после того, как в 1960 г. руководству страны был показан танк "Объект 277", Н.С. Хрущёвым было принято решение о закрытии данного проекта. Прекратились работы и над "Объектом 278".



Танк "Объект 277"

В те же самые годы разрабатывался тяжелый танк "Объект 279", предназначенный для прорыва подготовленной обороны противника и действия на труднопроходимых для обычных танков участках местности.

Танк создавался в КБ ЛКЗ под руководством Л.С. Троянова.

Корпус танка был сварен из четырёх крупных литых броневых элементов криволинейной формы. Толщина лобовой брони корпуса более чем в два раза превышала аналогичный показатель корпуса танка Т-10М и составляла 269 мм. Верхняя лобовая деталь с максимальной толщиной 192 мм была наклонена под углом 60° от вертикали, а бортовые детали толщиной 182 мм — под углом 45°. Такая форма корпуса должна была предотвратить переворачивание танка взрывной волной при ядерном взрыве. Максимальная толщина литой башни сферической формы по всему её периметру составляла 305 мм при угле наклона 30°. Снаружи корпус танка и борта башни имели несъемные тонколистовые противокумулятивные экраны, дополняющие их обводы до вытянутого эллипсоида.

Принятая схема бронирования обеспечивала надежную защиту лобовой части танка и его бортов от 122-мм бронебойного и 90-мм кумулятивного снарядов на всех дальностях стрельбы.

Вооружение состояло из 130-мм пушки М-65 и спаренного с ней 14,5-мм пулемета КПВТ. Пушка имела систему продувки канала ствола сжатым воздухом. В боевом отделении были размещены двухплоскостной стабилизатор "Гроза", оптический прицел-дальномер ТПД-2С, ночной прицел

"Объект 279". Вид спереди



"Объект 279". Вид сзади справа на ходовую часть

ТПН и механизированная укладка снарядов и зарядов с электромеханическим досылателем. Боекомплект пушки состоял из 24 выстрелов раздельно-гильзового заряжания.

В танке предусматривалась установка 16-цилиндрового 4-тактного дизельного двигателя ДГ-1000 (950 л.с.) или 2ДГ-8М (1000 л.с.) с горизонтальным расположением цилиндров (в целях экономии места в низком танковом корпусе) и эжекционным охлаждением.

Любой из двигателей обеспечивал танку скорость по шоссе до 50 км/ч.



Дизель 2ДГ-8М

Однопоточная гидромеханическая трансмиссия включала двухреакторную комплексную гидropередачу, планетарную коробку передач с тремя степенями свободы и двухступенчатые ПМП. Для изменения скорости движения танка использовались три передачи переднего хода, при этом переключение двух высших передач было автоматизировано.

В ходовой части применялся ленточный четырёхгусеничный движитель. В состав движителя входили 4 гусеничные ленты с закрытым металлическим шарниром, 4 ведущих колеса, 4 направляющих колеса, 24 опорных катка малого диаметра и 12 поддерживающих катков.

Ходовая часть была смонтирована на двух продольных пустотелых балках, которые выполняли роль топливных баков. Запас хода машины составлял 250...300 км. Конструкция гусеничного движителя обеспечивала высокую проходимость по глубокому снегу и заболоченной местности. Среднее давление на грунт составляло всего 0,6 кгс/см², почти как у легкого танка. Однако конструкция ходовой части была сложной в эксплуатации и ремонте в полевых условиях, ограничивала возможность уменьшения высоты танка при дальнейшей модернизации и имела большие потери мощности в гусеничном движителе, особенно при движении в распутицу.

Танк удачно прошёл все испытания. Однако, весь проект, как и разработки всех новых тяжелых танков были закрыты Н.С. Хрущёвым.

Ходовые испытания "Объекта 279". Башня в положении "по-походному"



Помимо средних и тяжелых танков в послевоенные годы в СССР разрабатывались также легкие танки и САУ, и о них речь пойдет в следующем номере.

(Продолжение следует.)

ТАНКИ НА СЛУЖБЕ "У ГРАЖДАНКИ"

Александр Иванович Бажанов,
академик Международной инженерной академии

Только закончилась II Мировая война, а стране снова пришлось думать о своей безопасности. Для армии нужна была новая техника, а для неё нужны были новые материалы, а их приходилось добывать в отдалённых районах, лишённых источников электрической и тепловой энергии. Но как иногда бывает в развитии техники, вместе с появлением её военного варианта - оружия, появляется и её гражданский вариант, как сейчас говорят - конверсионный. Так произошло и при освоении атомной энергии: после появления атомной бомбы наступило время и мирного освоения атома - появились атомные реакторы. Тут и родилась идея сделать самоходную атомную электростанцию для работы в отдалённых районах, в т.ч. и на Крайнем Севере и в Сибири.

Для реализации этой идеи необходимо было решить ряд частных задач: сконструировать малогабаритный реактор, который можно было разместить на транспортном средстве. Коль идея передвижной атомной электростанции пришла в голову Е.П. Славскому - министру среднего машиностроения СССР, в ведении которого была атомная промышленность, то ему же и пришлось воплощать её в жизнь. В 1955 г. Славский посетил Ленинградский Кировский завод и предложил его директору - И.М. Синеву - участвовать в разработке мобильной атомной электростанции.

По первому проекту передвижная АЭС должна была транспортироваться по железной дороге. Вместе с ЛКЗ этот проект разрабатывал Ярославский паровозостроительный завод. Предусматривались два варианта - одноконтурная схема с газотурбинной установкой и схема с использованием паротурбинной установки самого локомотива. По мере проработки проекта к его реализации подключились и другие учёные и инженеры различных организаций и предприятий. Одной из таких организаций стала "Лаборатория В" (будущий обнинский Физико-энергетический институт (ныне ФГУП "ГНЦ РФ - ФЭИ")). Именно здесь в 1957 году был завершён эскизный проект передвижной станции. Его авторы - Юрий Анатольевич Сергеев и Дмитрий Леонидович Бродер предложили установить электростанцию на гусеничный транспортёр. В качестве основы для проектирования транспортёра был взят танк Т-10М, у которого, естественно, убрали всё, что касалось вооружения, а ходовую часть немного изменили - для перевозки достаточно массивных и габаритных конструкций реактора, парогенераторов, паровой турбины и других элементов потребовалось увеличить длину машины, поставить большее количество катков (вместо семи - десять) и более широкие гусеницы. В таком виде передвижная станция действительно стала вездеходной. Опытные образцы станции, получившей название ТЭС-3, были созданы на ЛКЗ спустя два года.

Установка ТЭС-3, введенная в эксплуатацию в 1961 г., являлась опытным образцом крупноблочной транспортабельной атомной электростанции небольшой мощности.

Станция выполнена по двухконтурной схеме с гетерогенным водо-водяным реактором тепловой мощностью 8,8 МВт, охлаждаемым водой под давлением 130 ат при температурах на входе реактора 275 °С и на выходе 300 °С. Расход воды в первом контуре установки 320 т/ч.

В активной зоне реактора, имеющей форму цилиндра высотой 600 и диаметром 660 мм, размещены 74 тепловыделяющие сборки с высокообогащенным ураном. В качестве топливной композиции использовался интерметаллид UAl_3 , залитый силумином $SiAl$. Сборки представляли собой два коаксиальных кольца с этой топливной композицией. Подобная схема была разработана специально для ТЭС-3.

Мощность турбогенератора станции 1,5 МВт, однако три ее парогенератора могут давать пар давлением 20 ат и температу-

рой 285 °С в количестве, достаточном для получения мощности на валу турбины до 2 МВт. Длительность кампании реактора (время работы тепловыделяющей сборки) 250 суток, а при частичной догрузке тепловыделяющих элементов - до одного года.

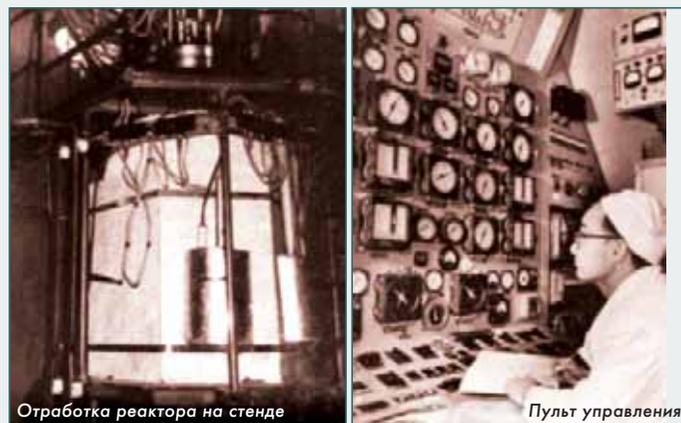
Все оборудование станции размещено на четырех гусеничных самоходных транспортерах. Первый энергосамоход нес на себе ядерный реактор с транспортируемой биозащитой и специальный воздушный радиатор для снятия остаточного охлаждения. На второй машине монтировались парогенераторы, компенсатор объема, а также циркуляционные насосы для подпитки первого контура. Собственно выработка электроэнергии была функцией третьего энергосамохода, где размещался турбогенератор с оборудованием конденсатно-питательного тракта. Четвертая машина играла роль пункта управления ПАЭС, а также имела резервное энергетическое оборудование. Здесь находились пульт и главный щит со средствами пуска, пусковой дизель-генератор и блок аккумуляторных батарей. Общий вес оборудования, установленного на самоходах, около 210 т.



Один из самоходных транспортёров

Для защиты от излучения во время работы вокруг первых двух самоходов сооружается на месте эксплуатации земляная защита. Кроме того, реакторный самоход снабжен транспортируемой биологической защитой, позволяющей производить монтажные и демонтажные работы уже через несколько часов после остановки реактора, а также перевозить реактор с частично или полностью выгоревшей активной зоной. При транспортировке охлаждение реактора осуществляется с помощью воздушного радиатора, обеспечивающего съем до 0,3 % номинальной мощности установки.

Эксплуатация ТЭС-3 подтвердила ее работоспособность, позволила уточнить принципы АЭС и АТЭС для дальних районов, впервые осуществить опыт эксплуатации АЭС в режиме саморегулирования. □



Отработка реактора на стенде

Пульт управления

Sodick

www.sodicom.biz
info@sodick.ru

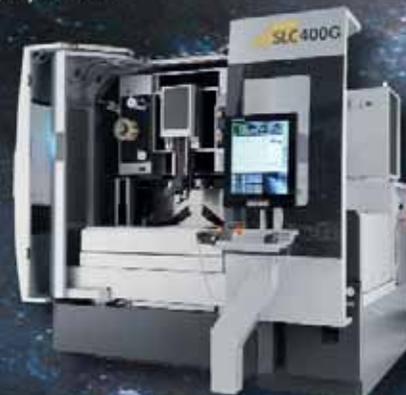


40000 линейных электроискровых станков в эксплуатации

(свыше **700** в России, Украине и др. государствах
бывшего СССР; на 12.2015 г.)

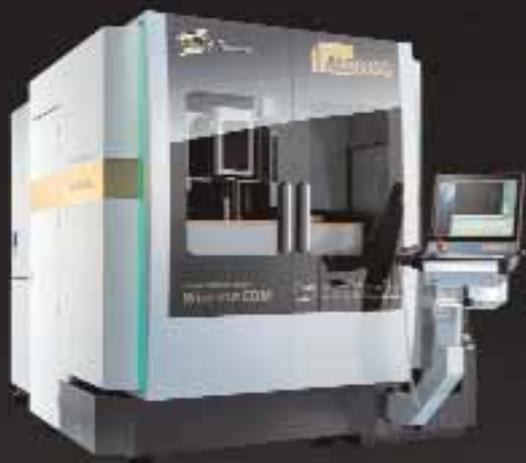
Единственный в мире изготовитель электроискровых (электроэрозионных) станков с проверенными временем плоскопараллельными линейными двигателями (ЛД).
Производство электроискровых линейных станков (станков с ЛД) с 1998 г.
Все линейные станки Sodick, включая самые первые 1998-1999 гг., по настоящий момент сохраняют неизменную точность позиционирования!

Испытанные пятнадцатью годами эксплуатации плоскопараллельные ЛД, разработанные для ЭИ станков, и ЭИ станки, сконструированные специально под плоскопараллельные ЛД. Собственная разработка, опытно-конструкторские работы, а также производство ЛД, Nd-Fe-B магнитов и систем управления для ЛД.
Собственные системы компьютерных ЧПУ, ПО и CAD/CAM.



Точность позиционирования:
гарантия **10** лет
Впервые в отрасли!
с 1998 г.

60 лет опыта производства ЭИ станков!



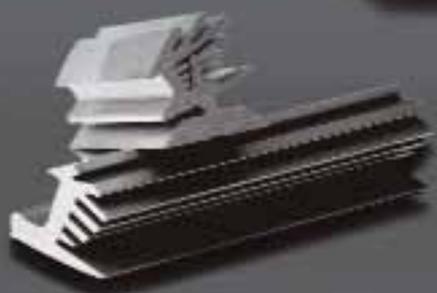
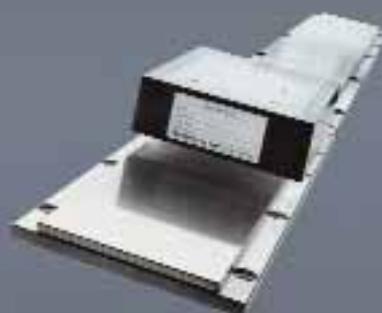
Smart Pulse & Smart Linear

**ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ
ПРОВОЛОЧНО-ВЫРЕЗНЫЕ СТАНКИ**

**УЛУЧШЕННАЯ
ШЕРОХОВАТОСТЬ**



ALC 400G
ALC 600G



**ЭИ станки с жесткими
плоско-параллельными
линейными приводами.**

**42 000 ЭИ линейных
станков – с 1998 года.**

Sodick



7 ARGUMENTE
FÜR EINE HERMLE

Настоящие марафонцы – с постоянной высокой производительностью.

Обработывающие центры с уникальной долговременной точностью обработки.

Крупные серии – это зачастую сотни тысяч и даже миллионы деталей. А циклы производства, как правило, весьма продолжительны. Благодаря повторяемости и долговременной точности обработки, обрабатывающие центры Hermle обеспечивают неизменно высочайшее качество продукции.

Больше информации о долговременной точности обработки наших обрабатывающих центров см. по адресу: hermle3.de.

127018, Москва,
ул. Полковная, д. 1, стр. 4.
Тел.: +7 495 627 3634.
Факс: +7 495 627 3635.
www.hermle-vostok.ru

