Авенадцатый МАКС— 2017 года прошёл. А стр. 13

TEXHUYECKIN SKIPHAND

Сентябрь - начало года. Учебного. Каким он будет для нас?...

AAA HUX?..

Каким они сделают этот мир? стр. 2



### Fieri faciendo opere (Дело делается делающими дело) Business is doing business

2007 2005 2004

ASIM TO



### Редакционный совет

Агульник А.Б., д.т.н.,

заведующий кафедрой "Теория воздушнореактивных двигателей" МАЙ

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, ЙГТУ 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

Григорян Г.Г., д.т.н.,

вице-президент Общества "Знание" России

Дическул М.Д.,

зам. управляющего директора ОАО "ОДК"

Дмитриев В.Г., д.т.н.,

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"

## 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 Аркадьевич Гомберг, 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: (495) 362-3925. dvigatell@yandex.ru boeff@yandex.ru aib50@yandex.ru www.dvigately.ru

Электронная версия журнала (2006-2016 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 1630 в общероссийском Перечне 2015 г.

Научно-технический журнал "Двигатель" © зарегистрирован в ГК РФ по печати. Рег. № 018414 от 11.01.1999 г. 18-й (110-й) год издания. Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати" Москва. Тираж 5 000 <u>экз.</u>

Периодичность: 6 выпусков в год.

### СОДЕРЖАНИЕ

- Пуск учебного процесса в МАИ. 87-й год: Полёт нормальный! Д.А. Боев
- 4 Перспективы развития и применения способа центробежного литья в области создания новых материалов на основе легких сплавов А.П. Петров, В.В. Еремеев, Н.В. Еремеев, И.О. Краснобородько, И.М. Злыднев
- 9 HS flex адаптивная манипуляционная система
- 10 Разработка и исследование нового жаропрочного никелевого сплава для дисков газотурбинных двигателей и установок

А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин, Д. В. Данилов, Ш.Х. Мухтаров, А.М. Михайлов

- 13 Мы всегда с теми, кто делает дело!
- 13 Итоги работы МАКС-201714 Результаты экспериментального исследования высокотемпературного газогенератора с целью создания перспективного варианта двигателя с **Т**\*, 1800 K

А.И. Ланшин, А.А. Церетели

19 К 110-летию выхода первого номера журнала "Двигатель"

А.И. Бажанов, Д.А. Боев

- 20 Регулирование осевых сил на радиально-упорных подшипниках и критических частот вращения роторов гидродинамическими силами Ю.Б. Назаренко
- 23 Турбулентность. Энтропийные потоки и коэффициенты переноса Ю.М. Кочетков
- 26 Тридцать три года в ракетной технике: успехи, разногласия, конфликты В.Ф. Рахманин
- 36 Первые отечественные летающие лаборатории для испытания опытных авиадвигателей А. Симонов
- 38 Новый курс истории и конструкции авиационных двигателей профессора В.А. Зрелова
- 40 Авиадвигатели двадцатых и тридцатых годов XX века в музеях России
  - Д.А. Соболев, М.Я. Стребков
- "Олдтаймер-галерея" 2017 год А.И. Бажанов
- 48 Славные имена инженерии Отечества. Борис Григорьевич Луцкой Д.А. Боев
- 54 Bosch Moskau Klassik ралли старинных автомобилей
- 56 О проблематике интеграции профессиональных стандартов и системы высшего образования М.А. Шаронов, О.В. Шаронова
- 58 Взлётная полоса кадетов В.П. Кузьмичев, Е.А. Шевцова
- 60 Золотые памятные медали России выпуска до 1917 года на международных нумизматических аукционах
- А.В. Барановский 62 Танки от и до
- О.Н. Брилёв



# ОБРАЗОВАНИЕ процесса в маи Ет нормальны

ый директор журнала "Двигатель", помощник проректора МАИ по научной работе, текстовая информация - при участии сайта https://mai.ru/

СЕНТЯБРЯ 2017 Г.



Мы живём во времена перемен. Университету тоже необходи-

мо постоянно меняться и развиваться, чтобы подготовленные здесь инженерные кадры, как и всегда, соответствовали самым современным и актуальными требованиями заказчиков-работодателей наших выпускников. Про-

шедший 1 сентября в МАИ День Знаний наглядно

продемонстрировал: и в университете это понимают и справляется с этими задачами, и студенты это поддерживают и оценивают правильно. Уровень подготовки абитуриентов этого года весьма и весьма высок. Это

означает, что и молодёжь пра-

вильно восприняла вызов времени на получение практически нуж-

Поэтому и стал День знаний

МАИ праздником для всех причастных. В этом празднике, включающем в себя десятки активностей и торжественных событий, приняли участие тысячи первокурсников, студентов старших курсов, выпускников универси-

составляющих

С приветствен-

ным словом к

каждой ко-

МАИ

Второй пошёл

тета, почётных гостей и МАИ.



курсников Івляет

лонне обращались деканы этих факультетов. Отдельную колонну составили первокурсники из других государств: в этом году в МАИ начнут обучение студенты более

> чем из со-0 стран.

Когда все собрались на Ри-



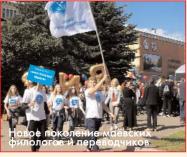
туальной площади в центре института, к первокурсникам обратился ректор МАИ, выпускник института, известный авиаконструктор, доктор технических наук, академик РАН Михаил Асланович Погосян: "Желаю, чтобы те возможности, которые вам прелоставляются

в универси-

тете, вы сумели использовать максимально эффективно. Я уверен,

первокурсников

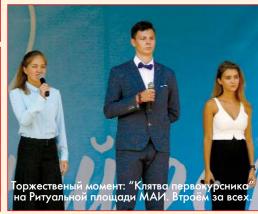
что ваш выбор МАИ не случаен: нам повезло сегодня быть здесь вместе, и именно так



мы добьёмся новых успехов. Знаю точно: в МАИ вы сумеете реализовать свои таланты









Лично поздравить маёвских первокурсников пришли и другие маёвцы прошлых лет: руководитель Федерального агентства по делам молодёжи Александр Бугаев, лётчик-кос-

монавт, Герой России Михаил Тюрин, а также другие известные выпускники университета: предприниматели, государственные и общественные деятели.

В праздничную программу Дня знаний вошли и два торжественных открытия новых корпусов МАИ. Гости церемонии смогли

первыми войти в обновлённый корпус факультета № 2 "Двигатели летательных аппаратов" и посетить новую территорию Военного института МАИ. А на самом обновлённом Моторном факультете при поддержке ОКБ Люлька открыли новую аудиторию имени Генерального конструктора двигате-



Первокурсникам раздают маршрутные карты Дня Заании

лей А.М. Люльки и подписали договор с ОКБ "Энергомаш", которым долгое время руководил В.П. Глушко, о целевой подготовке специалистов для этой фирмы и о помощи в оснащении именной аудитории этого великого конструктора.

В этот день первым выпускникам Учебного военного центра при

МАИ было прис-

воено первое офицерское звание "лейтенант" и вручены первые в их жизни офицерские погоны.

Но, конечно, День знаний в МАИ включал в себе не только официальные мероприятия. 1 сентября, это, в первую очередь, праздник студентов, а значит,

именно они стали главными героя-



ми сегодняшнего дня. Для своих первокурсников университет подготовил массу сюрпризов, которые помогли ребятам узнать о том, какой неповторимой и насыщенной может быть студенческая жизнь.

На главной сцене праздника проходила развлекательная программа с конкурсами и розыгрышами подарков. Также в День знаний на территории вуза прошли спортивные состязания, сдача норм ПО, работала интерактивная зона научно-технического



творчества и аттракционы. Украсили праздник и показательные полёты авиамоделистов и спортсменов-дронрейсеров, а также концерт с участием творческих коллективов.

Завершился День знаний























зажигательным выступлением битбоксера Вахтанга, который привлёк своим выступлением множество маёвцев. Все главные события праздника транслировались в прямом эфире в социальных сетях университета: так приобщиться к празднику могли даже те, кто не смог лично

посетить МАИ в этот радостный день.



## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБА ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет):

Анатолий Павлович Петров, профессор, д.т.н. Владимир Викторович Еремеев, доцент, к.т.н. Николай Владимирович Еремеев, доцент, к.т.н. Иван Олегович Краснобородько, аспирант Иван Михайлович Злыднев, аспирант

Российскими учеными выполнены весьма обстоятельные теоретические и практические разработки и обобщения в области центробежного литья. Намечены перспективные направления и подходы в решения задач создания новых материалов и изделий на основе легких сплавов с использованием способов центробежного литья.

Russian scientists performed a very thorough theoretical and practical developments and generalizations in the field of centrifugal casting. Perspective directions and approaches to solve the problems of creating new materials and products based on light alloys using the methods of centrifugal casting.

Ключевые слова: сплав, структура, интерметаллид, центробежное литье, изложница.

Keywords: alloy, structure, intermetallic compound, centrifugal casting, mold.

В последнее время потребителями и конструкторами в металлургии все в большей степени предъявляются требования к коэффициенту использования металла (КИМ), повышению физико-механических характеристик сплавов, созданию новых типов сплавов с уникальными характеристиками. В этом отношении способ центробежного литья (ЦБЛ) в форму с вертикальной осью вращения (рис. 1) представляет значительный интерес, так как позволяет получать полые (кольцеобразные, фасонные) отливки, что исключает в ряде случаев операции прошивки при деформационной обработке (например, прессование труб, штамповка лопастных колес турбокомпрессоров и др.). Кроме того, способ ЦБЛ благодаря высокой скорости охлаждения расплава и действию значительных нестационарных полей обеспечивает формирование в отливках субмикрокристаллических структур. Вращательное движение жидкого расплава освобождает металл от газовых пузырей и различных неметаллических включений, увеличивая плотность и гомогенность строения отливки, что является необходимым условием для последующей обработки металлов давлением (ОМД).

Становление способа ЦБЛ прошло длительный путь развития. Первый патент был получен в 1809 г. в Англии (А. Эккерт), но практического применения способ в те времена не нашел. Следующий патент получил спустя 40 лет Т. Лоугрои на литье труб, но опыт не дал положительного результата и работы были прекращены. Только в 1910 г. О. Борде окончательно отработал технологию отливки чугунных водопроводных труб.

В СССР работы по ЦБЛ были начаты во второй пятилетке, при этом не удалось воспользоваться накопленным зарубежным опытом, т.к. иностранные фирмы поставили неприемлемые условия для предоставления технической помощи. Первые центробежные машины для литья труб были построены в 1936 г., а освоение литья широко развернулось только в послевоенный период, начиная с 1948 г. По-видимому, первой книгой является "Центробежное литье

Рис. 1 Принципиальная схема участка центробежного литья: 1 - индукционная литейная печь; 2 - литейный лоток; 3 - миксер; 4 - центробежная установка для литья кольцевых заготовок

и трубо-литейное производство" С.Е. Розенфельда, 1946 г. Далее хронологически следуют "Основы центробежного литья" С.Е. Розенфельда и сотрудников, 1947 г., а также "Основы центробежного литья" П.Г. Новикова и др. в сборнике ВНИТОЛ "Центробежное литье", 1948 г. После большого перерыва выходит книга "Центробежное литье" С.Б. Юдина и М.М. Левина, 1972 г., которая неоднократно переиздавалась.

Российскими учеными выполнены весьма обстоятельные теоретические и практические разработки и обобщения в области центробежного литья легких сплавов.

В 1950 г. вышла первая и единственная книга, посвященная теории и практике литья алюминиевых сплавов-силуминов: А.М. Байков "Центробежное литье алюминиевых сплавов и их литейные свойства"

Только в немногочисленных статьях освещаются вопросы литья алюминиевых сплавов-силуминов (АЛ2, АЛ9 и т.д.), размер отливок не превышает 400 мм с толщиной стенки до 30 мм. Сложилось мнение, что вследствие малой плотности алюминиевых, магниевых и титановых сплавов и склонности их к окислению, получение из них качественных отливок затруднительно. Безусловно, центробежное литье алюминиевых сплавов - это прогрессивный способ производства фасонных изделий с формой тел вращения при крупносерийном их изготовлении.

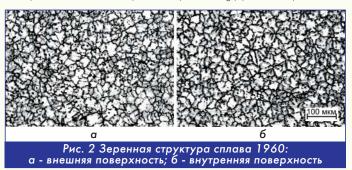
В формах с вертикальной осью вращения получают отливки тонкостенные с извилистыми очертаниями, а также с тонким и сложным рельефом. Хотя и считается, что наиболее технологичны сплавы эвтектического состава, а также типа твердых растворов с узким температурным интервалом затвердевания, все же перечень сплавов можно расширить при использовании различных технологических приемов, направленных на повышение качества отливок: интенсификация направленного теплоотвода, вакуумирование формы и литье в защитной атмосфере, литье под легкоплавким защитным флюсом (например, карналлитом), динамическое воздействие на кристаллизующийся металл, автоматическое регулирование скорости подачи (литья) металла и др.

Центробежное литье применяют при изготовлении сложных фасонных отливок из литейных титановых сплавов типа ВТ5Л, ВТ9Л и др., толщина стенки отливок обычно не превышает 8 мм (чаще 4...6 мм) при диаметре в широком интервале от 100 до 400 мм и более. В 2016 г. работниками МИСИС для крупногабаритных отливок сложной формы из жаропрочных и химически активных сплавов предложена литейная форма и литниковая система диаметром более 1000 мм для отливок с толщиной стенки 2,5...3,5 мм.

Считается, что вращение вокруг вертикальной оси рациональнее для мелких фасонных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов. При литье заготовок небольшой массы способ занимает

промежуточное место (по механическим свойствам) между литьем в кокиль и полунепрерывным литьем в кристаллизатор. По характеру кристаллизации толстостенные кольцевые заготовки (стенка 250...300 мм) приближаются к крупному слитку (диаметром более 600 мм). Умение лить крупногабаритные заготовки центробежным способом на сегодняшний день крайне важно, об этом мы скажем далее, а пока рассмотрим подробнее преимущества способа ЦБЛ сплавов, типа твердого раствора и некоторых других "экзотических" сплавов с толщиной стенки ≤50 мм.

Скорость охлаждения кольцеобразных отливок при литье в холодную металлическую форму составляет от 50 до 150...200 °С/с, что значительно выше, чем при литье в слиток. Появляется возможность повысить уровень содержания в сплаве легирующих металлов, особенно переходной группы (циркония, гафния и др.). Высокая скорость охлаждения сплава в совокупности с модификаторами зародышевого действия, позволяет получить очень мелкое зерно в отливке (рис. 2), по-видимому, близкое субдендритному, что резко увеличивает пластичность материала. Обращает на себя внимание факт измельчения первичной фазы ZrAl<sub>3</sub> (при 0,5%Zr).



Зерно измельчается еще в результате перемешивания расплава при формировании отливки из-за наличия большого количества обломков дендритов. Сочетание повышенной скорости охлаждения и наличие модификаторов зародышевого действия (частицыТіАІ<sub>3</sub> и др.) приводит к предельному измельчению, фактором ограничения которого является переохлаждение на фронте кристаллизации. Механизм формирования такой специфической структуры считается таким: при большом числе активных центров кристаллизации в единице объема начинающие расти дендриты не успевают выбросить ветви второго порядка до соприкосновения с соседними (такими же) дендритами. Процесс кристаллизации отливки завершится на начальной стадии роста каждого дендрита. Наряду с измельчением зерна диспергируются и другие элементы среды, в частности частицы вторых фаз, микропоры и т.д.

Причиной интенсивного измельчения структуры является также особенность ЦБЛ, связанная с возникновением центробежной силы и, как следствие, давление на каждый элементарный объем жидкого сплава. Известно, что температура плавления металлов, входящих в состав алюминиевого сплава, изменяется прямо пропорционально величине давления:  $\Delta t = k \cdot P$ , °C; где k для алюминия, меди, магния, марганца равен, соответственно: 0,7; 0,37; 0,77; 0,37. Можно предположить, что рост температуры конца плавления сплава, например, АМг6, будет близким и по величине, и по знаку к приросту для чистого алюминия, иначе говоря, изотермически сдвигается интервал кристаллизации сплава. Затвердевание наступит тогда, когда прирост температуры плавления от давления перекроет повышение температуры сплава от выделения скрытой теплоты плавления. Переход из жидкого состояния в твердое произойдет без отвода тепла, скорость отвода тепла заменяется скоростью приложения давления [1-2]. Чтобы в полной мере реализовать описанное явление, нужно очень высокое давление: интервал кристаллизации сплава АМг6 порядка 90 °С, значит P = 90/0.7 = 130 атм.

Давление при ЦБЛ невысокое, например, по расчету при отливке заготовки Ø1000x500 мм оно изменяется от 10 до 1,5 атм при скорости вращения 600 об/мин. В реальных условиях оно еще меньше, так как расчеты проводились для идеальной жидкости (т.е. без учета изменения агрегатного состояния). И, тем не ме-

нее, даже давление в 1...2 атм повлияет на структуру отливки, в первую очередь на уменьшение размера зерна, особенно в толстостенных отливках.

Мелкое зерно в кольцевых отливках небольшой толщины под-

водит нас к мысли использовать такой материал для изготовления некоторых полуфабрикатов из сплавов, проявляющих эффект сверхпластичности. Многие исследователи считают, что для этого (сверхпластичности) необходимо, чтобы мелкозернистая исходная структура сохранилась в процессе пластического деформирования при высоких температурах (рис. 3). В табл. 1 приведены показатели сверхпластического состояния ряда сплав [3-4], отметим, что большинство алюминиевых сплавов сверхпластичны, даже самый прочный высоколегированный сплав 1960, имеющий в обычном состоянии очень низкую технологическую пластичность - после деформационно-термической обработки (горячепрессованный пруток подверга-

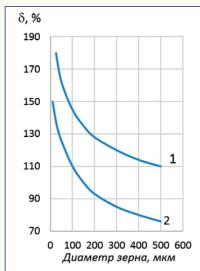


Рис. 3 Влияние размеров зерна в слитке сплава 1960 на пластичность при температурах горячей деформации:
1 - температура испытания 400 °C;
2 - температура испытания 350 °C

ли теплой прокатке на  $\varepsilon$  = 90 %) при нагреве 470 °C проявляет сверхпластичность.

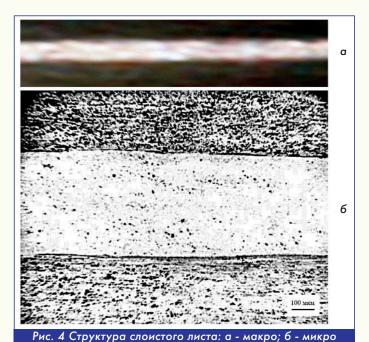
Таблица

Показатели сверхпластичного состояния алюминиевых сплавов							
Сплав	1960	АМг6	r6 AKY-1 1420		1993		
Размер зерна, мкм	56	910	910	56	15		
t, °C	470	420	530	450	520		
E, c <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>	10-5	10 <del>-4</del>	10-4	10-4		
δ,%	230850	410	230	700	520		

Низкая технологическая пластичность высокопрочных сплавов системы Al-Cu-Mg-Zn (существенно) ограничивает их использование в производстве тонкостенных изделий. Например, традиционная технология изготовления профиля окантовки иллюминаторов воздушного судна сейчас основана на применении методов листовой штамповки и последующей механической обработки, что характеризуется очень низким КИМ (17 %) и требует сложного оборудования, большого количества комплектующих единиц и крепежных элементов. Использование эффекта структурной сверхпластичности при объемной штамповке сплава 1993 позволит за одну операцию получить деталь сложной формы, которая к тому же будет близка к чистовой.

Проведенные исследования убедили нас в перспективности ЦБЛ при создании слоистых композиционных материалов, а именно, последовательной заливкой различных сплавов во вращающуюся форму. Литье представляет собой заливку металлов с временным перерывом между ними. По требованию заказчика мы отливали двух и трехслойные заготовки из сплавов АМг6, АД1 и 1960 с толщиной слоя из АД1 от 5 до 20 мм и сплава от 30 до 60 мм. Обычно выдержка перед заливкой второго слоя составляла 5-10 с. Средний размер зерна в слое 1960 и АМг6 был не более 0,3 мм. Из заготовок прессовали трубы и раскатывали листы. На рис. 4 приведена структура композиции 1960-АД1-1960. Изучение структуры соединения слоистых компонентов показывает присутствие в зоне соединения общих зерен, подвергнутых рекристаллизации, что свидетельствует о хорошем их соединении.

Так же была опробована технология центробежного литья сплава типа AI-Mg с содержанием магния до 12 %, листы из кото-



рого предполагали использовать для кузовов легковых автомобилей. Никаких серьезных затруднений при литье не было, раскатка также на лист толщиной до  $2\,\mathrm{mm}$  прошла успешно.

В работе [5] приведены результаты исследования деформируемого высокопрочного сплава с содержанием 10 % Mg с добавками Zr, Ti, B, Co. Стандартные механические свойства листового материала различных плавок (партий) приближаются к свойствам низкоуглеродистой стали 08ГСЮТ(Ф), используемой для деталей машиностроения:  $\sigma_{\rm B}=385...400~{\rm M}$ Па,  $\sigma_{0,2}=195...210~{\rm M}$ Па,  $\delta_5=36...40$ % и  $\delta_p=28...30$ %. Эти показатели превосходят как отечественные, так и зарубежные характеристики алюминиевых сплавов системы Al-Mg, причем показатель деформационного упрочнения n - степень увеличения истинного предела текучести при определенной степени деформации для стали 08ГСЮТ(Ф), 08ЮОСВ и AMr10, соответственно 0,35, 0,33 и 0,33.

Не вызвало трудностей литье кольцевых заготовок (Ø 300х270) из сплава системы Al-P3M, с последующей прокаткой до толщин от 2 до 0,12 мм. Полученная фольга использовалась заказчиком для контроля качества точечной и роликовой сварки листов из сплавов АМг, так называемый сплав-свидетель взамен сплава Al-Ag.

В последнее время интерес к ЦБЛ вырос в связи с необходимостью изготовления раскаткой крупногабаритных кольцевых изделий из алюминиевых деформационных сплавов типа твердого раствора (АМг6, 1201). Нужно отметить, что литье заготовок из этих сплавов имеет ряд существенных отличий от сплавов эвтектического типа.

В настоящее время крупногабаритные кольцевые изделия получают двумя способами:

- Из прессованной полосы, которую сворачивают в кольцо и сваривают, затем раскатывают.
- 2. Из слитка, заготовки из которого обтачивают, осаживают на прессе, оковывают, прошивают в центре отверстие, придают точные размеры заготовке и раскатывают. Процессы эти весьма трудоемки, многократные технологические нагревы не способствуют получению высокого качества продукции, к тому же КИМ невысокий, а сварка толстых полос (100...150 мм) затруднена.

Мы считаем, что названные полуфабрикаты целесообразнее получать из кольцевой заготовки, отлитой способом центробежного литья и аналогично раскатанной [6-7]. С этой целью в МАИ (лаборатория УНПЛ "ТОМД") были проведены исследования и ряд экспериментов по отработке технологической схемы получения из алюминиевых сплавов различного назначения кольцевых заготовок способом центробежного литья с последующей их деформационной обработкой. В лабораторных условиях отлили кольцевые заготовки диаметром 300х200 мм высотой 50 мм, из сплава АМг6, ко-

торые гомогенизировали, обточили и раскатали при температуре 380...400 °С; механические свойства кольца в долевом направлении приведены в табл. 2.

Приобретя определенный опыт, отлили (сплав АМг6) заготовку Ø1000x500 мм высотой 200 мм. К сожалению, обстоятельства не позволили провести комплекс мероприятий по очистке сплава от неметаллических включений. В литературе нет сведений по особенностям формирования структуры таких массивных отливок из алюминиевых сплавов, поэтому параметры литья выбрали произвольно. Тем не менее, механические свойства раскатанных колец оказались достаточными, на уровне нижнего предела по ОСТ 90073 (см. табл. 2).

T /	,
Таблица	4

Механические свойства раскатанных колец								
	Размер заготовки, мм							
№ обр.	Ø300x200			Ø1200x700				
оор.	$\sigma_{\!\scriptscriptstyle  m B}$ , МПа	$\sigma_{ extsf{0,2}}$ , МПа	δ,%	$\sigma_{\!\scriptscriptstyle  m B}$ , МПа	$\sigma_{ extsf{0,2}}$ , МПа	δ,%		
1	371	213	10,7	325	175	13,0		
2	378	202	10,7	350	180	17,5		
3	354*	201*	11,7*	335	175	17,0		
4	352*	194*	11,0*	345	175	19,5		

\*-поперечное направление

Отметим еще небрежно приготовленную плавку из-за отсутствия должного опыта: содержание магния в плавке было на нижнем пределе (6,23 %) при явном превышении титана (0,18...0,19 % при требуемых 0,03...0,09 по ГОСТУ).

Между прочим, на немецкой фирме Metallgiesserei Hundtund Weber еще в 2000 г. отлили толстостенные кольца из алюминиевых сплавов диаметром до 1800 мм высотой 200 мм на машине с вертикальной осью вращения, а также диаметром до 1000 мм длиной до 1000 мм на машине с горизонтальной осью вращения (параметры литья и назначение не сообщаются).

В мире широко развиваются композиционные, градиентные материалы, в том числе на алюминиевой основе. Композиционными принято называть материалы, состоящие как минимум из двух разнородных компонентов, имеющих четкую границу раздела. Армирующими компонентами могут быть металлы, их окислы, карбиды бора и др. Технологии получения КМ основаны:

- либо на объемном сочетании готовых компонентов, например, Al+ZrO<sub>2</sub> и др.;
- либо на формировании армирующего наполнителя непосредственно в матрице (Al-Si).

За последние несколько лет композиты с алюминиевой матрицей используют в автомобильной и аэрокосмической промышленности. Сочетание легкого веса, прочности и физических свойств, способствует их широкому применению. Наиболее широко в качестве армирующего материала применяются карбид кремния, карбид бора, оксид алюминия и графит, особенно в аэрокосмической промышленности. Этому способствует в первую очередь, поведение этих материалов при термическом расширении (КТР), тогда как алюминиевый сплав имеет  $\alpha \approx 24\cdot10^{-6}$  1/град. В случае использования КМ имеется возможность значительно снизить величину КТР. Например, введение в алюминиевую матрицу 20 % частиц SiC позволяет получить  $\alpha \approx 15\cdot10^{-6}$  1/град. Это свойство КМ имеет особое значение для конструкций спутников, на которые воздействуют большие разницы температур (от -150 до +200 °C).

В 1983 г. фирма "Тойота" разработала поршень из КМ для дизельных двигателей, а в СССР уже в 1955 г. изготавливали поршневые заготовки способом центробежного литья. К преимуществам поршней из КМ относятся контролируемое термическое расширение и повышенная износостойкость, в том числе к абразивному износу.

Центробежный способ литья КМ на алюминиевой основе рассмотрен в нескольких работах, опубликованных за последние годы.

В работах А.В. Попова теоретически рассмотрена зависи-

мость влияния температуры расплава, давления в расплаве и действующего на расплав гравитационного коэффициента (GK), варьирующие по модулю, знаку и основным производным на кинетику кристаллизационных процессов металлов и сплавов при ЦБЛ. Направленная кристаллизация при воздействии наложенного силового поля центрифуги позволяет активно влиять на качество твердых растворов при форсировании процессов диффузии, организации преимущественной кристаллографической ориентации, формировании заданной величины зерна отливок от монокристаллической до субдендритной. Таким образом, результатом применения неравномерных и нестационарных искусственных силовых полей является возникновение в расплавах избыточных давлений, что приводит к повышению температуры затвердевания. Чтобы реализовать полностью данные положения необходимы очень высокие давления, которые в настоящее время достичь невозможно, что было продемонстрировано выше на примере сплава АМг6. Однако теоретические и экспериментальные исследования, проведенные А.В. Поповым, послужили большим заделом в области создания сплавов с заданной структурой и свойствами в условиях искусственных, нестационарных силовых полей, а также способствовали разработке новых технологических подходов в развитии ЦБЛ.

В 2012 году вышла работа Анисимова О.В. по технологии получения композиционных материалов на основе алюминия, упрочненных дисперсными наночастицами ZrO<sub>2</sub> и SiC в поле центробежных сил центрифуги [8]. Исследования механических свойств композиционного материала, на основе алюминия, упрочненного нанодисперсными частицами и полученного в поле центрифуги, показали, что максимальные прочностные свойства были получены при введении упрочняющих частиц при содержании 0,01...0,3 масс.%. При содержании ZrO<sub>2</sub> в количестве 0,3 масс.% прочность на растяжении составляет 210 МПа, а при содержании SiC в количестве 1 масс.% прочность на растяжение составляет 175 МПа. Испытания на сухое трение скольжения исследуемых композиционных материалов против контртела из закаленной стали (HRC>45) в диапазоне трибонагружения 5...10 показали, что введение армирующих частиц в матричные сплавы стабилизирует процесс трения, расширяет допустимый диапазон трибонагружения, снижает коэффициент трения и повышает износостойкость.

В 2016 году А. Трапезников (ВИАМ) и Е. Гончаренко (МГТУ) изучили возможность получения КМ способом ЦБЛ с целью формирования градиентной структуры [9-11]. На основе сплава АК8М был приготовлен сплав с 22 % Si и 10 % SiC (40 мкм) и отлит в форму, вращающуюся со скоростью 1500 об/мин. Хотя отливка имела много пор с внутренней стороны, по мнению исследователей, это можно трактовать как полезный момент, т.к. при использовании заэвтектических силуминов в трущихся механизмах смазочный материал, попадая в поры, может служить тем резервом, благодаря которому продлевается срок службы механизма. В деталях типа "зубчатое колесо" или "втулка подшипника" требуется высокая твердость поверхности. Центробежные силы влияют на ликвацию включений: могут оттеснить тяжелые частицы на наружную поверхность отливки, а легкие - на внутреннюю. Таким образом, ЦБЛ как нельзя лучше подходит для получения деталей с градиентной структурой.

Получение лигатуры Al-B пока является камнем преткновения для наших технологов, между тем за рубежом давно налажен выпуск лигатур с 3...5 % бора. Малые добавки ( $\leq 0.03$  %) бора в плавки электротехнического алюминия повышают на 15 % электропроводность проводов благодаря удалению вредных примесей Ti, Zr, V, Cr из сплава - образующиеся бориды ликвируют на подину печи. В настоящее время лигатуру Al- $\{1...1,5\}$ %В получают в лабораторном масштабе из соли КВF4, в которой содержится всего 8,9 % В. Процесс экологически весьма грязный, из-за высокой летучести соли, к тому же разрушается футеровка печи. Мы опробовали технологию получения лигатуры путем введения во вращающуюся форму одновременно жидкого алюминия и порошка карбида бора ( $B_4$ C), в котором содержание бора до 78 %. Известно, что порошкообразные материалы, в том числе металлические, чрезвычайно трудно

замешивать в жидкий алюминий, но центробежным литьем мы ввели в него 22 % порошка карбида. Полученную композит-лигатуру переплавили в высокочастотной печи, в первой плавке получили 3 % бора (расчет был на 3,5 %), во второй - 4 % (расчет на 4,3 %).

Способ ЦБЛ весьма перспективен в области разработки сплавов для пайки алюминиевых конструкций. Очень важно, чтобы изделия из них (проволока, листы, фольга) имели мелкокристаллическое строение, особенно в отношении включений вторых фаз и первичных интерметаллидов. Этого можно добиться, если использовать в шихте высококачественные лигатуры.

Способ центробежного литья сплавов системы Al-In и сплавов с добавками Pb имеет преимущество перед всеми другими способами, исключая гранулирование в воду, но последний чрезвычайно затратный. Пластины сплавов Al-In применяют в альтернативных источниках тока. Основная трудность при литье - организовать равномерное распределение частиц индия (в твердом алюминии он не растворяется) по объему твердой заготовки (пластины). Причиной трудности является слишком значительная разница в температуре плавления алюминия и индия (659 °С и 150 °С), а также высокая плотность последнего (6,5 г/см³). Введение традиционных модификаторов в сплав не допускается, так как они (Ті, Zr, В) ухудшают электрохимические показатели. Единственный способ - повысить скорость кристаллизации сплава, что и позволяет способ ЦБЛ (рис. 5).

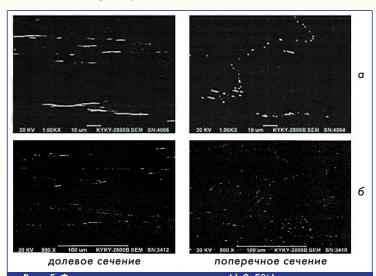
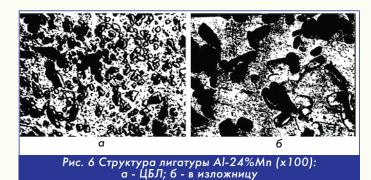


Рис. 5 Фазы в сечении листа сплава Al-0,5%In, полученного прокаткой из отливки: а - в изложницу; б - ЦБЛ

Известно наследственное влияние структуры шихтовых материалов (лигатур и отходов) на качество отливок и слитков. Фундаментальные работы в этом направлении проведены В.И. Никитиным [12]. Он отливал лигатуры, в частности Al-(3...4)%Ті, на центробежной машине, размер отливок: Ø 300 мм, толщина стенки до 10 мм, при этом ликвация частиц Ті-АІ<sub>3</sub> была незначительной благодаря высокой скорости охлаждения, хотя плотность частиц существенно отличается от плотности жидкого алюминия (4,6 и 2,45 г/см³). Размер частиц колеблется по сечению отливки от 31х2,9 мм. до 86х7,1 мм. В результате модифицирования такой лигатуры сплава АК12М значительно улучшились механические свойства изделия:  $\sigma_{\!\scriptscriptstyle B}$  = 240 МПа и  $\delta$  = 1,5...2,5 % против  $\sigma_{\!\scriptscriptstyle B}$  = 180 МПа и  $\delta$  = 1 % для немодифицированного сплава. Причем расчетное содержание добавки титана было весьма небольшим (≤0,02 %), что важно, так как шихтовые материалы могут содержать 0,09...0,012 % Ті, т.е. уже на пределе допустимой примеси, не проявляющей модифицирующей способности. ЦБЛ позволяет поднять температуру литья, что способствует увеличению содержания тугоплавкого компонента в лигатуре и получению дисперсных кристаллов интерметаллидов. Можно отливать более "богатые" лигатуры: мы отливали лигатуры с содержанием 10 % Ті, 10 % Сг, 25 % Nі и др. типичные структуры. Лигатуры Al-24%Mn, полученные способом ЦБЛ и отлитая в изложницу, приведены на рис. 6. Сейчас стоят задачи



создания технологии и производства новых качественных сплавов из низкосортных отходов алюминиевого производства и перспективных экономно-легированных сплавов для отливок ответственного назначения. В решении этих задач важное значение имеет получение модифицирующих и легирующих лигатур с мелко-, микрои нано-кристаллической структурой.

Для индивидуальной и локальной защиты от воздействия высокоскоростных элементов используют широкий круг защитных броневых структур. Противопульная и противоснарядная стойкость брони на основе алюминиевых сплавов, как и других видов катанной гомогенной брони, определяется совокупностью ее прочностных, пластических и вязкостных характеристик, а не только абсолютным уровнем твердости. Поэтому постоянно идет совершенствование технологий изготовления новых материалов. Повышение легирования при сохранении дисперсной структуры позволило бы в ряде случаев существенно улучшить те или иные свойства сплавов. При высоких скоростях охлаждения в сплавах алюминия с переходными металлами образуются пересыщенные твердые растворы, содержание легирующих компонентов в которых значительно превышает их предельную растворимость по диаграмме состояния. Как показывает опыт проведенных работ, технология центробежного литья слитков обеспечивает достаточную скорость кристаллизации для диспергирования интерметаллидной фазы сплавов с перенасыщенным твердым раствором. Технологические схемы деформации, способствующие интенсивному измельчению литой зеренной структуры и равномерному распределению интерметаллидных фаз по объему заготовки, позволяют получать полуфабрикаты с высоким комплексом механических свойств, мелкодисперсной изотропной структурой.

### Заключение

Процесс кристаллизации алюминиевых деформируемых сплавов в поле действия центробежных сил практически не изучен. Условия литья в защитной среде превращают литейную машину в своеобразный "черный ящик" - так трудно изучать формирование отливки по сравнению с полунепрерывным литьем. Литейное производство вообще одно из наиболее тяжелых и сложных в машиностроении, и до сегодняшнего дня во многом основано на опыте практической работы технологов, которые постоянно сталкиваются с необходимостью принятия решений в условиях недостатка информации о физико-химической картине процесса. Но без знания закономерностей гидродинамики, теплопередачи, фазовых превращений, протекающих в реальных условиях производства, точно спроектировать технологический процесс, позволяющий в итоге получить продукцию высокого качества, вряд ли удастся.

Первоочередными задачами являются:

- детальное изучение отечественного и зарубежного опыта по доступным информационным материалам;
- детальное изучение процесса кристаллизации при литье крупногабаритных массивных заготовок для варианта вертикального вращения формы;
- компьютерное моделирование на ЭВМ процесса направленного затвердевания отливки без усадочных дефектов, с однородной по сечению структурой с использованием прогрессивных программ моделирования;
- перспективные решения по автоматизации процесса литья, обеспечивающие стабильность механических свойств полуфабрикатов;
- создание литейных машин с вертикальной осью вращения изложницы для литья крупных заготовок из деформируемых алюминиевых сплавов в инертной среде;
- оптимизация режимов плавки и литья алюминиевых сплавов применительно к штучному производству заготовок массой 400 кг и выше.

#### Литература

- 1. В.А. Ливанов "Способ увеличения прочностных и пластических свойств слитков из алюминиевых сплавов" М: Технология легких сплавов, 1995, №3 с. 37-42.
- 2. Е.Ю. Тонков "Фазовые диаграммы элементов при высоком давлении". М. Наука, 1979, с.192 с илл.
- 3. П.Г. Микляев "Механические свойства легких сплавов при температурах и скоростях обработки давлением": М. Металлургия, 1994, с. 279 с илл.
- 4. Д.Е. Педун, В.П. Пойда и др. "Высокотемпературная сверхпластичность сплава 1933" Вестник Х.Н.У. № 1019, серия физика, вып. 16, 2012, 68-74.
- 5. Ф.В. Греченков, В.В. Уваров, Е.А. Носова "Перспективы производства и применения в машиностроении высокомагниевых алюминиевых сплавов" М: Технология легких сплавов. ВИЛС, 1999, № 1, с. 100-105.
- 6. Патент РФ № 2487776 "Способ получения крупногабаритных кольцевых полуфабрикатов", 2013 г.
- 7. А.П. Петров, В.В. Еремеев, Н.В. Еремеев "Аспекты технологии получения кольцевых полуфабрикатов из алюминиевых сплавов". М. Технология легких сплавов. ВИЛС, 2013, №3 с. 7-11.
- 8. О.В. Анисимов "Технология получения композиционных материалов упрочненных дисперсными наночастицами ZrO2 и SiC в поле центробежных сил центрифуги" Автореферат диссертации, 2012
- 9. А.В. Трапезников, Е.С. Гончаренко. "Центробежное литье армированного заэвтектического силумина". М: Металлы, № 6, 2015. с. 42-45.
- 10. А.В. Трапезников "Моделирование получения композитов механическим замешиванием". М: Литейное производство, 2012, № 9. с. 3-7.
- 11. А.В. Трапезников. "Центробежное литье полиармированного композиционного материала". М: Литейное производство, 2013, № 10, с. 52-54.
- 12. В.И. Никитин, Н.В. Никитин. "Наследственность в литых сплавах". Издание 2-е. М: Машиностроение, 2005, с. 476 с илл.

Связь с автором: labomd@mail.ru

### ИНФОРМАЦИЯ

Компания EcoMotors International сообщила, что её специалисты разработали ДВС, способный обеспечить 100-км пробег, расходуя при этом 2,5 л топлива.

В этом двигателе камера сгорания образуется двумя подвижными поршнями, двигающимися в противоположных направлениях. Масса этого двигателя, благодаря отсутствию головки блока цилиндров, на 30

%, а размеры в четыре раза меньше, чем у дизельного двигателя с турбонаддувом такой же мощности.

В камере сгорания такой конструкции, по утверждению специалистов компании, обеспечивается более полное сгорание топлива, что, в свою очередь, привело к снижению расхода топлива почти в два раза и значительно уменьшить выбросы.



# **HS FLEX**

### АДАПТИВНАЯ МАНИПУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА

В высокопроизводительной и компактной манипуляционной системе HS flex сконцентрирован итог почти 20-летнего опыта фирмы Hermle AG в разработке систем автоматизации для собственных обрабатывающих центров. Без рекламы и специальной презентации уже были проданы по чрезвычайно выгодной цене несколько таких систем, что наглядно демонстрирует потребителю экономичность данной технологии автоматизации.

Конструкция манипуляционной системы HS flex позволяет оборудовать ею как 3-осевые, так и 5-осевые обрабатывающие центры серии Performance Line (С 250 и С 400), а также модели серии High-Performance-Line (от С 12, С 22, С 32 до С 42).

Манипуляционная система HS flex состоит из нескольких компонентов, которые поставляются и встраиваются в виде комплектного блока. Только модули магазина заготовок требуется смонти-

ровать и наладить на месте эксплуатации. Так как все обрабатывающие центры Hermle также поставляются в готовом собранном состоянии, весь монтаж выполняется в кратчайший срок, и пользователь может сразу приступить к работе.

Станина из минерального литья, на которой установлен манипулятор с тремя осями, отличается не большой высотой и высокой эргономичностью, а также обеспечивает удобный доступ для оператора. Обе створчатые двери, уже доказавшие свою практичность в роботизированных системах Hermle, выполняют двойную функцию. В процессе смены инструмента они блокируют доступ оператору, а при обработке заготовок они открывают поле зрения и вход в рабочую зону, одновременно блокируя доступ к манипулятору.

Оси вращения, подъемные и линейные оси манипулятора обеспечивают прецизионное перемещение заготовок массой до 450 кг, включая палету, между станцией оснастки, модулями магазина и рабочей зоной обрабатывающего центра. Манипулятор обрабатывает палеты размером до 500 х 400 мм. Чтобы сократить возможные источники ошибок оператора, на станции оснастки предварительно контролируется максимальная высота заготовки, что исключает подачу заготовок со слишком большими габаритными размерами.

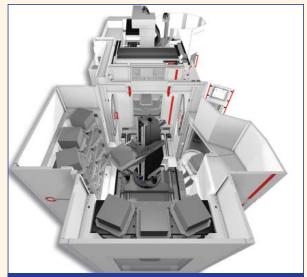


Манипуляционная система HS flex с двумя модулями магазина, установленная на 5-осевом обрабатывающем центре С 32

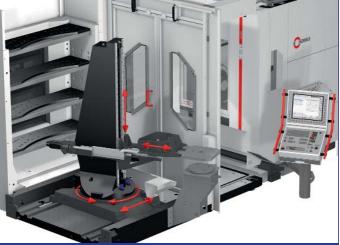
Особое внимание было уделено также разработке модулей магазина. В стандартном исполнении установлен один модуль, в качестве опции возможен монтаж второго модуля. Модули стеллажного типа обеспечивают максимально возможную адаптивность применительно к конструкции палет и заготовок. В каждом модуле могут быть размещены до четырех полок, содержащих до 20 ячеек магазина палет. Тем самым, при использовании двух модулей магазина в распоряжении имеются до 40 ячеек палет. Генератор магазина собственной разработки контролирует допустимые массу и размеры (так как возможны самые различные модели станков), позволяя быстро и просто определить загрузку магазина.

Работой системы HS flex, устройства смены палет и роботизированной системы RS 05 управляет автоматическая система управления HACS собственной разработки фирмы Hermle. Систе-

> ма управления HACS обеспечивает интеллектуальное управление заданиями и интуитивно, посредством сенсорной панели с встроенным программным обеспечением, помогает оператору в выполнении его повседневных задач. Благодаря наглядному отображению заданий и требуемых действий оператора сокращаются обусловленные организационными причинами простои и максимально повышается производительность оборудования. В комбинации с информационно-мониторинговой системой Hermle, позволяющей отобразить состояния станка в реальном времени на любом планшете, настольном компьютере или смартфоне, оба инструмента программного обеспечения являются важным компонентом в повседневной работе обрабатывающих центров Hermle.



Манипуляционная система HS flex с двумя модулями магазина, установленная на 5-осевом обрабатывающем центре С 32, вид сверху



Манипуляционная система HS flex в разрезе с расположением осей манипулятора

За дополнительной информацией российские специалисты могут обратиться в представительство компании Maschinenfabrik Berthold Hermle AG в России по адресу: 127018, Москва, ул. Полковая, д. 1, стр. 4. Тел.: +7 495 627 36 34. Факс: +7 495 627 36 35. www.hermle-vostok.ru

НАУКА

# РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ДЛЯ ДИСКОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И УСТАНОВОК

Александр Вячеславович Логунов, Московский политехнический университет, д.т.н., профессор Юрий Николаевич Шмотин, генеральный конструктор АО "ОДК", д.т.н. Денис Викторович Данилов, ведущий инженер-технолог ПАО "ОДК-Сатурн", к.т.н. Шамиль Хамзаевич Мухтаров, старший научный сотрудник ФГБУН ИПСН РАН, к.т.н. Александр Михайлович Михайлов, генеральный директор ООО НТЦ "ТСМ", аспирант

С применением компьютерного метода оптимизации жаропрочных сплавов (КМО ЖС) разработан новый сплав для дисков газотурбинных двигателей и установок, предназначенный для эксплуатации при температурах до 850 °C. Сплав отличается высоким структурным совершенством и стабильностью. По уровню жаропрочности при 650 °C сплав соответствует лучшим отечественным материалам этого класса, при этом его прочностные характеристики в области 20 °C значительно превышают российские аналоги и отвечают соответствующим показателям перспективных зарубежных сплавов ( $\sigma_g^{20}$ ) > 1700 МПа). With the help of computer-aided method of heat-resistant alloy optimization, a new alloy has been developed for disks

With the help of computer-aided method of heat-resistant alloy optimization, a new alloy has been developed for disks of gas-turbine engines and units intended for operation at temperatures up to 850 °C. The alloy demonstrates structural perfection and stability. As for the high temperature strength at 650 °C, the alloy corresponds to the best domestic materials of this class, with its strength properties at 20 °C considerably exceeding those of the Russian analogues and corresponding to the values of advanced foreign alloys ( $\sigma_B^{20}$ ° > 1700 MPa).

Ключевые слова: дисковый жаропрочный сплав, деформация, диски ГТД, метод оптимизации. Keywords: heat-resistant alloy for disks, deformation, gas-turbine engine disks, optimization method.

**B** настоящее время газотурбинное двигателестроение претерпевает этап интенсивного развития, что обусловлено рядом причин, в том числе:

- значительным усилением роли авиационного транспорта, обеспечивающего перевозки пассажиров и перемещение грузов на большие расстояния в течение нескольких часов;
- требованиями создания нового поколения авиационной и морской техники оборонного, военно-транспортного и специального назначения;
- резко возросшей ролью газотурбинных установок в энергетике, при развитии и освоении богатых полезными ископаемыми территорий;
- ролью газотурбинного двигателестроения в качестве основного локомотива при получении принципиально новых конструкторских, технологических и материаловедческих решений, обеспечивающих эффективное развитие ряда важнейших отраслей экономики, определяя тем самым современный уровень производства, технологическую и экономическую независимость государства.

Перспективные газотурбинные двигатели предполагают повышенные нагрузки на каждую ступень турбомашины и, соответственно, на диски газовых турбин.

Прогнозируемое увеличение удельной тяги ГТД с 7...8 кгс/кг (4-е поколение - АЛ-31Ф, РД-33) до 9...10 кгс/кг (5-е поколение) и 15...16 кгс/кг (6-е поколение) связано, в первую очередь, с повышением термодинамических параметров теплового процесса увеличением температуры газа перед турбиной с 1700 К до 1900...2100 К, получением гораздо более легких и жестких конструкций, способных при этом работать в условиях воздействия более высоких температур и напряжений.

Одними из наиболее критичных элементов газотурбинных двигателей являются диски турбин и последних ступеней компрессоров, изготавливаемые из никелевых жаропрочных сплавов.

Высочайшие требования к этим сплавам определяются тем, что:

- они работают в условиях одновременного действия растягивающих, термоциклических и циклических нагрузок [1-3], при этом в разных элементах дисков (обод, полотно и ступица) температура, величина и соотношение различных видов нагрузок существенно отличаются;
- конструктивно диски выполнены таким образом, что в них возникают значительные концентраторы напряжений (вблизи отверс-

тий, галтелей, шлицевых пазов, пазов для замков лопаток и т.д.);

- значительным объемом их применения в двигателях. В частности, в турбовентиляторном двигателе Trent-800 доля дисков турбины составляет примерно 20 % массы деталей, а их стоимость равна 10 % стоимости двигателя после ввода его в эксплуатацию. Для двигателя ЕJ200, используемого на военных самолетах, эти показатели равны 5 % и 25 % соответственно [4];
- разрушение диска, как правило, приводит к разрушению двигателя и в ряде случаев к гибели самолета.

Указанные проблемы и перспективы развития ГТД определяют новые требования к сплавам для дисков газовых турбин, которые можно сформулировать следующим образом:

- улучшение прочностных показателей длительной и кратковременной прочности, как при обычных, так и при существенно более высоких по сравнению с реализуемыми в настоящее время рабочими температурами;
- наличие у материала значительного уровня вязкости разрушения, низкой чувствительности к концентраторам напряжения и высокой пластичности, а также высокого сопротивления переменным нагрузкам в условиях малоциклового и многоциклового нагружений;
- повышение структурной стабильности материала основы увеличения надежности, работоспособности и ресурса при высоких температурах;
- получение различного (оптимального) комплекса свойств в разных частях диска, каждая из которых подвергается особому воздействию возникающих в процессе эксплуатации напряжений.

Начиная с 80-х годов прошлого века, в России и за рубежом активно ведутся работы, направленные на повышение эксплуатационных характеристик дисковых сплавов. При этом значительное внимание уделяется проблеме улучшения прочностных свойств в диапазоне от комнатной до рабочей температуры. Известно, что увеличение прочностных показателей сплавов при комнатных и невысоких температурах обеспечивает надежную работу ступицы диска и двигателя при запусках и остановах, а более высокие значения прочности при рабочих температурах позволяют существенно улучшить надежность, долговечность и тактико-технические параметры новых изделий.

В частности, в сплавах Alloy 10, LSHR, FGH95, TMW-4, а также в новом сплаве фирмы Honeywell достигнутый уровень предела прочности  $\sigma_{\mathcal{B}}^{20^\circ}$  составляет 1650...1742 МПа. При этом следует особо отметить китайский сплав FGH95, обладающий рекордным

значением предела прочности при комнатной температуре, равным 1742 МПа, и максимальным пределом текучести  $\sigma_{0,02}^{20^\circ}$ , составляющим 1469 МПа. Отечественные сплавы, созданные в последние годы, характеризуются несколько более низким уровнем предела прочности при комнатных температурах, который составляет 1560...1650 МПа (сплавы ВВ750П, ВВ751П, ВВ752П, ЭК152, ВЖ175, ЭП962НП и др.). Примерно так же соотносятся характеристики зарубежных и отечественных новых сплавов по важному показателю - пределу текучести при комнатной температуре. У отечественных сплавов  $\sigma_{0,2}^{20^\circ}$  составляет 1130...1215 МПа, у зарубежных значение этого показателя достигает 1125...1469 МПа.

При температурах порядка 650 °С показатели отечественных сплавов соответствуют достигнутому за рубежом уровню. Новые сплавы имеют 100-часовую длительную прочность при 650 °С в пределах от 1070 МПа (ВЖ175) до 1140 МПа (ВВ752, ВВ753), соответствующие показатели зарубежных сплавов имеют близкие значения: 1115 МПа (сплав LSHR) и 1156 МПа (сплав фирмы GE).

Таким образом, одной из главных целей совершенствования легирования никелевых жаропрочных сплавов для дисков газовых турбин является обеспечение высоких значений  $\sigma_{\rm B}$  и  $\sigma_{0,2}$  при средних температурах, т.к. именно при этих температурах работает ступица диска, испытывающая максимальные радиальные нагрузки.

Настоящая работа связана с получением дискового жаропрочного никелевого сплава СДЖС-15, легирование которого осуществлено на основе практической реализации созданного и представленного в ряде работ [5-9] компьютерного метода оптимизации составов жаропрочных сплавов (КМО ЖС), но уже применительно к материалам для дисков газовых турбин.

Сплав разрабатывался с целью обеспечения высокого уровня прочности ( $\sigma_B^{20^\circ}$  > 1700 МПа) при температурах работы ступицы диска в новых двигателях. Одновременно он должен обеспечивать надежную работу в области температур 650...850 °C, которые отвечают перспективным прогнозам для ободной части этих ответственных узлов ГТД. Одним из таких показателей является наличие жаропрочности при 650 °C ( $\sigma_B^{600^\circ}$  > 100 МПа).

Химический состав нового материала соответствует сплаву ВВ753, отличаясь от него содержанием Со и Re, а также концентрацией W.

Выплавленный методом ВИП слиток сплава рассчитанного состава, имевший размеры Ø95x180 мм, был подвергнут многократному вакуумно-дуговому переплаву, затем предварительной термической обработке, деформации и окончательной термической обработке.

Технология вакуумно-индукционной плавки слитка отработана и реализована А.М. Михайловым (Научно-технический центр "Технологии специальной металлургии" - НТЦ "ТСМ"), технология ВДП, термической обработки, деформации и окончательной термообработки - Ш.Х. Мухтаровым (ИПСМ РАН) совместно с авторами.

### Исходная микроструктура сплава

На рис. 1 представлена микроструктура слитка сплава СДСЖ-15 после многократного аргоно-дугового переплава на лабораторной установке (в виде слитка весом около 200 г), подвергнутого термической обработке, которая включала в себя:

- 1. Нагрев и отжиг T = 1100 °C (2 ч);
- 2. Нагрев до T = 1200 °C и отжиг 10 ч;
- 3. Нагрев до T = 1240 °C и отжиг 20 ч, охлаждение с печью до T = 1210 °C;
  - 4. Отжиг при T = 1210 °C (4 ч), охлаждение на воздухе;
  - 5. Старение при T = 860 °C (6 ч), охлаждение на воздухе;
  - 6. Старение при Т = 750 °C (32 ч), охлаждение в печи.

Видно, что термическая обработка приводит к повышению однородности микроструктуры. Получена крупнозернистая матричная структура с частицами у'-фазы размером около 0,2 мкм, в которой почти полностью растворена неравновесная эвтектика и отмечается присутствие карбидов размером до 5...7 мкм.

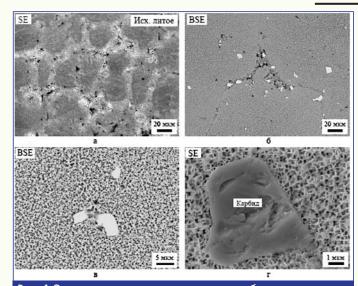


Рис. 1 Электронно-микроскопическое изображение многократно переплавленного литого сплава:

а - исходное литое состояние, видна дендритная структура, б-г - микроструктура после термической обработки. Микроструктура однородная, неравновесная междендритная эвтектика почти полностью растворилась после термообработки. В структуре также отмечаются карбиды размером 5...7 мкм

### Проведение горячей деформации и ее влияние на микроструктуру и механические свойства сплава

Перед горячей деформацией проводилась термическая обработка, которая включала в себя:

- нагрев и отжиг с постепенным повышением температуры от 1100 °C до 1240 °C. Общее время отжига составило 24 ч. Затем постепенное охлаждение до 1150 °C со скоростью  $\approx$ 25 °C/ч и промежуточными выдержками. Охлаждение с температуры 1150 °C до комнатной осуществлялось с печью.
- последующая горячая деформация включала в себя предварительную и окончательную стадию при 1180 °C.

На рис. 2 и 3 представлены исходные литые заготовки и заготовки, полученные после горячей деформации. Видно, что исходные (до деформации) заготовки, полученные из переплавленного сплава, меньше по размеру. После горячей деформации заготовки из переплавленного сплава показали меньше боковых трещин, что указывает на лучшее качество переплавленного материала.

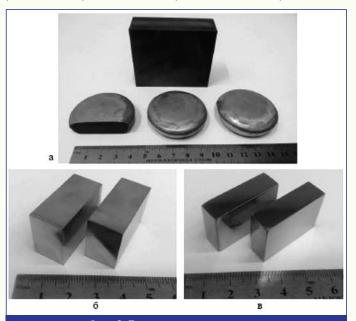


Рис. 2 Литые заготовки сплава:

а - заготовка, вырезанная из исходного слитка и переплавленные слитки до проведения термической обработки;

б, в - заготовки после термической обработки, приготовленные для проведения горячей деформации из исходного литого материала (б), переплавленного материала (в)

Деформированные заготовки сплава подвергали упрочняющей термической обработке, которая включала в себя:

- отжиг при T = 1200 °C (4 ч), охлаждение на воздухе;
- старение при T = 860 °C (6 ч), охлаждение на воздухе;
- старение при T = 750 °C (32 ч), охлаждение в печи.

Из деформированных заготовок были изготовлены плоские образцы на растяжение с размерами рабочей части 8×3,5×1,5 мм, которые перед испытанием шлифовались для снятия напряженного слоя. Кратковременные испытания на растяжение проводили при температуре 20 °C.





Рис. 3 Деформированные заготовки сплава, полученные из:
1 - исходного материала, 2 - переплавленного материала.
Видно, что переплавленный материал деформировался
лучше - с меньшим количеством боковых трещин

В табл. 1 представлены механические свойства образцов нового сплава в деформированном состоянии, полученного из металла ВИ и металла (ВИ+ВДП, многократный переплав).

На рис. 4 приведена диаграмма растяжения образца из металла (ВИ+ВДП) при 20 °С. Видно, что предел прочности материала  $\sigma_{\beta}^{20^\circ}$  превышает 1700 МПа при высоком уровне пластичности.

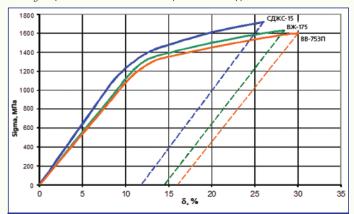


Рис. 4 Зависимость напряжение-деформация при растяжении образца сплава, плавка ИПСМ + ТО + деформация 1180 °C + старение двухступенчатое

Таким образом, созданный новый сплав СДЖС-15, полученный двойным вакуумным переплавом (ВИ+ВДП) имеет после деформации и двухступенчатого старения пределы прочности и текучести при 20 °С, равные 1708 и 1250 МПа соответственно, а пластичность ≈11 %.

При высокотемпературных испытаниях (T = 650 °C, нагрузка 1000 МПа) исследуемый образец нового сплава простоял более 150 ч без разрушения (испытания продолжаются).

Такие показатели не имеет ни один отечественный дисковый сплав, а среди зарубежных он соответствует самым высоким параметрам (см.табл. 2).

Сейчас крайне важным становится доведение этой работы до опытно-промышленного и промышленного освоения, поскольку новый материал позволяет заметно уменьшить размеры и вес ступицы диска, что в свою очередь приведет к улучшению параметров газотурбинных двигателей и установок.

### Литература

- 1. Скибин В.А., Солонин В.И., Палкин В.А. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей. М: Изд. ЦИАМ. 2004. 421 с.
- 2. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. Часть І. Пермь: Изд. ОАО "Авиадвигатель ", 2006. С. 456-457.
- 3. Томилина Т.В., Шмотин Ю.Н. Течение в турбине высокого давления с учетом нестационарного статор/ротор взаимодействия // Конверсия в машиностроении. 2008. № 1 (86) С. 7-10.
- 4. Reed R.C. The superalloys. Fundamentals and Applications. Cambridge: University Press, 2006, 372 p.
- 5. А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин, Д.В. Данилов Методологические основы автоматизированного проектирования жаропрочных сплавов на никелевой основе, ч. 1 // Технология металлов, 2014, N 5, с. 3-9.
- 6. А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин, Д.В. Данилов Методологические основы автоматизированного проектирования жаропрочных сплавов на никелевой основе, ч. 2 // Технология металлов, 2014, № 6, с. 3-10.
- 7. А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин, Д.В. Данилов Методологические основы автоматизированного проектирования жаропрочных сплавов на никелевой основе, ч. 3// Технология металлов, 2014, № 7, с. 3-11.
- 8. А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин, И.А. Лещенко, Р.Ю. Старков. Моделирование и разработка новых жаропрочных сплавов, ч. I // Двигатель, 2013, № 5 (89), с. 24-27.
- 9. А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин, И.А. Лещенко, Р.Ю. Старков. Моделирование и разработка новых жаропрочных сплавов, ч. II // Двигатель, 2013, № 6 (90), с. 23-25.

Связь с автором: danilov\_d.v@rambler.ru

Таблица 1

Сравнительные механические свойства при растяжении сплава после горячей деформации и упрочняющей термической обработки								
T, °C		материал ъ слитка, ВИ)	Переплавленное состояние (200-граммовый слиток после многократного переплава, ВИ+ВДП)					
	$\sigma_{ extsf{B}}/\sigma_{ extsf{T}}$ , МПа	σ,%	$\sigma_{ extsf{B}}/\sigma_{ extsf{T}}$ , МПа	σ,%				
	Литье + TO + деформация 1180 °C без TO							
20	1537/≈1200	1537/≈1200 10,8		7,86				
	Литье + TO + деформация 1180°C без TO + старение двухступенчатое							
20	1643,8/≈1260	8,4	1708/≈1250	10,7				
20	1637,2/≈1240	7,4	-	-				

Таблица 2

Показатели пределов прочности отечественных и зарубежных сплавов							
Сплав	СДЖС-15	BB753∏	ВЖ175	N18	ME3 (Rene 104)	Alloy 10	LSHR
<sub>σ0,2</sub> °°C	1250	1150	1215	1125	1140	1110	1210
σ <sub>8</sub> 20 ℃	1708	1600	1630	1580	1650	1650	1700
<sub>7 100</sub> °C	>1000	1140	1070	960	1056	1125	1115

# МЫ ВСЕГДА С ТЕМИ, КТО ДЕЛАЕТ ДЕЛО!

На прошедшем этим летом международном авиасалоне МАКС-2017 глава Жуковского Андрей Войтюк встречался с представителями старейшего российского научнотехнического журнала "Двигатель". Это произошло 20 июля 2017 года. Основной темой в переговорах была публикация в "Двигателе" серии статей о молодежных программах администрации Столицы Авиасалона, заинтересовывающих авиацией юных жителей города и близлежащих территорий, продвигающих идею о работе в ней.

В юбилейном номере журнала, посвящённом 110-летию со дня выхода первого его номера, была опубликована статья об авиамодельном кружке Центра детского творчества г. Жуковский. В последующих номерах будет размещен ещё ряд статей этого направления. Генеральный директор журнала Дмитрий Боев презентовал главе города несколько номеров журнала. Ведь вся наша жизнь и вся работа имеют смысл только тогда, когда за нами пойдут в эту технику, науку, авиацию следующие поколения. Когда они - как и мы - будут считать это своим кровным делом. В этом редакция журнала и администрация наукограда Жуковский оказались полными союзниками. И было взаимно обещано и далее продолжать и развивать общую деятельность в этом направлении для достижения торжества общих идеалов.



Слева направо: генеральный директор журнала "Двигатель" Дмитрий Боев, редактор журнала Ольга Шаронова, глава администрации г.о. Жуковский Андрей Войтюк. Фото Михаила Шаронова (журнал "Двигатель")

# **МТОГИ РАБОТЫ**С сайта www. aviasalon.com (в сокращении) **МАКС-2017**

По масштабу выставочной и деловой программы, объёму сделок и количеству посетителей XIII Международный авиационно-космический салон МАКС-2017 превзошёл показатели предыдущего. Объём контрактов и соглашений о намерениях достиг 394 млрд рублей, а деловой потенциал МАКС-2017 превысил 600 млрд рублей. За шесть дней работы, с 13 по 23 июля, мероприятие посетило 452 тыс. 300 участников и гостей, которые наблюдали за полётами восьми пилотажных групп и 90 воздушных судов. В проведении мероприятий МАКС-2017 существенную помощь оказали 300 волонтёров, отобранных из числа учащихся и студентов Московской области.

В 2017 году в мероприятии приняли участие более 880 компании, в том числе около 180 - иностранных производителей из 36 странмира. Площадь экспозиции в павильонах превысила 26 тыс. кв. м. Впервые на МАКС был представлен коллективный стенд "Сделано в Москве", объединивший инновационные предприятия столичного региона. Салон посетило более 50 официальных делегаций. Первые три дня, отведённые для работы специалистов, собрали свыше 70 тыс. посетителей. На МАКС-2017 подписаны контракты и соглашения на поставку российской авиатехники на сумму около 400 млрд рублей.

С 19 по 23 июля в Конгресс-центре и на стенде "Сделано в Москве" состоялась 1 521 встреча, в которых приняли участие 1 027 компаний. Деловой потенциал салона оценивается более чем в 600 млрд рублей, включая подписанные твёрдые контракты и соглашения о намерениях на поставку отечественной авиатехники российским и зарубежным эксплуатантам и лизингодателям на сумму 394 млрд рублей, соглашения и меморандумы о сотрудничестве на 171 млрд рублей, а также переговоры о поставках продукции на сумму около 36 млрд рублей.

Крупнейшими сделками салона стали твёрдый контракт на поставку 20 самолётов Sukhoi Superjet 100 авиакомпании "Аэрофлот-российские авиалинии" и контракт на поставку в операционный ли-

зинг 16 самолётов MC-21 авиакомпании Red Wings, включая четыре лайнера с отечественными двигателями ПД-14. Лизинговая компания "Ильюшин финанс Ко.", помимо контракта с Red Wings, заключила соглашения о намерениях с авиакомпаниями "ВИМ-АВИА", "Алроса" и "Саратовские авиалинии", перевозчики рассчитывают приобрести в операционный лизинг 27 самолётов МС-21. Кроме того, три МС-21 планирует эксплуатировать авиакомпания "Ангара". Соглашение, предполагающее приобретение до 50 самолётов Ил-114-300, заключила с "Объединённой двигателестроительной корпорацией" Государственная транспортная лизинговая компания (ПЛК). Авиакомпания "Азимут" выразила намерение приобрести четыре Sukhoi Superjet 100.

Также ГТЛК подписала соглашения о приобретении 12 вертолётов Ми-8АМТ, шести Ми-171 и 12 "Ансат". Два "Ансата" в 2018 году получит компания "Русские вертолётные системы". Заказчики из КНР договорились о приобретении 13 вертолётов российского производства, включая четыре Ми-171, два Ка-32А11ВС и семь "Ансат".

В лётной программе приняли участие 90 воздушных судов из восьми пилотажных групп - российских и иностранных.

Работу МАКС-2017 активно освещали российские и зарубежные СМИ. Всего на салоне было аккредитовано 3 070 журналистов, представляющих 570 отечественных и 197 иностранных изданий, в том числе 32 российских и 23 зарубежных телеканала. За новостями в официальных аккаунтах МАКС-2017 в социальных сетях следили 151 тыс. подписчиков. Охват аудитории оценивается в 1,6 млн пользователей.

Новинками, ранее не экспонировавшимися на международных выставках, стали представленные на статической площадке истребитель МиГ-35, относящийся к поколению 4++, а также вертолёт Ми-171Ш-ВН, предназначенный для специальных операций, самолёт Як-152 и ударный вертолёт Ми-28НЭ. Всего на статической площадке располагалось 116 воздушных судов.

Безопасность в дни проведения МАКС-2017 на территории ЛИИ им. Громова и городского округа Жуковского обеспечивали 2 500 сотрудников полиции, Росгвардии, МЧС и работников частных охранных предприятий и ведомственной охраны. В дни проведения Салона чрезвычайных происшествий и правонарушений не допущено.

НАУКА

# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ВАРИАНТА ДВИГАТЕЛЯ С Т\* 1800 К

**Александр Игоревич Ланшин,** д.т.н., научный руководитель, заместитель генерального директора **Акакий Арташевич Церетели,** к.т.н., начальник сектора

ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

В работе приводятся результаты экспериментального исследования высокотемпературного газогенератора с целью создания перспективного варианта двигателя с  $T_r^* > 1800$ К и системой кондиционирования охлаждающего воздуха. Система охлаждения турбины газогенератора в стендовом варианте была снабжена теплообменниками и турбоагрегатом подкачки (ТАП), обеспечивающим повышение давления охлаждающего воздуха при общем повышении удельных параметров цикла.

The work presents the results of a pilot study of high-temperature gas generator with the purpose of establishing the perspective variant engine with gas  $T_H^*$ >1800K and cooling air conditioning system. Cooling system of turbine gas generator in the bench version was equipped with heat exchangers and turbine unit swap (TAII), which provides cooling air pressure increase for a total increase of specific loop values.

Ключевые слова: rasoreнepatop, турбоагрегат подкачки, кондиционирование охлаждающего воздуха Keywords: gas generator, turbine unit swap, cooling air conditioning

Анализ путей развития авиационных газотурбинных двигателей показывает, что наибольший прогресс в их совершенствовании связан с повышением температуры газа на входе в турбину. Практические разработки отечественных ОКБ и зарубежных фирм показали, что повышение температуры газа, сопровождаемое повышением  $\pi_{\kappa z}$ , приводит к улучшению комплекса характеристик двигателей. В настоящее время повышение температуры газа в большей степени связано с совершенствованием системы охлаждения, поскольку конструкционных материалов для рабочих лопаток турбин, способных работать, при температуре  $t_n$  выше  $1200\,^{\circ}$ С нет.

В 1984 году под руководством Генерального конструктора ЛНПО им. В.Я.Климова С.П.Изотова и начальника отдела турбин ЦИАМ им. П.И.Баранова, профессора, д.т.н. К.М.Попова была проведена работа по созданию экспериментального высокотемпературного газогенератора на основе изделия 88. От ЛНПО им. В.Я.Климова в работе принимал участие ведущий конструктор В.А.Спицын, от ЦИАМ им. П.И.Баранова помимо авторов в работе принимали участие: В.Н.Сахаров, Ю.М.Львов, В.Н.Федякин и др. Целью работы являлось создание высокотемпературной турбины ПД с температурой газа  $T_c^*$  >1800К

Развитие систем охлаждения было направлено на более полное использование хладоресурса охлаждающего воздуха. Известно, что повышение температуры газа может быть достигнуто по следующим основным направлениям:

- совершенствование систем охлаждения с целью обеспечения повышения эффективности охлаждения без существенного увеличения расхода охладителя;
- разработка новых, более жаропрочных и жаростойких материалов, а также решение проблемы теплозащитных покрытий;
- -кондиционирование охлаждающего воздуха со снижением его температуры.

Вклад указанных направлений в возможность повышения температуры газа может быть проиллюстрирован графически. Для этого анализировалось выражение параметра эффективности охлаждения  $\theta = \frac{(T_c - T_d)}{(T_c^* - T_d^*)}$ , содержащее все основные, указанные выше параметры.

На рис. 1 представлены результаты расчета возможности повышения температуры газа:

- при совершенствовании системы охлаждения, то-есть увеличении степени охлаждения  $\Theta_n$  при фиксированных значениях  $T_n$ - $T_s$ =500K и  $\Theta_n$ =0,55, характерных для сопловых лопаток в двигателях IV поколения;
  - при применении новых лопаточных материалов с увеличен-

ной на  $\Delta t_n$ =100°C допустимой температурой;

- при введении системы кондиционирования охлаждающего воздуха, то-есть при предварительном снижении его температуры (в рассматриваемом примере на  $\Delta t_{\rm a}$ =200°C).

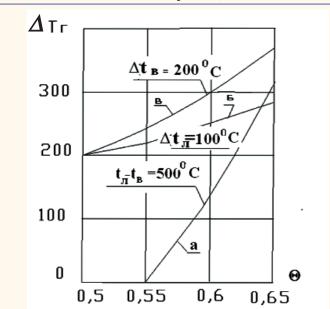


Рис. 1.Возможности повышения температуры газа в турбинах ГТД а - повышение Θ за счет усовершенствования системы охлаждения (Θ\_=0.55):

б - повышение допустимой температуры материала;

в - кондиционирование системы охлаждения.

Как видно из рис. 1, наибольшее повышение температуры газа возможно при кондиционировании охладителя при существующих лопаточных материалах и технологиях. Снижение температуры охладителя на 200...250°С, характерное для турбин двигателей IV поколения, технически выполнимо и, как показали результаты расчета, может быть осуществлено с небольшими потерями давления (до 3-4%) в наружном контуре двигателя при приемлемой массе теплообменника (до 15 кг).

В данной статье приводятся результаты стендовых испытаний экспериментального высокотемпературного ( $T_r^*$ =1830 K) газогенератора с системой кондиционирования охлаждающего воздуха.

Эксперименты проводились в НИЦ ЦИАМ в 1985 г. Газогенератор был создан в ЛНПО им. В.Я. Климова на базе изделия 88 при непосредственном участии ЦИАМ. Его конструкторские и

расчетные проработки и результаты испытания отдельных узлов проводились в ЦИАМ.

### Объект испытаний, его основные системы измерения.

При разработке высокотемпературного газогенератора основные отличия заключались в следующем. Внесены изменения в корпус диффузора камеры сгорания - увеличены проходные сечения внутренних каналов стоек, поскольку часть их (половина) использовалась для подвода охладителя к рабочему колесу турбины. В корпусе камеры сгорания были выполнены отверстия для отбора воздуха, идущего в систему кондиционирования, на корпусе установлены коллекторы: общий воздухосборный и раздаточный, подающий воздух на рабочее колесо. Изменен корпус соплового аппарата -отделена полость над лопатками СА от полости вторичного воздуха камеры сгорания. Несколько изменена конструкция вала - выполнены отверстия для ввода охлаждающего воздуха в его внутреннюю полость и гребешки лабиринтного уплотнения, отделяющего этот воздух от разгрузочной полости компрессора.

Лопатки соплового аппарата остались без изменения, за исключением введения одностороннего подвода охлаждающего воздуха со стороны периферийного торца. Рабочие лопатки заменены новыми, с конвективно - пленочной схемой охлаждения. Задняя опора газогенератора выполнена охлаждаемой с питанием ее охладителем от стендовых магистралей.

Высокотемпературный газогенератор в стендовом варианте включал в себя также три системы:

- внешнюю систему кондиционирования с подкачкой охлаждающего воздуха, содержащую в себе турбоагрегат подкачки (ТАП);
- воздухо-водяные теплообменники и соединительные коммуникации;
  - автономную масляную систему турбоагрегата подкачки (ТАП);
- систему охлаждения задней опоры газогенератора с использованием стенлового возлуха.

Охлаждение задней опоры осуществлялось в основном подмешиванием к газу значительного количества холодного воздуха и частично заградительным охлаждением отдельных участков перед зоной подмешивания. Наряду с охлаждением подмешиваемый воздух использовался для регулирования в определенных пределах величины  $\pi_{r}$  путем изменения его расхода.

Схема стенда для испытаний высокотемпературного газогенератора показана на рис.2.

Система охлаждения турбины в стендовом варианте была снабжена воздухо-водяными теплообменниками и турбоагрегатом подкачки (ТАП), обеспечивающим повышение давления охлаждающего воздуха. Отбор вторичного воздуха из камеры сгорания на охлаждение турбины осуществлялся в ресивер, к кото-

рому был подсоединен (ТАП) (Рис. 2), состоящий из турбины, работающей на части отбираемого от камеры воздуха, и компрессора, осуществляющего повышение давления воздуха, идущего на охлаждение С.А.

Воздух из компрессора (ГАП) поступал в теплообменник. Охлажденный воздух из теплообменника подводился на охлаждение соплового аппарата турбины высокотемпературного газогенератора ГГ.

Часть воздуха, прошедшая через турбину турбоагрегата подкачки, поступала во второй коллектор, расположенный на корпусе камеры сгорания, откуда по системе коммуникации через вал подводилась под покрывной диск ротора турбины ГГ и далее на охлаждение рабочих лопаток турбины.

При испытаниях измерялись следующие основные газодинамические параметры высокотемпературного газогенератора и системы кондиционирования:

 $p_{\text{м.у.}}$  и  $p_{\text{м.у.}}^{\star}$  статическое и полное давление воздуха в мерном участке (поле полных давлений измерялось с помощью трех семиточечных гребенок полного давления и трех пятиточечных гребенок пограничного слоя);

 $T^*_{\text{м.у.}}$ - температура воздуха в мерном участке (поле температур измерялось тремя пятиточечными гребенками);

 $p_{\vec{k}}^*$  полное давление за компрессором измерялось двумя трехточечными гребенками;

 $T^*_{\kappa^-}$  температура воздуха за компрессором измерялась двумя трехточечными гребенками термопар;

 $p_{T}^{*}$ - полное давление за турбиной измерялось с помощью семи пятиточечных гребенок полного давления;

 $T^*_{T^-}$  температура газа за турбиной измерялась с помощью семи пятиточечных гребенок температур;

 $G_{\tau}$ - расход топлива измерялся датчиками турбинного типа;

 $\it n$  - частота вращения ротора высокотемпературного газогенератора;

**Р** - давление воздуха в полостях;

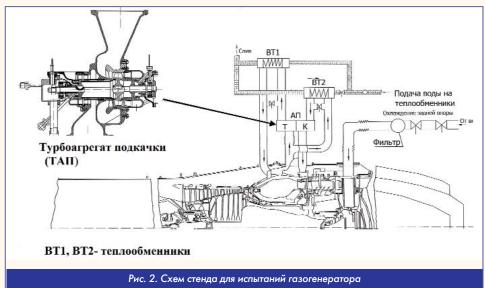
 $t_{\pi^-}$  температура рабочих лопаток измерялась в зоне выходной кромки фотоэлектрическим пирометром.

Кроме того, в газогенераторе и его внешних системах измерялись параметры, контролирующие работу системы кондиционирования, масляной системы турбоагрегата подкачки (ТАП) и работу линии охлаждения задней опоры.

### Обработка результатов испытаний.

Полное давление на входе в компрессор определялось с учетом потерь в мерном участке  $\boldsymbol{p_{s}^{*}}=\boldsymbol{p_{My}^{*}}*\boldsymbol{\sigma_{My}}$ , где  $\boldsymbol{\sigma_{My}}$ . = 0,99 - коэффициент восстановления полного давления в мерном участке от мерного сечения до входа в газогенератор

Полное давление и температура за компрессором и за турбиной рассчитывались как среднеарифметические:



$$p_{cp}^* - \sum_{i=1}^n p_i^* /_n; T_{cp}^* - \sum_{i=1}^n T_i^* /_n.$$

Температура потока на входе в компрессор принималась равной температуре потока в мерном сечении  $T_{s}^{*}=T_{s,v}^{*}$ .

Потери полного давления в каме́ре сгорания определялись по результатам испытаний газогенератора изд.88 на стенде ЦИАМ.

$$\sigma_{\kappa c}$$
 =1-0,62  $\lambda_{\kappa c}^2$ 

Относительная величина расхода воздуха, отбираемого за V ступенью компрессора на охлаждение задней опоры, вычислялась по зависимости

$$\delta_{v}$$
 = 0.081 - 0.067  $\bar{n}_{np}$ .

Расход воздуха, отбираемого за компрессором в систему охлаждения с турбоагрегатом подкачки и теплообмен-

никами, определялся по суммарному значению расхода воздуха через компрессор и турбину ТАП.

$$G_{ot6, \kappa.c.} = G_{\kappa, TA\Pi} + G_{T, TA\Pi}$$

 $G_{\mathit{or6.\,\kappa.c.}}$  =  $G_{\mathit{\kappa.\,TA\Pi}}$ + $G_{\mathit{T.\,TA\Pi}}$ При этом расход воздуха через компрессор ТАП вычислялся по его характеристике, полученной при автономных испытаниях ТАП.

Величина утечек воздуха через задний лабиринт компрессора в разгрузочную полость принималась постоянной  $\delta_z$  = 0.012 по peзультатам испытаний газогенератора изд. 88 на стенде ЦИАМ.

В целом при определении баланса тепла в камере сгорания расход воздуха  $G_{B. \ K.C.}$  рассчитывался по формуле

$$G_{\text{B. K.C.}} = G_{\text{B.}} (1 - \delta_{\text{V}} - \delta_{\text{Z}} - \delta_{\text{OTG. K.C.}}),$$

$$\delta_{\text{отб. к.с.}} = \delta_{\text{к ТАП}} + \delta_{\text{Т ТАП}} + \delta_{\text{ут. ТАП}}$$

Расход воздуха на входе в газогенератор определялся при "увязке" параметров по заданному значению

$$\overline{G}_{\mathcal{C},a_*} = G_{\mathcal{C}} \sqrt{T_{\mathcal{C},a_*}^*} / p_{\mathcal{C}}^*$$

$$G_r = G_{B,K,C} + G_m$$

 $G_r = G_{s. K.C.} + G_m$   $T_{r.c.a.}^*$  - полная температура газа в критическом сечении соплового аппарата турбины;

 $p_{r}^{*}$ - полное давление газа перед турбиной.

Температура газа перед турбиной  $T_{\mathcal{KC}}^{ullet}$  вычислялась при "увязке" параметров газогенератора. Коэффициент полноты сгорания топлива при этом принимался равным  $\eta_r$  = 0,99 (по данным испытаний изолированной камеры сгорания на стенде ЦИАМ).

Температура газа в критическом сечении соплового аппарата турбины определялась с учетом смешения основного потока с охлаждающим воздухом, отбираемым из передней полости соплового аппарата (0,73  $\delta_{\scriptscriptstyle \rm K\,TA\Pi}$  ).

Температура газа за турбиной определялась с учетом смешения основного потока с охлаждающим воздухом, поступающим из задней полости соплового аппарата (0,27  $\delta_{\text{TA}\Pi}$ ) и из рабочих лопаток турбины ( $\delta_{p.n.}$  = 0,032).

Контроль "увязки" параметров газогенератора проводился путем сравнения "увязочной" температуры  $T_{T,v_B}^*$  с измеренной температурой газа за турбиной  $T_{T,co}^*$ 

### Результаты испытаний

Испытания газогенератора проводились при общем подводе воздуха к газогенератору и наружному технологическому контуру.

Параметры газогенератора исследовались в диапазоне рабочих режимов:

$$p_{_{B}}^{^{*}}$$
 = 161...295 кПа,  $T_{_{B}}^{^{*}}$  = 361...585 K,  $\bar{n}_{\bar{\phi}}$  = 0,818...1,018.

Степень понижения давления газа в турбине регулировалась путем изменения расхода воздуха, подводимого в систему охлаждения задней опоры и выхлопного устройства с жестким суживающимся соплом.

Испытания газогенератора проводились в два этапа. На первом этапе отрабатывались система охлаждения турбины газогенератора и ТАП; исследовалось взаимодействие узлов системы кондиционирования в условиях работы газогенератора. Максимальная температура газа в критическом сечении соплового аппарата была равна  $T_{\Gamma}^{*}$ = 1645 К. Температура рабочих лопаток, измеренная пирометром, составляла  $t_n$  = 870...880 °C при  $\bar{n}_{\kappa \phi}$  = 99,1 % и  $T_{\text{BX}}^* = 437 \text{ K}.$ 

Испытания газогенератора на втором этапе показали, что качественное изменение большинства характеристик новой системы охлаждения идентично характеристикам, полученным при испытаниях на первом этапе. Количественные изменения в отдельных характеристиках связаны с заменой на втором этапе некоторых узлов, как в системе охлаждения, так и в самом газогенераторе. Так, в системе охлаждения был установлен новый турбоагрегат подкачки с улучшенной турбиной.

В целом на втором этапе испытаний система охлаждения обеспечила работу газогенератора при повышенной температуре газа. Максимальная температура газа в критическом сечении соплового аппарата достигала  $T_{\Gamma}^*$ = 1830 К на режиме с параметрами воздуха  $\rho_{\text{BX}}^*$ = 277 кПа,  $T_{\text{BX}}^*$ =577 К и частотой вращения ротора **п<sub>к</sub>=1,01**.

В диапазоне рабочих режимов газогенератора  $\bar{\pmb{n}}_{r,np}$ = 0,85...0,97 приведенный расход воздуха на входе в компрессор составил  $G_{\rm B.\,np}$ =16...20 кг/с, степень повышения давления воздуха в компрессоре  $\pi_{\kappa\pi}$  = 5,5...7,2, степень понижения давления в турбине  $\pi^*$ , =3,2...3,3.

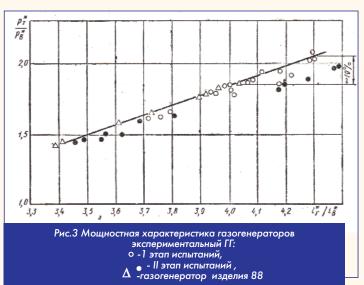
В исследованной области характеристики компрессора газогенератора адиабатический к. п. д. компрессора составил  $\eta_{\kappa}^{*} = 0.835...0.85.$ 

"Увязочный" к. п. д. турбины газогенератора  $\eta_{\tau}^*$  = 0,845...0,857. Мощностная характеристика газогенератора, характеризуемая зависимостью  $p_{_{\mathrm{T}}}^*/p_{_{\mathrm{B}}}^*=f(i_{_{\mathrm{F}}}^*/i_{_{\mathrm{K}}}^*)$ , представлена на Рис. 3. Там же для сравнения приведена экспериментальная мощностная характеристика газогенератора изделия 88. Зависимостью  $p_{_{\mathrm{T}}}^*/p_{_{\mathrm{B}}}^*=f(i_{_{\mathrm{F}}}^*/i_{_{\mathrm{K}}}^*)$ учитываются все потери, связанные с газодинамическим несовершенством элементов газогенератора (потери к. п. д. компрессора и турбины, потери полного давления по тракту), потери при отборе воздуха на

$$\pi_{zz}^{*} = \frac{p_{t}^{*}}{p_{\theta}^{*}} = \pi_{K}^{*} \left(1 - \frac{\frac{*K-1}{\pi_{K}}}{\eta_{K}^{*} \eta_{t}^{*} \eta_{M} (1 + q_{T})(1 - \delta_{om6}) i_{z}^{*}} / i_{\theta}^{*}\right)$$

В результате сравнения значений  $\boldsymbol{p}^*_{\scriptscriptstyle \mathrm{T}}/\boldsymbol{p}^*_{\scriptscriptstyle \mathrm{B}}$  газогенераторов при заданной величине подогрева $i_r^*/i_R^*$  получаем комплексную оценку их газодинамической эффективности.

Как видно из Рис. 3, газодинамическая эффективность экспериментального газогенератора практически осталась на том же уровне, что и эффективность газогенератора (изделие 88). Повышение температуры газа перед турбиной позволило повысить приблизительно на  $150^{\circ}$ C на взлетном режиме ( $\bar{n}_{np} \approx 0,97$ ) и получить отношение  ${m p}^*_{_{\rm T}}/{{m p}^*_{_{\rm B}}}$  приблизительно на 10% выше по сравнению с  $p_{_{\rm T}}^*/p_{_{\rm R}}^*$  газогенератора изделия 88.



Термогазодинамическое совершенство газогенератора как тепловой машины в диапазоне рабочих режимов определяется зависимостью удельного расхода топлива  $\textit{C}_{e\pi}$  от удельной приведенной работы цикла газогенератора.

Удельная приведенная работа цикла газогенератора представляет собой энергию, образующуюся в результате адиабатического процесса расширения при снижении давления от  $oldsymbol{
ho}^*_{_{\mathrm{B}}}$  до  $oldsymbol{
ho}^*_{_{\mathrm{B}}}$ .

$$i_{zz} = \frac{(1+q_T)(1-\delta_{om6})}{i_{\theta}^*}(i_T^* - i_{a\partial})$$

Характеристикой  $C_{err} = \int [i_{rr}]$  учитываются все потери (включая неполноту сгорания топлива), связанные с преобразованием подведенного тепла топлива в полезную работу цикла газогенератора.

Зависимость удельного расхода топлива от удельной приведенной работы цикла газогенератора приведена на Рис. 4. Там же для сравнения приведена экспериментальная зависимость для газогенератора изделия 88.

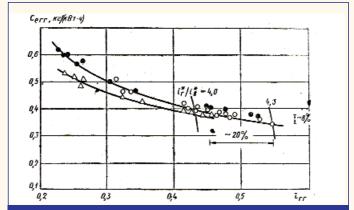


Рис. 4. Зависимость удельного расхода топлива от удельной приведенной работы цикла газогенератора o -1 этап испытаний, - II этап испытаний ∆ -газогенератор изделия 88

Из рис. 4 видно, что удельная приведенная работа цикла экспериментального газогенератора приблизительно на 20% больше, а удельный расход топлива приблизительно на 8% меньше по сравнению с их значениями у газогенератора изделия 88 при  $\bar{n}_{\kappa no}$ =idem.

Наработка газогенератора на режимах с повышенной температурой газа в диапазоне 1700...1830 К составила 35 мин, в том числе на режимах с  $T_{\Gamma}^*$ = 1700...1750 K - 26 мин, с  $T_{\Gamma}^*$ = 1770...1830 K- 9 мин.

Температура рабочих лопаток турбины, измеренная пирометром в зоне выходной кромки, не превышала 990°С (см. Рис.5). Указанная максимальная температура рабочих лопаток соответствует относительно невысокому уровню снижения температуры охлаждающего воздуха в теплообменнике  $\Delta T_{\text{в.р.к.}}$  = 140 °C. В теплообменнике в линии охлаждения соплового аппарата на режиме с максимальной температурой газа температура охлаждающего воздуха понижалась на  $\Delta T_{B.c.a.} = 250 \, ^{\circ}\mathrm{C}$ 

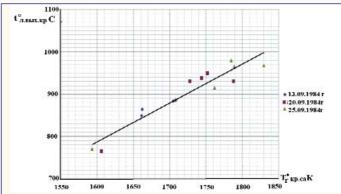


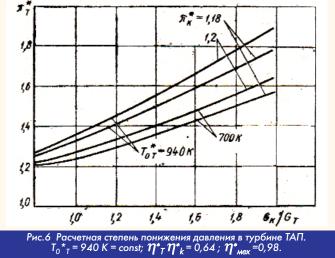
Рис.5 Изменение температуры выходной кромки рабочей лопатки от температуры газа в критическом сечении соплового аппарата

При испытаниях турбоагрегат подкачки работал устойчиво. Максимальная частота вращения его ротора составляла  $n_{\text{ТАП}} = 58350$  об/мин, что соответствовало  $\bar{n}_{\text{ТАП}} = 0.986$ .

Приведенная частота вращения ротора ТАП (параметры приведения:  $T_0^*$ = 670K,  $n_{pacy}$ = 60 000 об/мин) оставалась практически постоянной при увеличении частоты вращения ротора газогенератора. Степень повышения давления  $oldsymbol{n}_{\kappa}^*$  тап составляла 1,108...1,12. Степень повышения давления  $\pi_{\kappa}^*_{\mathsf{TA}\mathsf{\Pi}}$  при работе в условиях газогенератора получена на 1 - 1,5% меньше расчетной, что связано с повышенной пропускной способностью системы охлаждения соплового аппарата.

Степень понижения давления в турбине ТАП составляла  $\pi_{_{\mathrm{T}}}^{*}$  = 1,62...1,77. Меньшие значения  $\pi_{_{\mathrm{K}}}^{*}$  тап и  $\pi_{_{\mathrm{T}}}^{*}$  соответствуют второму этапу испытаний газогенератора. На втором этапе испытаний газогенератора модернизированная турбина ТАП имела улучшенные характеристики. Уменьшение приблизительно на 8%  $\pi_{_{\scriptscriptstyle T}}^{\phantom{*}*}$  позволило соответственно повысить располагаемый перепад в линии охлаждения рабочего колеса турбины газогенератора. Степень повышения давления в компрессоре ТАП получена на 1% меньше из-за снижения приведенной частоты вращения и увеличения расхода воздуха через компрессор, что было вызвано повышенной пропускной способностью системы охлаждения соплового аппарата газогенератора (пропускная способность каналов охлаждения соплового аппарата на втором этапе исследования приблизительно на 0,5% выше).

В стендовом варианте система кондиционирования выполнена с оптимальной последовательностью агрегатов в линии охлаждения соплового аппарата. Воздух в компрессор ТАП поступает охлажденным в теплообменнике, что снижает затраты мощности турбины ТАП. Возможно большее снижение мощности турбины (а следовательно, и  $\pi_{_{\scriptscriptstyle \mathsf{T}}}^*{_{\scriptscriptstyle \mathsf{TA}\Pi}}$ ) путем уменьшения количества сжимаемого воздуха в компрессоре ТАП. Так, в сопловом аппарате газогенератора компенсация потерь давления, связанных с кондиционированием, требуется только для воздуха, выпускаемого через перфорацию входной кромки и на заградительное охлаждение корыта лопатки, что составляет 50% от всего количества. На Рис. 6 показана расчетная степень понижения давления в ступени турбины ТАП при возможных способах организации системы кондиционирования. Видно, что при уменьшении количества сжимаемого воздуха вдвое требуемая степень понижения давления в турбине ТАП уменьшается в 1,25-1,3 раза.



Таким образом, система кондиционирования с поджатием охлаждающего воздуха представляется оптимальной, если:

1) воздух в компрессор турбоагрегата подкачки поступает предварительно охлажденным, т. е. теплообменник в линии охлаждения соплового аппарата установлен перед компрессором ТАП;

2) из всего количества воздуха, предназначенного для охлаждения соплового аппарата турбины, в компрессоре ТАП поджимается лишь та его доля, которая выпускается через перфорацию входной кромки и корыта сопловых лопаток.

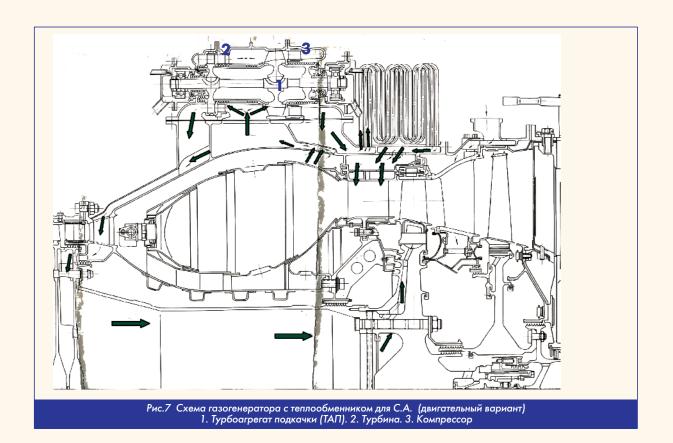
В целом оценка результатов испытаний показала, что применение новой схемы охлаждения, обеспечивающей повышение температуры газа на 150-200 °С, позволило повысить удельную приведенную работу цикла газогенератора на 15-20 %.

Попытка выполнить в двигательном варианте кондициони-

рование охлаждающего воздуха после испытаний экспериментального газогенератора в стендовом исполнении не нашла своего дальнейшего развития. На этом этапе, к сожалению, в девяностых годах прошлого столетия работа была приостановлена.

На рисунках 7,8 представлены схемы кондиционирования охлаждающего воздуха в двигательном варианте, разработанные в ЦИАМ.

Связь с авторами: ceretely@ciam.ru



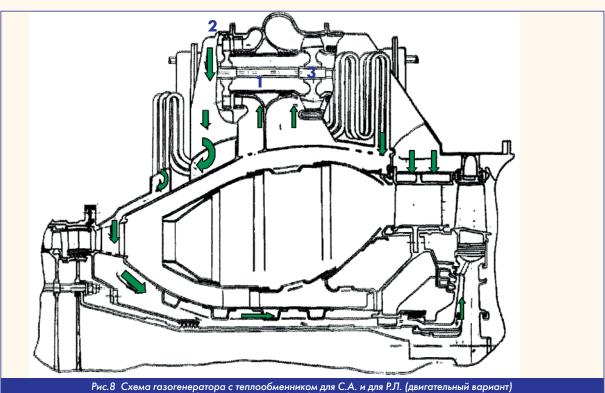
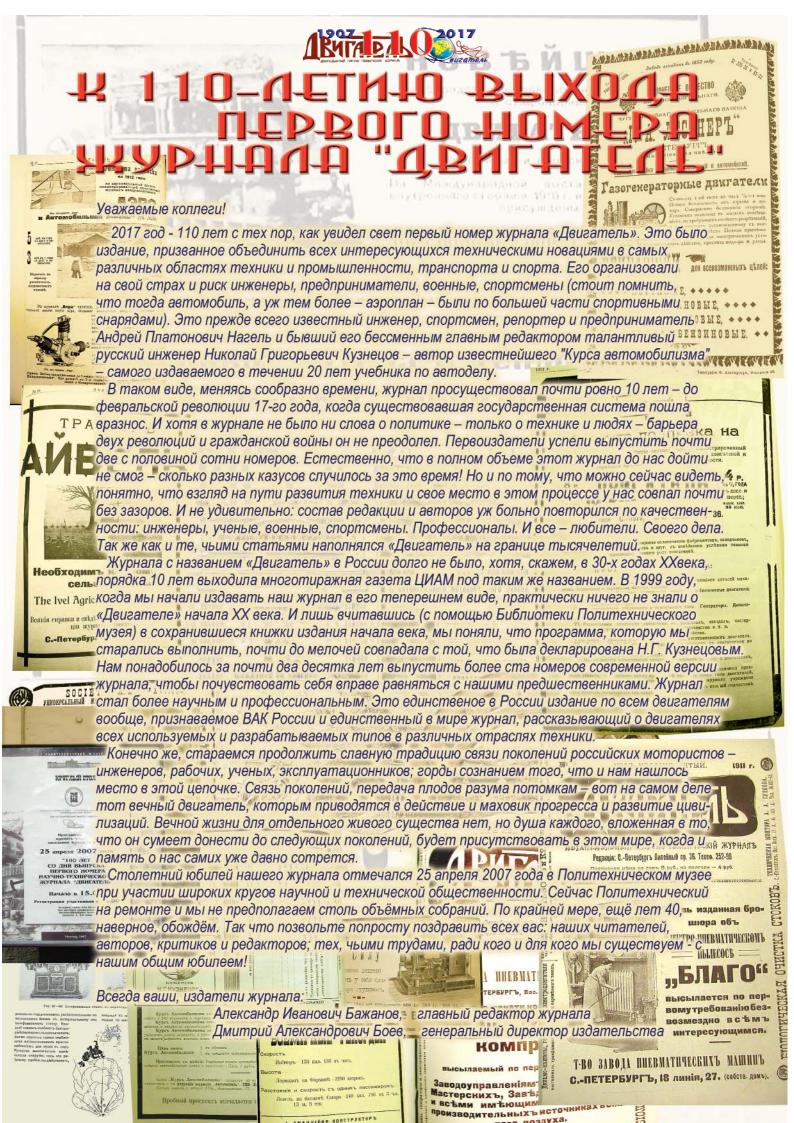


Рис.8 Схема газогенератора с теплообменником для С.А. и для Р.Л. (двигательный вариант) 1. Турбоагрегат подкачки (ТАП). 2. Турбина. 3. Компрессор



# РЕГУЛИРОВАНИЕ ОСЕВЫХ СИЛ НА РАДИАЛЬНО-УПОРНЫХ ПОДШИПНИКАХ И КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ СИЛАМИ

**Юрий Борисович Назаренко,** к.т.н., ведущий конструктор ОКБ им. А. Люльки - филиал ПАО "ОДК-УМПО"

Рассматривается регулирование осевой силы на радиально-упорном подшипнике благодаря гидродинамическим силам потока масла, проходящего через сужающийся кольцевой зазор в радиальном направлении между гидродинамическим элементом и фланцем, связанным с валом. При изгибе вала на критических частотах вращения на противоположных сторонах кольцевой щели в плоскости изгиба вала зазоры изменяют свою ширину и создается изгибающий момент, препятствующий прогибам вала и повышающий критическую частоту вращения ротора. Examines the regulation of the axial forces for angular contact bearing due to the hydrodynamic forces of the oil flow pasing through the tapering annular gap in the radial direction between the hydrodynamic element and the flange associated with the shaft. Bend the shaft at the critical speed of the rotor on opposite sides of the annular gap in the plane of bending of the shaft, alters their width and creates a bending moment that prevents shaft deflection and increasing the critical frequency of rotation of the rotors.

Ключевые слова: ротор, вал, подшипник, гидродинамические силы, критическая частота вращения ротора. Keywords: rotor, bearing shaft, bearing, hydrodynamic forces, critical revolution frequency of the rotor.

#### 1 Введение

Одной из специфик работы газотурбинных двигателей является возникновение осевых сил роторов, обусловленных газодинамическими силами. На ротор компрессора действует осевая сила, направленная по полету, а на ротор турбины - против полета.

Для уменьшения результирующей осевой силы, ротора компрессора и турбины соединяют между собой в осевом направлении последовательно, так как осевые силы, действующие на них направлены в противоположные стороны.

Результирующая осевая сила, как правило, направленная по полету, воспринимается упорным подшипником вала ротора, в качестве которого используют обычно радиально-упорный шариковый подшипник.

Однако, как показала практика эксплуатации газотурбинных двигателей, даже в случае соединения валов роторов компрессора и турбины низкого давления друг с другом, действующая на подшипник вала ротора осевая результирующая сила может оказаться весьма значительной, что негативно сказывается на эффективности работы радиально-упорного подшипника.

При большой осевой силе и при большой частоте вращения ротора создание надежно работающего радиально-упорного шарикового подшипника представляет большие трудности. Это связано с большими центробежными силами тел качения, что ограничивает применение подшипников с большими габаритами и более высокой грузоподъемностью.

Особенно актуально этот вопрос встает для роторов низкого давления. В настоящее время в перспективных двигателях разрабатываются вентиляторы с повышенным значением  $\pi_{\rm K}$ . Это увеличивает расход воздуха и повышает тягу двигателя. Вместе с тем это увеличивает осевую силу компрессора низкого давления. Увеличение осевой силы компрессоры низкого давления, как правило, превышает приращение осевой силы турбины, и результирующая осевая сила также повышается.

Увеличение результирующей осевой силы роторов, приходящейся на радиально-упорный подшипник, дает прирост тяги двигателя.

Однако весьма актуально встает проблема уменьшения осевых сил, приходящихся на радиально-упорные подшипники при использовании простых конструктивных решений без дополнительных энергетических установок, требующих серьезных конструктивных решений и без потерь коэффициента полезного действия и тяговых характеристик двигателя.

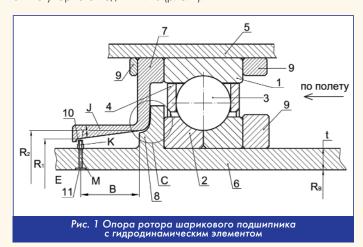
В данной статье предлагается техническое решение уменьшения осевых сил на шариковом подшипнике, основанное на соз-

дании гидродинамических сил при прохождении радиального потока масла через сужающийся кольцевой зазор в радиальном направлении между гидродинамическим элементом и торцом внутреннего кольца шарикового радиально-упорного подшипника, что более эффективно, чем применение гидродинамического устройства совместно с роликовым подшипником [1], так как в этом случае происходит также повышение критических частот вращения роторов.

### 2 Регулирование осевых сил роторов гидродинамическими силами потока масла

Рассмотрим гидродинамическое устройство регулирования осевых сил на шариковом радиально-упорном подшипнике при использовании потока масла, предназначенного для смазывания и охлаждения его.

Это достигается благодаря гидродинамическим силам потока масла, проходящего с определенной скоростью через сужающийся зазор в радиальном направлении между гидродинамическим элементом и торцом внутреннего кольца шарикового радиально упорного подшипника (рис. 1).



Гидродинамические силы при движении масляного потока в радиальном зазоре будут передаваться через фланец 8 внутреннему кольцу подшипника, жестко связанному с помощью стопорного кольца 9 с валом в направлении против полета, и будут уменьшать осевую силу, направленную по полету на радиально-упорный подшипник.

Уменьшение осевой силы на радиально упорном подшипнике

будет улучшать условия его работы, и повышать его ресурс. Но с другой стороны шарик радиально-упорного подшипника будет передавать меньшую осевую силу статору двигателя, что уменьшает тяговые характеристики двигателя.

Однако точно такая же сила будет действовать на гидродинамический элемент 7, жестко связанный со статором стопорным элементом 9, и уменьшение осевой силы будет компенсировано. В результате чего тяга двигателя не изменится при уменьшении осевой силы на радиально-упорный подшипник.

Между кольцевым пояском (гидродинамический элемент) и фланцем, примыкающим к подшипнику, реализуют зазор, имеющий сужение в радиальном направлении от оси вращения при минимальном значении равном "е" и максимальном - "b" (рис. 2).

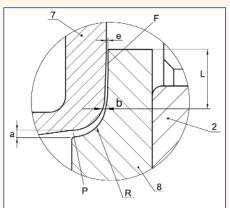


Рис. 2 Щелевой зазор между гидродинамическим элементом и фланцем, примыкающим к внутреннему кольцу подшипника

Для подачи масла в подшипник и создания гидродинамических сил масляного потока целесообразно использовать масляные форсунки или масляный коллектор 10, например, струйного типа, оснащенные жиклерами.

Каналы "К" коллектора 10 и каналы "М" на валу 6 соединены с кольцевой канавкой 11, выполненной в полости вала, куда поступает масло от масляной системы ГТД (рис. 1).

В процессе работы

ПД его вал  $\delta$  приводится во вращение, следовательно, приводится во вращение и скрепленное с ним кольцо подшипника. Масло от масляной системы двигателя подается к жиклерам, которые совершают движение вращения вместе с валом  $\delta$ , и, под давлением со скоростью V направляется на коническую поверхность маслоулавливающего козырька.

Выходные отверстия коллектора (жиклеры) направлены таким образом, чтобы они находились в одной плоскости, нормальной к оси подшипника и перпендикулярно к оси радиального канала K.

Потоки масла при этом имеют окружное направление, а скорость будет определяться круговой скоростью вращения сопла коллектора и скоростью истечения масла из форсунки  $V_{\Omega}$ .

Скорость сопла будет равна

$$V = \omega \cdot (R_{\rm B} + t + \lambda), \tag{1}$$

где  $R_{\rm B}$  - внутренний радиус вала; t - толщина вала;  $\lambda$  - радиальное расстояние от внешней поверхности вала до выходного сопла;  $\omega$  - круговая скорость вращения ротора.

Для определения скорости истечения масла из сопла установим давление масла в коллекторе на уровне сопла.

Давление масла в коллекторе на уровне выходного сопла определяется центробежной силой массы масла в каналах "K" и "M"

$$P = (\lambda + t) \cdot \rho \cdot R_{C} \cdot \omega^{2}, \tag{2}$$

где  $\rho$  - плотность масла;  $R_{\rm C}$  - радиус центра масс столба масла,  $R_{\rm C}=R_{\rm B}+(\lambda+t)/2$  .

Скорость истечения масла через жиклеры для несжимаемой жидкости при площади сечения масляного канала для подачи масла к соплу, намного превышающей его площадь, определяется из зависимости Бернулли

$$V = \sqrt{2P/\rho}.$$

Под действием центробежных сил и наклона козырька потоки масла получают направление вдоль оси подшипника и формируются в единый поток, имеющий форму кольца в окружном направлении. Скорость масляного потока на входе в кольцевой радиальный зазор "F" равна [2]

$$V = \sqrt{2B \cdot V_O^2 \cdot \gamma / (R_2 - B \cdot \gamma / 2)},\tag{4}$$

где  $R_2$  - наибольший радиус наклонной поверхности конусной части отбортовки; B - осевая длина конической поверхности;

 $\gamma$  - угол конуса отбортовки кольца;  $V_{\rm O}$  - окружная скорость пото-

Для направления масляного потока в щелевой канал "F" осевой поток масла на козырьке J гидродинамического элемента 7 подается на торец втулки 8, который имеет скругление по дуге окружности.

Аналогичное скругление выполнено на торце козырька гидродинамического элемента. В результате этого поток масла в канале "Р" изменяет свое направление с осевого на радиальный и попадает в зазор между гидродинамическим элементом и фланцем, примыкающим к внутреннему кольцу подшипника.

При движении потока масла с определенной скоростью в радиальном направлении между двух пластин, образуемых торцевой поверхностью кольца 7 и фланцем 8 при сужении зазора между ними будут возникать гидродинамические силы.

При отсутствии движения двух пластин в радиальном направлении и движении только потока масла, гидродинамическое давление в середине пластин определим из выражения [1-2]

$$P = \frac{6\mu}{\beta} \left[ h_1 \cdot V \left( \frac{1}{h_{cp}^2} - \frac{1}{h_1^2} \right) \right], \tag{5}$$

где  $h_1$  - начальная величина зазора;  $h_{\rm cp}$  - зазор в середине пластины; V - скорость потока масла;  $\mu$  - динамическая вязкость масла;  $\beta$  - угол наклона пластины канала "F".

Применение данного устройства регулирования осевых сил позволяет увеличить ресурс радиально-упорного подшипника за счет уменьшения осевой силы, действующей на него без изменения тяговых характеристик двигателя. Кроме этого это позволяет отказаться от торцевых и радиальных уплотнений, применяемых при регулировании осевых сил, использующих гидравлические или пневматические устройства.

Пример реализации устройства, рассмотрим на модели ротора с шариковым радиально-упорным подшипником с габаритными размерами 60×110×22 мм.

На длине L=4,5 мм минимальная и максимальная величина радиального кольцевого зазора "F" составляет соответственно e=20 мкм и b=30 мкм.

Ширина "В" линейного участка конической поверхности при конусности  $\gamma=0,0375$  рад отбортовки кольца 7 составляла 40 мм . Наибольший радиус наклонной поверхности конусной части отбортовки кольца составлял  $R_2=36$  мм, а наименьший -  $R_1=34,5$  мм. Радиус закругления криволинейного канала - R=2 мм.

Для принятых исходных данных осевая сила, действующая на фланец и вал ротора, уменьшает осевую силу на радиальноупорном подшипнике на величину F = 2731,3 H.

### Устранение резонанса на критической частоте вращения роторов гидродинамическими элементами

Одним из важных моментов при регулировании осевых сил роторов с помощью гидродинамических элементов является возможность одновременного устранения прогибов вала на критических частотах их вращения.

Это связано с тем, что в плоскости прогиба вала каналы сужаются с одной стороны и расширяются на диаметрально противоположной стороне. Сужение каналов увеличивает гидродинамические силы и соответственно уменьшает при их увеличении. При этом, возникающий момент препятствует прогибам валов и повышает критические частоты вращения роторов.

Принимая изгиб вала по синусоидальному закону при максимальном прогибе в середине пролета, угол поворота вала на опоре будет равен

$$\alpha = Y_{\bigcirc} \cdot (\pi/L) \cdot \cos \pi \,, \tag{6}$$

где  $Y_{\rm O}$  - максимальный прогиб вала в середине пролета; L -

При повороте фланца на угол  $\alpha$ , уменьшение и увеличение ширины зазора на минимальном радиусе кольцевого зазора "F"  $R_3$ , составит  $\Delta=\operatorname{tg}\alpha\cdot R_3$ , а на максимальном радиусе -  $R_4$  будет равно  $\Delta=\operatorname{tg}\alpha\cdot R_4$ .

Максимальная и минимальная величина радиального кольцевого зазора "F" в зоне максимального уменьшения зазора составит соответственно  $h_1$  = b -  $tg\alpha$ ·  $R_3$  и  $h_2$  = e -  $tg\alpha$ ·  $R_4$ ·

Определим изгибающий момент от гидродинамических сил, действующих на фланец при максимальном прогибе вала  $Y_{\rm O}$  = 0,05 мм (рис. 3). На длине L = 4,5 мм минимальная и максимальная величина радиального кольцевого зазора "F" составляет соответственно e = 20 мкм и b = 30 мкм. Минимальный радиус кольцевого зазора "F" равен  $R_3 = 38$  мм, а максимальный -  $R_4 = 42,5$  мм.

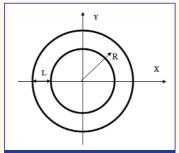


Рис. 3 Кольцевая зона приложения

При этом ширина зазора "F" при изгибе вала в сечениях, расположенных на оси " $\chi$ ", не изменяется, и гидродинамическое давление на фланец в сечении, расположенном на оси "Х", будет определяться при первоначальных зазорах щелевого канала и будет равно для принятых исходных данных  $P_0 = 2.4 \text{ M}\Pi a$ .

Максимальная и минимальная величины радиального кольцевого зазора "F" в зоне максимального уменьшения зазора, например, в верхней половине относительно оси "Х" составит, соответственно,  $h_1$  = 20,1 мкм и  $h_2$  = 9 мкм, а угол наклона пластины канала "F" -  $\beta$  = 0,00247 рад. Максимальное гидродинамическое давление для верхней половины фланца в момент максимального сужения зазора в середине канала "F" на оси "Y" в осевом направлении составит 6,6 МПа.

Минимальное гидродинамическое давление для нижней половины фланца в момент максимального расширения зазора в середине канала "F" на оси "Y" в осевом направлении при  $h_1 = 39,9\,$  мкм и  $h_2 = 31\,$  мкм и наклоне пластин канала "F" - $\beta$  = 0,002 рад составит  $P_{\min}$  = 1,2 МПа.

Определим изгибающий момент для полукольца фланца, где происходит уменьшение ширины зазора относительно оси "Х" и давление изменяется по синусоидальному закону от среднего значения на кольце  $P_{\rm O}$  = 2,4 МПа (на оси "X") и до максимального  $P_{\text{max}} = 6,6 \text{ МПа (на оси "Y")}$ 

$$M_{1} = \int_{0}^{\pi} [q_{O} + (q_{\text{max}} - q_{O}) \cdot \sin \theta] \cdot R^{2} \cdot \sin \theta \cdot d\theta, \qquad (7)$$

где  $q_{\rm O}$  - среднее значение погонной силы на кольцо в осевом направлении,  $q_O = P_O \cdot L$ ;  $q_{max}$  - максимальное значение погонной силы на полукольцо на оси "Y",  $q_{max} = P_{max} \cdot L$ ; L - длина радиального щелевого канала; R - средний радиус приложения гидродинамического давления на кольцо фланца,  $R = (R_3 + R_4)/2$ .

Установим изгибающий момент для полукольца фланца, где происходит увеличение ширины зазора относительно оси "Х" и давление изменяется от среднего  $P_{\rm O}$  = 2,4 МПа (на оси "X") и до минимального  $P_{\min} = 1,2 \, \text{МПа}$  (на оси "Y").

Изгибающий момент полукольца относительно оси "Х" будет равен

$$M_2 = \int_{0}^{\pi} [q_{\mathcal{O}} + (q_{\min} - q_{\mathcal{O}}) \cdot \sin \theta] \cdot \mathbb{R}^2 \cdot \sin \theta \cdot d\theta , \qquad (8)$$

где  $q_{\min}$  - минимальное значение погонной силы на полукольцо,  $q_{\min} = P_{\min} \cdot L$ .

Суммарный изгибающий момент, действующий на фланец и на вал, будет равен  $M = M_1 - M_2$ .

Этот гидродинамический момент будет устранять прогиб вала и повышать критическую частоту вращения ротора аналогично, как это происходит и при возникновении гироскопического момента при наклоне вращающегося диска [2].

Оценим влияние гидродинамических сил на увеличение критической частоты на модели ротора со стальным диском при осевом моменте инерции 0,25 кг·м², расположенным в одной четверти пролета. Длина стального вала L=600 мм и диаметр 60 мм при шарнирном опирании на опорах. Круговая критическая скорость вращения вала, определенная для данного ротора методом конечных элементов, составляет  $\omega_{\rm K}$  = 1351 рад/с. Критическая частота вращения ротора равна 215 Гц при собственной частоте колебаний 196,3 Гц.

Для принятых исходных данных гидродинамический момент равен  $M_{\rm r}$  = 62 H·м. При этом величина гироскопического момента для ротора с одним диском, расположенным в четверти проле-

$$M_{\text{FMP}} = J_{\text{C}} \cdot \omega_{\text{K}}^2 \cdot \alpha = 84.4 \text{ Hm},$$
 (9)

где  $J_{\mathrm{C}}$  - момент инерции диска;  $\omega_{\mathrm{K}}$ - круговая критическая скорость вращения вала,  $\omega_{\rm K}$ = 1351 рад/с;  $\alpha$  - угол поворота диска,  $\alpha = Y_{O} \cdot (\pi/L) \cdot \cos(x\pi/L) = 1.85 \cdot 10^{-4}$  рад.

Изгибающий гидродинамический момент на фланце, возникающий при колебаниях вала с такой же амплитудой, как и при определении гироскопического момента, составляет 73 %.

Влияние гидродинамического момента, возникающего при колебаниях вала на критические частоты вращения, установим путём увеличения осевого момента инерции диска на 73 %, что будет соответствовать такому же увеличению гироскопического момента, препятствующего прогибу вала.

Критическая частота вращения ротора при этом увеличивается на 6 % и составит 228,3 Гц.

Изменение гидродинамического и гироскопического изгибающего момента при увеличении прогиба вала представлено на диаграмме (рис. 4).

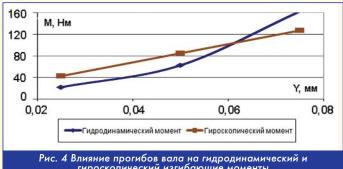


Рис. 4 Влияние прогибов вала на гидродинамический и гироскопический изгибающие моменты

Применение устройства регулирования осевых сил путем прохождения потока масла в шелевом зазоре между гидродинамическим элементом и торцом фланца, примыкающим к внутреннему кольцу, позволяет увеличить ресурс радиально-упорного подшипника, а также повышать критические частоты вращения роторов и выводить их из рабочего диапазона эксплуатации.

### Литература

- 1. Назаренко Ю.Б. Регулирование осевых сил роторов газотурбинных двигателей гидродинамическими элементами // XXXVII Всероссийская конференция по проблемам науки и технологий / Сборник трудов, т. 1. - Миасс, РАН, 2017. - С. 157-168.
- 2. Марчуков Е.Ю., Назаренко Ю.Б. Динамика роторов и гидродинамика масляного клина подшипников качения газотурбинных двигателей: монография // Москва, 2016. -186с.

Связь с автором: nazarenkojb@rambler.ru



# ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

## ЗНТРОПИЙНЫЕ ПОТОКИ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕНОСА

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

Получено аналитическое выражение для энтропии газового потока и методами молекулярно-кинетической теории показана её прямая зависимость от дисперсии функции распределения молекул по скоростям. Подробно рассмотрены вопросы энтропийных потоков и предложены рабочие формулы для расчетов энтропийных потоков и энтропийных скоростей. Сделаны уточнения в формулах для расчетов переносных свойств с учетом энтропийных

An analytical expression for the entropy of a gas stream and methods of molecular-kinetic theory shows its direct dependence on the dispersion of the distribution function of velocities. Discussed the entropy flow and the working formulas for calculating entropy flow and entropy speeds. Made refinements to the formulas for calculations of the transport properties taking into account entropic effects.

Ключевые слова: турбулентность, термогазодинамика, тензор.

Keywords: turbulence, entropy, variance, distribution.

В предыдущей работе [1] была качественно показана прямая связь энтропии системы с дисперсией функции распределения в уравнении Больцмана. Эта связь объясняет смысл энтропии как меры хаоса, а точнее, наоборот - степени порядка. Было установлено, что полный беспорядок реализуется тогда, когда энтропия стремится условно к бесконечности, или когда функция распределения превращается в некоторую равновероятную  $\alpha$ -функцию с амплитудой  $\varepsilon - 0$  и дисперсией Д  $- \infty$ . Это означает, что молекулы, атомы или элементарные частицы обладают наибольшей индивидуальностью. У каждого своя масса, и они практически не зависят друг от друга. И, наоборот, если функция распределения стремится к максвелловской, то взаимосвязь частиц в этом случае максимальна и ситуация приходит к состоянию равновесия системы. Было показано, что в этой ситуации значение энтропии равно значению газовой постоянной  $\mathcal{S}_{\mathsf{paвh}} = \mathcal{R}_{\mu}$ . И тогда, наряду с выполнением условия равновесия по Максвеллу, будет выполняться аналогичное условие равновесия по Менделееву и Клапейрону. То есть для идеального газа будет справедливо уравнение состояния Менделеева-Клапейрона. И чем дальше энтропия будет удаляться от газовой постоянной, тем интенсивнее процесс установления неравновесности системы. Функция распределения будет расползаться относительно максвелловской, а ее дисперсия будет увеличиваться.

Также было показано, что с увеличением энтропии появляются внутренние потоки, которые приводят к переносу массы (диффузия), импульса (вязкость) и энергии (теплопроводность). Коэффициенты переноса будут обязательно зависеть именно от этих потоков, точнее - от разности скоростей этих потоков, а ещё точнее - от разности скоростей этих потоков и средней тепловой (равновесной или звуковой) скорости частиц. Любое превышение тепловой скорости неминуемо приведет к неравновесным условиям относительно условий по Максвеллу. Эти новые потоки являются потоками энтропии. Прежде всего возникает энтропийная скорость. Только лишь она ответственна за перенос основных физических характеристик. Следует отметить, что скорость звука также является результатом движения энтропийных потоков. Но! Только лишь при условии, когда энтропия принимает свое предельное значение: значение, равное газовой постоянной. А уже было сказано, что газовая постоянная есть энтропия в условиях равновесия. В работе [2] было также показано, что энтропия, хотя и стремится к бесконечности, но она ограничена справа величиной теплоемкости при постоянном объеме  $C_V$ . Для идеального газа было получено неравенство:

$$1 \le \frac{S}{R} \le \frac{1}{\kappa - 1} \ ,$$

 $1\leqslant \frac{S}{R}\leqslant \frac{1}{\kappa-1}\ ,$  из которого следует, что при  $\kappa=C_P/C_V$  — 1, энтропия стремится к бесконечности.

### Дисперсия равновесной функции распределения

Л. Больцманом было доказано, что при условии равновесия системы функция распределения будет стремиться к функции распределения Максвелла [3]. Было также доказано, что максвелловское распределение скоростей является единственно возможным, и если в какой-то момент между молекулами имеет место максвелловское распределение, то и в дальнейшем оно не будет нарушаться столкновениями.

Определим через максвелловское распределение значение энтропии и покажем, что она зависит от дисперсии функции распределения. Для этого воспользуемся выражением для этой функции, приведенным, например в [4]:

$$f = \left(\frac{1}{\pi V_{H}^{2}}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{v_{i}^{2}}{v_{i}^{2}},$$

где  $V_i$  - скорость молекул;

 $v_{\scriptscriptstyle \perp}$  - наиболее вероятная скорость молекул, соответствующая скорости теплового движения при условии равновесия системы.

Определим энтропию системы в соответствии с отождествлением Больцмана  $s = -\kappa_{\rm E} \ln f$ .

Тогда

$$s = -\kappa_{\rm B} \ln \left( \frac{1}{\pi v_{\rm u}^2} \right)^{\frac{3}{2}} + \kappa_{\rm B} \frac{v_{\rm i}^2}{v_{\rm u}^2}.$$

Значение  $\kappa_{\rm B}$  выразим через универсальную газовую постоянную и число Авогадро. Тогда:

$$s = -\frac{R}{N_A} \ln \left( \frac{1}{\pi v_H^2} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{R}{N_A} \frac{v_i^2}{v_H^2}$$

$$s = -\frac{3}{2} R \ln \left( \frac{1}{\pi v_{\mu}^{2}} \right)^{\frac{1}{N_{A}}} \frac{R}{N_{A}} \frac{v_{i}^{2}}{v_{\mu}^{2}}.$$

Первый член справа пропадет вследствие того, что корень из  $1/\pi v_{_{\rm H}}^2$  превратится в единицу и тогда логарифм будет равен

После домножения левой и правой части на величину молекулярной массы  $\mu$  с целью перехода от молей к килограммам, получим выражение для энтропии S [Дж/(кг·K)] в виде:

$$S = R_{\mu} \frac{V_{i}^{2}}{V_{\mu}^{2}}.$$

Выразим отношение квадрата скоростей через дисперсию. Для этого представим:

$$\sqrt{\frac{S}{R_{\mu}}} = \sqrt{\left(\frac{V_{\rm i} - V_{\rm H}}{V_{\rm H}}\right)^2} + 1.$$

Тогда

$$\frac{S}{R_{\mu}} = \left(\frac{\sqrt{\square}}{V_{H}} + 1\right)^{2}$$

или

$$S = R_{\mu} \left( \frac{\sqrt{\prod}}{v_{H}} + 1 \right)^{2}.$$

Таким образом, получена зависимость энтропии от дисперсии функции распределения. Из последней формулы следует, что если дисперсия равна нулю и скорость молекул не отличается от наивероятнейшей  $v_{\rm H}$ , то энтропия становится равной газовой постоянной. Тем самым с помощью аппарата молекулярной физики доказывается гипотеза [5] о равенстве  $S=R_{\mu}$  при условии равновесия системы. Зависимость энтропии от дисперсии Д характеризует меру хаоса системы, ее беспорядок.

Часто отношение в скобках называют коэффициентом вариации

 $r = \frac{\sqrt{\prod}}{V_{ij}} = \frac{\sigma}{V_{ij}}$ 

где  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение, тогда:  $S = R_{\mu} \, (r+1)^2$  .

$$S = R_{\mu} (r + 1)^2$$

### Потоки энтропии

О потоках энергии впервые высказался русский ученый Николай Алексеевич Умов. Одновременно и независимо от этого тоже самое предложил британский ученый Джон Генри Пойтинг. В истории физики оба этих ученых отмечены как первооткрыватели вектора Умова-Пойтинга. Но, строго говоря, этот вектор не является потоком, а скорее является силой. Часто временную производную от энергии также называют потоком. Но это лишь производительность (производство) энергии. Впервые о потоках энтропии заявил австрийский ученый Густав Яуман, который предложил формулу сохранения энтропии для неравновесного случая. Но сделал он это по аналогии с гидродинамикой. Правильным определением потока следует считать дивергенцию от тензора, построенного домножением скаляра (собственно энергии или энтропии) на единичный тензор.

Одной из характеристик потока является его локальная скорость. Следует отметить, что наивероятнейшая скорость у связана с газовой постоянной и температурой. В молекулярной физике дается формула, которая записывается как:

$$V_{\rm H} = \sqrt{2R_{\mu}T}$$
.

Преобразуя основную формулу для энтропии, получаем

$$S = R_{\mu} \left( \frac{\sqrt{\prod} + V_{H}}{V_{H}} \right)^{2}.$$

Домножая левую и правую части на температуру, получим:

$$ST = R_\mu T \frac{(\sqrt{\square} + v_{\scriptscriptstyle H})^2}{2R_\mu T} = \frac{(\sqrt{\square} + v_{\scriptscriptstyle H})^2}{2} \,. \label{eq:ST}$$

Далее построим тензор Клазиуса (ST-I) и возьмем от него дивергенцию. Другими словами определим поток связанной энергии:

$$\operatorname{div} \mathfrak{Q} = \operatorname{div}(ST \cdot I) = \operatorname{div} \frac{(\sqrt{\prod} + v_{_{\!\!\!H}})^2}{2} \cdot I = \operatorname{grad} \frac{(\sqrt{\prod} + v_{_{\!\!\!H}})^2}{2}.$$

После преобразований получим:

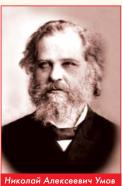
$$\operatorname{div} \mathbf{Q} = (\sqrt{\Pi} + v_{u}) \operatorname{grad} \sqrt{\Pi}$$
.

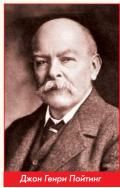
Переходя далее к среднеквадратичному отклонению и коэффициенту вариации, получим окончательно:

$$\frac{d\sigma}{d\tau} = \frac{M}{r+1} \cdot \text{grad}(ST).$$

Здесь М - число Маха (наивероятнейшая скорость заменена на скорость звука).

Привычная в обиходе термогазодинамики скорость звука за-







писывается следующим образом:

$$a = \sqrt{\kappa R_{ii}T}$$

и обычно она отождествляется с тепловой скоростью молекул, так как их отличие мало и непринципиально для анализа. Эти скорости близки и понятно, что они связаны между собой внутренними процессами в термодинамической системе. Эти скорости, прежде всего, связаны с энтропией. Сразу можно сказать, что скорость звука связана с предельной энтропией  $R_{\mu}$  - энтропией равновесия. Тогда можно переписать основную формулу в следующем виде:

$$S \approx R_{\mu} \frac{{v_i}^2}{{\sigma}^2}$$

Снова выразим энтропию через связанную энергию:

$$ST = R_{\mu}T \, \frac{v_{\rm i}^2}{\kappa R_{\mu}T}.$$

Получаем зависимость скорости  $v_i$  от энтропии:

$$v_i = \sqrt{\kappa ST}$$
.

Это скорость энтропийного потока. Она является очень важным понятием и качественно, по-новому, характеризует внутримолекулярный процесс. Наличие этой скорости сигнализирует, что процесс неравновесный, что функция распределения уже не максвелловская, а некоторая текущая, и она уже изменяется во времени. Вступают в силу релаксационные процессы. Процессы восстановления равновесия. И чем дальше система ушла от равновесия, тем больше величина времени релаксации и тем больше времени потребуется на ее восстановление. В данной работе клаузиусовское пророчество о судьбе Вселенной оставим без комментариев, так как это требует тщательного анализа с дополнительной аргументацией. В последующей работе этот вопрос будет обязательно затронут.

### Коэффициенты переноса

Таким образом, получен важный результат: неравновесность зависит от энтропии. Чем сильнее отличаются в большую сторону скорости молекул относительно равновесной тепловой скорости, тем переносный процесс интенсивнее. Действительно, ведь процессы переноса очевидно зависят именно от разности скоростей  $(v_i - v_u)$ . Допустим, что этой разности нет и она равна нулю. Тогда процесс будет равновесный и энтропия примет свое минимальное значение. Но если величина ( $v_i$  -  $v_\mu$ ) будет конечная, то возникнут энтропийные потоки, и с ними активизируются процессы переноса. Тогда спрашивается: "Какая же скорость является характерной для коэффициентов переноса? Скорость звука?" Но ведь эта скорость, как уже было показано, характеризует равновесный процесс. Скорость потока энтропии? Но ведь частично в нее входит тепловая скорость (все та же скорость звука). Очевидно, характерной скоростью будет именно их разность  $(v_i - v_\mu)$ , и, видимо, она будет определять величины коэффициентов переноса. То есть именно относительная скорость  $v_{\rm s} = v_{\rm i}$  -  $v_{\rm h}$  должна присутствовать в коэффициентах диффузии D, вязкости  $\mu$  и теплопроводности  $\lambda$ .

В молекулярно-кинетической теории благодаря Людвигу Больцману [3] уже разработан алгоритм для расчета этих коэффициентов. Так, для расчета коэффициента диффузии предлагается формула:

$$D = \frac{1}{3} \lambda \cdot \overline{v} \,.$$

Для расчета коэффициента вязкости:

$$\mu = \frac{1}{3} \rho \lambda \cdot \overline{v}.$$

Для расчета коэффициента теплопроводности:

$$\chi = \frac{1}{3} C_{V} \rho \lambda \cdot \overline{v}.$$

3десь  $\lambda$  - длина свободного пробега молекул;

ho - плотность вещества;

 $C_{\rm v}$  - теплоемкость при постоянном объеме.

Величина  $\overline{v}$  - это абсолютная скорость молекулы, которая обычно принимается для расчетов. Но! Для столкновения молекул друг с другом характерной является их относительная скорость. Именно скорость  $v_{\rm s}$ . Поэтому для расчетов рекомендуется именно эта скорость, а не абсолютная. Именно эта скорость характеризует энтропийный поток и формула для скорости может быть записана в виде:

$$v_{\rm S} = v_{\rm i} - v_{\rm H} = v_{\rm H} \left( \sqrt{\frac{S}{R_{\mu}}} - 1 \right).$$

Величина  $v_{\rm s}$  является локальной величиной. Для придания общности последней формуле, следует в качестве относительной скорости брать среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ , которое также зависит от энтропии.

В результате проведенного анализа удалось установить, что энтропия является первородной функцией всей молекулярной физики и термодинамики. Именно она определяет состояние системы и внутренние неравновесные потоки переноса массы, импульса и энергии.

### Литература

- 1. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Закон пси от кси // Двигатель №2, 2017.
- 2. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Базис-определяющие тензоры термодинамики // Двигатель №3, 2017.
- 3. Л. Больцман. Лекции по теории газов // М. изд. Технико-теоретической литературы, 1956.
- 4. Г.Н. Паттерсон. Молекулярное течение газов // М. изд. Физико-математической литературы, 1960.
- 5. Ю.М. Кочетков. Новая интерпретация второго начала термодинамики и теорема векторного анализа о соотношении движений // Двигатель №6, 2016.

Связь с автором: swgeorgy@gmail.com

### **РИДРИМИРОВНИ**

Все ведущие мировые автопроизводители постоянно ведут работы, направленные на увеличение эффективности и экономичности используемых двигателей внутреннего сгорания. Так, например, компания Infiniti продемонстрировала двигатель с регулируемой в зависимости от дорожных условий и стиля езды степенью сжатия, а компания Mazda разработала бензиновый "дизель" - двигатель внутреннего сгорания с компрессионным воспламенением бензиновой топливной смеси. Компания предполагает приступить к серийному производству таких двигателей в 2019 году.

Основой такого двигателя является "фирменная" запатентованная технология Spark Controlled Compression Ignition. В отличие от современных бензиновых двигателей, в которых топливная смесь поджигается при помощи искры, вырабатываемой свечой зажигания, в разрабатываемом дви-

гателе воздушно-топливная смесь будет поджигаться без искры, путем сжатия смеси в цилиндре до очень высокого давления.

Такой метод воспламенения смеси известен давно и он используется в дизельных двигателях. Но в случае бензинового двигателя этот способ воспламенения до сих пор не применялся, а ведь он позволил бы использовать более бедную топливную смесь, работать при более низкой температуре и выбрасывать вместе с выхлопными газами в окружающую среду меньшее количество тепловой энергии.

По сравнению с используемыми сейчас компанией Mazda двигателями серии SkyActiv-r, двигатели серии SkyActiv-X будут расходовать на 20...30 % меньше топлива при сопоставимой мощности. При этом, за счет большей степени сжатия топливной смеси вращающий момент у новых двигателей будет на 10...30 % больше, чем



у двигателей предыдущего поколения.

Надо отметить, что пока полностью отказаться от свечей зажигания не удастся, но они необходимы только для холодного запуска двигателя в условиях низкой температуры окружающей среды и в других условиях, затрудняющих процесс компрессионного воспламенения топливной смеси.

Помимо работ по совершенствованию классических технологий компания Mazda планирует выпуск новых моделей электрических автомобилей.

Группа энтузиастов, являющихся членами клуба Tesla Owners Club Italia, установила очередной рекорд дальности поездки на одном заряде аккумуляторных батарей автомобиля Tesla. Автомобиль Model S P100D на одном заряде прошел дистанцию 1078 км, что больше предыдущего рекорда (901,2 км).

При установлении рекорда использовался оптимизированный и самый экономичный стиль вождения. Электромобиль двигался по ровной кольцевой дороге вокруг Салерно с максимальной скоростью 40 км/ч. Автомобиль был "обут" в специальные покрышки, максимально снижающие трение с дорогой во время движения, а само вождение автомобиля осуществлялось в "гладком" режиме с использованием функ-

ций автопилота, максимально эффективно расходующего энергию из аккумуляторных батарей. На преодоление рекордной дистанции потребовалось 29 ч.

Все происходящее сейчас в области электрических авто-

мобилей указывает на то, что поездки на тысячекилометровые дистанции на одном заряде батарей очень скоро станут обыденной вещью. Ведь уже сейчас компания Tesla официально оценивает дальность одной поездки модели P100D в половину от рекордной дистанции. А дальнейшее со-



вершенствование используемых технологий аккумуляторных батарей, электродвигателей и т.п. позволит увеличить как официальную, так и рекордную дистанцию, которая уже сейчас превышает дальность поездки обычных автомобилей на одной заправке топливного бака.

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

Вячеслав Фёдорович Рахмани

Лауреат Государственной премии СССР, к.т.н.

(Продолжение. Начало в 4-6 - 2015, 1-6 - 2016, 1-3 - 2017)

# КОНКУРЕНЦИЯ МЕЖДУ КОРОЛЁВЫМ И ЯНГЕЛЕМ, РАЗРАБОТКА РАКЕТЫ Р-9А

В 1954 году произошло событие, оказавшее существенное влияние на дальнейшее развитие отечественного ракетостроения - 10 апреля 1954 г. в Днепропетровске было организовано ОКБ-586 по разработке ракет дальнего действия, а 9 июля 1954 г. Главным конструктором этого ОКБ был назначен М.К. Янгель. Так был положен конец монополии ОКБ-1 и его Главного конструктора С.П. Королёва на разработку РДД и создано второе направление в ракетостроении - применение долгохранимых (высококипящих) компонентов топлива.

М.К. Янгель пришёл в ракетную технику, как и многие другие "натурализованные" ракетчики, из авиации. После окончания в феврале 1937 г. Московского авиационного института он работал

в ОКБ Н.Н. Поликарпова, с февраля по сентябрь 1938 г. находился в командировке в США, где знакомился с опытом организации работ в авиастроительных фирмах. После возвращения в СССР продолжил работать в ОКБ Поликарпова. В 1944 г. работал в ОКБ А.И. Микояна, а с января 1945 г. - в ОКБ В.М. Мясищева. С 1948 г. Янгель проходит обучение в Академии авиационной промышленности для повышения квалификации руководящих работников авиационной техники и в марте 1950 г. защищает аттестационную выпускную работу. По запросу Министерства вооружения в июне



М.К. Янгель после окончания МАИ

1950 г. Янгеля направляют на работу в ОКБ-1 НИИ-88, где его назначают начальником отдела систем управления ракеты. В этой должности он работает до конца июля 1951 г., когда приказом от 31.07.51 г. министра Д.Ф. Устинова он назначается заместителем Королёва.

За год работы в новой для Янгеля технической области он не только освоил текущие вопросы разработки ракетной техники, но и сформировал собственное видение перспектив её развития. Его взгляды, основанные на собственном опыте создания боевых истребителей, во многом совпадали с позицией военного заказчика ракетное вооружение должно иметь высокую боеготовность, а траектория полёта ракеты не должна зависеть от наземного корректирующего оборудования, система управления полётом должна быть на борту ракеты. Поскольку эта позиция не совпадала с господствующими в ОКБ-1 взглядами на перспективу развития ракетного вооружения, Королёв получил в лице своего заместителя стойкого и последовательного оппонента.

В должности заместителя Королёва Янгель проработал до мая 1952 г. Директора НИИ-88 К.Н. Руднева переводят в Министерство вооружения, а на его место неожиданно для всех назначается Янгель. Назначение Янгеля директором института после всего лишь

двух лет его работы в ракетной технике вызвало у Королёва чувство резкого противодействия. Вообще-то назначение директором института не специалиста было рядовым случаем, где же в те годы можно было найти умелого организатора со знанием ракетной техники? Но если со стороны, то можно было бы и стерпеть. А тут после двух лет работы и через три ступеньки да прямо в "кресло". Но и это можно было бы пережить, если бы назначили "своего" человека, единомышленника, а не отъявленного "еретика", помешанного на применении азотной кислоты вместо кислорода.

Королёв подчёркнуто игнорировал Янгеля как директора института. Янгель же руководил работами в ОКБ-1 через заместителей Королёва. Но такое положение долго продолжаться не могло. Два руководителя с двумя противоположными и принципиально отличающимися воззрениями на перспективу развития ракетной техники не могли быть во взаимоподчинённом положении. Отсюда вытекало и решение: устранить взаимоподчинение и для этого перевести одного из участников конфликта на другую должность. Но кого? К работе Янгеля как директора института претензий не было, он соответствовал занимаемой должности. Что касается Королёва, то в этот период под его руководством завершалась разработка боевых ракет Р-11 и Р-5М, проводились исследования по созданию МБР. В этой обстановке заменить Главного конструктора значило провалить выполнение важнейших оборонных заказов. Выбор пал на Янгеля и 30 октября 1953 г. он приказом Д.Ф. Устинова, разумеется, "в целях укрепления технического руководства работами института" был переведён на должность главного инженера - заместителя директора института. Работая в новой должности, Янгель много внимания уделял проводимым в институте работам по использованию в ракетной технике высококипящих компонентов топлива. Однако сфера работ главного инженера его мало удовлетворяла, он почувствовал, что его научно-технический потенциал полностью не реализуется и что он внутренне готов к самостоятельной творческой работе. С таким предложением он обратился в Отдел оборонной промышленности ЦК КПСС, сотрудники которого его хорошо знали, что вселяло надежду на положительное решение. Однако это обращение Янгель сделал в нарушение сложившегося порядка - минуя своего начальника - министра Д.Ф. Устинова. Об этом "нарушении" скоро стало известно Устинову, и он сделал жёсткое внушение Янгелю, обвинив его в желании уклониться от выполнения необходимой и важной работы в головном НИИ министерства. В то же время Устинов, сместив Янгеля с должности директора института, видимо, понимал чувства, движимые Янгелем, и принял участие в его дальнейшем трудоустройстве. Вскоре такая возможность появилась.

В апреле 1954 г. СКБ Днепропетровского ракетного завода было реорганизовано в ОКБ-586 по разработке ракет дальнего действия. На должность Главного конструктора этого ОКБ Устинов решил назначить Янгеля. Но для этого нужно было получить согла-

сие Н.С. Хрущёва. О предложенной Устиновым кандидатуре Хрущёв решил узнать мнение Королёва. Перед Королёвым возникла дилемма. Дать отрицательную характеристику - значит пойти против мнения министра, уже изложенного главе государства, а Устинов этого не простит. Дать положительную характеристику - значит получить конкурента, готового на практике воплощать "крамольную" идею использования высококипящего топлива. Так ли думал Королёв или иначе, но он положительно охарактеризовал Янгеля как способного инженера и умелого организатора. После этого Хрущёв провёл личную беседу с Янгелем и Михаил Кузьмич в июле 1954 г. был назначен Главным конструктором ОКБ -586.

Свою работу в качестве Главного конструктора ОКБ-586 Янгель начал с ревизии материалов НИР по ракете средней дальности (1000...1200 км), направленных в ОКБ из НИИ-88 в 1953 г. в соответствии с Постановлением о разработке эскизного проекта ракеты Р-12 на высококипящем топливе. В дополнение к заданным характеристикам Янгель предложил делать ракету на дальность

2000...2100 км, установить автономную систему управления и оснастить ядерным боезарядом.

В марте 1955 г. был выпущен эскизный проект, изготовленный макет ракеты был представлен заказчику. 13 августа 1955 г. вышло правительственное Постановление "О создании и изготовлении ракеты Р-12". В марте 1957 г. начались стендовые испытания ракеты, в мае первая ракета Р-12 была отправлена на полигон для проведения лётных испытаний.



Разработка ракеты P-12 стала "пробой пера" для Главного конструктора и коллектива ОКБ-586. Успешная разработка эскизного проекта вселила уверенность в способность создавать и более мощные боевые ракеты.

В середине 1956 г. ОКБ-586 вышло с предложением приступить к разработке ракет среднего и межконтинентальной дальности, работающих на азотной кислоте и НДМГ - новом, разработанном ГИПХом более эффективном по сравнению с керосином, горючем. Предложение было подхвачено военными, и в августе 1956 г. Совет Обороны принял решение ускоренными темпами вести работы по созданию ракетного вооружения без использования жидкого кислорода. В развитие этого решения 17 декабря 1956 г. вышло правительственное Постановление о создании МБР на высококипящем топливе. Головным разработчиком ракеты было определено ОКБ-586. Впоследствии эта ракета получила обозначение Р-16.

Появление конкурента вызвало обеспокоенность у Королёва, сконцентрировавшего свои последние работы на космической тематике. Это вело к потере поддержки Министерства обороны, являющегося основным заказчиком ракетной техники, что было равносильно утрате роли главного разработчика ракет любого предназначения. Такое понимание собственной перспективы послужило основанием для выпуска в июле 1957 г. подготовленного в ОКБ-1 под руководством Королёва технического отчёта "Предварительные результаты исследования перспектив развития ракет дальнего действия". В отчёте рассмотрены ракеты на различных компонентах топлива с двигательными установками различных схем, работающими на химической и атомной энергии, с различными весами полезного груза. Содержание и выводы отчёта обсуждались на двух совещаниях, прошедших в один день - 16 июля 1957 г. В первом совещании, проведённом в ОКБ-1, участвовали все Главные конструкторы кооперации разработки ракеты Р-7. Второе совещание проводил В.М. Рябиков, в нём кроме Главных конструкторов приняли участие Г.Н. Пашков, К.Н. Руднев, А.Г. Мрыкин, Н.Н. Смирницкий. Итоги совещания подвёл Рябиков: в ближайшее время из числа представленных ракет следует выбрать кислородный вариант и начинать с ним работать. Основная задача - кислородная машина дальностью 10...14 тыс. км. Позицию военных изложил Мрыкин: следует параллельно разрабатывать ракеты на высококипящем окислителе и на кислороде.

Поручение Янгелю разработать ракету Р-16 побудило Королёва исследовать перспективы развития ракетной техники, что, в свою очередь, заставило Янгеля интенсифицировать работы по ракете. Уже в феврале 1957 г. был выпущен предэскизный проект, а в ноябре 1957 г. завершён эскизный проект межконтинентальной баллистической ракеты (МБР) Р-16. В разработанном эскизном проекте предполагалось, что в создании ракеты Р-16 участвуют КБ, не входящие в "королёвскую" кооперацию, но и не имеющие ранее собственного опыта разработки крупных ракет: головной разработчик - ОКБ-586 (главный конструктор М.К. Янгель), разработчик двигателей - КБ-3 (главный конструктор Д.Д. Севрук), разработчик автономной системы управления - ОКБ-692 (главный конструктор Б.М. Коноплёв.) Н.А. Пилюгин в знак солидарности с Королёвым, сославшись на большую занятость, отказался участвовать в этом проекте. В ракете Р-16 впервые применялось новое горючее - НДМГ.

Защита эскизного проекта (ЭП) ракеты Р-16 состоялась 17 января 1958 года, экспертную комиссию возглавлял академик М.В. Келдыш, оппонирующая организация - ОКБ-1, его представляла делегация во главе с В.П. Мишиным и К.Д. Бушуевым. В соответствии с принятой процедурой защиты ЭП разработчики сделали обзорный доклад о характеристиках и конструкции ракеты, затем выступили оппоненты. Представленные в ЭП материалы произвели на экспертную комиссию положительное впечатление. Оппоненты в своих выступлениях изложили замечания, которые практически исключали возможность создания ракеты типа Р-16 с требуемыми характеристиками. Основным замечанием было недоверие к результатам проведённых в ОКБ-586 баллистических расчётов. По данным ОКБ-1 ракета на азотнокислотном окислителе не сможет обеспечить заявленную дальность 8000 км. В дополнение к этому было отмечено, что в ЭП не отражён вопрос наземной отработки двигателей. И это не случайно, т.к. у двигательного КБ-3 отсутствует производственная и испытательная база. А без двигателей, как известно, ракету сделать невозможно.

По поводу высказанных оппонентами замечаний выступил Янгель. Он отметил, что начинающие разработчики новой ракеты ожидали от опытных коллег по общему делу конструктивной критики по конкретным проектным и конструкторским решениям, направленной на улучшение проекта. А высказанные замечания практически "закрывают" проект новой ракеты. В то же время техническая политика ОКБ-1 ведёт отечественное ракетостроение в тупик, боевые кислородные ракеты не имеют перспективы, а руководство ОКБ-1 не хочет услышать ни заказчиков, ни работников других ОКБ.... Эмоциональное выступление Янгеля с критикой в адрес руководства ОКБ-1 прервал Келдыш, предложивший не отвлекаться от темы - защиты ЭП ракеты Р-16.

После выступления других членов экспертной комиссии было решено принять эскизный проект в качестве основы для ведения дальнейших работ по созданию МБР, но при этом были выдвину-



ты дополнительные условия: экспериментально подтвердить лётными испытаниями ракеты средней дальности правомерность баллистических расчётов для ракеты P-16 и определиться с разработкой двигателей.

Борьба Королёва с конкурентом и после проигранного по существу "боя" при защите эскизного проекта ракеты Р-16 не закончилась. Новые требования - экспериментами подтвердить правильность расчета дальности полёта ракеты Р-16 путём проведения лётных пусков ракеты Р-14, работающей на том же топливе, несколько задерживали разработку МБР Р-16, но работы продолжались. Продолжил вести атаки на этот проект и Королёв. Воспоминания об одном из его тактических приёмов изложены в книге Н.С. Хрущёва "Воспоминания. Избранные фрагменты" (Москва, изд. "Вагриус", 1997 г.) и С.Н. Хрущёва "Никита Хрущёв: кризисы и ракеты" (том 1, Новости, Москва 1994 г.). Оба автора воспоминаний практически одинаково изложили этот случай, разница только в более подробном изложении, с приведением эмоциональных диалогов у младшего Хрущёва. Но воспользуемся первоисточником, т.е. воспоминаниями Н.С. Хрущёва. Эти воспоминания Хрущёв написал спустя много лет после происходивших событий, и они в деталях могут несколько отличаться от исторической действительности, но нам важен сам факт обращения Королёва к Хрущёву и итоги их разговора по изложенному вопросу.

Итак, цитируем воспоминания Н.С. Хрущёва: "Я поставил задачу перед Сергеем Павловичем: "Если наступит кризисный момент, когда нам придётся использовать ракеты, то противник не оставит нам времени на подготовку. Нельзя ли что-нибудь сделать, чтобы ракета заранее находилась в подготовленном состоянии?" - "Нет, пока мы это сделать не можем", - ответил он. Секрет заключался в том, на каком горючем действуют ракеты. Мы запускали их на керосине и кислороде. [...] Свою мысль о необходимости держать ракеты в готовности я высказал и другим лицам. Она дошла через Устинова до Янгеля. Янгель тогда ещё не находился на большой высоте. Но спустя какое-то время Устинов доложил, что Янгель берётся сделать ракету моментального действия на кислоте, которая будет стоять на боевом взводе.

Когда Янгель сообщил о том, что он считает возможным решить задачу постановки ракеты на боевой взвод, Королёв вскоре узнал об этом. Он считал себя ведущим в ракетостроении. И вдруг за решение проблемы, от которой он отказался, берётся ещё не признанный конструктор? И Королёв встретился со мной: "Прошу отдать эту ракету мне, - сказал он, - я сделаю её на кислоте, и она будет стоять на боевом взводе". - "Очень хорошо, делайте, - ответил я, - но только кислородную, то есть вашу же улучшенную ракету. А передать Вам ракету на кислоте, которую предложил Янгель, ему будет в обиду. Вы отказались, Янгель взялся за дело, а теперь Вы хотите всё забрать в свои руки. Это невозможно. Ведь идея родилась в его бюро, пусть он и решает свою проблему. Начнётся соревнование. Вы станете готовить кислородную ракету моментального действия, а он - на кислоте.

Королёв был человеком волевым, по выражению его лица было видно, что мои слова ему очень не понравились. Но он умный человек... и согласился. Так начала решаться проблема создания боевых ракет дальнего действия, межконтинентальных. Но пока имелись ракеты только у Королёва, а у Янгеля одни идеи".

Эта история на первый взгляд кажется неправдоподобной. Как же так, великий Королёв, проиграв в открытом научно-техническом споре при обсуждении эскизного проекта, теперь за спиной у Янгеля, используя свой авторитет у главы государства, предложил "убрать" конкурента? Причём предложение "перехватить" заказ противоречит всей его предшествующей деятельности по игнорированию высококипящих окислителей.

Случай неординарный, может вызвать сомнения в его действительности, но зачем Н.С. Хрущёву выдумывать и возводить напраслину на Королёва, которого он высоко ценил и в той же книге даёт ему лестную характеристику: "Когда мы усиленно занялись ракетостроением, на первый план среди конструкторов сразу вышел Королёв. Я много встречался с этим интересным и страстным челове-

ком. Королёв умел проталкивать нужное, азартно отстаивать свои идеи. Я, слушая его, восхищался. Надо было видеть его, когда он докладывал, чувствовать его горение, ощущать ясность его ума. Замечательный конструктор".

Так как же относиться и воспринимать поступок Королёва? С позиций сегодняшнего дня это можно охарактеризовать одной циничной фразой: "Ничего личного, только бизнес".

С совершенствованием ракетного вооружения требование военных о высокой боеготовности становилось одним из основных. Чем же располагала в то время Советская Армия? Боевая позиция основного стратегического оружия - МБР Р-7 была открыта со всех сторон, для выполнения "выстрела" требовалась длительная подготовка - не менее 7 часов. Ракета по своей боеготовности была оружием первого удара, для ответно-встречного она не годилась. В первые же часы после начала ракетно-ядерной войны она из оружия нападения превращалась в мишень для ударов противника. Дальнейшее развитие боевой ракетной техники на жидком кислороде требовало либо отказаться от его применения, либо разработать технические меры, которые обеспечили бы кислородным ракетам конкурентоспособность с азотнокислотными ракетами.

Кроме неприемлемой боеготовности, кислородные ракеты имели ещё один крупный недостаток. Опыт эксплуатации ракет P-1, P-2, P-5M показал, что потери жидкого кислорода при транспортировке к местам старта ракет, при заправке баков и последующей выдержке для завершения других предстартовых операций приводит к безвозвратным потерям кислорода, превышающим количество, необходимое для полной заправки баков ракеты. Требовалась постоянная подпитка. Особенно это проявлялось при лётных пусках ракеты P-7, т.к. объёмы кислородных баков и время подготовки к пуску возросли в несколько раз.

Чтобы устранить этот хронический недостаток необходимо было в противоречие с законом природы - кипении при давлении на уровне моря при минус 183°C - "заставить" жидкий кислород в процессе его длительного хранения и заправки в баки ракеты не испаряться или, по крайней мере, снизить его потери в десятки и сотни раз. В этой обстановке Королёв поручил Мишину разобраться в проблемах хранения жидкого кислорода. Специалисты ОКБ-1 довольно быстро убедились, что отечественная промышленность по производству жидкого кислорода не только не занимается вопросами снижения безвозвратных потерь кислорода при его хранении и транспортировке, но и не заинтересована в разработке таких методов. На современном языке безвозвратные потери - это обеспечение постоянного и стабильного спроса производимого товара на рынке промышленных услуг. Пришлось работникам ОКБ-1 действовать по широко распространённому правилу: "Спасение утопающих - дело рук самих утопающих". Они стали изучать опыт работы с криогенными жидкостями в различных НИИ, где обнаружили применение порошково-вакуумной изоляции, надёжно уменьшающей приток тепла из окружающей среды к криогенным жидкостям.

Параллельно с изучением опыта такой изоляции были изучены и теоретические аспекты создания условий для снижения количества испаряющегося кислорода. Эти поиски также увенчались успехом: выяснилось, что при охлаждении кислорода ниже минус 183 °С его испарение существенно уменьшается. По воспоминаниям участников этих работ идею переохлаждения кислорода для снижения его потерь высказал Мишин. Более того, переохлаждение кислорода можно обеспечить достаточно просто, используя известный из школьного учебника физики (времён конца 1940-х годов) законспонижением наружного давления температура кипения жидкости тоже понижается. Сразу же вспоминается вопрос из "Занимательной физики" Я.И. Перельмана: "Почему нельзя сварить яйца на вершине горы?".

Предложение Мишина использовать переохлаждённый кислород может показаться простым, основанным на широко известном законе физики. Но порою прийти к простому решению бывает очень трудно. От школьных знаний законов физики до решения повышения боеготовности кислородных ракет лежит длинная цепь

умозаключений. И за эту техническую находку Мишина можно только поздравить.

Здесь я должен сделать некоторое отступление - экскурс в научно-техническую литературу по ракетной технике. В 1955 г. в издательстве Воениздат МО вышла монография В.П. Глушко "Источники энергии и их использование в реактивных двигателях", содержащая обзор и возможность применения всех мыслимых (и не мыслимых) компонентов ракетного топлива. В главе "Критический обзор элементарных и сложных окислителей" изложена идея применения методов переохлаждения криогенной жидкости. "Основным дефектом низкокипящих окислителей является их интенсивное испарение, затрудняющее не только хранение и транспортировку, но и эксплуатацию непосредственно на ракете или самолёте. Однако существует эффективное средство кратковременного устранения существенных потерь сжиженного газа от интенсивного испарения путём прекращения его кипения в объёме жидкости с помощью переохлаждения. Последнее может достигаться понижением температуры сжиженного газа ниже точки кипения при давлении, существующем в баке... Это средство даёт кратковременный эффект... так как просто решает задачу сохранения в течение нескольких часов при небольшой подпитке лишённых всякой изоляции баков ракеты или самолёта, полностью заправленными сжиженным газом. Применение этого средства на стартовой площадке представляет большой практический интерес".

Так почему же автором предложения использовать переохлаждённый кислород считается Мишин, а не Глушко? Что же помешало использованию предложения Глушко о переохлаждении кислорода, изложенного в его упомянутой книге? Думается, что это стало следствием малоизвестности этого предложения: книга имела гриф "Сов. секретно", малый тираж, сама идея переохлаждения изложена в формате небольшого абзаца, затерявшегося среди множества другой информации (объём книги - 452 страницы). Поскольку никаких письменных предложений от Глушко применительно к работам по ракете P-9 не обнаружено, также как нет и воспоминаний о его выступлениях с подобным предложением, то и оснований отбирать приоритет у Мишина в предложении применить переохлаждение кислорода в ракете P-9 у нас нет. Также, как и нет оснований подозревать Мишина в прочтении монографии Глушко.

Я вообще не согласен с теми исследователями истории науки и техники, которые, обнаружив в ранних трудах известных учёных информацию о возможном решении научно-технической проблемы, склонны отдать им авторство решения, утверждая: "Он первым предложил..." или "Он первым указал...", или даже "Он первым упомянул...". От "предложения" или "упоминания" до практической реализации серьёзной научно-технической идеи, а именно такие рассматриваются при определении автора предложения, лежит длинная дистанция. Да и часто подобные "упоминания" не имеют широкой известности. Поэтому я склонен считать автором научно-технической новинки человека или творческий коллектив, создавший промышленный образец. Конечно, и в моём подходе к определению "автора-первооткрывателя" есть исключения, когда впервые изложенная идея решения обладает такой "мощностью" и конкретикой, что её реализация становится вторичным делом. Но такие идеи носят общеизвестный характер и их авторство не нуждается в дополнительном подтверждении.

Открывшиеся возможности сокращения безвозвратных потерь кислорода при длительном хранении, транспортировке и заправке баков ракеты придали новый импульс работам по созданию новых кислородных ракет. Все наработки по этой проблеме были концентрированно изложены в докладной записке "О перспективах развития кислородных ракет", направленной 18 апреля 1958 г. за подписью входящих в кооперацию Главных конструкторов в адреса В.М. Рябикова, Д.Ф. Устинова, Р.Я. Малиновского, К.Н. Руднева. В записке излагались преимущества использования в ракетной технике жидкого кислорода по сравнению с азотной кислотой и акцентировалось внимание на необходимости и возможности улучшения технологии его производства и эксплуатации. Развивая идею экономичного использования дешёвого кислорода, Королёв, ко-

нечно же, имел целью развитие кислородных ракет в противовес азотнокислотным. Этим он укреплял положение своего ОКБ-1. Остальные члены сложившейся кооперации поддержали своего "головника", т.к. им, как разработчикам ракетных систем, работа была гарантирована независимо от состава топлива. В заключительной части докладной записки изложен ряд предложений, основными из которых являются:

- в 1958 г. разработать план развития кислородной промышленности с учётом последних научно-технических достижений и возрастающих потребностей ракетной техники;
- разработать способы эффективного глубокого переохлаждения жидкого кислорода на месте производства в целях сокращения потерь в процессе хранения и транспортировки;
- разработать в III квартале 1959 г. эскизный проект новой ракеты P-9 на жидком кислороде со стартовой массой порядка 100 т. Комплекс P-9 может быть разработан и испытан в течение 1959-1961 гг.

В докладной записке изложены технические вопросы, которые должны были решаться в кислородной и химической промышленности. Что же касается разработки кислородосодержащих технологий и оборудования для ракетной техники, то Королёв не имел иллюзий на получение помощи "со стороны" и поручил ОКБ-1 разработать и внедрить комплекс мероприятий, обеспечивающий эксплуатационные характеристики у кислородной ракеты Р-9 не хуже, чем у азотнокислотной ракеты Р-16.

И хотя в апреле 1958 г. до момента получения переохлаждённого кислорода и создания оборудования для его хранения было ещё далеко, но принципиальное решение этой физической проблемы открывало пути создания кислородной ракеты, отвечающей всем требованиям Министерства обороны по эксплуатации ракетного вооружения. И это давало возможность не только сделать предложение начать разработку новой кислородной ракеты Р-9, но и приступить к определению её технических характеристик.

В середине 1958 г. в ОКБ-1 были завершены предварительные расчёты и определён облик новой ракеты Р-9. Работы проводились с учётом поставленного руководством отрасли требования обеспечения высокой надёжности и коротких сроков её создания путём максимального использования конструкторских решений, разработанных и проверенных в ракете Р-7.

В августе 1958 г. Королёв провёл совещание Главных конструкторов, на котором были обсуждены технические характеристики и основные параметры будущей ракеты. Предложенные ОКБ-1 новые характеристики существенно превышали освоенные в ракете Р-7, что вызвало полемику у участников предстоящих работ. Но это было вызвано объективной необходимостью победить в конкуренции с ракетой Р-16. Наиболее острые разногласия возникли при обсуждении схемы двигателя первой ступени между зам. главного конструктора ОКБ-1 В.П. Мишиным и В.П. Глушко. Мишин настаивал на разработке двигателя по схеме с дожиганием генераторного газа и, соответственно, повышением давления газов в камере сгорания до 100 атм., что по расчётам обеспечивало увеличение удельного импульса тяги на 12...15 с. Глушко отстаивал ис-



пользование хорошо освоенной открытой схемы. Его возражения основывались на возможности обеспечения всех требований по энергетическим характеристикам ракеты и при использовании "старой" схемы, что подтверждалось выполненными в ОКБ-1 расчётами, в то время как для отработки двигателя по новой схеме наверняка потребуется более длительное время.

На первый взгляд позиция Глушко создать новый двигатель по сути форсированием двигателя ракеты Р-7 противоречила его основному принципу: каждый новый двигатель должен иметь существенные преимущества по конструкции и характеристикам по сравнению с предыдущим. Нарушение этого принципа можно объяснить сделанной Глушко оценкой перспективы развития отечественного ракетостроения: ракета Р-9 будет последней боевой ракетой на кислородном топливе. Предложение Мишина связано с последующим развёртыванием работ по космической тематике, перспективы которой пока ещё туманны. Во время этой полемики Королёв промолчал, другие Главные конструкторы согласились с доводами Глушко и представленные ОКБ-1 проектные материалы получили одобрение участников совещания. Это послужило основанием для ОКБ-1 16 сентября 1958 г. направить на согласование в ОКБ-456 предварительные технические требования к двигателю первой ступени в обеспечение требуемых характеристик ракеты.

Предлагалось разработать 4-камерный двигатель с одним ТНА, четырьмя рулевыми камерами и газогенератором на основных компонентах топлива, тяга двигателя на земле 130...150 тс, удельный импульс в пустоте 315...320 с. В конце октября ОКБ-456 сообщило согласие разработать двигатель по полученному ТЗ. Указанные параметры были приняты "за основу" для проведения подробных расчётных проработок и обсуждения различных вариантов. В результате этих работ 10 апреля 1959 г. было выпущено ТЗ, его основные требования приводятся ниже:

- тяга на Земле 140 тс;
- удельный импульс тяги 269 с на Земле и 312 с в пустоте;
- управление вектором тяги качание основных камер на угол  $\pm 6,5$  градусов;
  - температура окислителя на входе в насос минус 183 °C.

Это техническое задание было согласовано ОКБ-456 и принято для работы.

Параллельно с разработкой технических характеристик, проектированием ракеты, выпуском ТЗ для участников создания ракеты ОКБ-1 вело работы по согласованию проекта правительственного Постановления о создании ракеты Р-9.

Согласование Постановления на разработку нового трудоёмкого технического объекта, каковым является ракетное вооружение, для государственных структур всегда головная боль. С одной стороны, госчиновники понимают необходимость создания нового эффективного вооружения, а с другой - для этого требуется изыскание дополнительного финансирования, материальных ресурсов, производственных мощностей, а всего этого катастрофически не хватает, чтобы закрыть все насущные вопросы и "заштопать дыры" в бюджете страны.

Появление каждого нового проекта Постановления в госструктурах встречают с подозрением, - а не завышены ли запрашиваемые ресурсы и, вообще, насколько актуально такое предложение. Всё это было хорошо известно руководству ОКБ-1, поэтому в преамбуле проекта Постановления прямо указано о высокой преемственности ракет Р-9 и Р-7. Это должно было вызывать у госчиновников иллюзию простоты создания новой ракеты, отсюда и малые финансовые запросы и рекордно короткие сроки получения новой, совершенной по своим боевым характеристикам ракеты.

Так, Минфин устраивал минимум финансовых затрат, Госплануже имеющиеся производственные мощности, ВПК - сложившаяся кооперация предприятий, промышленные Министерства - наличие требуемого технологического оборудования. Проблемным было согласование только с Министерством обороны, которое более десяти лет боролось с применением кислорода в боевых ракетах.

Учитывая настойчивые требования военных о разработке боевых ракет на высококипящем топливе и предвидя сложность принятия решения о создании новой "кислородной" ракеты, Королёв пошёл на компромисс. Он предложил вести разработку новой ракеты в двух вариантах: ракета Р-9А на кислородно-керосиновом топливе (разработчики: ракеты - ОКБ-1, двигателя - ОКБ-456) и ракета Р-9В на азотной кислоте и керосине (разработчики: ракеты - ОКБ-1 с участием ОКБ-586, двигателя - ОКБ-2). На этом этапе развития боевой ракетной техники не было полного понимания, какой вариант ракет обеспечит лучшие условия эксплуатации и минимальное время подготовки к пуску.

Ракета Р-9В, несколько проигрывая в дальности полёта и массе боевого заряда, имела существенное преимущество в боеготовности, а эта характеристика считалась одной из основных. Однако дальнейшие работы показали, что применение скоростной заправки переохлаждённым кислородом из специального хранилища обеспечивает примерно такое же время боеготовности ракеты Р-9А, что и заправленной топливом ракеты Р-9В. А это делало ракету Р-9А приоритетной, т.к. ракета Р-9В в заправленном состоянии не могла находиться более трёх месяцев из-за коррозионной активности азотной кислоты. В связи с этим выбор перспективного варианта ракеты должен был состояться по завершению разработки эскизных проектов, хотя окончательное решение "угадывалось" уже до их выпуска.

В апреле 1959 г. Королёву удалось убедить руководство МО в целесообразности иметь на вооружении МБР на криогенном топливе. Учитывая систему финансирования создания вооружения в СССР - разработка до окончательной сдачи на вооружение финансируется через промышленные Министерства, а Министерству обороны бюджетные средства выделяются только на "закупку" вооружения у завода-изготовителя, то почему же не согласовать предлагаемый проект Постановления и потом получить на вооружение ещё одну межконтинентальную боевую ракету?

2 марта 1959 г. Министр обороны Р.Я. Малиновский и его заместитель по реактивному вооружению М.И. Неделин подписали заключение МО по проекту Постановления о разработке ракеты Р-9А и завизировали этот проект.





В заключении, направленном Председателю ВПК Д.Ф. Устинову, указывалось: "Учитывая, что предлагаемая к разработке ракета Р-9А по своим тактико-техническим и эксплуатационным характеристикам является новым шагом в деле создания межконтинентальных ракет и может быть создана в сравнительно короткие сроки, поддержать предложение С.П. Королёва о разработке ракеты Р-9А со сроком сдачи её в 1961 г.".

Дополнительным условием согласования Постановления по созданию P-9A Минобороны выдвинуло условие одновременного выпуска Постановления об ускорении проведения работ по созданию ракет P-16 и P-14.

В апреле 1959 г. Королёв и Глушко направили в правительство совместный доклад, акцентирующий внимание на высокой боеготовности кислородной ракеты Р-9А благодаря применению переохлаждённого кислорода. Этим докладом дальнейшая судьба ракеты Р-9В была предрешена.

Преодолев главный барьер - согласование с Минобороны - на

пути к выпуску правительственного Постановления о создании ракеты Р-9А, Королёв вернулся к идее, озвученной Мишиным на совещании Главных конструкторов - получить двигатель по замкнутой схеме. К этому времени у Королёва уже имелась предварительная договорённость с главным конструктором авиационных двигателей Н.Д. Кузнецовым об участии ОКБ-276 в разработке двигателя для ракеты Р-9А. Королёва не смущало, что проект Постановления прошёл согласование со всеми Министерствами, оставалось согласовать с Отделом оборонной промышленности ЦК КПСС и ВПК. Королёв считал, что по техническим вопросам его мнение, его позиция имеет приоритетное значение по отношению к мнению министров и других так называемых организаторов промышленности на любом уровне. И он 4 апреля 1959 г. направляет в ГКОТ письмо с предложением включить в проект Постановления о создании ракеты Р-9А дополнительный пункт о расширении конструкторской базы разработки двигателей: "Мы считаем совершенно необходимым расширение работ по ЖРД и просим привлечь к этим работам ОКБ-165 ГКАТ (А.М. Люлька) и ОКБ-276 (Н.Д. Кузнецова), на что есть принципиальное согласие П.В. Дементьева. Работы по ЖРД в ГКАТ расширят производственную базу и возможности дальнейшего совершенствования энергетических и эксплуатационных характеристик кислородно-керосиновых двигателей, что не намечается в ОКБ-456".

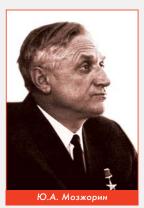
Заметим, что Королёв довольно вольно трактует позицию Глушко в споре о схеме двигателя для ракеты P-9. Глушко не отрицал возможности разрабатывать двигатели по замкнутой схеме, он отстаивал свою позицию о нецелесообразности создавать более сложный двигатель без острой технической необходимости. Он считал, что замкнутую схему нужно использовать только в тех случаях, когда открытая схема исчерпает свои энергетические возможности и только переход на новую схему даст необходимый эффект. Для двигателя первой ступени ракеты P-9 такой необходимости не было.

Но как же велик был в ту пору авторитет Королёва! В текст уже практически готового проекта Постановления дополнительным пунктом было внесено его предложение.

В этом же письме Королёв отреагировал на появление конкурирующего ОКБ-586 спедующим предложением: "С целью привлечения более широкого круга специалистов к технической критике хода разработки ракет, являющейся в настоящее время одной из важнейших государственных задач и связанной с большими затратами, считаем необходимым проведение научно-технической экспертизы всех предлагаемых разработок, хода этих разработок, а также результатов этих работ перед выходом на лётные испытания".

Поскольку в апреле 1959 г. в СССР было два активно работающих ракетных ОКБ - ОКБ-1 и ОКБ-586, - Королёв добивался право инспектировать работу М.К. Янгеля. Но как часто бывает в жизни, срабатывает закон полёта бумеранга. Это предложение Королёва было также принято, но несколько позднее, чем первое, и в другой редакции.

В июле 1961 г. в НИИ-88 произошла смена директора института. Вместо Г.А. Тюлина был назначен Ю.А. Мозжорин, до этого работающий в НИИ-4 Минобороны. В тот же период времени вышло директивное указание, по которому НИИ-88 вменялось в обя-



занность выдача официальных заключений на все предложения и проекты главных конструкторов, касающихся разработки новых ракет и космических объектов. Заключения должны были содержать оценку технического совершенства предложения или проекта и рекомендации о целесообразности его реализации. Вот так сработала инициатива Королёва. Понимая пикантность поставленной задачи, вновь назначенный директор Мозжорин обратился к "самому главному" среди главных конструкторов ракетной отрасли Королё-

ву с просьбой посоветовать, какую позицию занять институту в этой ситуации. В ответн он услышал (цитируется по книге Ю.А. Мозжорина "Так это было". (Москва, ЗАО Международная программа образования, 2000): "Не рекомендовал бы заниматься "жандармской" деятельностью, т.е. оценкой наших проектов. Вы не можете знать больше нас - разработчиков. Если ты всё же будешь заниматься этим, то лишишься поддержки главных конструкторов и тебе больше двух лет в должности директора института не продержаться". На просьбу-предложение Мозжорина коллективу главных конструкторов обратиться в Госкомитет и опротестовать это поручение институту, Королёв дал категорический ответ: "Никуда мы не пойдём и ничего писать не будем. Это твоё личное дело. Ты просил совета, я тебе его дал!". Так, начиная с середины 1961 г., НИИ-88 стал проводить экспертизу эскизных проектов, участвовать в обсуждениях предложений главных конструкторов, вести проработки по перспективам развития ракетной техники.

Постановление "О разработке ракеты P-9A" вышло 13 мая 1959 г. В тот же день вышло другое Постановление - "О сокращении сроков создания изделий P-16 и P-14 и организации их серийного производства". История создания этих ракет была нами прервана на стадии подписания экспертной комиссией эскизного проекта ракеты P-16 в январе 1958 г. Продолжим изложение этой истории.

Подтверждение возможности создания МБР на высококипящем топливе ОКБ-586 планировало провести пусками ракеты P-14, разрабатываемой в соответствии с Постановлением от 2 июля 1958 г., выпущенному по предложению Янгеля. Для решения вопроса о разработке двигателей для ракеты P-16 Янгель предложил Севруку вместе с коллективом КБ-3 перебазироваться в Днепропетровск, где имелись и завод, и испытательная база. Но Севрук наотрез отказался от этого предложения. В связи с этим Янгель обратился к Глушко с предложением взяться за разработку двигателя для ракеты P-16, а после выхода Постановления - и для ракеты P-14.



Согласие было получено и затверждено Постановлением от 28 августа 1958 г., которым разработка двигателя для ракет Р-16 и Р-14 поручалась ОКБ-456. Этим же Постановлением акцентировалось внимание разработчиков на обеспечении содержания ракет в течение длительного времени в состоянии максимальной боевой готовности и ещё раз подтверждалась обязательность начала лётно-конструкторских испытаний (ЛКИ) ракеты Р-16 не позднее июня 1961 г.

Выполнением жёстких сроков начала ЛКИ ракеты P-16 осложнялось необходимостью подтверждения возможности обеспечения заявленной дальности ракеты P-16 лётными пусками ракеты P-14. Задача опережающего проведения ЛКИ ракеты P-14 была решена оригинальным методом. По предложению Глушко при разработке двигателей впервые в практике отечественного двигателестроения были использованы принципы унификации конструкции и модульноблочного построения ступеней двигательных установок. Основу двигателей составлял двухкамерный модуль - двигательный блок. "Связка" двух двигательных блоков являлась двигателем одноступенчатой ракеты P-14, "связка" трёх двигательных блоков являлась

двигателем первой ступени ракеты P-16, а такой же двигательный блок с высотным соплом камеры устанавливается на вторую ступень. Такая модульно-блочная конструкция существенно сокращает трудоёмкость изготовления, упрощает экспериментальную отработку, позволяет вести доводку с высоким темпом проведения огневых испытаний.

Высокая степень унификации двигательных блоков для ракет P-14 и P-16 позволяла провести доводку практически только на двигательном блоке двигателя ракеты P-14 с последующей проверкой работы "связки" двигателей в составе ступени.

Лётные испытания ракет P-14 проводились с июня 1960 г. по февраль 1961 г. Пуски 21 экземпляра ракет P-14 подтвердили правильность баллистических расчётов ОКБ-586. Эти результаты открывали пути для создания МБР на высококипящем долгохранимом топливе.

Вернёмся, однако, в май 1959 г. Одновременный выход двух Постановлений привёл к путанице у авторов некоторых мемуарных публикаций о разработке ракеты Р-9А. Беря за основу единую дату двух Постановлений, авторы публикаций, не вникая в название, не говоря уже о различиях в содержании, утверждают, что Постановление о разработке ракеты Р-16 было принято одновременно с Постановлением о создании ракеты Р-9А. Исходя из этого заблуждения, авторы делают ошибочный вывод, что Янгель своей разработкой ракеты Р-16 навязал конкуренцию Королёву. Янгель действительно составил Королёву конкуренцию, но не только в частном случае разработкой ракеты Р-16, а в создании нового научно-технического направления в ракетной технике и сделал это значительно раньше, чем вышло Постановление по ракете Р-9А.

Постановление о создании ракеты P-9A определяло распределение работ и устанавливало головных разработчиков: по комплексу в целом - ОКБ-1, по двигателю первой ступени - ОКБ-456, по двигателю второй ступени - ОКБ-154 с участием двигательного отделения ОКБ-1 в части разработки камер. ОКБ-456 обязывалось разработать эскизный проект к октябрю 1959 г., а конструкторскую документацию передать в производство во втором-третьем квартале 1959 г.

Нашлось место в Постановлении и для предложения Королёва о расширении конструкторско-производственной базы разработки ЖРД - было добавлено поручение ГКОТ и ГКАТ представить в ВПК свои предложения об участии ОКБ-276 и ОКБ-165 в разработке двигателей для ракеты Р-9А. Добавленный в готовый документ новый пункт оказался не увязанным с остальным текстом, взаимодействие и кооперация новых разработчиков двигателя с другими предприятиями не оговорена, в комплексном поэтапном графике создания ракеты Р-9А эти ОКБ не упоминались. Это упущение было устранено в следующем Постановлении от 16 июня 1959 г. "О привлечении авиационных моторостроительных ОКБ к разра-



ботке и изготовлению двигателей баллистических, зенитных и крылатых ракет", в котором указано, что "приняты предложения ГКАТ, ГКОТ и Госплана СССР о привлечении ОКБ-276 (генеральный конструктор т. Кузнецов) к созданию ракетных двигателей для баллистических ракет Р-9А".

В связи с этим, Госплан и ВПК обязывались оказывать ОКБ-276 всемерную помощь в строительстве новых цехов, лабораторий, стендов, в комплектовании оборудованием и кадрами рабочих и инженеров. В дополнение к этому Постановлению приказом по ГКОТ от 25 июня 1959 г.

главному конструктору ОКБ-456 Глушко предписывалось оказывать техническую помощь и консультации работникам ОКБ-276, подключённым к разработке двигателя для ракеты P-9A.

Принятие решения о привлечении ОКБ-276 к разработке двигателя для ракеты Р-9А внесло неоднозначность в определение

разработчика этого двигателя. Постановлением от 13.05.1959 г. головным разработчиком определено ОКБ-456 и это последующими Постановлениями не отменяется. А тогда для чего привлекается для выполнения этой же работы ОКБ-276? На конкурентной основе? Но это не оговорено, как и не указано, кто и по каким критериям делает выбор, если оба ОКБ выполнят правительственное поручение.

Опираясь на свой авторитет у Н.С. Хрущёва, Королёв добился выпуска Постановления о разработке альтернативного двигателя без объявления конкурса и без отмены поручения разработки двигателя ОКБ-456. Другого варианта у него не было, т.к. замена ОКБ-456 на ОКБ-276 ломала ранее используемую им систему доказательств, что имеющийся у ОКБ-456 опыт разработки и приемлемость конструкторских решений двигателя ракеты Р-7 позволяет создать новую ракету с минимальными затратами средств и времени. И, главное, как отнесётся к такой рокировке Министерство обороны, ведь авиационное ОКБ-276 не имеет никакого опыта разработки ЖРД? Сложившаяся неоднозначная ситуация давала возможность Королёву как главному конструктору всего ракетного комплекса самому на более поздней стадии работ выбрать один из альтернативно разрабатываемых двигателей. Конечно, выбор двигателя ОКБ-276 потребовал бы подтверждения в высших государственных инстанциях, но Королёв привык действовать по принципу Наполеона: "При встрече с противником вступай с ним в перестрелку, а далее действуй по обстановке".

Возникает законный вопрос - а зачем Королёв затеял такую сложную комбинацию? Есть сложившаяся кооперация ОКБ и заводов, слаженно сотрудничающие Главные конструкторы, предстоит новая важная и интересная работа, так зачем вносить "смуту" в работу творческого коллектива?

В моём представлении Королёв рассматривал разработку ракеты P-9A как исходный рубеж создания перспективной последовательной линейки кислородно-керосиновых ракет как боевого, так и космического назначения. И он стремился на первой же ракете внедрить в эксплуатацию наиболее экономичные двигатели замкнутой схемы. Встретив возражения со стороны Глушко и подозревая его в переориентировании на продолжение работ с ОКБ Янгеля, Королёв решил "застолбить" уже на стадии разработки ракеты P-9A участие в этих работах ОКБ-276, генеральный конструктор которого Н.Д. Кузнецов без колебаний принял предложение ОКБ-1 разрабатывать ЖРД замкнутой схемы.

Н.Д. Кузнецов в сфере интересов Королёва появился не случайно. Королёв с его авторитарным, честолюбивым характером все годы совместной работы с Глушко испытывал противостояние тоже честолюбивого, амбициозного и независимого партнёра. Позицию Глушко укрепляла его монополия на разработку мощных ракетных двигателей. Стремясь разрушить эту "крепость" строптивого партнёра, Королёв обратился к А.Н. Туполеву с просьбой порекомендовать в качестве разработчика ЖРД для новых ракет кого-нибудь из главных конструкторов авиационных двигателей, уже ощущающих грядущий кризис в развитии отечественной авиации. Туполев дал рекомендацию: "Есть в Куйбышеве молодой талантливый конструктор Кузнецов, обратись к нему. Он любитель всего нового, да и коллектив у него крепкий, молодой...Попробуй с ним поговорить". После личного знакомства Королёв убедился в точности характеристики, данной Туполевым. К этому следует добавить воспоминания о Кузнецове многолетнего заместителя генерального конструктора В.Н. Орлова в книге "Н.Д. Кузнецов - Человек и Конструктор": "По складу своего характера и человеческим качествам Кузнецов относился к таким людям, которых никогда не пугали сложности, неизученность и новизна техники. По своей натуре он был первооткрывателем, пионером. У него с Королёвым было много сходного, общего, это были родственные характеры, родственные натуры, поэтому они очень быстро сошлись и стали единомышленниками".

Агитировать Кузнецова взяться за разработку ЖРД по новой схеме для ракеты "самого" Королёва не потребовалось. После встречи с Королёвым и технической консультации с Мишиным и

Мельниковым, Кузнецов на совещании с ведущими работниками ОКБ-276 так охарактеризовал предстоящую работу: "Мы не знаем ни открытой, ни закрытой схем, как и вообще ЖРД, но работать над открытой схемой - значит проходить уже пройденный Глушко и Исаевым путь, который не имеет дальнейшей перспективы. Поэтому нужно браться за новую перспективную замкнутую схему. Мы понимаем, что предстоят трудности, но без преодоления трудностей мы вместе с вами не сможем продвинуть вперёд отечественную космонавтику".

Мысль правильная, но, начиная с "чистого листа", нельзя рассчитывать на успех в конкуренции, если она ведётся по правилам. Решение Кузнецова участвовать в разработке ЖРД для ракеты Р-9А получило подтверждение согласованием полученного из ОКБ-1 технического задания на разработку эскизного проекта двигателя первой ступени.

В течение нескольких месяцев 1959 г. оба двигательных ОКБ разрабатывали эскизные проекты. ОКБ-456 завершило свой ЭП в конце октября 1959 г. В разрабатываемом двигателе в соответствии с требованиями правительственного Постановления использовались апробированные в двигателях ракеты Р-7 конструкторские решения. Но новый двигатель, получивший обозначение 8Д716, имел существенные отличия: увеличенную почти вдвое тягу, повышенный на 15 с удельный импульс тяги, для привода ТНА и надлува баков используются основные компоненты топлива, что позволило отказаться от перекиси водорода и жидкого азота с их системами на борту ракеты, отсутствуют рулевые агрегаты, т.к. качаются основные камеры, повышено давление в камерах сгорания с 60 атм до 80 атм, все технологические операции по обслуживанию двигателя на старте выполняются дистанционно.

В разделе по обоснованию выбора топлива ОКБ-456 предложило вместо керосина использовать НДМГ, что при сохранении массы и габаритов ракеты даст дополнительное приращение дальности на 2000 км. В качестве подтверждения возможности использования НДМГ в качестве ракетного горючего в сочетании с кислородом приводилась успешная отработка в ОКБ-456 двигателя 8Д710 тягой 10 тс.

Ко времени выпуска ЭП ОКБ-456 провело ряд работ, начавшихся практически с момента согласования 30 октября 1958 г. предварительных технических требований ОКБ-1. В концепцию разработки было положено условие максимального использования опыта, полученного при создании двигателей ракеты Р-7, а также технологического оборудования и матчасти этих двигателей. В конце 1958 г. были изготовлены двухкамерные сборки экспериментальных установок с использованием доработанных камер, ТНА и агрегатов автоматики двигателей ракеты Р-7. Такой подход позволил начать отработку отдельных фрагментов конструкции и внутридвигательных рабочих процессов до получения утверждённого ТЗ и выхода правительственного Постановления. Полученные результаты были использованы при разработке ЭП и выпуске конструкторской документации, а также при последующих доводочных работах.

Одновременно в ОКБ-276 был разработан эскизный проект на двигатель 8Д717 (более известный под обозначением НК-9). По предложенному проекту двигатель выполнялся по схеме с дожиганием генераторного газа при давлении в камере сгорания 100 атм, что по расчётам увеличивало удельный импульс тяги в пустоте на 15 с по сравнению с двигателем 8Д716. Однокамерный двигатель 8Д717 имел тягу на земле 35 тс, на первую ступень устанавливалось четыре таких двигателя. В конструкции двигателя широко использовались титановые сплавы, сопло камеры охлаждалось кислородом, предлагались и другие технические новинки. Запуск двигателя осуществлялся от наземной установки. Новшества в НК-9 выглядели прогрессивно, но опыта, подтверждающего правомерность их внедрения, не было, а это могло обернуться удлинением времени отработки конструкции.

В процессе разработки ЭП группа конструкторов ОКБ-276 стажировалась в двигательном отделении ОКБ-1, где изучала особенности конструкции двигателя закрытой схемы. После этого они

переместились в ОКБ-456. По указанию Глушко конкурентам из ОКБ-276 была предоставлена полная возможность ознакомиться с конструкторской документацией и технологией изготовления ЖРД разработки ОКБ-456. В уже упомянутой книге В.А. Орлов со ссылкой на безымянного работника ОКБ-456 так излагает этот момент истории: "Перед приездом наших сотрудников Глушко собрал у себя начальников отделов и бригад и сказал: "Рассказывайте им всё, они ещё не скоро поймут, что такое ЖРД. Чтобы создать работоспособный коллектив, Кузнецову понадобится 6-7 лет, а может быть и больше. Конкурентами они нам никогда не станут. Мы за этот период далеко уйдём вперёд".

Дающие пояснения инженеры ОКБ-456 честно и добросовестно отвечали на все вопросы гостей. Они не воспринимали своих коллег из ОКБ-276 как конкурентов и откровенно делились с ними своим опытом конструкторской разработки ЖРД, предупреждали о наиболее сложных моментах технологического освоения агрегатов двигателя в производстве. Но можно ли постичь за несколько дней то, что другие нарабатывали годами? В своей же среде конструкторы ОКБ-456 высказывали удивление наивностью задаваемых вопросов и высказывали сомнения, что при такой степени познания в области ЖРД ОКБ-276 будет способно быстро разработать двигатель: "Как они будут разрабатывать двигатель? Они же совсем не представляют его конструкцию". На самом деле это было не совсем так. Гости достаточно хорошо разбирались в конструкции турбины, несколько хуже в центробежных насосах, а вот конструкция камеры и газогенератора, особенно вопросы смесеобразования, обеспечение высокого удельного импульса тяги и устойчивого горения для них были пока "за семью печатями". И всё-таки этот визит в ОКБ-456 для конструкторов ОКБ-276 был полезен.

Оба эскизных проекта практически одновременно поступили в OKБ-1.

По существующим правилам каждый ЭП проходит экспертизу и на него выдаются заключения головного разработчика (ОКБ-1) и заказывающего Управления МО. В случае исходных разногласий окончательное решение принимает Государственная или Межведомственная комиссия при защите ЭП всего комплекса. На этот раз Королёв изменил традиционный ход событий. Он решил сделать выбор двигателя до получения требуемых заключений и, опережая события, затвердить свой выбор в высших партийно-государственных инстанциях. После своего неудачного захода к Н.С. Хрущёву с предложением отобрать разработку ракеты Р-16 у Янгеля, второй раз рисковать не стал и 25 ноября 1959 г. обратился с письмом к секретарю ЦК КПСС Л.И. Брежневу, курирующему в ЦК вопросы военно-промышленного комплекса. Не получив ответа в течение недели, Королёв повторил письмо, адресовав его заведующему Отделом ЦК по оборонной промышленности И.Д. Сербину. Текст письма приводится с некоторыми сокращениями.

"Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров от 13 мая 1959 г. была предусмотрена разработка двигателя для 1 ступени ракеты Р-9 (Глушко) в качестве основного варианта.

Одновременно этим же решением ОКБ-276 (Кузнецов) была поручена разработка этого двигателя с более высокими характеристиками.

В настоящее время ОКБ-456 и ОКБ-276 разработали проекты, техническую документацию, поставили в ОКБ-1 макеты двигателей и приступили к изготовлению и экспериментальной отработке их узлов и агрегатов.

ОКБ-276 ГКАТ разработало двигатель 1 ступени по так называемой замкнутой схеме, принципиально отличающейся от схемы двигателя, разрабатываемого ОКБ-456.

Эта схема позволяет наиболее полно использовать потенциальные энергетические возможности применяемых в P-9 компонентов топлив - жидкого кислорода и керосина.

Полученные проектные энергетические и весовые характеристики двигателя НК-9, разработанного ОКБ-276, существенно лучше, чем у двигателя, разработанного ОКБ-456.

Успешное создание НК-9 явится новым серьёзным вкладом в отечественное ракетное двигателестроение. Установка НК-9

на Р-9 существенно улучшает её научно-технические и эксплуатационные характеристики.

После тщательного анализа проделанных в ОКБ-276 и ОКБ-456 работ по двигателям для ракеты Р-9, мы пришли к предложению о целесообразности принятия для этой ракеты одного двигателя НК-9, разрабатываемого ОКБ-276.

Двигатель НК-9 может быть освоен в производстве в сроки не более длительные, чем это было предусмотрено для ОКБ-456.

Мы надеемся, что сроки отработки НК-9 могут быть значительно сокращены, если коллективу Н.Д. Кузнецова будет оказана помощь в немедленном развитии его производственной и экспериментальной базы со стороны ГКАТ и Куйбышевского совнархоза. Работы же ОКБ-456 для Р-9 нам казалось бы целесообразным прекратить.

Сосредоточение сил и средств на одном варианте ракеты P-9 с HK-9 позволит быстрее и на более совершенном уровне решить поставленную задачу.

Просим Вас рассмотреть и поддержать наше предложение. Главный конструктор ОКБ-1 С. Королёв". 25.11.1959 г.

Обращение Королёва в высшие инстанции - к секретарю ЦК КПСС и, повторно, в Отдел оборонной промышленности ЦК - исключает направление письма сиюминутным настроением автора. Это был обдуманный, хотя и рискованный шаг. Урок Н.С. Хрущёва, преподанный Королёву на его предложение отобрать у Янгеля разработку проекта ракеты Р-9, не пошёл ему впрок, но он его учёл и на этот раз обратился к Брежневу, а затем в отдел ЦК КПСС. Предложение определить на стадии выпуска эскизных проектов разработчиком двигателя ОКБ-276 вытекало из последовательно проводимой Королёвым деятельности по включению этого ОКБ в проекты правительственных постановлений в качестве одного из разработчиков двигателя для ракеты Р-9. Теперь предстояла заключительная операция: снять с "пробега" фаворита (ОКБ-456), а там уже можно быть спокойным за конечный результат: когда будет сделан двигатель, тогда и будет, сравнивать-то не с чем. Время, сроки - это категории подвижные, как назначаются, так и переносятся. Главное - будет заложена основа будущего ряда космических ракет. Не выдвигая серьёзных обоснований, Королёв предложил пересмотреть действующее правительственное Постановление от 13 мая 1959 г., по которому уже начала работать вся кооперация предприятий, выпущены эскизные проекты, проводятся экспериментальные работы. Кроме того, в письме опущена такая подробность, что в эскизном проекте ОКБ-456 двигатель выполнен в соответствии с ТЗ, выданным ОКБ-1, в том числе по его схеме, параметрам и характеристикам, включая величину удельного импульса тяги.

Надеюсь, для сегодняшнего читателя очевидно, что причина этого предложения лежит не только в различиях технических характеристик предлагаемых двигателей, но ещё больше в личных разногласиях, в независимом поведении Глушко, в его постоянных предложениях, и, по мнению Королёва, изложенному в одном из его писем, "неуместно вмешивающимся в дела, являющимися прерогативой ракетного КБ". Естественно, предложение Королёва по поручению Отдела ЦК КПСС было подвергнуто коллективному рассмотрению. Этим занималась специально организованная комиссия под руководством Председателя ГКОТ К.Н. Руднева. Итоговое заседание комиссии состоялось 14 декабря 1959 г. в ОКБ-456. Основной доклад сделал Глушко. Он изложил детальный анализ достоинств и недостатков двигателей 8Д716 и НК-9, а также информировал о состоянии дел с технологической готовностью к изготовлению матчасти для экспериментальной отработки основных агрегатов каждого двигателя. В этом плане ОКБ-456 продвинулось значительно дальше ОКБ-276, что дало основание Глушко высказать твёрдую уверенность в выполнении ОКБ-456 заданных сроков разработки двигателя, в связи с чем нужно не прекращать, а продолжить его разработку для использования в составе ракеты.

В процессе обсуждения доклада Глушко выступил участвующий в работе комиссии Королёв. В своём выступлении он очередной раз акцентировал внимание на разнице величин удельного им-

пульса тяги в пустоте у двигателей 8Д716 и НК-9 и намекнул о возможности увеличения массы боевого заряда ракеты Р-9. В этом случае сегодняшних энергетических характеристик двигателя 8Д716 окажется недостаточно, а у двигателя НК-9 имеются значительные резервы. На реплику Глушко, что к началу лётных испытаний удельный импульс тяги двигателя 8Д716 будет существенно повышен, Королёв отреагировал отрицательно, сказав, что и с повышенными характеристиками двигатель 8Д716 не нужен. Довольно большую часть своего выступления Королёв посвятил перспективам возможного использования двигателя НК-9 в мощных ракетах космического назначения, хотя это не было предметом работы комиссии.

По завершению заседания комиссии Глушко пригласил её членов присутствовать при очередном, 39-м огневом испытании экспериментальной двухкамерной установки. Члены комиссии стали свидетелями успешно прошедшего испытания. По воспоминаниям инженеров ОКБ-456, проводивших это испытание, по его окончании Глушко, глядя на Королёва, предложил членам комиссии осмотреть состояние материальной части после испытания. Королёв ответил за всех членов комиссии, что смотреть там нечего и так всё понятно.

Члены комиссии разъехались, а Глушко задумался. Что и как они будут докладывать своим руководителям? Правильно ли они изложат выводы и аргументы его доклада? И получат ли руководители отечественного ракетостроения, принимающие ответственные решения, необходимую информацию? Глушко решил снять эти вопросы, изложив свой доклад в письмах, направленных в адреса Д.Ф. Устинова, В.М. Рябикова, К.Н. Руднева, П.В. Дементьева, В.Д. Колмыкова, М.И. Неделина, С.П. Королёва и другим главным конструкторам кооперации создания ракеты Р-9А. Письмо получилось объёмистое, на 8-и машинописных страницах, в нём по пунктам изложен доклад Глушко на комиссии К.Н. Руднева. Выделим из этого письма несколько пунктов общего характера:

"1. Двигатель 8Д716 разрабатывается в ОКБ-456 в соответствии с техническими требованиями, согласованными с ОКБ-1 и обеспечивающими выполнение тактико-технических характеристик изделия 8К75, предусмотренных Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР.

2. При составлении проекта Постановления на разработку изделия 8K75 ставился вопрос о разработке этого изделия в предельно короткий срок, что исключало использование для двигателя неосвоенных схем, принципиально отличающихся от используемых в настоящее время.

13. Для обеспечения создания изделия 8К75 в установленный срок и без дополнительного усложнения эксплуатации необходимо довести до конца разработку двигателя 8Д716 конструкции ОКБ-456.

14. С целью расширения фронта работ по разработке ЖРД для ракет различного назначения, ОКБ-276 обязательно должно быть предоставлена возможность работы над двигателем НК-9 или другой аналогичной конструкцией. Однако пользу от этой работы можно ожидать лишь в том случае, если изготовление экспериментальных образцов двигателей и их отработку будет проводить ОКБ-276".

Письмо было отправлено 25 декабря 1959 г.

Читателям и, по мысли автора письма, адресатам следует обратить внимание на финальное предложение Глушко не отстранить, а предоставить возможность дальнейшего участия ОКБ-276 в разработках новых ЖРД.

31 декабря 1959 г. Королёв подписал "ответное" письмо, которое было отправлено 3 января 1960 г. в те же адреса, только вместо ОКБ-1 указан адрес ОКБ-456. В письме подробно анализируется каждый пункт письма Глушко и даются "достойные" возражения, порою не совсем корректные в научно-техническом отношении. Чувствуется спешка автора при составлении письма. Характерная особенность доводов в пользу двигателя НК-9: приводятся его преимущества для использования в составе космических ракет, а по основному предназначению - для МБР - как-то вскользь. И ещё одна особенность письма, чего не было в письме Глушко - Королёв

даёт негативную и не соответствующую действительности оценку взглядам Глушко на развитие ракетной техники. Приведём в качестве примеров начало письма:

"ОКБ-1 считает, что точка зрения тов. Глушко В.П. по поводу использования двигателя замкнутой схемы разработки ОКБ-276 в ряде моментов недостаточно объективна и по существу неправильно освещает вопрос о целесообразности и возможности создания двигателя НК-9 для изделия 8К75" и его окончание: "ОКБ-1 считает, что предложение тов. Глушко В.П. о предоставлении ОКБ-276 только "...возможность работать над двигателем НК-9 или другой аналогичной конструкции с целью расширения фронта работ по разработке ЖРД для различного назначения...(п.14), но не для изделия 8К75, является совершенно неправильным, крайне вредным и носящим ущерб государственным интересам.

Тов. Глушко В.П. сам стоит на неправильных позициях в разрешении проблемы дальнейшего развития отечественного двигателестроения, в частности в вопросе о путях дальнейшего конструктивного совершенствования мощных ЖРД, использующих химические источники энергии, и эту неправильную свою линию пытается распространить повсюду".

От заключительных выводов письма повеяло ветром воспоминаний 1937-1938 годов. Тогда таких обвинений хватило бы для "по-

беды" в техническом споре. А может на этот раз это был и не технический спор, а желание в очередной раз продемонстрировать "кто в доме хозяин", отомстить Глушко за его "измену" с Янгелем и, используя терминологию известной среды, показать "чей козырь старше?".

Оба письма обсуждались на заседаниях комиссии, доводы каждой стороны были внимательно изучены и использованы при выработке окончательного решения, которое было подписано председателем комиссии К.Н. Рудневым 18 января 1960 г.: "Не вдаваясь в полемику по техническим характеристикам обоих двигателей, необходимо отметить, что в выводах ОКБ-1 упущено основное обстоятельство, в связи с которым двигатель ОКБ-456 принят в качестве основного варианта для ракеты Р-9А. Это обстоятельство состоит в том, что двигатель ОКБ-456 создаётся на основе проверенных технических решений и, обладая в основном необходимыми параметрами, обеспечивает создание ракеты Р-9А в короткие сроки в пределах заданных требований на это изделие".

Комиссия отвергла попытку Королёва ревизовать правительственное Постановление от 13 мая 1959 г. в части прекращения работ по созданию двигателя 8Д716. Далее работы по созданию ракеты Р-9А продолжались в установленном порядке.

(Продолжение следует.)

#### **ИНФОРМАЦИЯ**

Американская Aerojet Rocketdyne намерена к 2019 году начать массовое производство двигателей, которые должны заменить российские РД-180, устанавливаемые на первую ступень ракеты Atlas V. Такой прогноз компании основывается на данных, полученных в ходе первых огневых испытаний предкамеры создаваемого двигателя AR1.



По мнению руководства компании Aerojet Rocketdyne у двигателя AR1 есть конкурентные преимущества.

Во-первых, при создании отдельных элементов американского двигателя используется трехмерная печать. Идея использования 3D-принтера при создании ракетного двигателя у инженеров Aerojet Rocketdyne существовала давно и они уже провели испытания напечатанного небольшого ЖРД. Испытание было проведено совместно со специалистами NASA в научном центре Гленна в Кливленде.



Ракетный двигатель был напечатан при помощи мощного промышленного лазера, который слой за слоем плавил металлический порошок, постепенно формируя конструкцию ЖРД.

Испытания были проведены для получения информации о надёжности конструкции, полученной при помощи 3D-печати. По оценкам специалистов, технология лазерного запекания позволит снизить стоимость изготовления деталей на 70 % и существенно сократить срок изготовления. И очень перспективное направление применения 3D-печати: появляется возможность изготавливать элементы ЖРД непосредственно в Космосе при выходе их из строя.

Во-вторых, применяется специальный сплав на основе никеля, позволяющий отказаться от металлических покрытий, используемых при производстве РД-180.

В AR1 (так же как и в РД-180) в качестве горючего используется керосин, а окислителя - кислород. AR1 является жидкостным ракетным двигателем закрытой схемы, т.е. по схеме с дожиганием генераторного газа. (В ракетном двигателе замкнутой схемы один из компонентов газифицируется в газогенераторе путём сжигания при относительно невысокой температуре с небольшой частью другого компонента, и получаемый горячий газ используется в качестве рабочего тела турбины турбонасосного агрегата. Сработавший на турбине генераторный газ затем подаётся в камеру сгорания двигателя, куда также подаётся оставшаяся часть неиспользованного компонента топлива. В камере сгорания завершается сжигание компонентов с созданием реактивной тяги.)

Такой подход при создании собственного ЖРД позволяет заменить российский РД-180 на американский AR1 без принципиальной доработки носителя Atlas V.

Для разработки AR1 компания использует методологию, ранее примененную для создания других своих ЖРД: RS-68, J-2X, RL10 и RS-25. В компании планируют создать рабочий прототип и сертифицировать

AR1 уже в две тысячи девятнадцатом году.

Ближайшим американским конкурентом AR1 является двигатель BE-4, создаваемый компанией Blue Origin для ракет Vulcan (фактически Atlas VI) и New Glenn. Установка BE-4 вместо РД-180 на Atlas V потребовала бы принципиальных изменений в конструкции ракеты.

В настоящее время, в отличие от AR1, рабочий образец BE-4 уже существует. Работу над BE-4 компания Blue Origin начала в 2011 г. Это первый двигатель компании с жидким кислородом и жидким метаном в качестве окислителя и горючего. В начале 2015 г. компания заявила о намерении начать полномасштабные испытания двигателя в конце 2016 г. и завершить разработку в 2017 г. К сентябрю 2015 г. было проведено более 100 испытаний компонентов двигателя BE-4, включая бустерный насос и камеру сгорания с рекуперативным охлаждением. Испытания были использованы для проверки теоретических

моделей, а полученные данные использовались для совершенствования конструкции двигателя.

В 2015 г. во время одного из таких испытаний на стенде произошёл взрыв, после чего компания построила два более крупных стенда для



проверки двигателя с полной тягой 2200 кН.

Первый двигатель был полностью собран в марте 2017 г., но 13 мая 2017 г. во время испытаний он взорвался.



# ПЕРВЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЛЕТАЮЩИЕ ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНЫХ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

В настоящее время в Лётно-исследовательском институте имени М.М. Громова на летающих лабораториях Ил-76ЛЛ проводятся испытания двигателей ПД-14 и ТВ7-117СТ. Такие лётные испытания двигателей давно уже стали обычным явлением и никого не удивля-



Ту-2 ЛЛ с РД-20

ют. Но мало кто знает - как всё начиналось...

В связи с появлением и быстрым развитием реактивной техники в середине 1940-x годов встала острая необходимость изучения турбо-

реактивных двигателей в полёте. 30 августа 1946 года вышел приказ министра авиационной промышленности СССР № 589, в котором говорилось: "...Туполеву переоборудовать самолёты Ту-2 под летающие лаборатории и передать ЛИИ к 30.11.46 г. Туполеву передать чертежи заводу № 23 к 1.11.46 г. Директору завода № 23 переоборудовать 4 самолёта Ту-2 под летающие лаборатории для ЛИИ, сдав их к 10.01.47 г.".

Всего в Ту-2ЛЛ (ЛЛ расшифровывалось как Летающая Лаборатория) было переоборудовано пять серийных самолётов Ту-2С производства авиазавода № 23 в Филях. Четыре из них использовались в Лётно-исследовательском институте, а один Ту-2ЛЛ был передан в Государственный Краснознамённый научно-испытательный институт ВВС (ГК НИИ ВВС).

Испытываемый турбореактивный двигатель подвешивался в бомболюке летающей лаборатории, а в кабине стрелка-радиста было оборудовано рабочее место инженера, который мог включать и выключать двигатель в полёте, а также менять режимы его работы.

Первым под летающую лабораторию был переоборудован Ту-2 № 22/46 (22-я машина 46-й серии). В декабре 1946 года лётчикиспытатель ЛИИ С.Ф. Машковский совместно с бортинженером Д.А. Гинзбургом выполнил первые полёты на этом самолёте с целью проверки устойчивости и управляемости машины, а также для тарировки указателя скорости на мерной базе. В первых числах января 1947 года в специальной гондоле под фюзеляжем был установлен двигатель РД-20. Двигатель представлял собой копию немецкого BMW-003 и применялся на первых отечественных реактивных ист-

ребителях МиГ-9.

9 января 1947 года лётчик-испытатель Б.П. Осипчук с бортинженером Д.А. Гинзбургом совершил первый полёт с подвешенным двигателем, а 11 января 1947 года этим же экипажем был выполнен первый запуск РД-20 в полёте. Именно эту дату и можно считать датой начала лётных испытаний авиадвигателей на созданных специально для этого летающих лабораториях.

Испытания РД-20 продолжались до 12 февраля 1947 года. Всего было выполнено 8 полётов общей продолжительностью 7 часов 12 минут. Лётчиком-испытателем во всех полётах был Борис Петрович Осипчук, бортинженерами - Давид Анатольевич

Гинзбург и А.А. Мельников. В ходе полётов изучалось поведение двигателя на больших высотах (до 8.000 м).

В начале июня 1947 года двигатель РД-20 был размещён в новой гондоле, после чего Ту-2ЛЛ № 22/46 был облётан лётчиком-ис-

пытателем М.Л. Галлаем. Программу должен был вести уже имевший опыт полётов на летаюшей паборатории Б.П. Осипчук, но он погиб в испытательном полёте



Ту-2 ЛЛ с РД-20 в новой гондоле

на В-25 17 мая 1947 года.

По этой причине испытательные полёты на Ту-2ЛЛ, начавшиеся 14 августа 1947 года, выполняли М.Л. Галлай и С.Н. Анохин. Бортинженером в полётах был Д.А. Гинзбург. Он и Ф.Е. Житомирский были также ведущими инженерами по программе. В полётах изучались параметры работы двигателя при изменении площади сопла и его высотные характеристики (на высотах до 9.200 м). Всего было выполнено 13 полётов общей продолжительностью 13 часов 41 ми-

18 сентября 1947 года испытательный полёт по программе выполнил лётчик-испытатель И.Ф. Якубов. Однако его второй полёт в этот день закончился трагически. Из-за отсутствия штурмана на борту лётчик потерял ориентировку и долгое время летел в направлении, полностью противоположному курсу на аэродром. В результате самолёт совершил вынужденную посадку на берег Оки в районе посёлка Выкса (Муромский район Владимирской области) на удалении 250 км от аэродрома. При приземлении подвешенный под фюзеляжем опытный двигатель столкнулся с наземным препятствием, что вызвало переворачивание самолёта. Лётчик-испытатель Герой Советского Союза Илья Фомич Якубов и бортинженер Давид Анатольевич Гинзбург погибли. Бортрадист-испытатель П. Соловьёв в момент опрокидывания самолёта был выброшен ударной волной из самолёта и остался жив. Самолёт был разбит.

Всего на летающей лаборатории Ту-2ЛЛ № 22/46 был выполнен 21 испытательный полёт общей продолжительностью 20 часов 53 минуты. В ходе этих полётов была отработана методика определения фактических значений основных характеристик двигателя и

впервые получена сетка высотных характеристик двигателя в полёте. Особо стоит отметить тот факт, что самолёт Ту-2ЛЛ № 22/46 был первой в стране летающей лабораторией для испытания силовых устано-

Несмотря на потерю первой летающей лаборатории, лётные испытания турбореактивных двигателей были продолжены. В конце 1947 года под летающие лаборатории были переоборудованы ещё два самолёта Ту-2С - № 25/48 и № 31/48.

2 апреля 1948 года на Ту-2ЛЛ № 25/48 были начаты испытания турбореактивного двигателя РД-10. Двигатель представлял собой копию немецкого Jumo-004 и



**Двигатель** 

применялся на отечественных истребителях Як-15, Як-17 и Ла-150М. Полёты, в ходе которых оценивались тягово-расходные характеристики двигателя, выполняли лётчик-испытатель А.А. Ефимов и бортинженер А.А. Мельников (он же был ведущим инженером по теме). Всего до 6 июля 1948 года был выполнен 21 испытательный полёт общей продолжительностью 19 часов 48 минут.

Параллельно испытания РД-10 проводились с 7 апреля 1948 года на Ту-2ЛЛ № 31/48. В отличие от вышеупомянутой летающей лаборатории на этом Ту-2ЛЛ были установлены оптические самописцы К4-53 и К4-54, что позволило более точно фиксировать полученные результаты испытаний. Испытания РД-10 на этом самолёте проводил лётчик-испытатель Н.А. Замятин с бортинженером М.Д. Романовым (который являлся ведущим инженером по теме). На этой летающей лаборатории отрабатывался запуск двигателя в полёте. Всего до 20 августа 1948 года было выполнено 19 полётов общей продолжительностью 18 часов 36 минут.

Таким образом, в ходе всесторонних испытаний двигателя РД-10 на двух летающих лабораториях было выполнено 40 испытательных полётов общей продолжительностью 38 часов 24 минуты. В результате были получены сетки высотных характеристик двигателя в полёте, проведены исследования его приемистости и отработка запуска в полёте.

В ноябре 1948 года самолётный парк Лётно-исследовательского института пополнился ещё одной летающей лабораторией - Ту-2ЛЛ № 3/49. З декабря 1948 года на нём были начаты испытания турбореактивного двигателя РД-45, который представлял собой созданную под руководством В.Я. Климова копию английского двигателя Rolls-Royce Nene и применялся на отечественных истребителях МиГ-15 и МиГ-17, а также на бомбардировщике Ил-28. По-



лёты, в ходе которых оценивались тягово-расходные характеристики двигателя, выполняли лётчикиспытатель Я.И. Верников и бортинженер Розенбами (он же был ведущим инженером по теме). Всего до 17 декабря 1948 года было выполнено 6 испытательных полётов общей продолжительностью 4

часа 39 минут.

С 24 по 27 марта 1949 года на Ту-2ЛЛ № 3/49 проводились испытания по отработке запуска РД-45 в полёте. Лётчиком-испытателем С.Н. Анохиным и бортинженером (ведущим инженером темы) М.Д. Романовым было выполнено 5 полётов общей продолжительностью 5 часов 21 минута. На основе этих исследований была разработана временная инструкция по запуску двигателя РД-45 в полёте.

Весной 1949 года в ЛИИ было сконструировано, выполнено и испытано на стенде экспериментальное реверсивное сопло для двигателя РД-45Ф. В середине апреля РД-45Ф с экспериментальным соплом был установлен на Ту-2ЛЛ № 3/49. 21 апреля начались испытания. 25 апреля 1949 года лётчик-испытатель С.Н. Анохин произвёл первое включение реверса в полёте. До 25 мая С.Н. Анохиным и бортинженером Филлером (он же был ведущим инженером по теме) было выполнено 12 полётов общей продолжительностью 8 часов 12 минут. Во время наземных испытаний на стенде отрицательная тяга составляла 65% от положительной тяги. В полётах был получен рост отрицательной тяги со скоростью. Итогом испытаний стало составление рекомендаций по выбору схемы и проектированию реверсивных сопел для турбореактивных двигателей. Это были первые в нашей стране (а возможно и в мире) испытания реверсивного сопла в полёте!

С 20 июня по 5 августа 1949 года на Ту-2ЛЛ № 3/49 лётчиками-испытателями Я.И. Верниковым и И.И. Шунейко с бортинженером (ведущим инженером) М.Д. Романовым было выполнено 16 полётов общей продолжительностью 15 часов 7 минут для дальнейших испытаний двигателя РД-45Ф. В ходе этих полётов была отработана модернизированная система регулирования, обеспечивающая постоянство максимальных оборотов, устойчивость работы двигателя при полностью убранном секторе газа и нормальный разгон двигателя при резкой даче газа за 1 секунду на всех высотах до 9.000 метров включительно.

Параллельно с 18 июня по 28 июля 1949 года на Ту-2ЛЛ № 31/48 проводились испытания двигателя РД-500, который представлял собой созданную под руководством В.М. Яковлева копию английского двигателя Rolls-Royce Derwent V и применялся на отечественных истребителях Ла-15 и Як-23. Лётчики-испытатели Н.В. Адамович и А.М. Ершов с бортинженером (ведущим инженером) А.А. Мельниковым выполнили 25 полётов общей продолжительностью 23 часа 2 минуты с целью определения высотных характеристик, тяги, запуска, расхода топлива, расхода воздуха и других параметров.

Затем до конца 1949 года на самолётах Ту-2ЛЛ № 31/48 и № 3/49 продолжались исследования переходных режимов двигателей РД-45 (лётчик-испытатель И.И. Шунейко, ведущий инженер Ефест) и РД-500 (лётчик-испытатели Н.А. Замятин и П.И. Казьмин, ведущие инженеры А.А. Мельников и П.И. Стекольщиков), а также испытания реверсивного сопла на РД-45Ф (лётчик-испытатель П.И. Казьмин, ведущий инженер Файтель).

Таким образом, в 1947-1949 годах в Лётно-исследовательском институте на летающих лабораториях Ту-2ЛЛ впервые в стране изучались натурные условия работы турбореактивных двигателей и их элементов с целью получения сетки высотных характеристик двигателей в полёте, исследования их приемистости и пусковых свойств, улучшения автоматов питания и других топливных систем

двигателей. Были разработаны методики определения фактических значений основных характеристик двигателя и исследования камер сгорания турбореактивных двигателей в полёте, отработана специальная аппаратура для этих исследований. На четырёх летающих лабораториях за три года было выполнено



169 испытательных полётов общей продолжительностью 157 часов 9 минут.

Эти первые летающие лаборатории Ту-2ЛЛ активно использовались при доводках и натурных отработках первых отечественных турбореактивных двигателей средней тяги с осевыми и центробежными компрессорами (РД-10, РД-20, РД-45, РД-45Ф, РД-500) для первых отечественных опытных и серийных реактивных самолётов. Отработки на этих летающих лабораториях позволили обеспечить сопровождение заводских и государственных испытаний самолётов МиГ-9, Як-15, Як-17, Як-23, Ла-15, Ла-150М, МиГ-15, МиГ-17, Ту-14, Ил-28 и других.

Чуть позже аналогичные летающие лаборатории были созданы в ЛИИ на базе самолётов Пе-8 и Ту-4. На этих самолётах турбореактивные двигатели подвешивались под фюзеляжем, а поршневые и турбовинтовые двигатели устанавливались на крыле вместо штатных двигателей. Преимуществ летающих лабораторий перед обычными самолётами, оборудованными такими двигателями, было несколько: возможность выполнения в одном полёте сразу нескольких испытательных режимов - на различных высотах, скоростях и других параметрах полёта; возможность размещения в летающей лаборатории контрольно-записывающей аппаратуры; возможность размещения на крыле сразу двух различных испытываемых двигателей (на Ту-4ЛЛ); возможность благополучного завершения полёта в случае аварии опытного двигателя.

Но это - уже другая страница нашей истории...



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

(ПРОДОЛЖЕНИЕ. 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.

Продолжаем знакомиться с самым, пожалуй подробным и объективным из существующих курсов лекций по истории авиационных двигателей

профессора СГАУ Владимира Андреевича Зрелова,

(начало - в журнале "Двигатель" № 2 (110) 2017 г.).

Напомню, что В.А. Зрелов - один из наиболее активно сотрудничающих с журналом "Двигатель" членов его редакционного совета - хорошо известный у нас и за рубежом историк авиации, преподаватель, автор целого ряда книг,

и автор инициатор создания музея авиационных двигателей в Самаре Авиационном

То, что мы о чём-то не знаем, отнюдь не означает, что его никогда не было

020202020202020202020202020

университете. Его новый курс лекций подготовлен в 2015-2016 гг.

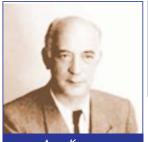
Здесь он даётся в существенном сокращении.

Вновь предоставляем слово автору

#### ПЕРВЫЕ АВИАЦИОННЫЕ ВОЗДУШНО - РЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ мотокомпрессорные двигатели

**Д**вигатели этого типа проектировали, строили и даже испытывали - порой и в полёте в первой половине XX века во всём мире.

Создатель первого реактивного самолета румын Анри Коанда (Coanda) по образованию был инженером-артиллеристом. Отцом Анри Коанды был известный политик (позже премьер-министр Румынии), генерал Константин Коанда, профессор математики в Национальной школе мостов и дорог. В 1905 г. Анри Коанда сконструировал самолёт для румынской армии. В 1907 - 1908 гг. он продолжил обучение в Институте Монтефиори в Льеже, где познакомился с Джанни Капрони.



Анри Коанда

рской Джанни Капрони Коанда сконструировал первый прототип реактивного самолёта - самолет Coanda-1910 c

мотокомпрес-



При поддержке инженера Гюстава Эйфеля и математика - пионера авиации Поля Пенлеве, Коанда начал эксперименты по аэродинамике. В 1910 году в масте-



сорным двигателем тягой 220 кГс (МКВРД) и представил его на Втором воздухоплавательном салоне в Париже.

Самолёт использовал четырёхцилиндровый 50-сильный бензиновый мотор Clerget, соединённый через редуктор с центробежным компрессором, нагнетавшим воздух в две камеры сгорания, расположенные по бокам фюзеляжа. В этих камерах воздух смешивался с топливом и смесь сгорала, создавая реактивную тягу.

В декабре 1910 г. состоялся полёт этого летательного аппарата, закончившийся катастрофой, в результате которой Коанда получил травмы, а самолет был полностью разбит. Потерпев неудачу, Коанда больше не занимался авиацией.

Спустя тридцать лет итальянцы Джанни Капрони (Caproni) и Секондо Кампини (Secondo Campini) построили первый итальянский реактивный самолет "Кампини-Капрони №1" (Campini-Caproni - 1), совершивший 28 августа 1940 г. свой первый полёт. Силовая установка самолета, разработанная Секондо Кампини, состояла

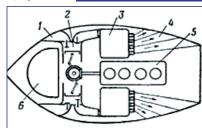


из поршневого мотора Isotta Fraschini L.121/RC.40 мощностью 900 л.с., который приводил в действие трёхступенчатый компрессор воздушно-реактивного двигателя с регулируемым соплом и впрыском топлива в выхлопное сопло типа форсажной камеры.

В 1911 г. русским инженером А. Гороховым был заявлен проект мотокомпрессорного двигателя с двумя камерами сгорания и поршневым компрессором, приводи-

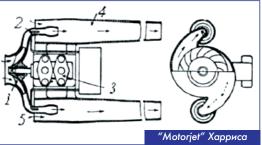
мым в движение поршневым мотором.

Понятие "motoriet" впервые было упомянуто в 1917 г. в патенте британского инженера Харриса (H.S. Harris). В этом проекте центробежный компрессор 1 приводился в движение двухцилиндровым поршневым мотором 3. Сжатый воздух направлялся в камеры сгорания 4, где сжигалось топливо 2,



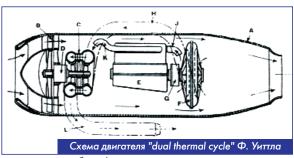
Секондо Кампини

Проект А.Горохова: 1 - воздухозаборник; компрессор; 3 - камеры сгорания; 4 - сопла; 5 - поршневой мотор.



затем газовый поток направлялся в сопла для создания тяги. 5 - дополнительный эжектируемый воздух.

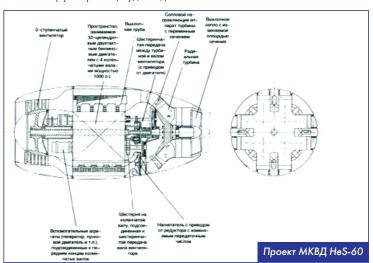
В 1936 г. британец Фрэнк Уиттл (Frank Whittle), разработал схему двигателя, названную "dual thermal cycle". В ней были предусмотрены два компрессора. Осевой (В) находился во входной части двигателя, а центробежный (F) - в выходной. Осевой приводился в движение турбиной С, которая в свою очередь вращалась от потока воздуха Н, создаваемого центробежным компрессором. Приводил этот компрессор поршневой мотор Е, который получал воздух



(J) для своей работы от этого же компрессо ра, а выхлопные газы К направлялись в турбину. Отработанный воз-

дух из турбины L использовался для получения дополнительной тяги. В этот же период мотокомпрессорные двигатели проектировали и строили фирмы JUMO, Heinkel и BMW в Германии.

Фирма Junkers разработала двигатель по проекту М.А. Мюллера (М.А. Muller). В нем 4-х-ступенчатый осевой компрессор приводился от дизельного мотора с блоком из 16-ти цилиндров. При этом воздух охлаждал корпус поршневого мотора и направлялся в камеру сгорания, куда подавалось топливо.





Опытный образец МКВРД фирмы Ernest Heinkel AG

В 1939 г. М.А. Мюллер и некоторые его сотрудники перешли на фирму Ernest Heinkel AG, где разрабатывали опытные мотокомпрессорные двигатели - 16-ти цилиндровый HeS 50 и 32-х цилиндровый HeS 60 и изготовила опытный образец.

ВРД с приводом туннельного вентилятора от поршневого мотора для самолета Focke-Wulf Fw 44 разрабатывала в 1938 г. фирма Bramo,, в 1939 г. во-

шедшая в состав BMW.

#### **CCCP**

В СССР работы по мотокомпрессорным двигателям (ВРДК) проводились с 1942 года. В это время в ЦИАМ, возвратившимся из недолгой эвакуации, было организовано конструкторское бюро под руководством инженера-конструктора К.В. Холщевникова для отработки схемы ВРДК. Здесь в 1943 г. было разработано изделие Э-3020

- поршневой двигатель ВК-107Р с приводом для вращения осевого компрессора воздушно-реактивного двигателя. Максимальная суммарная мощность мотора и







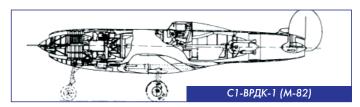
ВРДК составляла  $N_{\Sigma}$ =2560 л.с.

В конце мая 1944 г. ОКБ П.О.Сухого, а также А.И.Микояна и М.И.Гуревича было выдано задание на проектирование экспериментальных самолётов с ВРДК - И-250 и Су-5.

Первый полёт И-250 (самолёт "Н"), пилотируемого А.П. Деевым, состоялся 4 апреля [по другим сведениям - ещё 3 марта] 1945 г. Спустя четыре дня, в третьем полёте на И-250 опробовали ВРДК.

В начале 40-х в ЦАГИ также разрабатывались несколько проектов самолетов с ВРДК. Целью этих проектов была отработка путей радикального увеличения скорости самолетов. Некоторые из этих проектов:

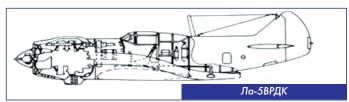
Проект самолёта С-1ВРДК-1. Оборудован поршневым мотором М-82 с ВРДК: компрессор осевой, камера сгорания (или фор-



сажная камера), регулируемое сопло с центральным телом. Тяга создавалась только за счет реактивной струи. Воздушный винт не был предусмотрен. В качестве топлива использовался бензин.

Другой проект. На базе Як-9 (мотор M-105Ф) был разработан проект истребителя с ускорителем типа ВРДК. В хвостовой части находилась камера сгорания и трехступенчатый осевой компрессор, который через приводные валы и промежуточные редукторы приводился от поршневого мотора M-105PEH. В конце 1943 г. в проекте ВРДК сжатый воздух из двухступенчатого компрессора, приводимого высотным поршневым мотором АМ-39Ф, поступал в камеру сгорания. Расчётная скорость самолёта с таким двигателем могла составить 830 км/ч на высоте около 8100 м.

В проекте самолёта Ла-5ВРДК в качестве компрессора был ис-



пользован одноступенчатый вентилятор с направляющим аппаратом, установленный перед мотором М-82.

#### Япония

В конце 2-ой Мировой войны в Японии для борьбы с кораблями ВМС союзников был создан управляемый летчиком-камикадзе



самолет-снаряд Yokosuka MXY7 Ohka ("Ока" - цветок сакуры) с МКВРД Ishikawajima Tsu-11.

Двигатель состоял из одноступенчатого осевого компрессора и камеры сго-

рания с выходным нерегулируемым соплом. Привод компрессора осуществлялся от 4-хцилиндрового перевернутого рядного поршневого двигателя Hitachi Hatsukaze HA-11 (HA-47, лицензия немецкого Hirth HM 504). Вход воздуха осуществлялся через два боковых в хвостовой части фюзеляжа. Его тяга составляла около 180 кгс.

(Продолжение следует)

Связь с авторами: zrelov07@mail.ru



## АВИАДВИГАТЕЛИ ДВАДЦАТЫХ И ТРИДЦАТЫХ ГОДОВ XX ВЕКА В МУЗЕЯХ РОССИИ

Дмитрий Алексеевич Соболев, ведущий научный сотрудник Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, к.т.н. Михаил Яковлевич Стребков, научный сотрудник Центрального музея ВВС

Ассоциация содействия развитию научно-технических музеев "АМНИТ" выпустило книгу-справочник "Авиация в музеях России", в которой содержатся сведения о 35 музеях и почти тысячи хранящихся в них летательных аппаратах и двигателях. Во второй статье, подготовленной на основе этой книги, речь пойдет о двигателях, созданных в 1920-е -1930-е годы.

Association for the Advancement Science and Technology Museums "AMNIT" published a book "Aviation in museums of Russia", which contains information about 35 museums and almost a thousand stored these aircraft and engines. The second article prepared on the basis of this book devoted to museum engines, design in 1920s - 1930s. Ключевые слова: музей, двигатель воздушного охлаждения, двигатель водяного охлаждения.

В настоящее время в музеях находится 5 авиадвигателей 1920-х годов и свыше 10 - 1930-х годов. Многие из них являются копиями зарубежных моторов, но есть и полностью оригинальные

Keywords: museum, air-cooled engines, liquid-cooled engines.

Авиационный двухцилиндровый двигатель Блекберн "Томтит" объёмом 0,7 л и мощностью 18 л. с. был выпущен английской фирмой Blackburn Aeroplane and Motor Co. Ltd в начале 1920-х годах для сверхлёгких самолётов (авиеток). Несколько таких моторов бы-



мемориальный музей Н.Е. Жуковского в 1974 году известный лётчик-испытатель Александр Иванович Жуков. В 1927-1929 годах Жуков на само-"Буревестник C-4" конструктора В.П. Невдачина, на которой стоял этот мотор, совершил 33 полёта общей про-

ло в СССР. Один из

них передал в Научно-

должительностью 31 часа 43 минут и установил два неофициальных мировых рекорда для авиетки с мотором мощностью до 20 л. с.: рекорд высоты 4950 м и рекорд скорости 144 км/ч.

В рамках программы развития автомобильной и авиационной промышленности России в конце 1916 года во Франции была приобретена лицензия на мотор "Испано-Сюиза" - восьмицилиндровый V-образный двигатель М-4 ("Испано-200") водяного охлаждения мощностью 200 л. с. Через два года штаб Воздушного флота выдал заводу "Мотор" в Москве заказ на 100 таких двигателей под названием "Русский Испано" или "Испано-200". Два головных образца требовалось предъявить к 1 января 1920 года. За основу взя-



ли модель "Испано-Сюиза 8ВЬ" с понижающим редуктором, но переработали конструкцию в соответствии с имевшимся оборудованием, материалами и комплектующими.

Весь 1919 год ушёл на освоение технологии и подготовку оснастки. Задержки были вызваны нехваткой комплектующих (в

частности, магнето), необходимостью освоения технологии отливки алюминиевых поршней, а также отъездом из России французских специалистов. Первый мотор был выпущен в июле 1920 года, его испытания завершили 24 марта 1921 года. Он оказался на 4 кг тяжелее оригинала, а его надёжность оставляла желать лучшего.

В 1923 году, после введения унифицированной системы обозначений авиационных двигателей, "Испано-200" переименовали в М-4. Построенные в России моторы использовали в качестве запасных для импортных самолётов. До 1922 года изготовили всего 36 экземпляров, затем "Русский Испано" сняли с производства как

Сохранилось два экземпляра М-4. Один из них с 1939 года находится в Политехническом музее в Москве, другой - с 2001 г. в музее ВВС в Монино.

Демонстрируемый в музее BBC двигатель **М-6** мощностью 300 л. с. - копия французского мотора "Испано-Сюиза 8Fb", восьмицилиндрового, V-образного, водяного охлаждения. Создан по закупленному во Франции образцу на заводе "Икар" в Москве. Производство двигателя, названного сначала "Испано-300", а затем М-6, осваивалось на заводе № 9 (г. Александровск, ныне Запорожье).

Первый серийный М-6 прошёл государственные испытания в мае 1925 года. Строился до 1932 года, выпущен 331 экземпляр. Применялся на купленных за рубежом после Гражданской войны истребителях Фоккер D.XI и Мартинсайд F.4 для замены оригинальных моторов, а также на немногочисленных серийных учебно-тренировочных самолётах П-2.



В музей двигатель поступил из Центрального Дома авиации 28 февраля 1959 года. Это единственный музейный экземпляр.

В Политехническом музее имеется хорошо сохранившийся двигатель М-11. Разработка мотора началась в 1924 году конструкторским отделом завода ГАЗ № 4 "Мотор". Отдел подчинялся главному инженеру А.Д. Швецову, руководил работами Н.А. Окромешко. Первый М-11 поступил на стендовые испытания 4 ноября 1925 года. В 1927 году чертежи мотора были переданы заводу ГАЗ № 9 в Запорожье. При доводке конструкторское подразделение завода внесло в образец значительные улучшения. Группа М.А. Коссова из созданного А.С. Назаровым опытно-конструкторского отдела разработала модернизированную версию мотора -

#### К 110-ЛЕТИЮ ЖУРНАЛА "ДВИГАТЕЛЬ"



M-11B. На ней коленвал устанавливался на подшипники скольжения, что избавило завод от покупки дорогостоящих импортных шарикоподшипников. Именно такой образец представлен в музее. Он был построен запорожским заводом в марте 1932 года.

M-11 - звездообразный двигатель воздушного охлаждения мощностью 100 л.с. Пять оребрённых цилиндров расположены по кругу вокруг продольной оси. В передней части картера находится шестерённый механизм газораспреленения. Управление клапанами "впрыск-выхлоп" поводковое с качалками. Карбюратор, магнето, бензопомпа и маслопомпа смонтированы вокруг картера за блочной частью. Один блок цилиндра препарирован с демонстрационной целью.

M-11 стал первым авиамотором советской конструкции, запущенным в серийное производство. Мотор находился в производстве более 20 лет, устанавливался на десятках типов легких самолетов.

В Научном автомоторном институте (НАМИ) под руководством В.А. Доллежаля и И.Ш. Неймана был создан звездообразный трёх-



цилиндровый мотор воздушного охлаждения М-23 мощность 65 л.с. Он предназначался для лёгких спортивных самолётов. Первый экземпляр в 1930 году прошёл испытания на земле на самолёте АИР-3 - сначала на фюзеляже без крыла, затем с установленным крылом. В сентябре закончились лётные испытания. М-

23 был выпущен небольшой серией в мастерских ФЗУ завода № 24. Монтировался на самолётах АИР-2, АИР-3, "Омега", Г-10, Г-20, Г-22, автожире А-15. В руководстве Осоавиахима считали, что в нашей легкомоторной авиации ещё не было такого яркого успеха, как выпуск отечественного самолёта с отечественным двигателем. Однако М-23 не получил распространения из-за сильной вибрации при работе. Поступил в музей ВВС 5 января 1988 года.

Самым мощным авиационным двигателем начала 1930-х годов был 12-цилиндровый M-17. Это V-образный двигатель водяного охлаждения. Литой картер из алюминиевого сплава состоит из двух частей, стянутых шпильками. К нему на болтах присоединены блоки цилиндров. Каждый цилиндр имеет литой стакан с рёбрами жёсткости и тонкостенную сварную водяную рубашку. Коленвал находится в нижней части картера. Распредвалы кулачкового типа, с приводом от коленвала через промежуточные валы с коническими шестернями.

Первый М-17 был построен на авиазаводе № 26 в г. Рыбинске весной 1930 года по лицензии на мотор BMW VIb, приобретённый у фирмы BMW (Мюнхен). Форсированный вариант М-17Ф раз-



работан конструкторами рыбинского завода под руководством инженера Рогова. Он имел мощность 500/715 л.с., комплектовался отечественным электрооборудованием.

М-17Ф находится в Политехническом музее, куда поступил 1 января 1935 года после закрытия выставки "Наши достижения", организованной к XVII съезду ВКП(б). Двигатель препарирован для демонстрационных целей: разрезаны картер с правой стороны, цилиндры правого ряда, поршни, один из коренных подшипников коленвала, водяная, масляная и бензиновая помпы. На втулке воздушного винта установлено колесо червячной передачи, с помощью которой установленный на раме электродвигатель может прокручивать коленвал, демонстрируя работу двигателя.

Двигатель не подвергался реставрации. На нём отсутствуют выпускная система, водяные магистрали от помпы к рубашкам цилиндров, некоторые детали карбюраторов и системы зажигания.

Моторами М-17 были оснащены бомбардировщики ТБ-1, более половины бомбардировщиков ТБ-3, все И-7, Р-6 и Р-5, ранние серии летающих лодок МБР-2. В ГВФ М-17 устанавливали на самолетах ПС-9, ПС-89 (ЗиГ-1) и К-5. Вместе с самолетами эти двигатели экспортировались в Иран, Испанию, Китай и Монголию. За 10 лет было построено свыше 27 тысяч таких моторов.

В Центральном Доме авиации и космонавтики представлен двигатель конструкции А.А. Микулина М-34PHA. М-34 предназначался на смену М-17 под его размеры и посадочные места, но принципиально отличался по конструкции. Микулин внес в двигатель много оригинальный идей. В частности, в нем впервые применили силовую схему блока со свободной гильзой и стяжкой длинными сквозными шпильками. Проектирование двигателя закончили в марте 1931 года, к испытаниям приступили в сентябре. В июле 1932 года опытный образец М-34 установили на биплане Р-5. Затем развернулся серийный выпуск. М-34 стояли на ТБ-3 и МБР-2 поздних серий, разведчиках Р-3ет, рекордных АНТ-25 (РД) и самолёте-гиганте "Максиме Горьком".



М-34РНА - одна из поздних модификаций М-34, редукторный V-образный мотор водяного охлаждения с приводным центробежным нагнетателем для повышения высотности. Мощность - 750 л. с. (взлётная - 820 л. с.). Серийное производство начато в 1935 году. Экспонируемый экземпляр поступил в ЦДАиК в середине 1940-х годов. Он препарирован для учебных целей.

С 1993 года в музее ВВС находится 12-цилиндровый V-образный двигатель водяного охлаждения **AM-35A** с взлётной мощностью 1350 л. с. с односкоростным нагнетателем. Это дальнейшее развитие мотора M-34. Разработан в 1938 году конструкторским коллективом А.А. Микулина на заводе № 24. Ведущим конструктором являлся М.Р. Флисский. С 1940 года начался серийный выпуск, до конца 1941 года было изготовлено около свыше четырёх тысяч AM-35A. Производство было прекращено в связи с завершением выпуска основного потребителя - высотного истребителя МиГ-3.

Для освобождения от импорта и развития отечественного дви-



гателестроения в конце 1920-х годов была приобретена лицензия на производство двигателя "Юпитер VI" французской фирмы "Гном-Рон". Для ознакомления с конструкцией и технологией производства на "Гном-Рон" командировали специалистов завода № 29 (г. Запорожье), которому поручили выпуск этого мотора. При участии конструкторского бюро под руководством А.С. Назарова завод быстро освоил производство "Юпитера", получившего у нас обозначение М-22.

В музей ВВС М-22 поступил 7 сентября 1959 года со склада Военно-воздушной академии (ВВА) в препарированном виде. Он был выпущен в 1932 году. Это девятицилиндровый однорядный звёздообразный двигатель воздушного охлаждения, один из немногих моторов, поршень которого облегчён путем удаления части юб-



ки в её ненагруженной зоне (так называемый поршень Риккардо по имени известного английского двигателиста). Ещё одной особенностью конструкции было применение кинематической системы компенсации увеличения зазоров в механизме привода клапанов. Максимальная мощность - 570 л.с.

Выпуск M-22 стал значительным событи-

ем в отечественной авиапромышленности. Они устанавливались на истребителях И-5, И-Зет и И-16 (ранние серии), пассажирских самолётах К-5, "Сталь-3" и ХАИ-1. Их также использовали вместо импортных "Юпитеров" на истребителях И-4 и корабельных разведчиках КР-1. Было изготовлено 2742 таких моторов.

Двигатель **M-25A** получен с технического склада ВВА 7 сентября 1959 года. До поступления в музей ВВС использовался в виде препарированного наглядного пособия. Изготовлен в 1935 году на



заводе № 19 в Перми. Это поршневой двигатель с воздушным охлаждением, девятицилиндровая однорядная звезда.

В начале 1930-х годов были заключены договоры на производство по лицензии нескольких новых зарубежных образцов. Одним из них был американский Райт "Циклон" мощностью 625 л. с. Его выпуск в СССР на-

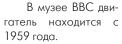
**— 42 —** 

чался в 1935 году под названием М-25. На базе М-25 в 1935 году под руководством А.Д. Швецова создали модификацию М-25А с увеличенной мощностью и конструктивными изменениями некоторых деталей.

M-25A использовали на самолётах И-14, V-15, V-15бис, V-16, V-10, V-10, V-10, V-10, V-10, V-11, V-11, V-11, V-11, V-11, V-12, V-13, V-14, V-15, V-15, V-15, V-16, V-16, V-16, V-16, V-16, V-17, V-17, V-18, V-18, V-19, V-19,

Семицилиндровый звездообразный двигатель воздушного охлаждения М-26 мощностью 300 л. с. был разработан в 1929 году под руководством А.А. Бессонова для замены американского мотора Райт Јб. Двигатель имел ещё одно название - "КИМ" (Коммунистический интернационал молодёжи - так тогда назывался комсомол) - поскольку был объявлен подарком к очередному съезду комсомола. Это первый в нашей стране мощный авиамотор воздушного охлаждения, а также первый отечественный мотор, осна-

щённый приводным центробежным нагнетателем для повышения высотности. Серийное производство велось на авиазаводе № 24 в Москве в 1931-1933 годах, было выпущено 445 экземпляров. Устанавливался на самолётах АНТ-9, "Сталь-2", автожире А-4.





**M-885** поступил музей ВВС из Центрального Дома авиации и космонавтики 28 февраля 1959 года. Это 14-цилиндровый двухрядный звездообразный двигатель воздушного охлаждения с редуктором и двухскоростным приводным нагнетателем (ПЦН).

Семейством моторов М-85 - М-88 занимались поочерёдно три конструктора. Начал их освоение главный конструктор завода в Запорожье А.С. Назаров, которому было поручено производство лицензионного двигателя "Мистраль-Мажор". В 1938 году главным конструктором был назначен С.К. Туманский. Под его руковод-

ством спроектированы более мощные моторы М-88А и М-88Б (их отличия определялись спецификой самолётов, на которые они ставились, в частности моторы М-88Б предназначались для бомбардировщиков С.В. Ильюшина). М-88 входил в число основных двигателей, на которых воевала наша авиация. Однако первое время при ис-



пытаниях проявился ряд дефектов, и М-88 даже сняли с производства. Его доводкой занимался Е.В. Урмин. Он быстро разобрался в технических проблемах, нашёл их корни, и мотор стали выпускать вновь. М-88Б стояли на самолётах Ил-4 (ДБ-3Ф) и Су-2. Было изготовлено более 16 тысяч таких моторов.

М-образный мотор жидкостного охлаждения **M-100** с взлётной мощность 860 л.с. можно увидеть в выставочном зале Уфимского моторостроительного производственного объединения. Его производили в 1935-1940 годах. Это лицензионная копия французского авиадвигателя Испано-Сюиза 12Ybrs. Разработкой моторов семейства "сотых" и их совершенствованием занимался коллектив ОКБ завода под руководством В.Я. Климова. М-100 приме-



нялись на нескольких типах военных и гражданских самолётов: серийных СБ (ПС-40), опытных "Сталь-7" "Сталь-11", И-17 бис. Всего было построено более 6 тысяч этих двигателей.

Двигатель **M-103** конструкции ОКБ В.Я. Климова поступил в музей ВВС из Военно-воздушной академии в 1984 году. Это первый удачный мотор, созданный Климовым на базе M-100.

Серийный выпуск М-103 был начат в 1938 году на заводе № 26 в Рыбинске (там также имеется в музее образец этого двигателя). По сравнению с М-100 увеличена степень сжатия, изменено передаточное отношение в передаче агрегата приводного наддува (ПЦН), мотор форсирован по оборотам и наддуву. Конструкторы



также изменили фазы газораспределения (увеличили время всасывания) и применили бронзовые коренные вкладыши, плоское дно поршня вместо вогнутого и усиленные шатуны. В результате прирост мощности составил более 100 л. с.

Производство М-103 продолжалось до 1942 года, было построено почти 7 тысяч экземпляров. Эти двигатели устанавливали на самолётах СБ и Як-2 (ББ-22). Их также применяли для привода агрегата центрального наддува АЦН-2 на первой серии тяжёлых бомбардировщиков ТБ-7.

М-62 (АШ-62) - девятицилиндровый звездообразный поршне-



вой двигатель воздушного охлаждения мощностью 1000 л. с. (номинальная мощность - 820 л.с.). Выпускался с 1937 года на нескольких заводах.

В 1932-1933 годах Аркадий Дмитриевич Швецов в составе делегации авиационных специалистов был направлен в США для закупки новой авиационной техники. Советская делегация посетила моторост-

роительный завод в городе Паттерсон с целью ознакомления с производством моторов. В результате в 1933 году был подписан договор о технической помощи и сотрудничестве с фирмой "Кертисс-Райт", у которой приобрели лицензию на поршневые двигатели воздушного охлаждения "Райт-Циклон" трёх модификаций, которые стали прототипами моторов М-25, М-25В и М-62. После поездки Швецова пригласил к себе нарком тяжёлой промышленности Г.К. Орджоникидзе и сообщил, что принято решение направить его главным конструктором на новый моторостроительный завод № 19 в Пермь. В ОКБ этого завода на базе М-25В был разработан двигатель М-62 с новыми головками цилиндров с увеличенным оребрением и двухскоростным приводным центробежным нагнетателем. Этот двигатель устанавливался на предвоенных истребителях И-153 "Чайка", И-16 и др.

Потребность в двигателях была велика, и пермский завод не мог полностью её удовлетворить. В 1937 году заводу № 24 было поручено производство 12 тысяч моторов М-62.

Двигатель М-62 называют ещё АШ-62 (АШ - Аркадий Швецов). Такой индекс появился у моторов главного конструктора Швецова в 1944 году. Самолёты с этими двигателями летали в 1930-е годы, во время Великой Отечественной войны и в послевоенный период. Летают самолёты с модифицированными моторами М-62 и в наше время (Ан-2).

В музее ПАО "Кузнецов" (до 2010 г. - авиамоторный завод им. М.В. Фрунзе, основанный на базе эвакуированного в годы войны авиазавода № 24) АШ-62 оказался благодаря работникам эксплуатационно-ремонтного отдела завода. В структуре завода долго находился лётный отряд, в котором был Ли-2 с двумя моторами АШ-62. Самолёт был списан в 1964 году после полной выработки ресурса, и один из его моторов перевезли в музей, где он занял место в экспозиции.

Ещё один АШ-62 с 1962 года можно видеть в музее истории

пермского машиностроения.

Особое место среди двигателей 1930-х годов занимает МВ-4 из музея ВВС в Монино. Этот строившийся в 1939 г. на заводе № 16 в Воронеже четырёхцилиндровый рядный двигатель воздушного охлаждения являлся копией французского мотора Рено 4Р "Бенгали". Он развивал мощность 150 л.с. и предназначался для легких спортивных и учебных самолётов. Из-за ряда эксплуатационных недостатков (в частности, трудного запуска при минусовых температурах) он не получил у нас распространения.



#### Литература:

- 1. Авиация в музеях России. Самолёты, вертолёты, двигатели. М., 2017. 2. Берне Л.П., Боев Д.А., Ганшин Н.С. Отечественные авиационные двигатели - XX век. М., 2003.
- 3. Иванова Е.А., Котельников В.Р. Авиационный поршневой двигатель М-4 // Памятники науки и техники в музеях России. М., 2005. Вып. 4. С. 142-143.
- 4. Котельников В.Р. Отечественные авиационные поршневые моторы (1910-2009). М., 2010.
- 5. Микулин А.А., Фельдман В.И. Как был создан мотор АМ-34 // Техника воздуш. флота. 1941. № 2. С. 16-23.
- 6. Сорокин В.Н. Из истории создания высотного поршневого авиационного двигателя АМ-35А // Из истории авиации и космонавтики. М., 1992. Вып. 63. С. 64-72.
- 7. Урмин Е.В. Опытное авиамоторостроение в СССР в 20-е 40-е гг. XX в. // Из истории авиации и космонавтики. М., 1974. Вып. 23. С. 104-125.

## "ОЛДТАЙМЕР-ГАЛЕРЕЯ" 2017 ГОД

Александр Иванович Бажанов, академик Международной инженерной академии

(Продолжение. Начало в № 2, 3 - 2017)

#### Bebe Peugeot (Франция, 1913 год)

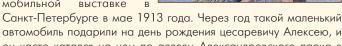
Семья Пежо из французского городка Валантине начинала в XVIII веке с мануфактурного производства, а в 1840 году начала производство ручных кофемолок и мельниц для перца и соли. За ними последовали зонты со стальными каркасами, лезвия для пил, спицованные колёса и велосипеды конструкции Армана Пежо, которому фирма обязана появлением автомобильной марки Peugeot. Его первые конструкции являлись паромобилями, а в 1890 году появился первый Peugeot с двигателем внутреннего сгорания. Еще через два года началось серийное производство.

В конце XIX века в России марку Peugeot знали в основном как производителя велосипедов, продававшихся во многих городах - Москве, Санкт-Петербурге, Минске, Нижнем Новгороде, Варшаве, Одессе и Тифлисе. Первая реклама автомобилей Peugeot на русском языке появилась в книге Николая Песоцкого "Самодвижущиеся экипажи", изданной в 1898 году. Прошло еще десять лет, и в 1908 году автомобили Peugeot впервые экспонировались на II Международной автомобильной выставке в Москве, что способствовало популярности марки в нашей стране.

В дополнение к стандартному модельному ряду фирма в 1912 году начала выпуск малолитражной модели Bebe Peugeot, сконструированной Этторе Бугатти. Возможно, поэтому автомобиль хоть и получился маленьким, но не являлся примитивом как многие его конкуренты - в этом и заключался секрет его успеха. Даже внешне "Бебе Пежо" напоминал уменьшенную копию большого автомобиля и, пожалуй, был самым изысканным малолитражным автомобилем своего времени. Его четырехцилиндровый

двигатель рабочим объемом 856 см<sup>3</sup> развивал 10 л.с. этой мощности хватало, чтобы разогнаться до скорости 65 км/ч.

В России "Бебе Пежо" впервые демонстрировался на IV Международной автомобильной выставке



он часто катался на нем по аллеям Александровского парка в



Царском Селе. Дальнейшая судьба автомобиля цесаревича неиз-



На выставке представлен "Бебе Пежо" 1913 года выпуска, являющийся собственностью московского коллекционера Александра Ивановича Хлупнова. Автомобиль попал в Россию еще до революции, а семье Хлупновых принадлежит с 1940 года.

#### Wanderer W1 5/12PS "Puppchen" (Германия, 1913 год)

Название немецкой марки "Вандерер" переводится как "путник" или "странник". Такое имя для своей продукции выбрали Йохан Баптист Винклхофер и Рихард Адольф Иенике - совладельцы фабрики по производству пишущих машин, велосипедов и мотоциклов, основанной в 1896 году в Хёмнице. В 1911 году марка Wanderer стала еще и автомобильной - на фабрике создали небольшую двухместную модель, прозванную Puppchen.

Автомобиль получился очень оригинальным: водитель и пас-

сажир располагались не рядом, а друг за другом. Двигатель объемом 1147 см<sup>3</sup> развивал 12 л.с. и разгонял машину массой 500 кг до скорости 70 км/ч. Расход бензина составлял 8 литров на 100 км.

В России марка Wanderer сначала стала известна по велосипедам - в Санкт-Петербурге их





**— 44 —** 

продавал Генрих Гётц в магазине на Гороховой улице, дом 44. Затем представительство перешло к торговому дому "Лир и Россбаум", располагавшему двумя магазинами - на Литейном, 40 и на той же Гороховой улице, но в доме №48. Торговый дом "Лир и Россбаум" предлагал весь ассортимент продукции марки Wanderer - велосипеды, мотоциклы и автомобили. В 1914 году "куколка" стоила 2500 рублей, а в рекламе отмечалось, что "цены заводские".

В Германии Wanderer W1 5/12PS рекламировался в прессе изображенным на фоне памятника Петру I на Сенатской площади. Несколько таких постеров журналы успели напечатать до начала Первой мировой войны.

#### Ford Model T Speedster (САСШ, 1914 год)

Спидстер - тип легкого спортивного или гоночного автомобиля, не имеющего кузова как такового. На раме спидстера, как правило, устанавливались только два сиденья - водителя и пассажира, а также бензобак. Иногда на рулевой колонке крепилось круглое ветровое стекло небольшого размера. В модельном ряду Ford Motor Company такой тип кузова не присутствовал, зато можно было приобрести отдельно шасси с мотором и к нему комплект для постройки спидстера.

Рама Ford Model Т представляла собой два продольных швеллера, концы которых соединялись выгнутыми вниз штампованными поперечинами, к которым крепились поперечные рессоры подвески. Двигатель на спидстеры ставился такой же, как и на все "Форды" - четырёхцилиндровый, рабочим объёмом 2993 см³ и мощностью 20 л.с., но иногда форсированный. Трансмиссия оставалась прежней - двухступенчатой, планетарного типа. Переключение между первой и второй передачами, а также передачей заднего хода, осуществлялось водителем при помощи двух ножных педалей и рычага ручного тормоза, имевшего три положения.

Левая педаль управляла сцеплением и переключала передачи. Для того, чтобы тронуться при работающем двигателе, водителю надо было, удерживая левую педаль нажатой наполовину, передвинуть рычаг вперед от себя и выжать педаль до упора - так включалась первая передача. Чтобы перейти на вторую, надо было рычажком на рулевой колонке добавить газа и полностью отпустить левую педаль. При замедлении водитель сбавлял газ и нажимал на педаль до упора, включая первую передачу, или ловил промежуточное положение, включая "нейтраль".

Средняя педаль включала задний ход при рычаге ручного тормоза в среднем положении. Правая педаль воздействовала на трансмиссионный тормоз, которым водитель пользовался при езде, причем, нажимать на педаль можно было без перемещения рычага ручного тормоза. Ручной тормоз действовал только на задние колёса - чтобы затормозить, надо было потянуть рычаг на себя.

Также в движении водителю требовалось следить за опережением зажигания, выставляя его при помощи рычажка на левой стороне рулевой колонки. На холостом ходу он находился наверху, а по мере набора скорости его надо было перемещать вниз.



#### Metz Model 22 (САСШ, 1914 год)

Век американской марки Metz оказался недолгим - автомобили под таким названием выпускались с 1908 по 1921 год, но даже за тринадцать лет своего существования компания сумела отметиться в истории благодаря неординарной конструкции своих моделей. Как это часто бывало на заре автомобильной эры, Metz - это фамилия основателя компании. Чарльз Мец начинал с велосипедов. В 1886 году в возрасте 23 лет он занялся производством велосипедных частей, а в 1893 году вместе с тремя компаньонами основал собственное производство - Waltham Manufacturing Company. Компания выпускала велосипеды мар-

ки Orient, запасные части и аксессуары. В 1898 году Мец приспособил к велосипедному тандему двигатель внутреннего сгорания - так появился один из первых американских мотоциклов. Затем последовали опыты с трициклами и квадроциклами. В 1901 году появился автомобиль Orient Runabout, растиражированный в количестве 50 экземпляров, но после Мец вернулся к производству мотоциклов Marsh-Metz.

В 1908 году Чарльз Мец предложил новую для американского рынка идею - The Metz Plan, ставший прооб-

The Manual Parks of the State o

разом современного набора кит-кар. Автомобиль теперь продавался не целиком, а по частям, запакованный в 14 ящиков, каждый из которых стоил \$25. Будущий автовладелец покупал их один за другим, собирая автомобиль по мере своих финансовых возможностей.

В 1911 году появилась самая известная и самая массовая модель фирмы - Metz Model 22. Цифры в названии означали мощ-

ность двигателя - 22 л.с., а её главной отличительной чертой стала трансмиссия: Мец применил фрикционную передачу: крутящий момент передавался на ведущий диск, с которым перпендикулярно соприкасался ведомый, и его перемещением изменялось



передаточное отношение. Весил автомобиль около  $400 \, \mathrm{kr}$ . Первоначально "Мец" предлагался за  $600 \, \mathrm{долларов}$ , но затем цена была понижена сначала до 495, а затем и до  $475 \, \mathrm{долларов}$ .

В 1913 году марка Метг официально появилась в России -



шасси модели 22 экспонировалось на IV Международной автомобильной выставке, прошедшей с 7 по 19 мая в Санкт-Петербурге. Представителем фирмы стал торговый дом "Михайловский, Кох и Ко", предлагавший автомобиль за 1950 рублей. Но даже благодаря такой низкой цене "Мец" не смог завоевать российский рынок. По состоянию на 13 августа 1913 года в Санкт-Петербурге из 2036 зарегистрированных автомобилей было только три "Меца" и куда больше других американских машин низшей ценовой категории, например, "Митчелл" или "Форд".

#### Бронеавтомобиль Кавказской туземной конной дивизии (Россия, 1914 год)

На выставке представлена реплика бронеавтомобиля, построенного в 1914 году в мастерских Собственного Его Величества гаража и служившего в Кавказской туземной конной дивизии. Бронеавтомобиль построен на базе грузовика из состава Собственного Его Величества гаража, пожертвованного для этих целей Николаем II.

История бронеавтомобиля началась 17 октября 1914 года, когда полковник Каменский сообщал в Главное управление Генерального Штаба, что "Государю-императору благоугодно было пожаловать Кавказской Туземной конной дивизии один грузовик, с тем, чтобы он был покрыт бронёй и оборудован для установки на нем 3 пулемётов". В связи с этим Каменский просил Управление выделить полковнику Добржанскому средства и пулемёты (два тяжёлых и один облегчённый) для постройки броневика на указанном шасси. Бронирование было произведено по типу бронеавтомобиля "Руссо-Балт тип С".

Броневик был построен в конце 1914 года и отправился на Кавказский фронт, где воевал как минимум до 1916 года, о чём свидетельствует фотография в журнале "Нива".



Также броневик упоминается в докладе начальника штаба Кавказской Туземной конной дивизии полковника Юзефовича от 7 апреля 1915 года: "При команде состоит бронированный автомобиль-пулемет, оборудованный собственным гаражом ЕГО ИМ-ПЕРАТОРСКОГО ВЕЛИЧЕСТВА".



Кавказская туземная конная дивизия, известная также под названием "Дикая дивизия" - кавалерийская дивизия в составе Русской Императорской армии, была сформирована 23 августа 1914 года и на 90% состояла из добровольцев-мусульман - уроженцев Северного Кавказа и Закавказья, которые, как и все жители Кавказа, по законодательству Российской Империи не подлежали призыву на военную службу. Командовал Кавказской туземной конной дивизией великий князь Михаил Александрович младший брат императора Николая II.

#### Chevrolet Series 490 Roadster (САСШ, 1915 год)

Автомобильная марка Chevrolet - одна из немногих ныне существующих, чей возраст превышает 100 лет. Отсчет истории марки ведется с 3 ноября 1911 года, а её название - фамилия автогонщика Луи Шевроле.

Chevrolet Series 490 запустили в производство в 1915 году модель должна была составить конкуренцию Генри Форду и его знаменитому Ford Model T. В цифровом индексе модели зашифровали её стоимость в 490 долларов, что было всего лишь на 5 долларов меньше, чем цена Ford Model Т. Под капотом стоял двигатель мощностью 24 л.с., с которым родстер массой 825 кг разгонялся до внушительных 90 км/ч.

В России марка Chevrolet появилась в 1914 году. Журнал "Автомобиль" писал о ней так: "Автомобили Шервролэ можно назвать полуамериканским-полуевропейским автомобилем - дело в том, что сам Шевролэ - француз, изучавший автомобильное дело в Европе и только несколько лет назад переселившийся в Америку, где он также занялся своим любимым делом - именно постройкой автомобилей, для чего образовал компанию, сначала он только занимался сборкой автомобилей, а с этого 1914 года эта компания выстроила собственный завод в городе Флинте - т.е. в центре автомобильной промышленности Америки и вот здесь-то сам Шевролэ спроектировал автомобиль, который соединяет в себе одновременно новейшие усовершенствования и данные европейских колясок, а также все нововведения, появившиеся на американском рынке. При этом система постройки чисто американская - все модели строятся сериями, следовательно, точность и взаимозаменяемость частей полная, всё делается по лекалам, материал также высокого качества, конечно. Завод оборудован самыми новейшими станками, имеющимися на американском рынке - это специальные станки для постройки автомобилей. Сам Шевролэ, проектируя свои коляски, не только руководствуется теоретическими данными, лабораторными экспериментами и математическими выкладками, мнениями других, ездивших на этих машинах, но и в основу всех конструкций ставит свой личный опыт, а опыт у него большой он сам опытный автомобильный гонщик".



**— 46 —** 

#### Chevrolet Series H Royal Mail Roadster (САСШ, 1915 год)

Серия Н появилась в модельном ряду Chevrolet в 1914 году, а вместе с ней и хорошо всем знакомая эмблема в виде галстука-

бабочки. По легенде глава General Motors Билли Дюрант впервые увидел этот рисунок на обоях в парижской гостинице и оказался настолько впечатлён его простотой и гениальностью, что вырезал кусок себе на память. И через несколько лет этот кусок обоев ему пригодился.

Chevrolet Series H предлагался в нескольких вариантах кузовов, в том числе и в двухместной открытой версии Royal Mail Roadster. "Королевский почтовый" отличался спортивным обликом с низким силуэтом и аккуратным декором в виде циро-



вок на бортах и капоте. По желанию заказчика устанавливалась сверкающая стальная облицовка радиатора, в то время как большинство родстеров обходились крашеной.

Конструкция "Шевроле" тех лет отличалась прогрессивностью. Цилиндры отливались в единый блок, а распределительный вал с клапанами находился вверху - таких смелых и ставших

впоследствии распространенными решений европейские автомобильные производители в 1915 году еще побаивались. Первоначально система зажигания приобреталась у американского завода



фирмы Bosch, но в дальнейшем её место заняла продукция "корпоративной" марки Delco, поставлявшей электрооборудование для автомобильных марок, входящих в General Motors. Автомобили комплектовались стартером и электрическими фарами, что в Европе встречалось лишь на дорогих автомобилях или продавалось как дополнительное оборудование.

Несколько устаревшим, но вполне приемлемым решением, была размещенная отдельно от двигателя трехскоростная коробка перемены передач. Традиционными как для Америки, так и для Европы были продольные рессоры в подвеске, как и тормоза только на задних колесах. Все машины на заводе комплектовались съемным верхом, звуковым сигналом, указателем скорости, а также запасным ободом с камерой и покрышкой.

В России автомобили Chevrolet начали продаваться с 1914 года. Представительство компании располагалось в Санкт-Петербурге на Александринской площади, дом 5 - сейчас это площадь Островского.



#### Ford Model T Touring (САСШ, 1915 год)

Модель Т выпускалась с 1908 по 1927 год и была растиражирована в количестве более 15 миллионов экземпляров. По общему признанию, Генри Форд "посадил Америку на колёса", создав простой, доступный и массовый автомобиль, а также одним из первых применив конвейерный метод производства.

Несмотря на упрощённую конструкцию, Ford Model T по техническим характеристикам, комфорту и оснащению не уступал большинству автомобилей своего времени, а по габаритным размерам и мощности двигателя соответствовал современным ему

моделям среднего класса. В течение девятнадцати лет производства автомобиль снабжался четырёхцилиндровым двигателем рабочим объёмом 2893 см<sup>3</sup> и развивавшим мощность 20 л.с., которой хватало, чтобы весящий немногим более полутонны "Форд" мог развить скорость 60...70 км/ч.



Легенда о том, что все "Форды" красились исключительно в чёрный цвет, верна только применительно к автомобилям 1914-1927 года, когда для окраски автомобилей конвейерной сборки стал применяться "японский" чёрный лак, высыхающий за 48 часов. До этого чёрный цвет вообще отсутствовал - поначалу "Форды" красились только в красный, серый и зелёный цвета, но в соответствии с типами кузовов. С 1912 года все машины красились в синий цвет, но с черными крыльями и подножками и только с 1914 года стали целиком чёрными.

В России автомобили "Форд" впервые демонстрировались публике на I Международной выставки автомобилей, двигателей, велосипедов и спорта, прошедшей в Санкт-Петербурге в 1907 году. На стенде товарищества "Политехник" среди автомобилей других марок можно было увидеть Ford Model N - предшественник модели Т. В августе 1909 года "Форд" успешно выступил в пробеге Петербург - Рига - Петербург, пройдя всю дистанцию без серьезных поломок. Представителем фирмы стал Маркус Фриде, который сразу же начал вести активную рекламную кампанию, а также отправлять "Форды" на самые разные пробеги и гонки. К 1913 году в Санкт-Петербурге насчитывалось 72 "Форда" из 2036 частных автомобилей, что можно назвать хорошим показателем, учитывая, что в 1910 году их было всего 26, то в 1911-м - 48, а на следующий год - 63. Автомобили "Форд" пользовались популярностью и в Москве, а также на юге России, особенно в Одесской, Бессарабской, Херсонской и Таврической губерниях.

(Продолжение следует.)



# СЛАВНЫЕ ИМЕНА ИНЖЕНЕРИИ ОТЕЧЕСТВА БОРИС ГРИГОРЬЕВИЧ ЛУЦКОЙ

(ПРОДОЛЖЕНИЕ. НАЧАЛО В № 2(110) 2017 г.) КАК НАЧИНАЛИ СВОЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ИНЖЕНЕРЫ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XIX ВЕІ

Дмитрий Александрович Боев, генеральный директор журнала "Двигатель"

Пюбой честный историк, внимательно разбирая архивный материал, поневоле будет захватывать в своё исследование и то, что сопутствовало основной теме. И, зачастую, в результате в его исследованиях собирается некий круг людей, тем и действий, описывающий и главную тему и ту атмосферу, в которой эта тема была разыграна. Причём последнее, порой, не менее интересно и неведомо для нас, чем и сам объект исследования. И мы становимся в состоянии из того упрощённого взгляда на происходившее, к которому мы уже и привыкли, хоть в какой-то мере почувствовать себя соучастниками реально бывшего. Именно такую возможность даёт весьма и весьма плотно населённая людьми и событиями книга Александра Фирсова о Луцком. Начнём с небольшого описания одной большой цитатой из этой монографии без купюр и редакционных комментариев, которыми сопровождаются все остальные публикации по этому труду в данной статье):

"Борис Григорьевич Луцкий родился 3 (по новому стилю 15-го) января 1865 г. в городе Бердянске Таврической губернии, в еврейской купеческой семье [1,2]. Детство провел в имении родителей в селении Андреевка того же уезда. Андреевка была одним из самых крупных волостных селений не только в Бердянском уезде, но и во всем Приазовье: здесь насчитывалось 935 дворов и проживало 7262 человека. Для сравнения, в Бердянске тогда проживало 9762 человека и домов 1435. В связи с увеличением спроса на хлеб на мировом рынке главным направлением сельского хозяйства в Андреевке было производство зерна. В те же примерно времена там были построены два небольших кирпичных завода, а в 1874 г. начало работать черепичное производство (на котором и 16 лет спустя трудилось всего четверо рабочих). В связи с отсутствием в Андреевке больницы матери Луцкого в январе 1865 г. пришлось рожать Бориса в Бердянске.

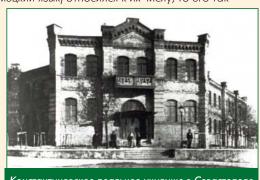
Большинство населения Андреевки не умело читать и писать. Лишь в 1849 г. открылось первое одноклассное министерское училище, а в 1867 г. приняло учащихся первое одноклассное земское училище. Во второй половине XIX в. произошли некоторые сдвиги в развитии народного образования, что обусловливалось потребностями в грамотных людях бурно развивающегося капитализма. В Андреевке начали работать четыре церковноприходские школы, в которых обучалось 840 детей, в том числе 230 девочек. В 1874 г. открылось еще одно одноклассное министерское училище. Оба училища посещало около 200 детей. Однако из-за недостатка мест в учебных заведениях, а также тяжелых материальных условий 670 мальчиков и девочек школьного возраста не учились. Борис Луцкий, благодаря хорошему материальному состоянию родителей, в 1975 г. окончил начальное училище в Андреевке и в этом же году поступил в Константиновское реальное училище в Севастополе. Реальные училища, в противоположность гимназиям, которые давали гуманитарное образование и готовили своих учеников для поступления в университеты, были призваны готовить воспитанников в институты (горные, путей сообщения, технические и т.п.). Особое внимание в программе уделялось изучению математики, физики, химии, технологии, естествознания. Высокие требования предъявлялись к рисованию и черчению, которые преподавались с 1 по 6 класс. Средства на содержание Константиновского реального училища поступали из государственной казны, из сборов на учение и пожертвований. Стоимость обучения одного ученика в год составляла 89 рублей.

В училище преподавались следующие предметы: русский язык, тригонометрия, основы аналитической геометрии и космографии, физика и основы химии, география, древняя, средняя и новая история, с 1 класса - немецкий язык, со 2 класса - французский язык, естественная история, ботаника, зоология, анатомия, основы геологии, минералогии и кристаллографии, черчение, рисование, закон Божий, гимнастика и военный строй. Эти предметы преподавания были обязательными. В училище была своя церковь, в самом здании училища, в которой пел свой ученический хор, примерно 15-20 человек. Был свой парусногребной катер на 12 весел. Обучение пению, игре на музыкальных инструментах, гребле, управлению парусами, а также фотографии было бесплатным; небольшая плата бралась лишь за обучение принятым в то время салонным танцам. Была сравнительно небольшая библиотека с художественной и технической литературой. В училище был свой духовой оркестр. Срок обучения в реальном училище был 6 лет. В конце каждого года устраивались переводные экзамены. Не сдавшие экзамен, получали возможность переэкзаменовки (не более 2-х раз) или оставались на второй год. В основном в училище господствовал неписанный закон "Извольте знать!". Только после окончания седьмого класса выпускники шестиклассных реальных училищ Российской империи Гокончившие, напомню, предварительно, ещё и до трёх классов начального училища - Редакция] имели право поступать в высшие учебные заведения, причем, только в технические."

Приводим в журнальной статье такое достаточно пространное отвлечение от непосредственной темы в основном потому, что в нашей литературе практически отсутствует конкретика по Реальным училищам дореволюционной России, хотя это, полагаем, достаточно интересная тема.

В 1881 г. после шести лет обучения Борис Луцкий получил диплом об окончании Константиновского реального училища. После окончания учебы наиболее преуспевших в науках учеников руководство Константиновского училища посылало за границу для продолжения образования. Поскольку Луцкий (с детства великолепно знавший немецкий язык) относился к их числу, то его так-

же командировали на учебу за границу в Мюнхенскую Высшую техническую школу. В 1882 г. он был зачислен на механико-техническое отделение этой школы со специализацией инженер-механик. Из формуляра Школы видно, что в графе "Имя и фами-



Константиновское реальное училище в Севастополе



лия" Борис Луцкий написал на немецком языке-"Boris Loutzky". Однако в официальных документах Мюнхенской Высшей технической школы его фамилию везде писали, как "Lutzky". И уже с этого времени начинается путаница в написании фамилии

Луцкого, сопровождавшая его всю жизнь (иногда, впрочем, использовавшаяся им самим совершенно осознанно в силу различных причин).

2 августа 1885 г. после 6 семестров обучения Б.Г. Луцкому решением экзаменационной комиссии Королевской Баварской технической Высшей школы г. Мюнхена был выдан аттестат о получении им базового высшего образования. Этот аттестат соответствует современному диплому "бакалавра". В аттестате указано, что Борис Луцкий сдал все промежуточные экзамены для получения диплома о высшем образовании по механико-технической специальности, в том числе и экзамен по специальности. В аттестате также указано, что общая зачетная оценка теоретических знаний Бориса Луцкого соответствует III уровню (удовлетворительно). Лучшие оценки Борис Луцкий имел по изобразительному черчению (в том числе - машиностроительному), алгебраическому анализу и тригонометрии, а худшие по высшей математике и технической механике. После получения аттестата о базовом высшем образовании Борис Луцкий продолжил обучение на факультете "Механики и техники", которое длилось еще два дополнительных семестра.

Во время учебы в институте Борис Луцкий активно занимался научной и конструкторской деятельностью. Предметом его интереса были двигатели внутреннего сгорания (ДВС). В конце 1885 г. при выполнении дипломной работы Борис Луцкий удивил всех профессоров Высшей технической школы своим конструкторским и изобретательским талантом. Он первым в мире (в ученическом проекте!) спроектировал вертикальный ДВС на газовом топливе,

у которого коленчатый вал был расположен не над цилиндром, и не сбоку от него, как в паровых машинах, а под ним. Это было революционное новаторство в моторостроении. Кроме того, он внес в конструкцию двигателя и другие усовершенствования, которые позволили существенно

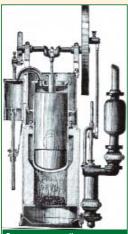
улучшить его техникоэкономические параметры. Он усовершенствовал систему зажигания с помощью открытого пламени и электричества, а также разработал новый способ получения качественной горючей смеси с помощью инжекторного смесительного клапана и газогенера-

Фрагмент одного из ранних патентов Луцкого: №42880 клапана и газогенератора. В 1886 г. Борис Луцкий подал в патентное ведомство Германии сразу несколько заявок на выдачу ему патентов на изобретения. Эти патенты (№№ Фирсова: 41414, 42289, 42290, 42880, 43446, 43800) были выданы ему в 1887-1888 гг. Иначе говоря, в 22 года, по окончанию был выданы Высшей школы Луцкой уже был автором целого ряда изобретений мирового мый "Абсо



уровня. Серьёзная заявка на дальнейшую работу!

Здесь необходимо отметить, что до Луцкого все ДВС выполнялись либо горизонтальной компоновки (что было привычно ещё со времён паровых машин) - такими были и двигатель Отто, и двигатель Даймлера и другие получившие известность машины, либо



Вертикальный двигатель Стирлинга с верхним расположением вала

вертикальной, но с коленчатым валом, расположенным над цилиндром (как было принято ранее в шахтных помпах для откачки воды). Цилиндр при такой компоновке выполнял функцию станины. Чтобы придать такому двигателю устойчивость, цилиндр приходилось делать массивным, что приводило к повышенному расходу металла. Кроме того, возникала проблема со смазкой, которая всегда затекала в цилиндр. Сконструированный Борисом Луцким двигатель этих недостатков не имел. Созданный студентом Луцким двигатель стал прототипом всех последующих рядных ДВС с вертикальным расположением цилиндров. Заметим, что именно такой вариант компоновки двигателей находит широкое применение во многих отраслях промышленности и в настоящее время, так как обеспечивает необходимую мощность, экономичность и надежность при минимальных габаритах и весе. Приоритет Луцкого отмечался многими современниками, потом стал "общим местом", о котором можно было не упоминать, так как это все знали, а после Первой Мировой... об этом забыли даже многие историки - популяризаторы.

Вадим Борисович Шавров, известный советский авиаконструктор и историк техники, в книге "История конструкций самолетов в СССР до 1938 г.", изданной в 1978 г., пишет: "Инженер Луцкой был первым, кто построил двигатели внутреннего сгора-

ния с вертикально установленными цилиндрами. Такие двигатели в настоящее время используются повсеместно".

В книге российского конструктора двигателей Е.Э. Бромлея (англичанина по происхождению) имеется таблица, в которой значится, что двигатель Б.Г. Луцкого мощностью 11,6 л.с. в 1886 г. испытывал

профессор Мюнхенской Высшей технической школы Мориц Шрётер (Moritz Schroter) (1851-1925). Это указывает на то, что еще во время учебы Бориса Луцкого в Высшей технической школе, молодой профессор этой же школы (позже, с 1908 по 1911 гг. Морис Шрётер был ректором Мюнхенской Выст

шей технической школы) тестировал двигатель своего студента.

И опять - прямая цитата из книги Фирсова: "10 августа 1886 г. после двух семестров обучения и успешной защиты дипломной работы Борису Луцкому был выдан диплом инженера механикотехнического факультета, так называемый "Абсолюториум" - документ, подт-

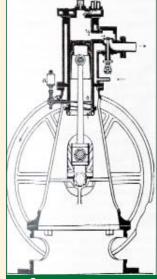
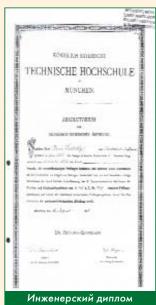


Схема вертикального газового двигателя Луцкого



Луцкого

**— 49 —** 



верждающий выполнение студентом программы обучения по выбранной специальности."

И далее, момент - совершенно непривычный для нашего представления о системе высшей школы дореволюционной России: "После защиты дипломной работы Борис Луцкий уехал на родину "отбывать воинскую повинность" [28, С. 63]. Обратно в Германию он вернулся в октябре 1887 г. и начал инженерную деятельность на машиностроительной фабрике "Ландес" ("Landes") в Мюнхене."

Инженерное сообщество Европы впервые познакомилось с инженером Луцким в статье в немецком журнале "Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmannem" в 1887 г., где была опубликована информация о первых его немецких патентах: на смесительный клапан для газовых машин), устройство зажигания для газовых двигателей и ещё нескольких. Все заявки на выдачу этих патентов были поданы Б. Г. Луцким в патентное ведомство Германии, когда он еще был студентом Высшей технической школы Мюнхена. После, год он отбывал воинскую повинность в России, а по возвращении в Германию получил в патентном ведомстве Германии на руки свои первые патенты. Тут ещё стоит отметить, что получение патента на изобретение в то время стоило больших денег, особенно в Германии, где патентный регистрационный сбор был в 2,5 раза больше чем в Англии и в 36 раз больше чем в Америке. У 20-летнего студента Бориса Луцкого, благодаря значительному материальному состоянию родителей, этой проблемы, похоже, не было. Он смог оплатить патентный регистрационный сбор сразу за шесть изобретений.

Информация о изобретениях и разработках Б.Г. Луцкого стала появляться во многих журналах Германии и Европы. Опять дословно процитирую А. Фирсова: "В частности, в 1888 г. проф. Р. Шёттлер (R. Schottler) в журнале "Zeitschrift Verein Deutscher Ingenieure", в статье, посвященной выставке силовых машин для малого бизнеса, которая проходила с 1 августа по 15 октября 1888 г. в Мюнхене (рис. 2.1), пишет: "Двигатели Бориса Луцкого из Мюнхена, изготовленные здесь же на машиностроительной фабрике "Ландес", к сожалению, я не видел в завершенном виде, поэтому не могу ничего сказать об этом. Однако, я ссылаюсь на патенты, приведенные в этом журнале. ... В 1889 г. в немецкой газете "Verkehrszeitung und industrielle Rundschau" было написано: "О двух газовых двигателях мощностью 1 л.с. и 3 л.с., изготовленных машиностроительной фабрикой "Ландес" из Мюнхена, и представленных Борисом Луцким, а также о нефтяном двигателе компании "Ад. Альтман и Ко." ("Ad. Altmann & Co.") из Берлина, мы, к сожалению, не можем сообщить более подробно, потому что ни чертежи, ни другие изображения нам не были доступны".

На Мюнхенской выставке 1888 г. одним из экспонатов Б.Г. Луцкого был произведший сенсацию вертикальный 4-тактный газовый ДВС мощностью 3 л.с. с коленчатым валом, впервые расположенным под цилиндром, а не над ним. Это расположение цилиндров мгновенно сделалось инженерной модой и существенно повлияло на весь ход мирового развития ДВС.

Карл Бенц

Такая закрытость информации об изобретениях в области двигателестроения весьма характерна для Европы того времени. Причина была в том, что бурному росту изобретательской активности на этом поле сопутствовало и полукриминальная практика использования чужих изобретений.

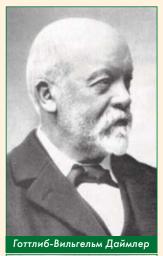
Хочется отметить, что на выставке в Мюнхене принимала участие и компания "Бенц унд Ко." ("Benz & Co."). Это компания немецкого конструктора Карла Бенца (Carl Benz) Она официально представила на выставке всего лишь один экспонат - горизонтальный двухтактный газовый двигатель. Весьма маломощный и несовершенный. И это не

только у этого, в дальнейшем весьма успешного изобретателя. На той же выставке, например, не было представлено ни одного двигателя другого известного впоследствии немецкого конструктора - Готлиба Вильгельма Даймлера (Gottlieb Wilhelm Daimler). историки Принстонского института исторических исследований писали, например, что двигатели Даймлера того времени считались настолько маломощными, что есть сомнения в том, что в 1886 г. конная карета с двигателем Даймлера вообще могла двинуться с места.

Готлиб Даймлер вообще в течение многих лет не представлял разработанные им двигатели на выставках, проходивших в Германии. Причина, по которой это происходило, была связана с компанией "Газмоторен-фабрик Дойц" и ее директорами и совладельцами Николаусом Аугустом Отто (Nikolaus August Otto) и Карлом Ойгеном Лангеном (Carl Eugen Langen). Дело в том, что при создании своих двигателей Готлиб Даймлер использовал, не имея на то право, изобретения, принадлежащие компании "Газмоторен-фабрик Дойц". Из-за этого ему постоянно приходилось с ней судиться. Об этом известно всем историкам. Перед Даймлером и его ближайшим соратником и другом Майбахом (Wilhelm August Maybach) возникла серьезная юридическая проблема, так как двигатели Отто были защищены патентом DRP 532, и для того, чтобы обойти это препятствие, они были вынуждены внести большое количество изменений в свой патент, с тем, чтобы как можно больше деталей отличались от оригинальных деталей патента Отто. Необходимо отметить, что Даймлер и Майбах сами понимали, что занимаются плагиатом и поэтому работали тайно.

Впрочем, и тут есть сомнительные моменты. Необходимо отметить, что ДВС с 4-тактным циклом работы (якобы изобретенного Николаусом Аугустом Отто в 1876 г.), на самом деле, изобрел и построил на три года раньше часовщик из Мюнхена Кристиан Райтман (Christian Reithmann). В 1949 г., компания "Газмоторен-фабрик Дойц" рассекретила соглашение, согласно которому К. Райтман обязался не подавать иски в суд на компанию "Газмоторен-фабрик Дойц" за нарушение патентных прав. За это компания "Газмоторен-фабрик Дойц" заплатила К. Райтману 25000 золотых марок и обязалась платить ему пожизненную пенсию.

Ну и, справедливости ради, следует отметить, что принцип работы 4-тактного ДВС с предварительным сжатием топливовоздушной смеси еще в 1862 г. описал французский инженер Альфонс Эжен Бо де Роша (Alphonse Eugene









Вильгельм Майбах





Beau de Rochas). Поэтому более правильно называть создателями этого метода работы ДВС одновременно и Райтмана, и Бо де Роша. К сожалению, большинство СМИ и даже пишущих популярные работы по истории техники, до сих пор называют этот термодина-

мический цикл не именем Райтмана-Бо де Роша, а именем Отто. Такая вот бурная молодость мирового моторостроения...

Мюнхенская машиностроительная фабрика "Ландес" изготавливала двигатели по патентам Б Г Луцкого

> В этих патентах были заявлены: инжекторный принцип образования газовой рабочей смеси, система калильного зажигания, предлагался карбюратор с насосом для распыления жидкого углеводородного топлива, предлагался принцип форкамерного зажигания и ещё несколько изобретений, впоследствии активно используемых.

> На Мюнхенской выставке 1888 г. немецкая фабрика "Кёберс Айзенверк" из г. Гарбург (Harburg) купила Привилегии на патенты Б.Г. Луцкого. Для решения всех вопросов, связанных с производством двигателей, ему пришлось переехать в этот город, где он прожил два

следующих года. Во время работы в Гарбурге он подал в патентное ведомство Германии ещё 4 заявки на выдачу ему патентов на изобретения. Они касались вопросов смазки, регулировки и организации рабочего процесса в двигателях с вертикальными цилиндрами, выпускаемых по предыдущим патентам.

На основании этих и более ранних изобретений, Б.Г. Луцкой в 1888 г. разработал новый 4-тактный вертикальный одноцилиндровый газовый ДВС с коленчатым валом, также расположенным

Альфонс Эжен Бо де Роша

Вертикальный 4-тактный газовый двигатель "Hammertype системы Луцкого"

под цилиндром. Такая архитектура в истории моторостроения сохранилась под названием "Hammertype ("типа молот") системы Луцкого". Это название двигателю Луцкого было дано из-за его сходства с паровым копром. Такой двигатель с расположенными вертикально цилиндрами занимает меньшую площадь в сравнении с горизонтальным двигателем. Корпус двигателя выполнен в виде конуса, что повышает его устойчивость. Внутри корпуса в подшипниках расположен коленчатый вал. С целью предотвращения сбоев в работе двигателя и уменьшения износа подшипников на обоих концах коленчатого вала (за корпусом двигателя) установлены массивные маховики. Эта тяжёлая конструкция расположена очень низко под цилиндром, за счет чего значительно

повышается устойчивость двигателя. На корпусе с помощью болтов закреплен рабочий цилиндр. На верхней крышке цилиндра, в легкодоступном для осмотра и ремонта месте расположены смесительный клапан и воспламенитель.

Воспламенение газовой смеси в камере сгорания этого мотора происходило с помощью регулируемой калильной трубки, помещенной в специальный "камин" (по современному - форкамеру). За счет этого происходит защита пламени от сдува и обеспечивается постоянный нагрев калильной трубки. Кроме того, такая конструкция защищает человека от поражения в случае внезапного воспламенения горючей смеси. В отличие от применяемых тогда воспламенительного шибера и воспламенительного клапана такая конструкция более безопасна в эксплуатации.

Термины более-менее на слуху, но поскольку калильная трубка зажигания сейчас достаточно редко применяемое устройство, нужно пояснить, что это такое. Она представляла собой тонкостенную платиновую (!) трубку, запаянную с одного конца и открытую с другой. Открытым своим концом трубка ввинчивалась в цилиндр, а снаружи с закрытого конца разогревалась перед запуском пламенем внешней горелки (обычно, паяльной лампы). Во время такта сжатия горючая смесь под давлением попадала вглубь трубки, в зону нагрева и воспламенялась от соприкосновения с раскаленным концом. Впоследствии разогрев трубки поддерживался процессом двигателя.

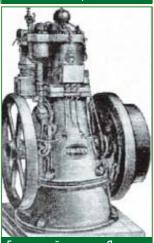
Такая конструкция, которую возможно было регулировать, была применена Б.Г. Луцким впервые в мире. Ранее, использование нерегулируемых калильных трубок часто приводило к преждевременному воспламенению горючей смеси, что усложняло процесс запуска двигателя, и кроме того детали двигателя испытывали большие нагрузки. При позднем воспламенении горючей смеси происходило увеличенное потребление газа (при использовании бензина выхлоп в данном случае начинал дымить).

Необходимо отметить, что все двигатели Луцкого отличались

от газовых двигателей других компаний очень низким потреблением газа по сравнению со всеми остальными. После мюнхенской, гамбургской и бременской торгово-промышленных выставок во многих немецких технических журналах появились публикации о двигателях Б.Г. Луцкого. Многие компании мира стали строить ДВС, используя оригинальную архитектуру "Hammertype". В частности, в России, в 1890 г. петербургский завод общества "Г.А. Лесснер" построил несколько стационарных газовых двигателей системы Луцкого и экспонировал их на промышленной выставке в Нижнем Новгороде. Российский конструктор и изобретатель Евгений Александрович Яковлев при создании своих газовых и бензиновых ДВС использовал архитектуру "типа молот" системы Луцкого. Он представлял их на всемирных выставках в Америке. На Колумбийской выставке Е.А. Яковлев познакомился с одним из владельцев фабрики конных экипажей Неллиса -Петром Александровичем Фрезе. На выставке они заключили договор о совместной деятельности по разработке первой самоходной машины в Российской империи. В 1895 г. они начали строительство двухместной заднемоторной коляски с одноцилиндровым 4-тактным двигателем Е.А. Яковлева. Двигатель и трансмиссия были изготовлены заводом Яковлева, а корпус, ходовая часть и ко-



Евгений Аександрович Яковлев



Бензиновый двигатель Яковлева



фабрикой леса Первый Фрезе. российский автомобиль имел массу 300 кг, скорость автомобиля доходила до 20 верст в час. В июле 1896 г. самоходная машина была показана в Нижнем Новгороде на Всероссийской промышленно-художественной выставке

Кстати, в 1893 г.



летие он запатентовал изобретение под названием "Нефтяной или газовый двигатель внутреннего сгорания с всасыванием и нагнетанием топлива в рабочий цилиндр". Более того, оказалось, что в 1892 г. Р.

получившуюся смесь искрой. Через десяти-

Дизель запатентовал неработоспособный двигатель. Вот, что писал профессор Йоханнес Людерс (Johannes Liiders) о книге Р. Дизеля "Как Дизельный двигатель был изобретен", изданной в 1913 г.: "В 1892 г. Дизель зарегистрировал патент неработоспособного двигателя, который он назвал "рациональный тепловой двигатель", а затем почти четырьмя годами позже, создал нефтяной двигатель, который мы знаем сегодня, но который очень отличается от первоначально

запатентованного двигателя. Но Дизель... не проявил никакой изобретательности в этом проекте. Поэтому мнение о том, что он изобрел нефтяной двигатель, является мифом".

Инженер Эмиль Капитейн 31.07.1897 г. направил в патентное ведомство Германии заявление с требованием аннулировать патент Р. Дизеля, как неработоспособный. 20.04.1898 г. во время чтения лекции он сообщил студентам следующее. "В истории изобретений мы встречаем много случаев спекулятивного характера, когда автор принимает некорректные предположения, чтобы достичь специфической цели. Но в конечном итоге оказывается, что результат его творческой работы полностью отличается от того, что он задекларировал в изобретении. Это печально, когда изобретатель, несмотря на наличие неоспоримых фактов того, что это не он изобрел, продолжает утверждать обратное, так как это сделал Дизель". Кроме Эмиля Капитейна, на Рудольфа Дизеля за нарушение авторских прав подали в суд и другие изобретатели: Отто Кёлер, Йоханнес Людерс, Юлиус Зёнлайн.

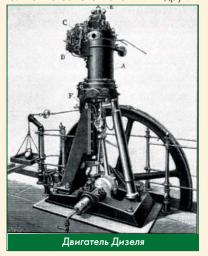
Чтобы уладить этот конфликт, Фридрих Крупп, который был заинтересован в изготовлении двигателей Дизеля, предложил О. Кёлеру ежегодную выплату в размере 3000 марок в обмен на удаление всех его претензий.

С Эмилем Капитейном оказалось сложнее, так как он имел патент на двигатель подобный двигателю Дизеля, но и эту проблему Ф. Круппу удалось решить в конце 1898 г. Единственный, с кем не удалось договориться, был профессор Й. Людерс.

Необходимо отметить, что не только немецкие изобретатели имели претензии к Р. Дизелю. Английские изобретатели Герберт Акройд Стюарт (Herbert Akroyd Stuart) и Чарльз Ричард Бинней (Charles Richard Binney) на два года раньше Р. Дизеля запатентовали изобретения на метод воспламенения горючей смеси от сжатия и конструкцию двигателя, подобную двигателю Дизеля. 8 мая 1890 г. они запатентовали в Англии метод воспламенения горючей смеси от сжатия, а 8 октября конструкцию двигателя. Эти изобретения Стюарт и Бинней также запатентовали и в других

странах. В частности, в Германии, Франции (1891 г.) и Америке (1893 г.) ими были получены патенты под названием "Работа двигателя внутреннего сгорания без использования зажигания пламенем".

Кроме вертикальных одноцилиндровых газовых двигателей Б.Г. Луцкий во время пребывания в Гарбурге разработал многоцилиндровый горизонтальный газо-воздушный двигатель. На этот двигатель 16 ноября 1890 г. он получил



Готлиб Даймлер также представил на Всемирной Колумбийской выставке свои двигатели и автомобиль, однако они не привлекли особого внимания посетителей и специалистов. Более того, показ автомобиля закончился полным провалом. Вторая жена Готлиба Даймлера Лина Хартман (Lina Hartmann) в своём дневнике писала: "Демонстрация автомобиля на Лонг- Айленде в Нью-Йорке не удалась. ...Провал был особенно неприятным для Даймлера, так как в последние дни работы выставки в Чикаго был показан и продемонстрирован новый 4-колесный автомобиль Бенца".

В 1890 г. российские конструкторы Николай Фихтман и Георгий Якобсон из Москвы использовали архитектуру "типа молот" системы Луцкого при разработке своего углеводородного двигателя.

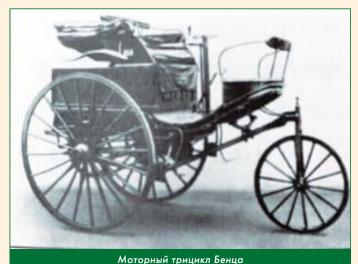
В Германии архитектуру "Hammertype" системы Луцкого стал использовать даже Николаус Аугуст Отто - ярый приверженец горизонтальной компоновки ДВС. В 1889 г. в Швейцарии он запатентовал изобретение под названием "Усовершенствованный механизм реверсирования движения приводного вала, применимый к морской технике, транспортным средствам и для других целей". Вероятно, Отто решил, что вертикальная компоновка двигателя для транспортных средств более рациональна чем горизонтальная, которую он использовал для стационарных двигателей.

Архитектуру "Hammertype" системы Луцкого использовал также известный немецкий конструктор Рудольф Кристиан Карл Дизель (Rudolph Christian Karl Diesel), который разрабатывал ДВС с внутренним смесеобразованием и воспламенением топлива от сжатия. В 1892 г. он запатентовал в германском патентном ведомстве изобретение под названием "Способ работы и конструкция для двигателей внутреннего сгорания" Это изобретение он также запатентовал в Англии, Швейцарии и Америке.

В 1894 г. на Аугсбургском машиностроительном заводе при финансовой поддержке компаний Фридриха Круппа и братьев Зульцер начались работы по созданию двигателя Дизеля. В 1897 г. был построен первый функционирующий двигатель. Однако, как оказалось, созданный двигатель существенно отличался от



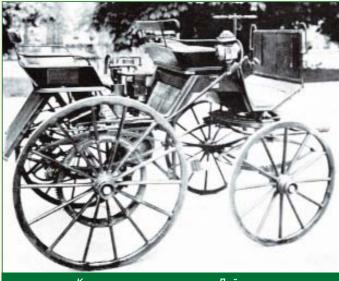
патента № 67207 и... не имел новизны, так как еще в 1887 г. инженер Отто Кёлер (Otto Kohler) в книге "Теория газовых двигателей", описал принцип работы такого двигателя. Кроме Кёлера (раньше Дизеля) аналогичные принципы работы ДВС были запатентованы и другими изобретателями. В частности, Юлиус Зёнлайн (Julius Sohnlein) из Шерштейна 15.07.1884 г. запатентовал в германском патентном ведомстве изобретение под названием "Нефтяной силовой двигатель". В этом изобретении Зёнлайн предложил вдувать керосин в цилиндр струей сжатого воздуха и воспламенять



в Германии патент под названием "Газо-воздушная машина". Основной идеей этого изобретения являлось совместное использование взрывного газа и сжатого воздуха для выполнения работы. Этот двигатель состоит из двух концентрично расположенных цилиндров и дифференциального (ступенчатого) поршня в которых поочерёдно срабатывалась энергия сжатого воздуха и воспламенения горючего газа. При таком режиме работы в результате воспламенения газовой смеси происходит нагревание поверхностей рабочего цилиндра и поршня, а за счет расширения сжатого воздуха происходит их охлаждение. Таким образом, тепло поглощается сжатым воздухом и превращается в работу.

В данном изобретении, благодаря охлаждению рабочих поверхностей цилиндров и поршня за счет расширенного сжатого воздуха, отпала необходимость в их водяном охлаждении. До создания Б.Г. Луцким газовоздушного двигателя все газовые двигатели того времени охлаждались с помощью воды.

Необходимо отметить, что во время работы в Гарбурге Б.Г. Луцкий занимался разработкой не только ДВС, но и разработкой моторизованных транспортных средств. Об этом никто из современных историков не упомянул в своих публикациях. Причем начал заниматься созданием моторизованных транспортных средств практически одновременно с Бенцом и Даймлером в 1889 г. Об этом говорится в статье, посвященной итогам Первой международной автомобильной выставке в Берлине, проходившей в 1899 г. Эта статья была опубликована в 1899 г. в политехническом журнале Динглера. В ней написано: "Среди представленных на выставке немецких изделий отметим изделия "Общества по строительству автомобилей системы Луцкий". Это "Общество" создано на базе многолетнего опыта и его изделия на выстав-



Конная карета с двигателем Даймлера

ке занимают видное место. Во всех автомобилях не используется ни одного иностранного патента; все детали являются продуктами истинно немецкого трудолюбия. Хорошо продуманные и изобретательные конструкции автомобилей созданы исключительно в результате 10 лет интенсивных исследований пользующегося большой репутацией в автомобильных кругах гениального главного инженера Б. Луцкого. На выставочном стенде этого общества, который располагался прямо напротив главного входа, эти автомобили сразу бросались в глаза каждому, кто заходил на выставку. Были представлены: 1. Два автомобиля. 2. Два моторных трицикла. 3. Четыре прицепные коляски и 4 почтовых автомобиля. Особый всеобщий интерес общественности привлек почтовый автомобиль...".

Необходимо также отметить, что Б. Г. Луцкий раньше Бенца и Даймлера, еще в 1890 г. начал заниматься созданием и усовершенствованием колес для моторизованных транспортных средств. Об этом, в частности, написано в статье под названием "Пневматическая ступица Луцкого" ("Die Loutzkoy-Pneu-Nabe"), опубликованной в журнале "Die Umschau mit "Prometheus" vereinigt wochenschrift liber die Fortschritte in wissenschaft und technik" в 1921 г.: "Каждый автомобилист знает, что его автомобиль на плохих дорогах, даже при использовании хорошей подвески и шин с



Gesellschaft fur Automobil-Wage

большим протектором, подвергается сильным вибрациям и, особенно, серьезное воздействие происходит в горизонтальном направлении. Так как эти горизонтальные вибрации не могут быть смягчены шинами, они оказывают пагубное влияние на ходовую часть и все элементы автомобиля, особенно на двигатель. Для устранения этих недостатков, хорошо известный в автомобильнотехнической сфере исследователь Борис Луцкой предпринял в 1890 г. первые эксперименты с пневматическими колесами".

В конце 1890 г. руководство огромного завода "Машиностроительное акционерное общество Нюрнберг" ("Maschinenbau-Aktiengesellschaft Niimberg") пригласило 25-летнего Б. Г. Луцкого на работу в качестве главного инженера и конструктора газовых и бензиновых двигателей собственной конструкции. Ф. Засс в вышеупомянутой книге писал: "Так как у Нюрнбергского машиностроительного завода не было лицензии фабрики Дойц, было решено разработать свой собственный двигатель и для этого был приглашен Борис Луцкий, который имел репутацию талантливого конструктора...". Д

(Продолжение следует)

#### Литература

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

# BOSCH MOSKAU KLASSIK PANNU CTAPUHHЫX АВТОМОБИЛЕЙ

**25** июня 2017 года от стен московского Кремля в шестой раз стартовало ралли старинных автомобилей Bosch Moskau Klassik.



Праздник для всех любителей "ретро" начался в десять утра, когда на Боровицкую площадь к памятнику князю Владимиру съехались четыре десятка уникальных автомобилей-олдтаймеров.

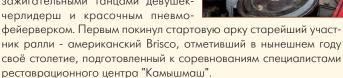
Открыл программу оркестр-диксиленд, под музыку которого начался первый этап ралли - Конкурс автомехаников. В этом году весь автомобильный мир празднует 90-летие тормозных систем Bosch, поэтому и основной темой конкурса стали именно тормозные системы. Участники соревнований, горячо поддерживаемые публикой, прошли ряд несложных, но очень азартных и зрелищных испытаний, которые завершились торжественным награждением победителей ценными призами от Bosch.





Ведущие шоу - Леонид Ярмольник и Марк Подольский не дали скучать и зрителям, для которых была подготовлена интересная призовая викторина с вопросами по истории тормозных систем Bosch. Юные посетители приняли участие в гонках радиоуправляемых ретроавтомобилей с призами от Bosch для победителей каждого заезда.

В 12:00 начался старт автомобилей-участников, сопровождаемый зажигательными танцами девушекчерлидерш и красочным пневмо-







Затем, один за другим, в путь отправились роскошные Imperial Crown (1959) и Cadillac Eldorado (1960), спортивные Fiat Sport Spider и Porsche 356 cabrio (оба - 1966 года выпуска), редкие в наших широтах Mitsubishi Celeste (1979) и Datsun 280Z (1977), целое созвездие вальяжных Mercedes-Benz (1965-1982 гг.) и маленький NSU-Fiat (1941), наконец, любимцы публики - ностальгические отечественные "Чайки" и "Победы", "Волги" и "Запорожцы", "Москвичи" и "Лады". За три четверти часа перед зрителями как на параде прошла вся автомобильная история минувшего столетия.







Для участников Bosch Moskau Klassik день был насыщен увлекательными соревнованиями. Классическое штурманское ралли на ориентирование и точность прохождения дистанции привело экипажи от Боровицкого холма на автодром ФСО России в Старую Купавну. Там, на гоночном кольце, знаменитом своим уникальным техническим оснащением, состоялся завершающий этап - состязания в водительском мастерстве. Интрига соревнований свела непримиримых соперников. Зрители на трибуне с волнением наблюдали за борьбой и спорили - кто выйдет из схватки победителем: заокеанский muscle-car Chevrolet Corvette (1967) или "кэтэбэшная догонялка" ГАЗ-2434 (1986), легендарный Porsche 911 (1965) или скромный, но задиристый Ford Taunus GLX (1973), приехавший на ралли из С-Петербурга. А вдруг удача улыбнётся ветерану ГАЗ-А (1936), ведь многое в этих состязаниях определял точный расчёт, опыт и хладнокровие экипажей.



Заезды пилотов с "ле-мановским" стартом по трассе с изменяемым коэффициентом трения поверхности от сухого асфальта до имитации льда, соревнования в ванне аквапланнинга, упражнения по скоростному маневрированию, проверка умения удерживать мгновенную скорость, специальное соревнование на плите динамического заноса и, наконец, самая зрелищная часть - финальные парные заезды-поединки. Неожиданно для многих, верхнюю ступень пьедестала почёта занял экипаж автомобиля "Москвич" 2140 ралли SL1600 (1985), сумевший вывести из борьбы безусловного фаворита - Lancia Fulvia Monte-Carlo (1975).





По окончании соревнований своё мастерство показали мотоциклисты Почётного эскорта ФСО России, исполнившие показательный номер - знаменитые "танцы на мотоциклах".

Завершился гоночный день награждением победителей и призёров. Без подарков в этот вечер не остался никто. Кроме великолепных кубков и роскошных призов от Bosch, лучшие из лучших получили ценные подарки от партнёров ралли.

После церемонии награждения состоялось незабываемое зрелище - традиционный парад автомобилей-участников. С зажжёнными фарами, под звуки клаксонов и сирен, взметнув вверх раллийные флаги и только что завоёванные кубки, автоветераны совершили круг почёта по трассе, на которой за час до этого бескомпромиссно сражались друг с другом.

Одновременно с московским, финишировало и аналогичное ралли в Германии - Bosch Boxberg Klassik. Проводить оба соревнования в один день стало доброй традицией, своеобразным "культурным мостом" между двумя странами, в которых чтят спортивную историю и любят соревнования старинных автомобилей.



Имя компании Bosch в названии ралли вовсе не случайно. Крупнейший в мире электротехнический концерн с самого начала своего существования и по сегодняшний день играет огромную роль в автоспорте. Достаточно сказать, что многие изобретения фирмы Bosch, такие как свечи зажигания, система впрыска, усилитель тормозов и освещение первоначально были опробованы на гоночных трассах и только потом появились на серийных моделях. Кроме того, компания Bosch занимается производством и ремонтом электрооборудования для автомобилей любого возраста и подобное ралли - ещё один способ продемонстрировать надежность изделий Bosch.

ББК

### О ПРОБЛЕМАТИКЕ ИНТЕГРАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ И СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Михаил Александрович Шаронов,** к.т.н., АНОО ВО ЦС РФ "Российский университет кооперации" **Ольга Владимировна Шаронова,** к.п.н., ГБОУ ВО МО "Академия социального управления"

В связи с утверждением новых Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования 3++, разработкой профессиональных стандартов и в связи с вступлением в силу с 1 января 2017 года в России 283-Ф3 "О независимой оценке квалификаций" в статье предпринимается попытка оценить все связанные с этим вызовы и анализируется ситуация, связанная с решением возможных проблем для высших учебных заведений. Анализируется необходимость создания коммуникативной площадки в высших учебных заведениях для координации действий в поисках компромисса между представителями образовательного сообщества (членов Федеральных учебных методических объединений, членов экспертных советов при Советах по профессиональным квалификациям) и представителями работодателей, т.е. собственно членов Советов по профессиональным квалификациям и профильных ассоциаций, других заинтересованных участников процесса.

In connection with the adoption of the new federal State educational standards of higher education 3 ++, development of professional standards and, in this regard, with effect from January 1, 2017 year in Russia 283-FZ "on the independent evaluation of qualifications" in the article attempts to evaluate all related calls and analyzed the situation related to the solution of possible problems for institutions of higher education. Examines the need to create a communication platform in higher education to coordinate action in the search for a compromise between representatives of the educational community (members of Federal educational methodical associations, members of expert Councils when the Councils on professional qualifications) and representatives of employers, i.e. members of Councils on professional qualifications and other stakeholders.

Ключевые слова: профессиональные стандарты, советы по профессиональным квалификациям, федеральные государственные образовательные стандарты, примерная основная образовательная программа, основная профессиональная образовательная программа, федеральное учебно-методическое объединение, независимая оценка квалификаций.

Keywords: professional standards, tips on professional qualifications, Federal State educational standards, approximate the basic education program, the main professional education program, Federal Educational Association, independent assessment of qualifications.

Согласно 238-ФЗ "О независимой оценке квалификаций" на основе утвержденных профессиональных стандартов сейчас формируется система независимой оценки квалификации (далее -НОК). И, хоть она и вступила в силу с 1 января 2017 года, только к 1 января 2020 года эта система должна будет заработать на полную мощность, и трудоустройство выпускников ВУЗов будет напрямую зависеть от полученного ими уровня квалификации согласно профессиональным стандартам, активно разрабатываемым и утверждаемым, либо уже проходящих актуализацию в настоящее время. Также, уже сейчас утверждаются разработанные федеральными учебными методическими объединениями (далее -ФУМО) федеральные государственные образовательные стандарты поколения 3++ (далее ФГОС ВО 3++). Эти стандарты скоро вступят в силу и, вероятнее всего с 1 сентября 2018 года, ВУЗы уже будут проводить приемные кампании по образовательным программам ВО, разработанным на основе именно этих ФГОС. Функционал для участников этого процесса был прописан в Межведомственном регламенте взаимодействия участников процесса разработки и актуализации федеральных государственных образовательных стандартов профессионального образования в соответствии с профессиональными стандартами от 24 февраля 2016 г. [1] и, естественно, что все неоднозначности, возникающие в результате этого взаимодействия, в частности при переходе на ФГОС ВО 3++, потребуют от ВУЗов в ближайшее время самого оперативного решения.

Проведенный анализ показывает, что уже в нормативной документации присутствует разница в определениях ПС и ФГОС ВО, а именно:

- стандарт (профессиональный) характеризуется как квалификация, необходимая работнику для осуществления определённого вида профессиональной деятельности, в том числе выполнения определённой трудовой функции [2].
- стандарт (образовательный) как совокупность обязательных требований к образованию определенного уровня и (или) к профессии, специальности и направлению подготовки, утвержденных федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим

функции по выработке государственной политики и нормативноправовому регулированию в сфере образования [3].

Становится понятно, что также эта разница существует и в методологических подходах к формированию стандартов и критериальных показателей их применения.

Было бы логичнее, на наш взгляд, если бы в определении ФГОС ВО тоже фигурировал набор понятий, схожих с используемыми понятиями для определения ПС. Например, ФГОС ВО можно было бы охарактеризовать как комплекс последовательно сформированных компетенций, необходимых выпускнику ВУЗа для осуществления определённого вида профессиональной деятельности.

Соответственно задача интеграции понятийного аппарата становится первой задачей, решаемой разработчиками как ПООП, так и ООП ВУЗа [3].

Причем, роли ПООП и ООП ВУЗа теперь определены приказом Министерства образования и науки РФ № 301 от 05.04.2017 года [4]. В частности, в указанном документе обращается внимание на то, что необходимо ориентироваться на ПООП, включенную в ПООП-реестр, по аналогии с системой среднего профессионального образования. Соответственно, здесь на первый план выходит необходимость наитеснейшего взаимодействия ВУЗа с ФУМО и профильными СПК и возникает необходимость построения новых коммуникаций.

Эта необходимость существенно актуализируется, если воспринимать систему независимой оценки квалификации, как своего рода независимый квалификационный "экзамен" для ПООП или ООП ВУЗа. Становится понятно, что качество подготовки специалистов ВУЗов, их востребованность, с одной стороны, и, с другой стороны, успех их деятельности в профессиональной сфере, уровень производительности их труда и т.д., будет зависеть от степени соответствия этих документов требованиям профессиональных стандартов, и, как их производной, требованиям системы НОК.

Здесь выходит на новый уровень и необходимость прохождения ВУЗом профессионально-общественной аккредитация, те-

перь отходящей к профильным СПК, и, как возможный критерий, зависимость квалификационного экзамена, проводимого на основе комплекса оценочных средств (КОС), а именно, от содержащихся в них тестов, заданий и т.д., разработанных экспертами НОК и промежуточной итоговой аттестации выпускников и ГИА. То есть, по сути, контроль выходных данных как для ПООП ФУМО, так и для ООП ВУЗа [5]. А это уже коммуникативная учебно-методическая задача.

Причем, если ПООП по какой-то причине сформирована обобщенной не по профилю, а по направлению подготовки (например, если нет актуализированного профессионального стандарта, или ФГОС по направлению подготовки объединяет "технологически" трудно совместимые сферы деятельности), то это несовпадение, впрямую влияющее на востребованность выпускников, проходит дальше на уровень ВУЗа, и становится проблемой для оперативного решения. Поэтому в ВУЗе желательно иметь коммуникативно - методический потенциал, способный решать подобного уровня задачи.

Кстати, сюда же можно будет отнести и решение проблемы, связанной с выбором дополнительных областей и сфер профессиональной деятельности, не указанных в ФГОС ВО и внесения их в ПООП или ООП ВУЗа, то есть под конкретного заказчика-работодателя (целевой набор). В данном процессе, возможно, могут быть задействованы базовые кафедры.

На уровне ВУЗа необходимо принимать экспертное решение о сопряжении направления подготовки (специальности) с областью профессиональной деятельности выпускника с уточнением уже конкретного спектра возможных траекторий профессиональной подготовки, то есть на этапе актуализации ООП. Причем, при ее решении необходимо руководствоваться сведениями о сопряжении ПС с ФГОС ВО, разработанными соответствующими советами по профессиональным квалификациям (далее - СПК) и размещёнными на официальном сайте Национального совета при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям (далее - НСПК), а также существующими в ПООП реестре нормативными документами.

Еще одной задачей становится необходимость отслеживания вновь утверждаемых ПС и осуществления их экспертного отбора. В этом процессе необходимо руководствоваться приказом Минтруда России от 12 апреля 2013 г. № 148 н, согласно которому ПС отбираются, если уровень образования ФГОС ВО соответствует требованиям к уровню квалификации по образованию и обучению, как минимум для одной обобщенной трудовой функции ПС (далее - ОТФ ПС) [6].

Кстати, в дальнейшем описанная выше задача может быть расширена до участия в актуализации профессиональных стандартов. Здесь принципиальный подход связан с участием представителей от образования как исполнителей по сути "заказа" на подготовку специалистов под конкретные требования профессиональных стандартов на основе ФГОС ВО 3++. И ответом на этот тезис является уже запущенный процесс актуализации ПС, увидавших свет совсем недавно, а именно в 2014-2015 гг. В частности, одной из проблем этих профессиональных стандартов, наряду с другими, явилось отсутствие диалога с представителями образовательного сообщества, то есть с непосредственными исполнителями. Поэтому необходимость в привлечении к актуализации профессиональных стандартов представителей образовательного сообщества, как одной из сторон процесса, является актуальной.

К проблемам, которые необходимо будет решать, можно отнести и введение дополнительной практики на конкретных предприятиях, связанных, например, со спецификой конкретного оборудования или связанной с частыми изменением (обновлением) технологических процессов. Возможны изменения при внесении в ООП ВУЗа новой компетенции, позволяющей осуществлять профессиональную деятельность по конкретным ОТФ в нескольких сопряжённых ПС, например, по заказу конкретного работодателя.

Для решения этой проблемы можно было бы также использовать содержательную часть комплексов оценочных средств (КОС) как квинтэссенцию практического опыта и узкоспециализированных знаний экспертов НОК, выражающих требования работодателей в процессе их перевода на язык "компетенций", принятый в высшей школе, с целью подготовки востребованных специалистов. И это обстоятельство также свидетельствует в пользу необходимости наличия на базе ВУЗа экспертного коммуникативно - методического потенциала [7, 8].

Также, к одной из задач требующих решения, относится необходимость построения системы непрерывного образования по аналогии с уровнями квалификации профессионального стандарта на основе утвержденных ФГОС СПО и ФГОС ВО: среднее профессиональное образование - бакалавриат - магистратура. И эту задачу уже можно будет отнести к учебно-методической и, наверное, даже научной деятельности ВУЗа.

Анализируя все вышеперечисленное, можно сказать, что налицо достаточно широкий спектр разносторонних задач, требующих решения на уровне ВУЗа. Что, соответственно, сделает, по мнению авторов статьи, необходимым постоянное взаимодействие сразу нескольких категорий участников процесса, задействованных в интеграционных процессах НОК. К числу участников можно отнести сотрудников ВУЗа, обладающих необходимыми компетенциями, членов научно-методических советов ФУМО (разработка ФГОС 3++ и ПООП), членов Экспертных советов при СПК, других ведущих специалистов в области профессионального образования и, конечно же, представителей работодателей, а именно: членов СПК (Совет по профессиональным квалификациям), экспертов независимой оценки квалификаций, экспертов в области профессионально - общественной аккредитации, членов профильных (отраслевых) ассоциаций - непосредственных разработчиков профессиональных стандартов, и других заинтересованных лиц.

Именно такое взаимодействие, возникающее в результате интеграции ВО в систему НОК, позволит ВУЗу сохранить свою конкурентоспособность в сфере образовательных услуг. Ведь для любой организации наиболее важным считается достижение высокой востребованности подготовленных ею специалистов на рынке труда, а это, в свою очередь, не что иное, как возможность получения выпускниками ВУЗа соответствующей их уровню образования уровня квалификации в рамках НОК.

Литература

1. Межведомственный регламент взаимодействия участников процесса разработки и актуализации федеральных государственных образовательных стандартов профессионального образования в соответствии с профессиональными стандартами от 24 февраля 2016 г. Метод доступа: http://media.rspp.ru/document/1/6/4/643b7a4183422fd80ec7c7c177614187.pdf. Дата доступа на 14.03.2017.

2. Федеральный закон от 3 декабря 2012 г. № 236-ФЗ "О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статью 1 Федерального закона "О техническом регулировании" (с изменениями и дополнениями). Метод доступа: http://bose.acarant.ur/20271730/. Дата поступа на 14 03 2017

ческом регулировании" (с изменениями и дополнениями). Метод доступа: http://base.garant.ru/70271730/ Дата доступа на 14.03.2017.

3. Федеральный закон "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 № 273-ФЗ (последняя редакция) Метод доступа: http://www.consultant.ru/document/cons\_doc\_LAW\_140174/ Дата доступа на 14.03.2017.

4. Приказ Министерства образования и науки РФ от 05.04.2017 № 301 Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры. Метод доступа: https://ra.ru/2017/07/19/minobr-prikaz301-site-dok.html /Дата доступа на 20.06.2017

https://rg.ru/2017/07/19/minobr-prikaz301-site-dok.html /Дата доступа на 20.06.2017.

5. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 19 декабря 2016 г.
№ 758 н Об утверждении примерного положения о СПК и порядка наделения СПК полномочиями по организации НОК по определенному виду профессиональной деятельности и прекращения их полномочий http://mintrud.udmurt.ru/about2/kadry/qualifications/evaluation\_and\_certification/Prikaz\_758.pdf/ Дата доступа на 20.06.2017.

6. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 12.04.2013 № 148 н

6. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 12.04.2013 № 148 н Об утверждении уровней квалификации в целях разработки проектов профессиональных стондартов. Метод доступа: http://legalacts.ru/doc/prikaz-mintruda-rossii-ot-12042013-n-148n/ Дата доступа на 14.03.2017.

7. Шаронов М.А., Шаронова В.П. Тенденции формирования новых услуг с учетом фактора персонификации/ В сборнике: Проблемы и перспективы развития экономики, управления и кооперации. Международная научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава, сотрудников, докторантов и аспирантов вузов по итогам научно-исследовательской работы в 2015 году. Российский университет кооперации. 2016. С. 38-42.

8. Шаронова О.В., Зенкина С.В. Формы, средства и технологии интерактивного

8. Шаронова О.В., Зенкина С.В. Формы, средства и технологии интерактивного учебного взаимодействия в условиях дистанционного обучения. Информатика и образование. 2016. № 4. С. 16.

Связь с авторами: mik2059@yandex.ru ov.sharonova@mail.ru

# ВЗЛЁТНАЯ ПОЛОСА КАДЕТОВ

"Авиация – это такой вид оружия, в котором особенно большую роль играет качество, а не количество. Это относится и к технике, и к выучке людей...".

Михаил Михайлович Громов, летчик № 1, профессор по специальности "Техническая эксплуатация самолетов и моторов"

**Валерий Павлович Кузьмичев,** руководитель летно- технического центра,летчик-инструктор 1 класса, мастер спорта по планеризму **Екатерина Александровна Шевцова**, заместитель директора МОУ лицей №14

Авиация в XX-м веке совершила гигантский скачок, подняв человека в воздух и космос. Этот прорыв совершили выдающиеся ремесленники, прошедшие путь становления авиатора с глубокого детства, когда маленький человек начинает осознавать свое "Я", когда он умеет удивляться, задавать вопросы и переживать.

Престиж профессионала-авиатора должен быть ведущим в городе, где живут учёные и конструкторы, создающие самую передовую современную авиационную и космическую технику. И всё в этом городе должно работать на авиацию! А самые маленькие должны грезить полетами и наукой и готовиться к своей миссии стать авиаторами с большой буквы, с самых малых лет, овладевать техникой с начальной школы, так же как и музыканты, художники, спортсмены.

В 2010 году в Жуковском решением администрации городского округа при лицее №14 был создан летно-технический центр, призванный решать задачи профориентации молодежи на авиационные специальности, подготовки кадров для авиационнокосмической отрасли и Министерства обороны, реализации национальных программ в области авиации и самолётостроения.





Тремя годами позже состоялось открытие авиационного кадетского класса, организованного на базе аэрокосмической вертикали МОУ лицей №14, по праву считающегося сегодня лучшим образовательным учреждением города.

Основная цель создания кадетских классов: гармоничное сочетание углубленного физико-математического образования и военно-патриотического воспитания на основе героической истории России и глубоких авиационных традиций нашей Родины и родного города.

На сегодняшний день в лицее обучается четыре кадетских класса, которые комплектовались детьми с высоким уровнем мотивации к учебной деятельности, мечтающими быть летчиками-испытателями, учёными, инженерами, конструкторами, готовыми отдать себя на службу авиации. Кадеты проходят углубленную подготовку по физике и математике, строевую, физическую, общевойсковую, тренажерную и летную подготовку. Им читают лекции по истории авиации, по авиационным дисциплинам на уровне школьного понимания, основанного на элементарных знаниях физики и математики. Преподаются такие дисциплины, как аэродинамика, прочность, силовые установки, основы навигации и самолетовождения, авиационная психология, одним словом, даются те азы авиацион



ных знаний, которые составляют правильное представление о различных авиационных профессиях.

Систему подготовки по математике и физике в аэрокосмической вертикали строили сотрудники факультета авиационной и летательной техники ФАЛТ МФТИ при активном участии учителей лицея во главе с директором лицея Светланой Александровной Белковой.

Духовно-нравственное воспитание кадетов - один из главных "китов" фундамента образования в аэрокосмической вертикали. Математика и физика - являются вторым "китом", а основы авиационных дисциплин, парашютная, тренажерная и лётная подготовка - это третий "кит".

Кадеты занимаются в созданном при лицее Лётном техническом центре, основной задачей которого является создание оптимальных условий, способствующих профессиональной ориентации обучающихся, развитию интереса к авиационной отрасли, астрономии и спортивно-техническому творчеству в области авиамоделирования на основе приобретения профильных компетенций и реализации здоровьес-

берегающих технологий. Для реализации практических навыков созданы класс компьютерного пилотирования и класс подготовки к полетам и проведения предполетной подготовки, разбора "полетов" на имеющемся у лицея тренажере легкого самолета "Сигма-4". Тренажер используется для первоначальной лётной подготовки, приобретения профессиональных лётных навыков и комплексного обучения технике пилотирования, навигации, распознаванию опасных ситуаций, критических режимов полёта и выводу из них.

Летом кадеты выезжают на сборы, которые проводятся на аэродроме "Алферьево", где расположена авиабаза Московского авиационного института, в Волоколамском районе Подмосковья. Программа лётной практики включает в себя ознакомительные полеты на самолете Ан-2, практику по техническому обслуживанию авиационной техники, прыжки с парашютом и полетами на планерах Л-13 "Бланик", легких самолетах С42 "Икарус" и NG-4 "Bristel". В свободное от полетов время кадеты занимаются виртуальным пилотированием, стрельбой из лука и арбалета. В режиме дня обязательная утренняя пробежка, оздоровительное плавание, вечерние состязания по волейболу и настольному теннису.

Кадеты во время практики начинают понимать, из каких элементов состоит самолет, как и за счет чего он летает. Действительно, если ребенок полетал на самолетах, на планерах, запустил авиамодель, прыгнул с парашютом, он уже не бросит авиацию. Ребята и родители лётную практику ждут с нетерпением, и педагоги понимают, что движение идет в нужном направлении.

Привлечение детей в кадетские классы с изучением специальных предметов, проведение физической и общевоинской подготовки с выполнением полетов на тренажерах и легких самолетах является первым звеном поэтапной подготовки летного состава и позволяет сократить сроки обучения в летных училищах и избежать списания с летной работы по причине неуспеваемости.

Почти десятилетие лицей № 14 носит имя легендарного летчика-испытателя Михаила Михайловича Громова. Крепнет дружба с супругой Ниной Георгиевной Громоой и его дочерью Софией Михайловной. Существует прекрасная традиция проводить Громовские чтения, на которые приезжает много почётных и заслуженных гостей, среди которых лётчики-испытатели

В.Г. Пугачев, Л.С. Попов, Д. Плаксин, В.П. Кузьмичев, директор городского Клуба воздухоплавания В.Д. Бокша, директор музея ЛИИ им. Громова М.Ф. Леонова. Нина Георгиевна Громова проводит живые уроки, рассказывая о героических перелётах, о подвигах и судьбах великих летчиков, стоящих у истоков становления авиации.

Особым отличительным качеством аэрокосмических классов является продолжение обучения в профильных вузах страны. Лицеисты поступают и учатся в Ульяновском училище гражданской авиации, в Университете гражданской авиации Санкт-Петербурга, Краснодарском высшем военном авиационном училище. Приезжают на встречу с юными кадетами лётчики-испытатели, когда-то окончившие лицей. Настолько сильно в выпускников лицея закладывается любовь, сила и знания тех, кто создавал и преподает в кадетских классах авиационного направления.



#### ХОЧУ УЗНАТЬ ЗОЛОТЫЕ ПАМЯТНЫЕ МЕДАЛИ РОССИИ ВЫПУСКА ДО 1917 ГОДА НА МЕЖДУНАРОДНЫХ НУМИЗМАТИЧЕСКИХ АУКЦИОНАХ Андрей Викторович Барановский На юбилейном сотом аукционе нумизматической Из продаж на европейских аукционах отметим ещё одну фирмы "Монеты и медали" за золотую медаль "В память памятную петровскую настольную медаль в честь морских посооружения туннеля сквозь Большой Хинган в Манчжубед России - "Взятие четырех шведских фрегатов около острова Гренгам". В 2006 году на женевском аукционе NUMISрии" покупатель заплатил 7,5 млн. рублей, что соответствует примерно \$125 тыс. MATICA GENEVENSIS SA за неё было заплачено \$144 тыс. К Чем же объясняется столь этой цене надо как минимум добавить 15%, высокая цена медали. Декоторые взял аукционный дом с покуло в том, что в эпоху Импателя. ператорской России па-Пока что рекордные цены на мятные медали из золороссийские памятные золотые та редко чеканились в медали принадлежит Нью-Йорколичестве более 20 экку. Там в 2015 году в ходе янваземпляров и вручались рской нумизматической недели на аукционе Dmitry они членам царской фами-Markov Coins&Medals, Золотая медаль "В память лии, а также представителям Золотая сооружения туннеля сквозь Большой Хинган в Манчжурии" царствующих дворов Европы. Baldwins M&M и настольная Numismatics LTD за та- медаль в память 300-летия ковую, выпущенную в дома Романовых Ещё один экземпляр доставался "мюнцкабинету" Эрмитажа. Что касается выставляемых в настоящее время на продачесть 300-летия дома Романовых, российский покупатель заплатил \$270 тыс. при начальной цене в \$75 тыс. Особую жу золотых памятных медалей на современных аукционах, то здесь "первенство" принадлежит Нью-Йорку и Западной Евценность медали придало то, что она было отчеканена в частной мастерской Жаккара, а не на Санкт-Петербургском ропе. В основном это те самые подарки царствующим домам и вывезенные из России в годы первой послереволюционной монетном дворе. Эксперты отмечают, что и до сих пор на аукэмиграции. ционах подобная медаль ни разу не выставлялась. В 2016 г. у того же Дмитрия Маркова за \$280 тыс. была Золотая медаль Сооружение доков в Крондштадте продана медаль Елизаветы Петровны

1752 года на Сооружение доков в Кронштадте". В переводе на

рубли по курсу на то время это соответствует примерно 18,2 млн. рублей. Медаль на "Сооружение доков в Кронштадте", выпущена в связи с окончанием строительства в Кронштадте сухого дока. Кстати, на аукционе такая же медаль, но отчеканенная из меди и изумительной сохранности была подарена купившему золотую.

На названном аукционе были выставлены ещё две золотые



летнего юбилея лейб-гвардии Московского полка. 1811-1911" - \$175 тыс. Вообще на нью-йоркских Нумизматических неделях всегда выставляются по одной, а то и по несколько российских золотых памятных медалей, которые никогда не появляются на отечественных нумизматических аукционах.

А годом ранее, там же, золотая ортогональная плакетка в честь сооружения триумфальной арки в Санкт-Петербурге в 1838 г. в честь побед русского оружия над турками в 1828 г. была куплена за \$225 тыс. Вероятно, та же плакетка была

(Б РУБЛЬЭ) **Т** 

Хинган в Манчжурии" Он был самым протяженным (3074 м) из

девяти тоннелей, проложенных при строительстве Китайско-

Но возвратимся к медали "В память

Ещё одна золотая медаль "В

память морской победы при Ган-

гуте, 27 июля 1714 года" на упомя-

нутом аукционе "Монеты и медали"

была куплена за 5,8 млн. рублей

сооружения туннеля сквозь Большой

Русский "Харбинский рубль"

Som name of the second second

Золотая медаль "В память столетнего юбилея лейбгвардии Московского полка"
продана на аукцио н е Маркова в

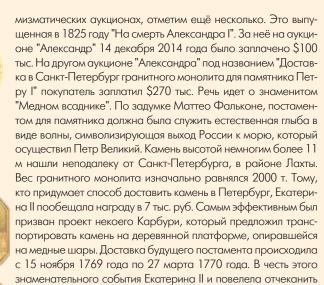
2006 г. Тогда по-купатель заплатил за нее

\$80 тыс. Коротко об истории самой плакетки. Автором ее был медальер А. Губе. Золотые вручили членам царской семьи,

серебряные - генералам, принимавшим участие в войнах с Персией и Турцией, а также в Польской кампании, бронзовые - создателям сооружения.

Довольно редко случается, что на одном аукционе выставлявотся сразу несколько одинаковых памятных медалей, отчеканенных из разных металлов - золота, серебра и меди (бронзы). Сравнение цен сразу же указывает на редкость каждой из них. На упомянутом нью-йоркском аукционе за зо-

лотую медаль, выбитую в честь столетия учреждения ордена Св. Георгия, было заплачено \$200 тыс., за медаль из серебра - \$37 тыс. и бронзы - \$1100.



медаль с надписью: "Дерзновению подобно. Генваря, 20.





Золотая медаль 1770 г. "Дерзновению подобно"

И в заключение. На104-м аукционе фирмы "Монеты и медали" за 70 тыс. рублей была продана бронзовая копия золотой медали "Владетелю Сандвичевых островов", которая

была отчеканена в единственном экземпляре. Она предназначалась Каумуалии, королю (вождю) острова Кауаи. Так вот - Сандвичевы острова сейчас называются Гавайи. Исспедования показали, что медаль была учреждена Александром I приблизительно в 1816 году. За год до этого Г. А. Шеффер от имени Российско-американской компании развил активную деятельность на Гавайских островах, в том числе предложил королю Каумуалии принять подданство России и заложил на подчи-

нённом этому королю острове Елизаветинискую крепость и плантации. Однако полномочия Шеффера не были пол-

реплик реплик реплик реплик реплик руководство Российской империи отказалось от присоединения Гавайев, но пожаловало Каумуалии эту золотую медаль.

Золотая медаль 1816 г. Владетелю Сэндвичевых островов " на фото - бронзовая

Русский "Форт Елизаветы Первой" на Гаваях



Настольная золотая медаль в честь столетия чреждения ордена

честь столетия

нреждения ордена
Св. Георгия

А на московском аукционе "Восточно-европейско-

BAAI

THE PERSON

го аукционного дома" в 2013 г. комплект из трех медалей "На открытие Пулковской обсерватории" (золото, серебро, бронза и их мастер-модели) был куплен

за \$235 тыс. Само ме-

Однаиз золотых медалей комплекта "На открытие Пулковской обсерватории"

роприятие на-

Золотая медаль 1825 г. "На смерть Александра I" (на фото бронзовая копия)

валось "Аукцион правды". Начальная цена всех лотов была ус-

тановлена в один американский доллар. И в результате торгов выявлялись истинные рыночные цены выставленных предметов.

Из медалей, проданных на московских ну-



# 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, 1-3 - 2017)



Несмотря на постоянное совершенствование танка Т-54/55, в том числе и повышение огневой мощи, его вооружение оставалось прежним. Это была 100-мм нарезная пушка Д-10Т с калиберным бронебойным снарядом, который уже не обеспечивал эффективного поражения нового американского среднего танка М48. А в боекомплекте западных танков уже были подкалиберные снаряды и невращающиеся кумулятивные снаряды, пробивавшие броню советского танка на нормальных дистанциях боя. Создание нового танка Т-62 основывалось на разработке нового вооружения для средних танков и инициативных разработках КБ Уралвагонзавода по созданию перспективного среднего танка для замены Т-54/55. В КБ Уралвагонзавода велись работы по перспективному танку «Объект 140» которые были прекращены по причинам сложной технологии изготовления и непростой эксплуатации в войсках. Однако некоторые наработки по этому танку, конкретнее - корпус и башня, пригодились при разработке танка «Объект 165», который также "взял" боевое отделение от танка «Объект 150» и моторно-трансмиссионное отделение и ходовую часть от танка T-55. Вооружением «Объекта 165» должна была стать новая нарезная 100-мм пушка Д-54 (Y-8TC), разработанная в 1952-1953 годах. По сравнению с Д-10, Д-54 имела увеличенную с 895 до 1015 м/с начальную скорость калиберного бронебойного снаряда и на 25 % большую бронепробиваемость. В октябре 1959 г. были изготовлены два опытных образца, которые с ноября 1959 г. по апрель 1960 г. прошли заводские испытания. Ходовые испытания (4000 км пробега) проводились на танкодроме завода, а испытания стрельбой - на Уральском артиллерийском полигоне. В декабре того же года доработанные образцы успешно прошли полигонно-войсковые испытания. уже 9 января 1962 г. приказом министра обороны танк был принят на вооружение под маркой Т-62A. Но серийное производство машины не началось из-за отсутствия нового бронебойного снаряда к пушке Д-54. До

снятия танка с производства успели изготовить пять машин. В то же самое время происходило ещё два события, которые кардинально изменили подходы в создании нового перспективного танка. Во-первых, в КБ Юргинского машиностроительного завода № 75 разрабатывалось гладкоствольное

разрабатывалось гладкоствольное особо мощное 100-мм противотанковое орудие Т-12. На расстоянии в 1 км эта пушка пробивала броню толщиной 215 мм, чего было вполне достаточно для борьбы с основными танками стран НАТО.



Во-вторых, одновременно с разработкой танка «Объект 165» в том же конструкторском бюро завода № 183 под руководством того же главного конструктора - Л.Н. Карцева, велась разработка танка «Объект 166». И он должен был быть вооружён гладкоствольной 115-мм пушкой.
Так как пушка 112 стреляла унитарными снарядами длиной 1200 мм, что для танка было неприемлемо, для вооружения нового "Объекта 166" было разработано новое танковое 115-мм гладкоствольное орудие, созданное на

разработано новое танковое 115-мм гладкоствольное орудие, созданное на базе 100-мм нарезного У-8TC. В 100-мм пушке были убраны нарезы ствола, что увеличило ее калибр. Из-за отсутствия у орудия нарезов давление пороховых газов в нем можно было значительно повысить, что увеличивало начальную скорость снаряда. У новой пушки отсутствовал дульный тормоз, а её ствол был удлинён. Так на свет появилась первая в мире танковая гладкоствольная 115-мм пушка У-5TC "Молот". Кучность стрельбы нового



орудия оказалась на уровне лучших танковых нарезных артиллерийских систем того времени.

Уже в 1961 году на УВЗ была изготовлена установочная партия из 25 Т-62.

12 августа 1961 года танк был принят на вооружение.

А с середины следующего года на заводе начался серийный выпуск этой машины, который продолжался до 1973 года. Впервые новая боевая машина была продемонстрирована общественности 7.11.1967 г. на параде в Москве.



Т-62 имеет классическую компоновку, с размещением моторнотрансмиссионного отделения в кормовой, отделения управления - в лобовой, а боевого отделения - в средней части машины. Экипаж танка состоит из четырёх человек: механика-водителя, командира, наводчика и заряжающего Т-62 имеет дифференцированное противоснарядное бронирование. Броневой корпус Т-62 представляет собой жёсткую коробчатую сварную

конструкцию, собирающуюся из листов катаной броневой стали толщиной от 16 до 100 мм. Лобовая часть корпуса образована двумя сходящимися клином 100-мм бронеплитами: верхней, расположенной под наклоном в 60° к вертикали и нижней, имеющей наклон в 55°. Лобовые и бортовые листы корпуса выполнены из хромо-никель-молибденовой стали 42СМ, корма и крыша корпуса - из стали 49С, а днище - из хромо-молибденовой стали 43ПСМ.



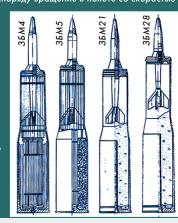
Пушечное вооружение Т-62 составляет 115-мм гладкоствольная полуавтоматическая пушка У-5ТС. Ствол орудия длиной 6,05 м (52,6 калибра). Пушка оснащена горизонтальным клиновым затвором. Противооткатные устройства состоят из гидравлического откатника и гидропневматического накатника, расположенных над стволом орудия. Максимальное давление в канале ствола составляет 3730 кг/см², а каксимальная дульная энергия при стрельбе подкалиберным снарядом - 6,5

МДж. Пушка снабжена устройством для выброса стреляных гильз, выбрасывающим гильзу через люк в верхней кормовой части башни. Боекомплект У-5ТС составляет 40 унитарных выстрелов с подкалиберными бронебойными, кумулятивными и осколочно-фугасными снарядами. Штатный боекомплект предусматривал размещение 16 подкалиберных бронебойных, 8 кумулятивных и 16 осколочно-фугасных выстрелов.

Первоначально к У-5TC имелись две модели оперённых подкалиберных бронебойных снарядов — 3БМЗ и 3БМ4. Оба они имели одинаковую массу, аналогичную баллистику и схожее устройство — стальной корпус с бронебойным и баллистическим наконечниками и шестипёрый стабилизатор со скосами перьев, придававшими снаряду вращение в полёте со скоростью 800...1000 об/мин, но 3БМ4 имел

цельностальной корпус, тогда как ЗБМЗ имел сердечник из карбида вольфрама, обеспечивавший ему лучшую бронепробиваемость, особенно при близких к нормали углам встречи с бронёй Появившийся позднее ЗБМ6 также имел цельностальной корпус, но отличался от предшественников уменьшенным весом снаряда и большим - заряда, более проработанной формой и лучшей баллистикой. Впоследствии к орудию был принят на вооружение более совершенный снаряд 3БМ21 с ердечником из карбида вольфрама, а также снаряд 3БМ28 с корпусом-

моноблоком из сплава на основе обеднённого урана.



В спаренной установке с пушкой размещается 7,62-мм пулемёт. На танках ранних выпусков устанавливался пулемёт СГМТ, с августа 1964 года более совершенный ПКТ. Оба пулемёта

совершенный ткт. Оод пулемета имеют одинаковые боеприпасы и баллистику, но ПКТ имеет меньшую массу и более компактен, а также имеет более высокий темп стрельбы - 700-800 выстрелов в минуту против 600 у



СГМБ, хотя боевая скорострельность обоих пулемётов примерно одинакова - 250 выстрелов в минуту. Боекомплект пулемёта - 2500 патронов. Для стрельбы из спаренного пулемёта могут применяться патроны со станым сердечником, трассирующей и бронебойно-зажигательной пулями. Последняя на дистанции 500 метров пробивает по нормали 6-мм броню.
Ко времени принятия на вооружение Т-62, зенитные

Ко времени принятия на вооружение Т-62, зенитные пулемёты на советских средних танках были ликвидированы в связи с их неэффективностью против новых реактивных самолётов. Но после появления боевых вертолётов, вооружённых ПТУР, на танки вновь начал устанавливаться 12,7-мм пулемёт ДШКМ обр. 1938/46 гг. ДШКМ имеет темп стрельбы 600 выстрелов в минуту, хотя боевая скорострельность изза сравнительно малого объёма магазина ограничена 125 выстрелами в минуту. Прицельная дальность стрельбы ДШКМ достигает 2200 м. Пулемёт размещается в турельной установке у люка заряжающего. Боекомплект пулемёта составляет 300 патронов. Для стрельбы из ДШКМ могут применяться патронов. Сронебойной и бронебойно-зажигательной и бронебойно-зажигательном и бронебойно-зажи

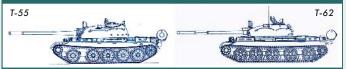


Бронебойная пуля, выпущенная из ДШКМ, способна пробить 14 мм брони по нормали на дистанции 500 метров.

На Т-62 устанавливался V-образный 12-цилиндровый четырёхтактный дизельный двигатель В-55В. Имея рабочий объём почти 39 л, двигатель развивает максимальную мощность 580 л.с. при 2000 об/мин и наксимальный крутящий момент в 230 кгм при 1200…1400 об/мин. Удельный расход топлива составляет 174 г/л.с.ч. Двигатель размещается в моторнотрансмиссионном отделении поперечно, на приваренной к днищу корпуса раме и оборудован форсуночным подогревателем. Система охлаждения двигателя включает в себя один радиатор трубчатоленточного типа, размещённый над коробкой передач и одиночный вентилятор, размещённый у кормового листа корпуса. Очистка воздуха в системе воздухозабора двигателя осуществляется при помощи двухступенчатого воздухоочистителя ВТИ-4 с эжекционной системой удаления пыли из пылесборника. Мощности двигателя было достаточно, чтобы танк массой 37 т на шоссе разгонялся до 50 км/ч, а на пересечённой местности - до 27 км/ч. Топливная система танка включает в себя четыре внутренних топливных бака общей ёмкостью 675 л и три наружных топливных бака ёмкостью по 95 л (расположены на правой надгусеничной полке). На корме танка есть крепление для двух стандартных 200-литровых топливных бочек . Топливо из них перекачивается в топливную систему танка на стоянке.



Запаса дизельного топлива было достаточно для преодоления 450 (650 при использовании топлива в бочках) километров при движении по шоссе и 320 (450) км при движении по пересечённой местности. Ходовая часть Т-62 почти идентична подвеске Т-54 (Т-55) и включает в себя с каждого борта пять сдвоенных обрезиненных литых опорных катков диаметром 810 мм, ленивец и ведущее колесо; поддерживающие катки отсутствуют. Подвеска опорных катков - индивидуальная, торсионная, первые и последние катки снабжены гидравлическими амортизаторами. В отличие от Т-55, Т-62 не имел заметного просвета между первым и вторым катком.



Первоначально на T-62 применялись гусеницы от T-54/55 с металлическим шарниром, а позднее — более совершенные гусеницы с резинометаллическим шарниром.

На Т-62 установлена система противоатомной защиты. Защита экипажа от ударной волны взрыва и частичная защита от проникающей радиации обеспечивается бронёй танка. Защита от избыточного давления осуществляется путём максимальной герметизации корпуса и башни посредством уплотнений и автоматически закрывающихся лючков, воздухозаборников и жалюзи, что снижает давление в танке приблизительно в 10 раз при прохождении фронта ударной волны и растягивает по времени повышение давления внутри машины. Защита экипажа от радиоактивных частиц производится созданием внутри танка повышенного давления нагнетателем, одновременно фильтрирующим поступающий снаружи воздух Всего было выпущено порядка 20 000 танков Т-62. Танк Т-62 имел несколько модификаций, некоторые из которых остались только в виде экспериментальных образцах, некоторые были приняты на вооружение. В 1969 году была предпринята попытка установить многотопливный двигатель В-36Ф с наддувом мощностью 640 л.с. Одновременно была изменена ходовая часть: опорные катка изготовлены из алюминиевого сплава и меньшего диаметра, что потребовало установку поддерживающих катков. В результате скорость возросла до 55 км/ч по



шоссе. Этот вариант танка (под индексом "Объект !66М") прошел ходовые

Впоследствии на нём была установлена пусковая установка противотанковой управляемой ракеты (ПТУР) "Малютка", и этот вариант ("Объект 166МЛ") был выпущен ограниченной серией. На вооружение танк с ПТУР не принимался изза отсутствия противопулевой защиты установки и ракет, а также невозможности ведения стрельбы ими сходу.



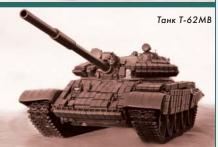
Танк Т-62 с ПТРК 9К11 "Малютка"



В 1983 г. была проведена очередная модернизация. На танк было установлено: дополнительная броневая защита башни, корпуса и днища; двигатель В-55У, мощностью 620 л.с.. и др. Танк получил обозначение Т-62М



В 1985 году принят на вооружение I-62MB (модернизация T-62M) с установленной динамической защитой "Контакт-1". Был установлен и более мощный двигатель - дизель В-46-5M мощностью 690 л.с.



Тяжелые танки первого послевоенного поколения в СССР представлены образцами ИС-4 (ИС-4М), Т-10, Т-10М. На танке ИС-4 (главный конструктор Н.Л. Духов, разработчик Л.С. Троянов, Челябинск) была реализована весьма большая для того времени толщина брони (до 280 мм), установлен дизельный двигатель с механическим наддувом и применена планетарная трансмиссия с новым типом механизма поворота ("ЗК"). По огневой мощи этот образец оставался на уровне танка ИС-3.



Как уже неоднократно случалось в истории техники, разработка того или иного образца вооружения начиналась не после получения от заказчика технического задания, а в инициативном порядке руководством предприятия или КБ. Так произошло и при создании тяжелого танка ИС-4, когда руководители Челябинского Кировского завода (И.М. Зальцман - директор, С.Н. Махонин - главный инженер, Н.Л. Духов - главный конструктор,

Л.С. Троянов - ведущий конструктор проекта) приняли решение о начале работ по перспективному тяжелому танку. прорыва, значительно превосходящего по осн<u>овным боевым</u> свойствам немецкие тяжёлые танки T-V "Пантера" и T-VI "Тигр". Основной целью при создании машины под условным названием "тяжелый танк K" являлось обеспечение надежной защиты танка от снарядов немецких танковых пушек на эффективной дальности стрельбы. Предполагалось,



что он успеет принять участие на завершающем этапе войны. К проектированию в СКБ-2 приступили летом 1943 г., и уже 10 декабря эскизный проект был утверждён. За основу была принята компоновка ИС-122 с соответствующей доработкой узлов и агрегатов. Противоснарядная защита обеспечивалась увеличением толщины броневых листов, которые для корпуса имели толщину от 120 до 160 миллиметров и изготавливались из стали сорта 42СМ. Сварка броневых деталей производилась вручную многослойным обратно-ступенчатым швом аустенитными и углеродистыми электродами. Литая башня с максимальной толщиной лба в 250 мм отливалась из стали 66Л. Это привело к увеличению массы, что потребовало увеличения количества опорных катков до семи на борт и ширины гусениц до 730 мм. А для обеспечения ходовых характеристик при значительном росте массы танка было принято решение об установке более мощного двигателя. Как раз в это время СКБ-75 Челябинского Кировского завода закончило работы над V-образным 12-цилиндровым дизелем B-12 (модификация B-2), у которого благодаря новому нагнетателю, измененному режиму подачи топлива и другим решениям мощность была доведена до 750 л.с. Для повышения надёжности двигателя были осуществлены конструктивные изменения поршней, коленчатого вала, картера, головки блока, форсунок, распределительного вала, выпускных клапанов, масляного фильтра топливного и водяного насосов. В-12 стал первым двигателем типа В-2 с

Проектирование завершили в марте 1944 г. и проект танка направили в Главное бронетанковое управление (ГБТУ) РККА. Пока шло рассмотрение в ГБТУ проекта, на ЧКЗ приступили к изготовлению опытного танка, на котором предполагалось отработать новые идеи и выявить слабые места. Комиссия Техуправления ГБТУ пришла к заключению, что "по своим основным боевым качествам, вооружению, бронированию, узлам и агрегатам силовой установки и трансмиссии, механизмам управления танком и огнем танк конструкции Кировского завода, безусловно, заслуживает того, чтобы в кратчайший срок дать разрешение Кировскому заводу на изготовление двух опытных образцов... Есть все основания получить отвечающий современным требованиям боя, лучший в мире тяжелый танк

наддувом от ПНЦ.

Уже 8 апреля 1944 г. постановлением ГКО № 5583сс Челябинскому Кировскому заводу был открыт заказ № 701 на изготовление двух опытных образцов нового тяжелого танка "Объект 701" с орудиями конструкции ЦАКБ и один корпус для испытания танков и обстрела корпуса.

Тем временем работы по созданию опытного танка продолжались, но теперь он получил название "Объект 701" № 0. Этот танк был готов к маю 1944 г. (г его ба́шне установили 122-мм пушку Д-25Т - уже освоенную в производстве), в течение последующих полутора месяцев он находился на заводских испытаниях. К середине июня 1944 г. он прошёл более 1200 км

Одновременно, в мае - июне 1944 года, согласно постановлению ГКО, завод изготовил танк "Объект 701" № 1 со 122-мм пушкой С-34-II и танк "Объект 701" № 2, оснащённый 100-мм пушкой C-34-I.





Установка на опытные танки пушек С-34 была осуществлена в соответствии с постановлением ГКО № 4851сс от 27 декабря 1943 года "О проектировании изготовлении и испытаниях опытных образцов артиллерийских орудий для танков и артиллерийских самоходных установок". К моменту проектирования овых танков в ЦАКБ НКВ была спроектирована 100-мм танковая пушка С-34 (С-34-І) с длиной ствола 56 калибров и баллистикой морской пушки Б-34. Одновременно на её базе была предусмотрена установка 122-мм ствола длиной 47 калибров и баллистикой 122-мм корпусной пушки А-19. Это орудие получило название С-34-II. В результате совместной работы конструкторов ЦАКБ и ЧКЗ было спроектировано новое боевое отделение "Объект 701" с расположением заряжающего с левой стороны орудия Толщина брони лобовых и бортовых листов башни и корпуса была одинаковой и не превышала 160 мм. Оба танка были предъявлены на полигонные испытания комиссии ГБТУ под председательством его начальника генерал-лейтенанта танковых войск Б.Г. Вершинина, которые проходили в районе Челябинска с 1 июля по 15 августа 1944 года. Во время проведения испытаний 13 июля на машине № 1 вышли из строя бортовые редукторы, и её испытания после 1103 км пробега были прекращены. Средняя скорость танка за время испытаний составила 21 км/ч Средняя скорость движения танка "Объект 701" № 2 составила 24 км/ч, расход топлива достигал 102 л на 100 км. Да и пробег составил всего 492 км. Тем не менее, в отчёте комиссии ГБТУ от 30 июля 1944 г. было записано: "Опытный танк 701 по своим основным боевым качествам является наиболее современным тяжелым танком, превосходящим по броне все существующие отечественные танки, а танки противника, кроме того, по вооружению и маневренности. Повышенные боевые качества достигнуты: применением броневых листов толщиной 160 мм, удачно выполненной конструкцией корпуса и башни, установкой дизеля В-12 мощностью 750 л.с., установкой оригинальной планетарной трансмиссии с селекторным механизмом управления . А для того, чтобы провести испытания пушки С-34-II, было принято решение снять башню с вышедшего из строя танка "Объект 701" № 1 и установить её на танк "Объект 701" № 0.

Полигонные испытания С-34-II, проводившиеся в объёме 780 выстрелов (из них 440 усиленных), были завершены 2 октября 1944 года. В связи с тем, что конструкция орудия С-34-II была более жесткой, кучность стрельбы на испытаниях оказалась более высокой, чем у Д-25Т. А отсутствие дульного тормоза уменьшало демаскирующий эффект при стрельбе и уменьшало риск поражения собственной пехоты и танкового десанта дульными газами.



Затем настала очередь проверки бронестойкости, и машина "Объект 701" № 2 и броневой корпус ("Объект 701" № 3) были отправлены на испытания обстрелом из противотанковой артиллерии на Научно-исследовательский бронетанковый (НИБТ) полигон. У этих машин несколько отличались оронетанковыи (ПИБІ) полигон. У этих машин несколько отличались толщиной и углом наклона подбашенные части корпуса: 160 мм/30° у танка ("Объект 701" № 2) и 120 мм/50° у корпуса ("Объект 701" № 3). В ходе испытаний, проводившихся в августе 1944 года, танки подвергались обстрелу из 57-мм пушки ЗИС-2 (начальная скорость снаряда 1270 м/с), 76-мм пушки ЗИС-3 (910 м/с), 122-мм пушки Д-25 (800 м/с) и 152-мм пушки МЛ-20 (600 м/с). Обстрел проводился и из немецких 88-мм противотанковой пушки РаК 43 и 75-мм танкового орудих КМК 42. Результаты испытаний показали высокую прочность сварных соединений

корпуса. В выводах комиссии было отмечено:

"Бронирование танка "объект 701" обеспечивает полную защиту от 75- и 88-мм бронебойных снарядов с начальной скоростью снаряда 1000 м/с со всех дистанций при курсовом обстреле до ±60° по корпусу и ±30° по башне... Таким образом, при относительно небольшом увеличении веса 701 объект превосходит по бронестойкости находящийся на вооружении танк ИС-2, корпус и башня которого пробиваются при любых курсовых углах 88 мм бронебойным снарядом с дистанции от 2000 до 800 метров.

В недостатках, указанных комиссией, отмечалась недостаточная защита корпуса от 75- и 88-мм бронебойных снарядов при обстреле корпуса под курсовыми углами 60°...90° и башни под углами более ±30° В своём заключении комиссия рекомендовала принять на вооружение корпус и башню танка "Объект 701" №2 с внесёнными изменениями по замечаниям комиссии. Кроме того, был поставлен вопрос о проработке варианта и изготовлении башни из катаной броневой стали толщиной 180...200 мм, а также увеличении толщины верхнего листа корпуса до 140...160 мм и скуловых скосов (конструктивных углов) до 140 мм для обеспечения защиты от перспективных 105-мм и 128-мм пушек противника. По результатам проведённых испытаний был издан приказ НКТП № 500 от

11 августа 1944 года, в котором народный комиссар танковой промышленности СССР В.А. Малышев потребовал от И.М. Зальцмана и Н.Л. Духова учесть и устранить дефекты, выявленные в процессе испытаний, к 1 октября 1944 года предъявить Государственной комиссии два новых образца танка на повторные полигонные испытания. В сентябре 1944 г. на заводские испытания вышел "Объект 701" № 4 с

улучшенной трансмиссией. На танке была установлена башня с пушкой C-34-II



Эта машина прошла 1160 километров по заводской трассе, которые показали, что полностью устранить недоработки в трансмиссии не удалось Тем не менее, был выпущен еще один документ, в котором танк "Объект 701 рекомендовался к принятию на вооружение и серийному производству. Однако это касалось только конструкции, двигателя, трансмиссии и т.д. Насчет орудия такой уверенности осенью 44-го еще не было. С одной стороны, пушка С-34-II имела хорошую точность. С другой, Д-25Т была уже освоена в производстве. В самом конце 44-го были еще раз проведены сравнительные испытания обеих пушек, по результатам которых военное руководство страны приняло решение оснащать танк "701" пушками Д-25Т. Весь комплекс характеристик нового танка, в частности уровень защиты, позволил применить на нем орудие с немного меньшей точностью, но уже находящееся в производстве без особых потерь в боевых качествах. Да и энергетики пушки снова стало достаточно для поражения танков противника Объяснение этого казуса простое - к концу войны качество брони немецких танков резко упало.

С учетом недостатков предыдущих образцов в ноябре 1944 г. был изготовлен "Объект 701" № 5.



"Объект 701" № 5 был направлен для государственных испытаний на НИИ БТ полигон, где с 17 декабря 1944 по 24 января 1945 г. прошёл 1051 км. Проводившая испытания комиссия под председательством инженерполковника А. Благонравова в своих выводах отмечала: "Опытный танк 701 обладает сильной броневой защитой, мощным вооружением, хорошей маневренностью, достаточной надежностью агрегатов и механизмов. Управление простое и легкое, эксплуатационные показатели высокие, в обслуживании танк прост, удобен и не требует частых регулировок... комиссия считает необходимым рекомендовать объект 701 для принятия на вооружение Красной Армии"

С 28 января по 29 марта танк прошел дополнительные испытания пробегом (1073 км), а с 30 марта по 9 апреля - испытания в тяжелых дорожных условиях. По решению комиссии танк дополнительные испытания выдержал, и ему была дана рекомендация о принятии на вооружение. А с 6 по 21 апреля в Челябинске комиссией под председательством инженер-подполковника П. Ворошилова испытывался вновь изготовленный "Объект 701" № 6. В выводах отмечалось, что "моторная установка, трансмиссия и ходовая часть работали надежно и достаточно отработаны для серийного производства

Руководство ЧКЗ рассчитывало на быстрое принятие на вооружение "Объекта 701". Однако в это время в серию запускается ИС-3 ("Объект 703"), поэтому сил и средств для "Объекта

701" уже не оставалось. Ещё одной причиной отказа от начала серийного выпуска "Объекта 701" стала масса танка - 60 тонн, большинство мостов не могли выдержать такую машину.

Но как только в начале 1946 г. был прекращён серийный выпуск ИС-3, в марте 1946 г. руководство Минтрансмаша



совместно с командованием БТ и MB BC CCCP обратились к правительству с просьбой разрешить серийный выпуск танка "объект 701".

После рассмотрения всех материалов по новому тяжелому танку Совет Министров СССР постановлением № 961-403cc от 29 апреля 1946 г. принял танк "объект 701" на вооружение под названием ИС-4.

В этом же году Челябинскому тракторному заводу предписывалось прекратить выпуск танков ИС-3 и начать выпуск танка ИС-4. По планам в 1946 году должно было быть выпущено 155 танков ИС-4. Однако, работы выполнены не были, в 1946 году выпуск составил всего 6 танков установочной партии. Причинами задержки явился ряд НИОКР, направленных на устранение замечаний, выявленных на испытаниях танка. Кроме того, оказалось, что

ехническая документация нового тяжелого танка для серийного производство не отработана. В конструкцию машины пришлось спешно ввести более 80 изменений. В связи со срывом сроков, планы по производству ИС-4 были скорректированы и предусматривали производство 200 единиц в 1947 году. В 1947 г. танки из партии 1946 года были вновь направлены на испытания. После испытаний для устранения замечаний в конструкцию были внесены изменения на 30 % узлов и агрегатов танка.

Лишь в марте 1947 г. в Челябинске́ началось изготовление первых танков указанного типа, а в апреле первые две машины (головные образцы с заводскими номерами № 611АЗ и № 611А5) поступили на министерские испытания. В ходе испытаний ИС-4 прошли около 1400 километров в различных дорожных условиях. Министерская комиссия вновь отмечала, что новые тяжелые танки также имеют массу недостатков. Например, двигатель не развивал полной мощности, ненадежно работали бортовые редукторы, приводы управления трансмиссией требовали частой и сложной регулировки

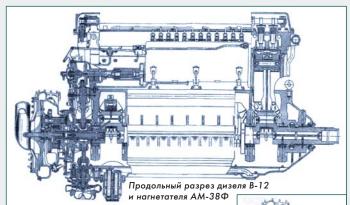
башенный вентилятор не обеспечивал очистки боевого отделения при интенсивной стрельбе, а при работающем двигателе из-за сильных шумов и помех пользоваться радиостанцией было невозможно. Вместо 200 единиц в 1947 году было выпущено всего 52 танка ИС-4.

В 1948 году танки ИС-4 были вновь направлены на испытания, где опять были выявлены существенные дефекты. Для устранения дефектов был разработан план мероприятий, направленных на улучшение конструкции машины, однакс план выполнен не был и производство танков ИС-4 продолжалось с существенными дефектами. Основной причиной дефектов являлось низкое качество изготовления, в процессе которого нарушались технологические процессы, а также имели место существенные отступления от конструкторской документации. 50...60 % выпускаемых танков браковались на заводеизготовителе военной приёмкой. В 1949 году по приказу маршала бронетанковых войск С.И. Богданова приёмка танков ИС-4 была остановленс

до разработки мероприятий по повышению качества изготовления. К августу 1949 года были изготовлены 12 танков, вновь прошедших испытания. Однако, доработки по результатам испытании волись., задержками, так как весь коллектив ГСКБ-2 был переключен на разработку 320° а зауже пёгкого танка "Объект 740°. В нового тяжёлого танка "Объект 730", а также лёгкого танка "Объект 740' результате планы по модернизации ранее поставленных машин, а также изготовлению усовершенствованной версии ИС-4 выполнены не были.

Тем не менее, конструкторскую документацию вновь переработали и в 1951 г. на ЧКЗ собрали 25 модернизированных танков, получивших наименование ИС-4М. К 1 января 1952 г. все ранее изготовленные танки ИС-4 включая 12 машин выпуска 1949 г, довели до уровня ИС-4М выпуска 1951 г. Не останавливаясь на всех изменениях, остановимся только на тех, которые касались двигателя В-12. Для обеспечения параметров дизеля увеличили степень сжатия с 13,5 до 15 и уменьшили угол опережения впрыска топлива. А для обеспечения надежности работы двигателя в течение гарантийного срока службы (200 ч) внедрили хромирование поршневых колец из хромомолибденового чугуна, усилили валик привода нагнетателя, изменили конструкцию масляного фильтра и т.д.

В-12 стал первым дизелем из линейки двигателей типа В-2, на котором применили наддув от приводного центробежного нагнетателя. Нагнетатель



авиационного типа АМ-38Ф с приводом от коленчатого вала устанавливался на специальной проставке, крепившейся к фланцу на торце картера двигателя со стороны механизма передач. Мощность, затрачиваемая на привод нагнетателя, составляла 28...125 л.с. в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. 12-плунжерный топливный насос НК-12 (диаметр плунжера 12 мм) с всережимным регулятором центробежного типа и

шлицевой муфтой в приводе устанавливался в развале блоков.

Как и следовало ожидать, кроме более мощной бронезащиты этот танк никакими преимуществами перед ИС-2 и ИС-3 не обладал, а по таким показателям, как скорость и боевая подвижность даже уступал. Кроме того, ИС-4М имел более низкую эксплуатационную надежность, а его стоимость (в ценах того времени) составила 994000 рублей. Для сравнения, средний танк Т-54А стоил тогда 326000 рублей.

Серийное производство ИС-4 (ИС-4М) завершилось. Всего было изготовлено 258 машин, включая и самые первые, предназначенные для испытаний.



Практически одновременно с разработкой и производством ИС-4 в СССР разрабатывались и другие тяжёлые танки. На вооружение они приняты не были, но ходовые испытания, испытания вооружения, обстрел корпуса и башни давали возможность в реальных условиях проверить конструкторские идеи, отбросить ложные или довести до ума перспективные. К таким идеям можно отнести, например, применение электротрансмиссии на танке ИС-6 и уникальную башню танка ИС-7.

Работы по другим перспективным тяжёлым танкам начинались в разное время и в разных КБ, поэтому начнём в порядке возрастания их обозначений

(официальных и не официальных). Начнём с создания танка "Объект 730", который носил название ИС-5. Кстати, под этим названием был ещё один проект - "Объект 248" с пушкой С-34, но который не дошел до серийного производства. Работы по "Объекту 730" начались в конце 1948 года, и конечной целью этой работы была глубокая модернизация тяжелого танка

ИС-5 ("Объект 248")

16-3-, направления на превывание характеристик танка. Предлагалось заменить ряд узлов и агрегатов, а также облегчить машину до 50 тонн. Снижение боевой массы на 10 тонн обещало ощутимое повышение боевых качеств.

Уже весной следующего года в КБ Челябинский тракторный завод был разработан предварительный вариант проекта "Объект 730". Перспективный танк значительно отличался от базового ИС-4. Он получил обновленную

конструкцию башни и корпуса; два варианта новой трансмиссии; обновленную подвеску; механизм заряжания и т.д. Большим изменениям подверглась компоновка внутренних объемов корпуса и боевого отделения. Перспективный танк получил новую башню оригинальной конструкции. Литой агрегат с переменной толщиной стенок имел форму, близкую к сферической. При помощи этого удапось ликвидировать заман между нижней частью башни и подбашенным листом корпуса, а также немного увеличить внутренний объем боевого отделения. Было усилено крепление башни, в которой предполагалась 122-мм нарезная пушка Д-25Т.

В начале апреля 1949 г. техническая документация по проекту ИС-5 ("Объект 730") и деревянный макет танка были направлены в Москву. Военные и руководство промышленности рассмотрели проект и составили список необходимых доработок. Усовершенствованный проект был утвержден в середине мая. После этого началась подготовка чертежей для заводов. Работы по строительству опытных танков ИС-5 затянулись, из-за чего было решено использовать для испытаний два доработанных ИС-4, массу которых довели до требуемых 50 т. Для этого с них сняли башни и установили дополнительные грузы. Мощность двигателей В-12 в ходе испытаний была ограничена 700 л.с. На одном из доработанных ИС-4 позже испытывался двигатель В-12-5. Некоторые агрегаты будущего танка "Объект 730" испытывались на двух танках ИС-7 образца 1947 г.

Летом 1949 г. несколько предприятий разрабатывали и испытывали различные агрегаты для перспективного танка. Так, специалисты ВНИИ-100 занимались созданием эжекционной системой охлаждения двигателя.
В общей сложности было проведено около 4000 опытов, в которых использовались 50 вариантов размещения различных деталей эжектора.
30 июля ЧТЗ получил первый готовый корпус танка "Объект 730". Корпус для

30 июля ЧТЗ получил первый готовый корпус танка "Объект 730". Корпус для второго опытного танка поступил 9 августа. Но сборка танков-прототипов затянулась из-за того, что некоторые агрегаты не были готовы, а другие все еще находились в стадии испытаний. Тем не менее, уже в середине сентября закончилась сборка первой опытной машины с изменённой конструкцией. Так, например, силовая установка первых танков "Объект 730" имела вентиляторную систему охлаждения вместо эжекционной и 6-ступенчатую



В сентябре прошли заводские испытания танков, закончившиеся неудачей - машины не прошли требуемые заказчиком 2000 км из-за недоработанной трансмиссии. В результате появилось решение об установке на танк "Объект 730" 8-ступенчатой планетарной коробки передач, которая по своим характеристикам превосходила 6-ступенчатую. Вскоре отдел трансмиссии ВНИИ-100 выпустил техническую документацию по новой коробке передач, с Ленинградский Кировский завод собрал три опытных образца. Сравнительные испытания обеих коробок передач под нагрузкой показал преимущества новой коробки.

Испытания, проведенные в конце 1949 г., позволили внести коррективы в проект "Объект 730". В январе 1950 г. началось создание обновленной документации по проекту. Теперь новый танк предполагалось оснащать эжекционной системой охлаждения, 8- ступенчатой планетарной коробкой передач, новой системой установки пушки и рядом других агрегатов. В марте 1950 г. парк опытных машин ИС-5 пополнился тремя танками с коробками передач новой конструкции и новыми бортовыми редукторами. В середине апреля один из трех танков отправили на ленинградский полигон Ржевка, где прошли испытания механизмов боевого отделения и вооружения После этого все три танка отправились на государственные испытания. Для испытаний, в рамках которых бронетехника должна была пройти 2000 километров, был выбран полигон в районе города Ломоносов. Трасса полигона оказалась достаточно сложной для прохождения: на ней были заболоченные участки и участки с большим количеством рвов, холмов, воронок и крутых поворотов. Два опытных танка во время испытаний каждый день проходили по 200 километров, а среднесуточный пробег третьей машины превысил 280 км. Благодаря этому программу испытаний удалось выполнить всего за полторы недели. За ходом испытаний внимательно следили представители заводов и организаций, задействованных в проекте. Согласно заключению комиссии, все три опытных танка "Объект 730"



полностью отвечали требованиям. Надежность новой машины превышала аналогичные показатели имеющихся средних танков. Кроме того, в проекте был определенный потенциал для последующей модернизации. С мая по июн 1950 года три танка прошли переборку и ремонт. Во время ремонта в конструкцию танков были внесены некоторые изменения, направленные на повышение надежности различных агрегатов. Так, были доработаны уплотнение ведущего колеса, вентиляция боевого отделения, тормозные ленты и т.д. Затем танки участвовали в 200-часовых испытаниях двигателей в условиях высоких температур и большой запыленности воздуха. Летом 1950 г. челябинские конструкторы совместно с коллегами из смежных организаций в очередной раз доработали проект, после чего были построень десять танков ИС-5, предназначенные для войсковых испытаний. Осенью танки установочной партии были испытаны на нескольких полигонах в разных условиях. К этому моменту танки "Объект 730" все еще не избавились от некоторых недостатков трансмиссии и ходовой части, однако и в таком виде смогли подтвердить соответствие техническим требованиям В конце 1950 г. военные и министерство транспортного машиностроения

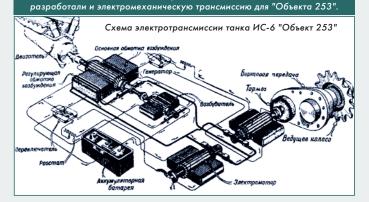
составили новый перечень замечаний и рекомендаций по доработке проекта.
Основные работы по очередному совершенствованию проекта "Объект 730"
начались уже в 1951 г., но танк ИС-5 не дошел до стадии серийного
производства. Технические идеи, проверенные при создании ИС-5, позволили
создать и проверить ряд важных агрегатов, немного позже примененных в
проекте ИС-8, из которого в конце концов получился Т-10.
Очередным по нумерации идёт танк ИС-6, разработка которого была начата
в 1943 г. В ноябре 1943 г. под общим руководством ГБТУ специалистами

Очередным по нумерации идёт танк ИС-6, разработка которого была начато в 1943 г. В ноябре 1943 г. под общим руководством ГБТУ специалистами Отдела главного конструктора НКТП, Военной академии механизации и моторизации РККА и Научно-исследовательского тракторного института разработали требования к тактико-техническому заданию по теме "танк прорыва большой мощности". В соответствии с этими требованиями должны были быть разработаны два танка: "Объект 252" и "Объект 253".

На танке "Объект 252" применили ходовую часть и механическую трансмиссию, аналогичные ИС-3, но в его ходовой части были применены опорные катки большого диаметра (как на Т-34). Масса танка уменьшилась с 54 до 51,5 т, а скорость возросла с 35 до 43 км/ч.



А вот проект "Объект 253" существенно отличался от всех ранее существовавших - впервые в советском танкостроении была применена электромеханическая трансмиссия, в которой дизель В-12У с наддувом мощностью 750 л.с. смонтировали совместно с генератором ДК-305А мощностью 385 кВт и массой 1740 кг. Ток, вырабатываемый генератором, подавался на реверсивные электромоторы типа ДК-302, связанные через планетарные бортовые редукторы с ведущими колёсами. В одном блоке с дизелем был трёхфазный генератор для зарядки аккумуляторов и привода вентиляторов системы охлаждения дизеля и трансмиссии. Установка электромеханической трансмиссии обеспечила бесступенчатое изменение крутящего момента на ведущих колёсах в зависимости от дорожных условий а также плавные повороты любого радиуса без внутренних потерь мощности Регулировка силы тяги производилась изменением возбуждения главного генератора. Напряжение в цепи 500 В. Рабочий ток достигал 960 А, при движении по шоссе он составлял 490 А, на местности — 740 А Применение электротрансмиссии облегчило управление танком и способствовало повышению его маневренных качеств. Однако, электротрансмиссия кроме достоинств имела и недостатки. Так, из-за сильного нагрева электрических агрегатов пришлось внедрить систему охлаждения, вентиляторы которой отнимали у двигателя немалую долю мощности, а воздуховоды отнимали пространство у и так небольшого внутреннего объёма танка. И ещё: на генераторы и двигатели требовалось изрядное количество дефицитной меди. Оба танка ИС-6 изготовили на Уралмашзаводе летом 1944 г., здесь же





И всё же явных преимуществ перед серийными ИС-2 и ИС-3 не оказалось. Оба танка уступали по броневой защите ИС-4 ("Объект 701"), не превосходя его в вооружении и подвижности. Вариант танка ИС-6 с механической трансмиссией не имел никаких преимуществ перед другими тяжелыми танками, а "Объект 253" был забракован из-за большой массы как самого танка, так и электротрансмиссии. Кроме того, надежность электротрансмиссии оказалась недостаточной.

И теперь несколько слов об ИС-7 ("Объект 260"). Летом 1945 года на Ленинградском Кировском заводе началось проектирование "Объекта 260", получившего название ИС-7. Хотя ИС-7 являлся во многом развитием танка ИС-3, на нём было применено множество новейших решений, значительно опередивших своё время. Компоновка танка классическая, отделение управления объединено с боевым. В вытянутой носовой части корпуса размещался механик-водитель. Наведение пушки с пулемётами в маске облегчили силовые электроприводы, управляемые с пульта наводчика. Экипалания пополнился вторым заряжающим и состоял из пяти человек: механик-водитель, командир, наводчик и двое заряжающих. Чтобы облегчить и ускорить работу, боекомплект из 25 выстрелов, уложенный в корме башни,

подавался по транспортёру.

Броневой корпус ИС-7 сваривался из катаных гомогенных броневых плит различной толщины. Лобовая часть выполнялась из трёх листов с большими углами наклона по схеме "щучий нос" из 150-мм плит, борта для большей жёсткости сложной формы с обратным уклоном вверху изготавливались (не сваривались, а гнулись под прессом) из двух частей - верхних наклонных толщиной 150 мм и вогнутых внутрь нижних толщиной 100 мм.

Башня танка - литая, четырёхместная, очень больших размеров, но невысокая и с большими углами наклона брони. Броня башни переменной толщины, от 210 мм в лобовой до 94 мм в кормовой части.

Основным вооружением танка являлась мощная 130-мм танковая нарезная пушка С-70, разработанная на базе 130-мм морской корабельной пушки. Длина ствола составляла 57,2 калибра, а начальная скорость бронебойного снаряда массой 33,4 кг составляла 900 м/с. Пушка имела вертикальный

снаряда массой 33,4 кг составляла 900 м/с. Пушка имела вертикальный клиновой полуавтоматический затвор, позволивший увеличить скорострельность пушки до 6-8 выстрелов в минуту.
Система управления отнём при ведении стрельбы автоматически наводила пушку в соответствии с положением прицела. Боекомплект орудия составлял

30 выстрелов раздельно-гильзового заряжания с подкалиберными бронебойными и осколочно-фугасными снарядами, размещавшихся на полу боевого отделения и в надгусеничных нишах. Помимо пушки на ИС-7 находилось 8 пулемётов, из них два 14,5-мм КПВТ и 6 - 7,62-мм СГМТ. Один

из КПВТ и два СГМТ были установлены в маске пушки, второй КПВТ устанавливался на турели на крыше башни, из оставшихся четырёх СГМТ, два крепились по бортам кормовой части башни для стрельбы назад и два - по бортам корпуса на надгусеничных полках для стрельбы вперёд. Все пулемёты, кроме спаренных с пушкой, оборудовались дистанционным электроприводом



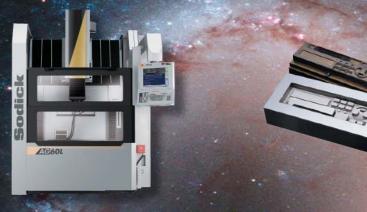


Итогом всех работ при отработке конструкции, вооружения, двигателей стало создание научно-технической и технологической базы для создания нового тяжёлого танка Т-10 (Т-10M), о котором пойдёт речь в следующем номере.

(Продолжение следует.)

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.



60 лет опыта производства ЭИ станков!



### **Smart Pulse & Smart Linear**

**ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ**ПРОВОЛОЧНО-ВЫРЕЗНЫЕ СТАНКИ

УЛУЧШЕННАЯ ШЕРОХОВАТОСТЬ

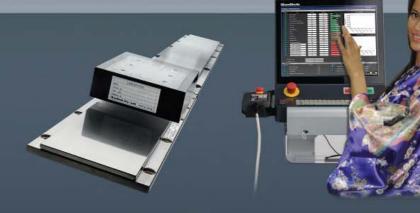




# ALC 600G







ЭИ станки с жесткими плоско-параллельными линейными приводами. 42 000 ЭИ линейных станков – с 1998 года.

Sodick

