

ОДИННАДЦАТЫЙ ГОДЪ ИЗДАНИЯ

1917



Двигатель

Научно-технический журнал № 3 (111 + 244) 2017

MAKS
2017

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЙ
САЛОН

**2017 год - 110 лет
со дня выхода
первого номера
журнала "Двигатель"**

ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИНЖЕНЕРА Н. КУРНЕЦОВА
Петрозаводск, Россия, 68.

ОТКРЫТА ПОДПИСКА

на 1917 год

на дружелюбный, популярный, научно-технический журнал

"ДВИГАТЕЛЬ"

№ 3 (111 + 244) 2017

ИЗДАТЕЛЬСТВО

В журнале "Двигатель" публикуются статьи по авиационно-космической тематике, а также материалы, посвященные истории авиации и космонавтики. Журнал является обязательным для чтения для всех специалистов в данной области.

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 инфор-
мации 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 эксперт-
ными советами ВАК по техническим наукам,
механике, машиностроению и машиноведению,
энергетическому, металлургическому,
транспортному, химическому, транспортно-
му, горному и строительному машиностроению,
авиационной и ракетно-космической
технике в числе журналов, в которых должны
быть опубликованы основные научные ре-
зультаты 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 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная.

Редакционный совет

Агульник А.Б., д.т.н.,

заведующий кафедрой "Теория воздушно-
реактивных двигателей" МАИ

Бабкин В.И., к.т.н.,

первый зам. ген. директора ГНЦ "ЦИАМ
им. П.И. Баранова"

Багдасарьян Н.Г., д.филос.н.,

профессор МГУ им. М.В. Ломоносова,
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Богуслаев В.А., д.т.н.,

Президент АО "МОТОР СИЧ"

Воронков Ю.С., к.т.н.,

зав. кафедрой История науки РГГУ

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 проектиро-
вания 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

Кухаренко 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-инновацион-
ного 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"



К 110-ЛЕТИЮ ЖУРНАЛА "ДВИГАТЕЛЬ"



СОДЕРЖАНИЕ

- 2 К 110-летию выхода первого номера журнала "Двигатель"**
А.И. Бажанов, Д.А. Боев
- 3 О центрах научной компетенции**
- 4 Продукция завода "ЮГОСТРОЙ" в небе и на земле**
Г. Валнер, Я. Шилганек, И. Сатыбалов
- 6 Увидеть невидимое**
А.М. Михайлов
- 10 "НИИД" - разработка технологий для новых материалов в двигателестроении**
В.А. Гейкин
- 12 Предварительные исследования процесса ультразвуковой дегазации авиационного керосина для повышения ресурса обогреваемых топливных каналов**
В.Е. Шлякотин, В.Н. Горбачёв, О.В. Соколова, Ю.М. Шихман, А.С. Бельков
- 16 Гидродинамика подшипников скольжения и критические частоты вращения роторов**
Ю.Б. Назаренко
- 20 Вклад генерального конструктора П.А. Соловьева в развитие авиации и авиадвигателестроения**
А.А. Иноземцев
- 28 Многомерные векторно-фазовые аттракторы гомеостаза состояний упругих систем**
А.А. Сперанский
- 33 Hermle Open House. Отраслевая встреча Hermle AG**
- 34 АССАД: применяя магию времени. (По заводским и ВУЗовским музеям техники)**
Д.А. Боев
- 37 На пути к великой мечте**
Е.В. Остапенко
- 38 Турбулентность. Базис-определяющие тензоры термогазодинамики**
Ю.М. Кочетков
- 40 Тридцать три года в ракетной технике: успехи, разногласия, конфликты**
В.Ф. Рахманин
- 48 Дореволюционные авиадвигатели в отечественных музеях**
Д.А. Соболев, М.Я. Стребков
- 54 "Олдтаймер-галерея" 2017 год**
А.И. Бажанов
- 58 Транспортно-ледокольное судно и ледокол нового типа**
В.Н. Щербakov
- 60 Морской НК-12 для амфибий: До востребования (из записок корабельного механика Семёнова)**
В.А. Герасимов
- 63 Къ подписчикамъ журнала "Двигатель" и "Технической математики". 1917 г.**
Н.И. Кузнецов
- 64 Танки от и до**
О.Н. Брилёв



К 110-летию выхода первого номера журнала "ДВИГАТЕЛЬ"

Уважаемые коллеги!

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

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

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

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

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

Всегда ваши, издатели журнала:

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

компр

высылаемый по пер
Заводуправлениям
Мастерских, Зав
и всеми им
производительных источниках
таго воздуха.

Т-ВО ЗАВОДА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МАШИИН
С.-ПЕТЕРБУРГЪ, 18 линіи, 27. (соств. дим.)

„БЛАГО“

высылается по пер-
вому требованию без-
возмездно всѣмъ
интересующимся.

О ЦЕНТРАХ НАУЧНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ

Взаимоотношения науки и производства во все времена и при всех укладах жизни было весьма неоднозначны. На самом деле, наука может заниматься только теми вопросами, к которым её подготовила практическая деятельность человечества, его реальный опыт. Мы бы сейчас с удовольствием исследовали фотонные двигатели и средства передвижения во времени, но ни одного практического свидетельства возможности существования таких объектов не имеем. С другой стороны, вся практика развивается лишь по тому пути, который ей осветит результат обдумывания имеющихся в распоряжении фактов и более или менее случайных открытий в той области, куда ещё не ступала нога производственника (анализа того, что мы имеем в данный момент времени и предположений о том - что можем с этим сделать). Так, для того, чтобы создать колесо, нужно было сначала придумать, сопоставив имеющиеся в наличии сведения и результаты наблюдений. Вот, в доколумбовой Америке круг - от солнечного круга - был объектом поклонения. И даже думать в сторону нагружения его грузом означало верх кощунства - и великие индейские империи не знали колеса.

Так что, вся наша практика базируется на своей системе получения и подготовки новых научных знаний к внедрению. Все вновь создаваемые образцы техники всегда строились на технологических возможностях существующего производства и общем уровне грамотности в стране. Но в разные времена эти процессы происходили и реализовывались по-разному.

Построение самого здания науки и в России, и в мире претерпевало в исторически обозримое время неоднократные изменения. Так, изначально, аксиомой выглядело, что учёный - это тот проводник новых знаний, у кого имеются ученики, ассистенты и научные изыскания. Иначе говоря, учёный был неотделим от им же, чаще всего, созданной школы.

Чуть позже в деятельности учёных на первый план вышла именно его научная работа. Школа и ученики отошли на задний план, а иногда даже и совсем не просматривались.

В России наука во многом определялась по цеховому принципу. Ею занимались там же, где занимались и производством, улучшая и развивая последнее. При этом стараясь сохранить от чужаков наработанное. К XIX, а особенно к XX веку научные учреждения во многом обособились от производственных, но принцип соблюдения тайны фирмы сохранился и даже стал более развитым.

Советская наука во многом продолжала традиции науки до-революционной. Поправки приходилось делать на оскудение базы пополнения учёных и исследователей вследствие прошедших войн, революций и массовой эмиграции. Уровень и количество специалистов уменьшился, но при этом общая грамотность в стране выросла. Иначе - перспективы выращивания новых кадров явно просматривались. И всё это при развале и отставании отечественной промышленности от мирового уровня. В то время, как наука и производство во всех передовых странах по окончании Первой Мировой войны сделали мощный рывок. Это определяло необходимость приобретения иностранных лицензий на новую технику и наличия специальных организаций, занимающихся внедрением новаций в отечественную промышленность. Это не могли быть ни учреждения академической науки, слабо связанные с технологиями производства, ни учебные институты, не обладающие в то время достаточным опытом практической работы на производстве и грамотным персоналом для этого.

Так появились отраслевые институты.

И это был естественный и оправданный в научном и эконо-

мическом плане ход развития событий. Отраслевые НИИ занимались осмыслением технического и технологического состояния своей отрасли промышленности, занимались текущими вопросами создания и эксплуатации производимой техники, а также, наработкой научного задела для техники вновь создаваемой. Вопросы разработки конкретных конструкций передоверили ОКБ, процессы в имеющемся производстве и методику изготовления - заводским КБ.

Но - видим, что сейчас эта система на глазах претерпевает коренные изменения. Об их сути идёт много споров, подчас высказываются полярные мнения. Редакции удалось узнать мнение на эту тему доктора технических наук, проректора МАИ по науке **Юрия Александровича Равикovichа**.

Он считает, что основа нормального функционирования всей этой логической стройности была в централизованном способе ведения хозяйства в стране. И как только промышленность России перестала жёстко распределять заказы на разработку новой техники, так сразу же встал резко вопрос финансирования отраслевых НИИ и заказов на их разработки. Они оказались удивительно переразмерены для той роли, которую им теперь приходится играть в процессе производства.

Мало того: ОКБ и даже заводские КБ предприятий, устоявшие в волнах реконструкции производства, начали обзаводиться собственными научными отделами. Кроме того, ВУЗы, которые ранее в основном готовили кадры: и для науки, и для промышленности, теперь сами стали более углублённо заниматься научными разработками по примеру зарубежных университетов, что в советское время не было для них первоочередной задачей. И оказалось, что уровень научных кадров в них зачастую не слабее, чем в отраслевых НИИ (к тому же ещё и обескровленных в плане ротации научных кадров многолетними неплатежами прошедшей Перестройки), всякого рода новации в научных отделах учебных ВУЗов отслеживают гораздо более оперативно, поскольку не завязаны на технологии существующего - а следовательно, постоянно отстающего от хода прогресса - производства, да они к тому же ещё и обладают достаточным количеством грамотного и мотивированного вспомогательного персонала (в лице своих же студентов и аспирантов).

Впрочем, в экономическом плане существующая система госзаказа на самом деле очень слабо изменилась с советских времён. И как раньше было принято считать, что конструкции - в ОКБ, технологии - на предприятиях, наука - в НИИ, а подготовка кадров - в ВУЗах, так и до сих пор такое мнение доминирует в управленческих сферах страны. И что бы ни говорилось руководством страны по использованию научного потенциала ВУЗов, организация (и, прежде всего, финансирование) производственной системы идёт по этой схеме.

И всё же эта мысль, похоже, овладела умами руководства страны. Вот отрывок из речи В.В. Путина на Питерском экономическом форуме 2017 года: *"На базе наших ведущих ВУЗов намерены начать формирование инновационных научно-технологических центров. Здесь на одной территории будут сосредоточены и образование, и технологическая база, и высокопроизводительные венчурные компании. Все они будут тесно интегрированы между собой."*

Это не новомодное изобретение. Практически, весь мир уже идёт по этому пути. Может быть, сумеем ещё увидеть, когда понимание необходимости использовать научный капитал и практические возможности учебных заведений придёт и в финансовые органы, и в планирование хозяйства России. **П**



ПРОДУКЦИЯ ЗАВОДА "ЮГОСТРОЙ"

В НЕБЕ И НА ЗЕМЛЕ

Топливная авиационная аппаратура и авиационная гидравлика из Чешской Республики

Гинек Валнер, заместитель директора компании "Югострой"
Яромир Шилганек, ведущий специалист компании "Югострой"

Более 90 лет компания "Югострой" (Jihostroj) разрабатывает и выпускает топливную авиационную аппаратуру и автомобильную гидравлику! Завод находится в Южной Чехии вблизи автомобильной магистрали М55 Прага - Линц (Австрия). За это время накоплен большой конструкторский и технологический опыт, сформировались традиции добиваться высокого качества изделий, а для партнеров и заказчиков предоставлять превосходные условия сотрудничества.

Несмотря на серьезные изменения в мире, коллектив компании "Югострой" сохраняет свое собственное лицо и независимость. Еще в 50-е годы 20 века завод выпускал топливные насосы для поршневых двигателей АШ-82Т и освоил выпуск регулятора подачи топлива двигателя для МиГ-15.

В 1959 году было организовано собственное конструкторское бюро (ОКБ) для разработки системы регулирования двигателя М701 самолета L-29 "Дельфин". Много лет эта система находилась в серийном производстве. В тот же период был разработан топливный насос поршневых 4-х и 6-ти цилиндровых двигателей Вальтер-минор, выпускавшихся в Праге.

В 1965-70 годы проведена модернизация топливной аппаратуры двигателей Аи-25 для самолета L-39 "Альбатрос". В тоже время была проведена реконструкция топливо-маслянной системы ВСУ Saphir в составе того же самолета.

В 1971-75 годы ОКБ разрабатывало собственную конструкцию агрегатов систем у топливного регулирования двигателей М601, устанавливаемых на самолеты L-410, серийное производство которых восстановлено благодаря инвестициям из России. Сейчас этот двигатель выпускается в Праге компанией GE (США) под наименованием H-80. Кроме того, в России двигатели М-601 установлены на самолетах Орлик, Гжель, Турбо Финист, Рысачек, экраноплан Орион-20. В 1977-80 гг. фирмой "Югострой" разработана экспериментальная система регулирования с полностью электронной системой управления, которая была функционально протестирована на двигателе М601.



Фото L-59 с агрегатами разработки "Югострой" на двигателе ДВ-2

В 1981-1990 гг. на основе межправительственных соглашений был разработан двигатель DV-2 для самолета L-59. Двигатель был создан Совместно с запорожским КБ "Прогресс". Комплект системы регулирования, состоящий из гидравлической части (насос, топливный регулятор, гидроцилиндр системы управления компрессором), цифрового электронного блока управления и датчиков параметров двигателя был разработан ОКБ фирмы "Югострой". Серийное производство системы управления и регулирования, а также

гидравлических агрегатов обеспечивала фирма "Югострой".

В рамках этой программы "Югострой" разработал прототип гидравлического регулятора системы FADEC турбовинтового двигателя М602 для самолета L610.

В результате политических изменений в странах СЭВ в 90-е годы предприятие потеряло большую часть заказов и было вынуждено пойти на сокращения и, в тоже время, искать новые заказы и рынки сбыта.

В 1995-96 гг. была проведена реорганизация и реструктуризация фирмы, в результате чего она была преобразована в акционерное общество. Наибольшее влияние на дальнейшее развитие компании имел тот факт, что 100 % акций остались в собственности чешских юридических и физических лиц.

При подготовке плана стратегического развития компании было решено сохранить и развить конструкторское бюро в качестве ядра перспективного роста фирмы. Была поставлена задача сотрудничества с передовыми зарубежными фирмами и развития кооперации в производстве деталей, узлов и агрегатов. Для успешного воплощения планов потребовалось освоить новые технологические процессы, современную организацию производства, использовать собственные и международные стандарты.

Эти планы были успешно реализованы!

АО "Югострой" систематически и на долговременной основе инвестирует серьезные средства в новые технологии и модернизацию. Механическая обработка на станках с ЧПУ, термообработка, гальванические покрытия, окраска, контроль качества, сборка и испытания - это основные направления совершенствования производства.

Компания "Югострой" обладает сертификатами соответствия по ISO 9001 и ISO14000. Наличие сертификатов соответствия AS9100 PART 21 Standart, EASA PART 145 позволяют осуществлять производство авиатехники. Производственные процессы проверены и одобрены NADCAP.

"Югострой" в настоящее время - стабильная прогрессивная фирма, которая имеет перспективные программы по производству авиационной техники. Основная часть этой продукции сконструирована нашим ОКБ.

Основой производственной программы является производство агрегатов регулирования турбовинтового двигателя H80 и ремонта М601. Кроме этого разработаны и выпускаются агрегаты топливо-маслянной системы ВСУ типа Saphir, которые поставляет на фирму PBS Velka Bites (Чешская Республика).

Знаковым продуктом фирмы являются регуляторы винта собственной разработки для поршневых авиадвигателей Rotax, Continental и других в сочетании с винтами Hartzell, McCaulley, Hofman Propellers, MT-Propellers, Woodcomp. Регуляторы винта используются на десятках типов самолетов, например, российских Су-26, Су-29, Бе-103, а также беспилотниках (БПЛА). К настоящему времени поставлено более 7000 экземпляров разных версий регулятора. Подробная информация - на сайте www.Propellergovernar.com.

"Югострой" разрабатывает комплекты агрегатов топливной системы для нового самолета L410NG фирмы Aircraft Industry





Самолёт L410 NG с H80

(собственником 51% акций этой фирмы является УГМК - Уральский горно-металлургический комбинат). Все агрегаты имеют высокие технические характеристики и сертифицированы по EASA в составе самолета. Отдельные агрегаты могут быть использованы для модернизации существующих и для проектируемых самолетов с поршневыми, турбовинтовыми и реактивными двигателями. "Югострой" может выполнять модернизацию по требованиям заказчика.

В соответствии с технической спецификацией фирмы Samsung Aerospace компания разработала системы управления для двух типов ВСУ, которые были протестированы и находятся в серийном производстве.

"Югострой" сотрудничает с фирмой Microturbo (Франция), для которой была спроектирована и изготовлена современная система управления ВСУ. Сейчас она передана в серийное производство.

Для фирмы Honeywell Aerospace "Югострой" разработал три типа топливных насосов для ПТД и начал их серийное производство.

ОКБ фирмы "Югострой" также работает над техническими проблемами международных программ CESAR, ESPOSA и др.

Автомобильная гидравлика из Чешской Республики

Ибадулла Сатыбалов, вице-президент компании "Югострой" по Восточной Европе

За семилетний опыт сотрудничества с российскими машиностроительными предприятиями РФ и стран СНГ бренд Jihostroj стал не просто известен, а, главным образом, заработал репутацию производителя высококачественной гидравлики, включая шестеренные насосы и моторы. Мы реально гордимся своей миссией! Благодаря технологиям "Югостроя" российские машиностроители востребованы на мировом рынке. На сегодняшний день в число партнеров Jihostroj в РФ и СНГ входят такие гиганты российского промышленного производства как КАМАЗ и МАЗ - производители автомобильной техники. Гидравлика JSV применяется на самосвалах и отвечает за поднятие кузова. Комбайновый завод "Ростсельмаш" - производитель сельскохозяйственной техники. РСМ применяет большую линейку насосов и моторов JSV, например серии T3, UD. Концерн БелАЗ - производитель карьерной техники - использует чугунные насосы QHD2 и QHD0. Завод "Промтрактор" - производитель тяжелой дорожно-строительной техники, в большей степени используют чугунные насосы QHD2 различной кубатуры от 51 см³ до 150 см³. Рязский авторемонтный завод и "Смоленские машины" - производители коммунальной техники - на своих машинах используют насосы-танделы и моторы Jihostroj. Танделы отвечают за работу манипулятора и пресса на мусоровозе, а моторы на КДМ используются на пескоразбрасывателях. Научно-произво-



дственная компания УРАЛНЕФТЬСЕРВИС - нефтяная промышленность, производитель специального промышленного оборудования и маслостанций используют моторы серии GHDM2. Сердце любой гидростанции - это гидронасос. Например, в гидростанциях компании ООО "ФлайдТех" используются шестеренный насос серии Q2 и насос серии T3 производства Jihostroj. Данные насосы погружены в бак гидростанций. Так как гидростанции часто работа-



ют в режиме круглосуточной работы, гидравлика JSV выдерживает постоянные нагрузки даже в экстремальных условиях. Такие показатели достигаются за счет высокого уровня КПД, который равен 0,95-0,97. Так же отличительной чертой насосов JSV является работа с минимальными пульсациями и при номинальном (рабочем) давлении до 300 бар. Востребованность на российском рынке обусловлена



наилучшим соотношением "цена - качество". Мы предлагаем нашим партнерам высококачественные шестеренные насосы и моторы по ценам ниже любого другого европейского производителя! В России по продаже продукции Jihostroj была создана широкая дилерская сеть, которую наладило Генеральное представительство завода "Jihostroj a.s." в Восточной Европе. Число дилеров уже сейчас насчитывает десятки городов и компаний. Гидравлика Jihostroj позволяет нашим дилерам быть успешными в построении своего бизнеса, а главное, помогает создать репутацию компании, поставляющей высококачественные, надежные насосы и моторы. Ежегодная статистика показывает, что год за годом продажи гидравлики JSV увеличиваются, а рынок РФ и СНГ всё больше доверяет высококачественному продукту Jihostroj. Выбирая JSV, вы получаете надежного партнера, способного предложить вам уникальные решения для вашего бизнеса



<http://www.jihostroj.com/>

УВИДЕТЬ НЕВИДИМОЕ

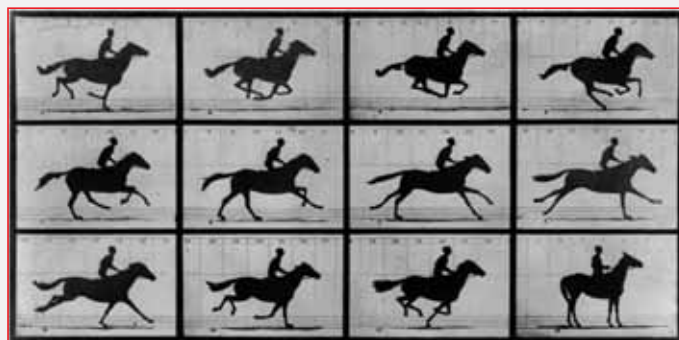
Артём Михайлович Михайлов,

директор по развитию Научно-исследовательского центра "Промышленная оптика", Москва

Как известно, человеческий глаз способен воспринимать движущиеся изображения лишь в определенном диапазоне скоростей. При этом способность нашего мозга обрабатывать поступающую по зрительным нервам информацию еще более ограничена. Так, например, уже при смене изображений со скоростью 16 кадров в секунду отдельные картинки начинают сливаться в нашем восприятии в движущееся изображение. Чем больше частота кадров, тем более плавным и естественным будет казаться движение. В звуковом кинематографе частота съемки и проекции стандартизирована с 1932 года и составляет 24 кадра в секунду. Системы телевидения PAL и SECAM используют 25 кадров в секунду (25 fps или 25 Гц), а система NTSC использует 30 кадров в секунду (точнее, 29,97 fps из-за необходимости кратного соответствия частоте поднесущей). Компьютерное видео хорошего качества, как правило, использует частоту 30 кадров в секунду. Верхняя пороговая частота мерцания, воспринимаемая человеческим мозгом, в среднем составляет 39...42 Гц и индивидуальна для каждого человека.

В окружающем нас мире многие процессы и события происходят за пределами возможности человеческого визуального восприятия, и, чтобы их наблюдать и исследовать, человек придумал различные способы и устройства наблюдения как за очень медленными, так и за очень быстрыми процессами и событиями. Одним из широко используемых инструментов изучения быстротекущих процессов и событий являются скоростные и высокоскоростные

общем и движения животных в частности, вопросами его фиксации и отображения. В своих исследованиях он пришел к экспериментам с пофазовым фотографированием бега коней, которые проводились в 1872-1878 годах. Это стало первым успешным опытом хронофотографии - прототипом того, что спустя двадцать лет братья Люмьер назовут кинематографом. Оригинальная идея Эдварда Майбриджа нашла своё применение в спорте: с помощью фотофиниша и сейчас определяют победителя скачек.



Опыты покадровой съемки Эдварда Майбриджа

После появления цифровых фотографии и видеозаписи большинство технологий скоростной съемки, основанных на кинематографических процессах, устарели, поскольку электронные устройства не содержат никаких движущихся частей, ограничивающих быстрдействие. ПЗС-матрицы позволяют регистрировать быстротекущие процессы с частотой до 1000 кадров в секунду. Появление КМОП-матриц стало примером подрывной инновации, позволив снимать миллионы кадров в секунду и полностью заменить киноплёнку. Достигнутый в 2011 году уровень быстрдействия в 0,58 триллиона кадров в секунду позволяет зафиксировать перемещение светового фронта импульсного лазера.

При этом очевидно, количество регистрируемой камерой видеoinформации в единицу времени возрастает в десятки и сотни раз. Это влечет за собой необходимость использования в видеокамерах высокоскоростного интерфейса передачи данных и памяти высокой производительности. Другой серьезной задачей, с которой приходится сталкиваться при записи высокоскоростного видео, является очень малое количество света, которое приходится на экспозицию одного кадра. Для этого в видеокамерах применяются высокочувствительные и маломощные матрицы и часто при видеосъемке дополнительно используются специальные мощные и немерцающие источники света.

На протяжении десятилетий традиционными лидерами в области разработки и серийного производства видеокамер для высокоскоростной съемки являются компании из США и Японии. Однако определенная работа в этом направлении велась и в нашей стране. После нескольких лет изучения зарубежного опыта, разработки, тщательного отбора компонентов и многочисленных тестов команда энтузиастов создала и вывела на российский ры-



Кадр из высокоскоростной съемки испытания атомной бомбы

ные видеокамеры с частотой съемки от 200 до 10 000 000 и выше кадров в секунду. Ускоренная съемка позволяет при последующем просмотре и записи замедлить движение на экране до привычного для восприятия человека вплоть до каждого отдельного стоп-кадра и рассмотреть его во всех подробностях. В отличие от ускоренной съемки, используемой, главным образом, в научно-популярном и художественном кинематографе, а также в спортивном телевидении, скоростная и высокоскоростная запись изображения применяются для исследования быстротекущих процессов в науке и технике.

Первые опыты с хронофотографией, ставшей прообразом кинематографа, проводились с теми же целями, позволяя изучать явления, недоступные человеческому восприятию. Наиболее известным примером таких исследований являются опыты Эдварда Майбриджа (Eadward J. Muybridge) по фиксации фаз лошадиного галопа, позволившие определить момент отрыва от земли всех четырех ног. Эдвард Майбридж занимался изучением движения в

нок линейку отечественных высокоскоростных камер Evercam. Являясь полностью российской разработкой и, что немаловажно, произведенной в России, высокоскоростные камеры Evercam обладают преимуществом перед зарубежными аналогами как в техническом плане, гарантийном и постгарантийном сервисе, так и существенным преимуществом по цене. Что, в свою очередь, позволяет видеть в этом один из наиболее удачных примеров тренда последних лет на замещение импортной продукции.

Научно-исследовательский центр "Промышленная оптика" (Москва) совместно с компанией "Дженерал Оптикс" (Санкт-Петербург) является на данный момент единственным отечественным разработчиком и серийным производителем высокоскоростных камер, которые позволяют снимать со скоростью до 4000 кадров в секунду при разрешении 1280 x 800 пиксел, и до 85 000 кадров в секунду при уменьшенном разрешении. Пользователям в России так же доступна Full HD версия камеры EVERCAM с разрешением сенсора 1920 x 1080 пиксел и скоростью съемки при этом разрешении - 2800 кадров в секунду. Достоинством видеокамер EVERCAM является высокая чувствительность сенсора, превосходное качество изображения, возможность расширения памяти до 128 Гб.

Благодаря малым габаритам и массе (100 x 90 x 100 мм, 1000 г) камеры являются универсальным инструментом для выполнения широкого спектра задач, таких как лабораторные исследования, промышленные испытания, военное производство и т.д.

Высокоскоростная съемка для научно-исследовательских задач

В настоящее время множество разнообразных научных исследований связано с необходимостью регистрации быстропротекающих процессов. К таким процессам относятся горение, взрывы, распространение излучения, химические реакции, механические испытания, диффузия и многое другое. Поэтому скоростные видеокамеры (от 200 до 200 000 к/с) давно и с успехом применяются учеными и инженерами в различных областях: аэро- и гидродинамике, физике плазмы, спектроскопии, микроскопии, теплофизики, станкостроении и пр.

Большинство подобных исследований связано с качественным анализом исследуемого процесса. Целью при этом, как правило, является детальное исследование определенной стадии его протекания, выявление ранее неизвестных особенностей, обнаружение новых эффектов. Классическими примерами таких процессов являются процессы горения, смещения и диффузии веществ, динамические испытания сложных конструкций и механизмов. При решении таких задач на первый план выходит необходимость выбора оптимальных параметров оптико-электронной системы для скоростной съемки: чувствительности, разрешения и частоты кадров видеокамеры, параметров объектива, расстояния до объекта и др. Так, например, при проведении динамических и механических испытаний, как правило, достаточно частоты кадров 500...1000 Гц, при исследовании химических реакции, в частности, процессов горения - до 50 000 Гц, а при анализе плазмы и распространения излучения - 200 000 Гц и даже более.

Помимо высокоскоростной съемки с целью качественного анализа различных процессов, научные исследования зачастую сопряжены с необходимостью проведения измерений различных кинематических параметров. Такими параметрами являются из-

мерение двумерных (в случае съемки одной камерой) или трехмерных (в случае стереосъемки) координат, скоростей, ускорений, положения центров тяжести и пр. Подобные измерения, как правило, необходимы при проведении баллистических испытаний (определение траектории полета снаряда), биомеханических и медицинских исследованиях (функциональная диагностика позвоночника и конечностей, анализ походки), исследовании потоков (вычисление количества и классификация частиц). При решении данных задач, помимо выбора видеокамеры, важными также являются вопросы калибровки системы регистрации и цифровой обработки изображений.

Очевидно, что не существует универсальной системы технического зрения, позволяющей решать все указанные выше научные задачи. Многолетний опыт применения скоростной видеосъемки позволил к настоящему времени разработать скоростные видеокамеры, параметры которых оптимизированы для решения задач конкретного класса.

Высокоскоростная съемка для авиации и космонавтики

Высокоскоростная камера необходима для визуализации сверхбыстрых процессов при испытаниях или проведении научных исследований. Этапы быстропротекающих процессов для человеческого глаза неразличимы. Для их видеосъемки необходимы специальные промышленные видеокамеры, системы машинного зрения. Такие устройства способны зафиксировать мельчайшие изменения в окружающем пространстве и точно передать их.

Камера для скоростной видеосъемки также позволяет:

- точно отслеживать движение объекта, в т.ч. угловое и линейное перемещение;
- измерять его размеры, расстояние между предметами;
- контролировать изменение координат в пространстве;
- определять ускорение и скорость движения с максимальной точностью.

Для решения таких задач системы калибруются по известным размерам объектов, находящихся в поле зрения видеокамеры. Для настройки приборов также можно использовать специальные калибровочные мишени.

С помощью современного оборудования можно с легкостью визуализировать этапы разрушения и трансформации, своими глазами оценить влияние вибрации или температуры на объект. Промышленные видеокамеры для скоростной видеосъемки - незаменимое оборудование для технологов, инженеров, конструкторов и разработчиков. Визуализация быстропротекающих процессов поможет точнее определить критические точки и внести соответствующие усовершенствования в проект.

Высокоскоростная камера для авиации и космонавтики может использоваться при проведении следующих испытаний:

- высокоскоростная съемка испытаний авиационных двигателей на обрыв лопатки;
- испытание кабины и двигателей летательного аппарата на птичестойкость;
- измерение скорости потока в турбинах методом PIV.



Проведение высокоскоростной съемки при исследовании лазера



Кадр высокоскоростной съемки работы ЖРД

Высокоскоростная съемка для оборонной промышленности и испытательных полигонов

В области военных разработок камеры предоставляют уникальную возможность разобраться, наконец, с рядом неразрешимых ранее конструкционных, технологических и иных проблем. В настоящее время эти камеры успешно используются для видеонализа ударной волны, изменений траектории, столкновений быстро движущихся объектов, диагностики и проектирования высокоскоростных машин.

Области применения в оборонной промышленности:

- испытание на удар;
- аэродинамическая труба;
- баллистика и детонации;
- полевые исследования;
- обнаружение объектов.

Производители огнестрельного оружия могут лучше понимать огневые процессы, происходящие в момент выстрела, что позволяет им совершенствовать свою продукцию.

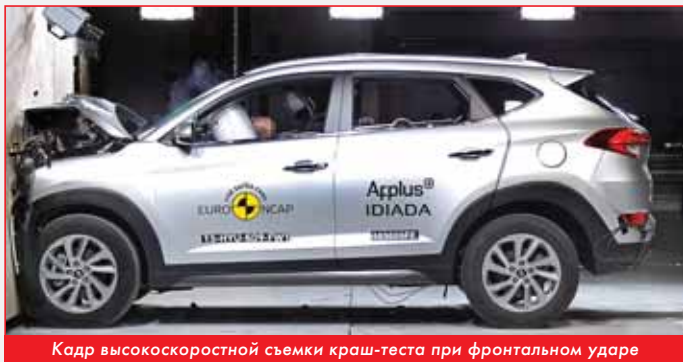


Кадр высокоскоростной съемки вылета пули из ствола

Высокоскоростная съемка для автомобильной промышленности

Еще несколько десятков лет назад ведущие фирмы разбивали машины. Так, в 1935-м с 30-метрового уступа сбросили "Ситроен-СV", с удовлетворением отметив, что автомобиль после приземления "пригоден для дальнейшего движения, если бы не потеря капота". В 50-х получила развитие программа краш-тестов "Мерседеса" под руководством Бельи Бареньи - ныне его называют отцом пассивной безопасности. Серьезно занимались ударами в Штатах. Со временем на смену единичным тестам пришли масштабные программы, лабораторные испытания приблизились к реальным условиям.

В 1978 г. департамент по транспорту США ввел программу по испытанию новых автомобилей, известную всем как краш-тесты. Спустя 10 лет это сделала Австралия и Япония. В 1995 году была учреждена знаменитая программа Euro NCAP, а первые тесты проведены в 1997 г. Программу Euro NCAP проводят в жизнь несколько организаций-учредителей, в числе которых Международная автомобильная федерация (FIA), германский клуб АДАЦ (ADAC) и другие. Ту же методику использует в австралийской программе ANCAP группа NRMA, ведущая, в том числе страховой бизнес.



Кадр высокоскоростной съемки краш-теста при фронтальном ударе

В настоящее время краш-тесты (на фронтальный, боковой удары и столкновение с пешеходами и др.) являются обязательным требованием к выпуску автомобилей ведущих мировых брендов, таких как Mercedes, Renault, Ford, Nissan, Citroen и др. и проводятся они, как правило, с использованием съемки несколькими высокоскоростными видеокамерами.

Россия, присоединившись к Женевскому соглашению, взяла на себя обязательство испытывать автомобили по Правилам ЕЭК ООН. С 2003 года при сертификации новых моделей обязательными являются фронтальный и боковые удары по Правилам 94 и 95.

Высокоскоростная съемка для настройки и диагностики скоростных производственных линий

В производстве часто используются скоростные промышленные линии, по которым движутся объекты, использующиеся на разных стадиях обработки и сборки. При возникновении сбоев или при выходе брака приходится останавливать линии и искать причины возникших проблем. Для непрерывной диагностики и контроля работы оборудования такого типа часто используются системы на основе скоростных видеокамер.

При изучении работы отдельных узлов оборудования часто оказывается, что в разных местах одной промышленной линии условия съемки сильно отличаются, поэтому необходимо планировать набор схем работы и требуемых аксессуаров применительно к каждому месту установки промышленной скоростной камеры.

Высокоскоростная съемка для спорта и медицины

Высокоскоростные камеры Evercam используются для решения следующих задач в спортивной области:

- для анализа спортивных элементов, трюков и т.п.;
- для объяснения спортсменам техники выполнения сложнейших действий;
- для проработки малейших неточностей и допущенных технических ошибок;
- для оценки судьями спорных моментов на соревнованиях, не заметных при обычном повторе;
- для изучения биомеханики спортивной деятельности.



Наложение кадров высокоскоростной съемки выступления на перекладине

Высокоскоростная съемка для ТВ и киноиндустрии

Высокоскоростная кино- и видеосъемка, технологии которой разрабатывались прежде всего в интересах науки, сегодня также активно используется в киноиндустрии. Несмотря на то, что с помощью программ 3D-моделирования можно нарисовать практически все что угодно, начиная от полета пули и кончая ядерным взрывом, некоторые режиссеры стараются вставить в свои фильмы фрагменты настоящих съемок быстротекущих событий - этим достигается недоступная компьютерной графике реалистичность.

Таким образом, развитие технологий высокоскоростной съемки позволило существенно расширить сферы ее применения, получить уникальные кадры, измерить и проанализировать параметры движения, и, в конечном счете, улучшить конструкцию изделий, повысить их безопасность или проверить ряд научных теорий. Становясь, с одной стороны, более экономически целесообразными, а с другой стороны более функционально и технически оснащенными, высокоскоростные камеры постепенно становятся неотъемлемым инструментом наблюдения и контроля быстротекущих процессов практически любой серьезной организации или предприятия в области изучения, разработки, создания или эксплуатации сложных устройств и систем. Что дает нам реальную возможность раздвигать горизонты видимого человеком мира. **П**

Высокоскоростные камеры **EVERCAM**

**MADE IN
RUSSIA**

Теперь и в FULL HD качестве!

**Full HD
1080**



- Разрешение: до 1920 x 1080 пиксел
- Вес: не более 1 кг
- Скорость съемки: до 85 000 кадров в секунду
- Размеры: 100x90x100 мм
- Встроенная память: до 128 Гб
- Производство: Россия



EVERCAM
High speed technologies

Москва: +7 (495) 215-11-53
Санкт-Петербург: +7 (812) 748-25-77

msk@evercam.ru
spb@evercam.ru

www.evercam.ru

"НИИД" - РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Валерий Александрович Гейкин, Заместитель генерального директора - Руководитель приоритетного технологического направления "Технологии двигателестроения" АО "ОДК", Директор филиала "НИИД" АО "НПЦ газотурбостроения "Салют", доктор технических наук, профессор

В АО "НПЦ газотурбостроения "Салют" специалистами "Научно-исследовательского института технологии и организации производства двигателей" (филиал "НИИД") проведено исследование технологических свойств новых материалов для перспективного двигателя и изготовлен опытный образец сварного ротора из жаропрочного никелевого сплава, а также крупногабаритная деталь внутреннего корпуса КВД из титанового интерметаллидного сплава.

Создание двигателя нового поколения невозможно без решения принципиально новых конструкторских, технологических и материаловедческих задач. Причем взаимосвязь этих направлений настолько глубока, что в настоящее время уже почти невозможно установить четкую границу приоритетов и важности того или иного конструкторского решения, возможности конкретной новой технологии и свойств новых конструкционных материалов. При этом все указанные направления создания нового двигателя решают главную задачу - минимизацию массы отдельных узлов и всего ГТД при заданном их ресурсе и надежности.

Конструкция компрессора высокого давления (КВД) перспективного двигателя (ПД) должна работать при более высоких температурах на входе, масса узла должна быть меньше массы КВД двигателя предыдущего поколения при значительно увеличенном ресурсе.

В 2014 году на АО "НПЦ газотурбостроения "Салют" были начаты работы по изготовлению опытных образцов деталей и сварных узлов для конструкции перспективного двигателя. Исследовались технологические свойства новых сплавов, разработанных ФГУП "ВИАМ", применительно к конструкции КВД двигателя 5-го поколения. Важную роль в решении этих задач сыграли специалисты "Научно-исследовательского института технологии и организации производства двигателей" (филиал "НИИД").

За короткое время было решено много организационно-технических вопросов, начиная от технологии изготовления слитков новых сплавов, их последующей термической и механической обработки и заканчивая вопросами контроля качества материала изготовленных деталей, а также обеспечения их заданных геометрических размеров. Металлургическое обеспечение выполнения данной НИР проводили АО "МЗ" Электросталь" (Московская обл.), титановое производство ПАО "Чепецкий механический завод" (Глазов, Удмуртия) и ПАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА" (Верхняя Салда, Свердловская обл.) под руководством ФГУП "ВИАМ".

Новый титановый сплав, из которого были изготовлены рабочие колеса первых ступеней КВД, является псевдо- α -сплавом. Данный сплав по плотности соответствует плотности основных конструкционных титановых сплавов, а по характеристикам длительной прочности и малоциклового усталости значительно превосходит существующие дисковые сплавы BT18Y, BT8-1 и BT25Y. Основными преимуществами нового титанового сплава является его высокая рабочая температура (до 600 °С), которая значительно выше чем у других сплавов, а удачно подобранный химический состав позволяет изготавливать из него рабочие колеса близкой конструкции.

Зарубежными аналогами нового титанового сплава являются сплав IMI 834 (Великобритания) и Ti1100 (США). Эти сплавы также имеют рабочую температуру до 600 °С. Сплав IMI 834 ис-

пользован в первых ступенях КВД двигателя Trent 800 (Rolls-Royce), а сплав Ti1100 применен в конструкции КВД двигателя GE90 (General Electric). Новый титановый сплав значительно превосходит сплав IMI 834, имея квоты превосходства по разным показателям от 3,5 до 33 %. Особенно значимо преимущество по малоциклового усталости, которое достигает 13,5 %.

На кольцевых образцах из нового титанового сплава была отработана технология электронно-лучевой сварки (ЭЛС). Определены параметры режима ЭЛС, обеспечивающие получение бездефектного сварного соединения. Разработанный режим термической обработки обеспечивает механические свойства сварного шва, близкие к свойствам основного материала. Уровень остаточных напряжений в околосварной зоне после термообработки имел низкие значения, соответствующие техническим условиям. Полученные результаты предварительных исследований были успешно реализованы при ЭЛС рабочих колес первых ступеней КВД.

Последние ступени КВД и вал были изготовлены из нового жаропрочного сплава на никелевой основе. Применение этого сплава позволило получить полностью сварную конструкцию ротора, что было сделано впервые в практике отечественного авиационного моторостроения. Вообще проблеме создания сварного ротора более 40 лет. Различными организациями и институтами разрабатывались схемы сварного соединения дисков из жаропрочных никелевых сплавов. По объективным причинам эти исследования заканчивались неудачей. Выход был найден тогда, когда было принято решение по изготовлению дисков из заведомо свариваемого никелевого сплава, который одновременно удовлетворял бы всем требованиям по прочности. Такой сплав был разработан в ФГУП "ВИАМ", и он является на сегодняшний день самым жаропрочным свариваемым никелевым сплавом. Аналогами нового сплава являются отечественные сплавы на никелевой основе ЭП708, ЭП718 и Inconel 718 (США). Квоты превосходства нового сплава по длительной прочности по сравнению с этими сплавами достигают 30 %, при этом рабочая температура сплава выше на 50 °С.

Так же как и в случае с новым титановым сплавом, специалистами "НИИД" были проведены работы по подбору режима электронно-лучевой сварки нового свариваемого жаропрочного никелевого сплава. Были исследованы различные схемы тер-



Рабочие лопатки КВД из нового титанового интерметаллидного сплава

мической обработки и после сравнительных испытаний образцов выбрана оптимальная.

Создание сварной конструкции ротора КВД позволит увеличить его жесткость, что, в свою очередь, значительно повысит ресурс ротора КВД и всего двигателя. Одновременно отказ от болтовой схемы соединения дисков снизит массу конструкции.

В выполненной работе впервые были изготовлены крупногабаритные детали из титановых интерметаллидных сплавов на основе орто-фазы Ti_2NbAl (внутренний корпус КВД) и опытная партия рабочих лопаток пятой ступени КВД. Титановые интерметаллидные сплавы с плотностью 5100 кг/м^3 должны заменить никелевый сплав ЭП708 (плотность 8550 кг/м^3), а сплавы с плотностью 5280 кг/м^3 предназначены для замены лопаточного сплава ЭП718 (плотность 8290 кг/м^3).

Кроме России, титановые сплавы на основе орто-фазы Ti_2NbAl и технологию изготовления деталей из них освоили четыре страны. Это США (сплав 22-23), Китай (сплав 22-20-3), Япония (сплав 22-20-2) и Франция (сплав 22-25-2-0.5). Сплавы, разработанные ВИАМ, находятся на уровне зарубежных аналогов.

Обладая высокими значениями удельной прочности, титановые интерметаллидные сплавы, вследствие недостаточной технологической пластичности требуют тщательной отработки технологических параметров типаковки, термообработки и последующей механической обработки.

Замена жаропрочных сплавов на основе титана, никеля и железа на алюминиды титана (Ti_3Al , $TiAl$, Ti_2NbAl) позволит сни-



Внутренний корпус КВД из нового титанового интерметаллидного сплава

зить массу для статорных деталей на 20...40 %, а для роторных в дополнение к этому уменьшить нагрузки от инерционных сил, следствием чего будет повышение мощности, экономичности и ресурса двигателя. Применение интерметаллидов титана даст возможность повысить на 100...200 °С рабочие температуры деталей по сравнению с деталями, изготовленными из титановых конструкционных сплавов. Важным преимуществом для авиационного моторостроения является пожаробезопасность титановых интерметаллидных сплавов по сравнению с жаропрочными титановыми сплавами.

Опыта изготовления деталей из титановых интерметаллидных сплавов до начала проведения НИР не было. Проведенные исследования позволили оценить технологические свойства новых материалов, которые оказались удовлетворительными и показали их перспективность. В качестве примера следует отметить тот факт, что титановые интерметаллиды, имея низкую пластичность (относительное удлинение не выше 1,5 %), не имели технологического растрескивания и других поверхностных дефектов в процессе технологической обработки различными методами рабочих лопаток и корпуса КВД благодаря подобраным оптимальным режимам обработки

и соответствующего режущего инструмента.

Специалисты "НИИД" внесли, таким образом, значительный вклад в решение проблемы создания научных и технологических основ изготовления деталей и сварных узлов из новейших материалов в конструкции перспективных двигателей. ■



Сварная конструкция рабочих колес КВД из нового титанового жаропрочного сплава

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕГАЗАЦИИ АВИАЦИОННОГО КЕРОСИНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ОБОГРЕВАЕМЫХ ТОПЛИВНЫХ КАНАЛОВ



Шлякотин Владимир Ефимович, начальник сектора
Горбачев Владимир Николаевич, ведущий инженер,
Соколова Ольга Викторовна, ведущий инженер,
Шихман Юрий Моисеевич, старший научный сотрудник,
Бельков Александр Сергеевич, начальник стенда
 ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

Введена универсальная функция, описывающая процессы насыщения – нормальная функция насыщения, которая может быть использована в различных областях, в том числе для описания неравновесных процессов в ракетных двигателях.

С помощью этой функции доказана H-теорема Больцмана и определено понятие энтропии как дисперсии функции распределения.

An universal function describing the saturation processes was found. It is called a normal saturation function and can be used in various fields, including for describing nonequilibrium processes in rocket engines.

With the help of this function, the Boltzmann H-theorem is proved and entropy concept is defined as a dispersion of the distribution function.

Ключевые слова: турбулентность, насыщение, константа Больцмана, энтропия.

Проблема создания эффективного высокоскоростного ВРД с высоким уровнем параметров цикла и теплонапряженности заключается в эффективном охлаждении рабочего тела (воздуха) и элементов конструкции. С повышением скорости полета хладоресурса воздуха становится недостаточно, в этом случае необходимо использовать хладоресурс топлива – единственного хладагента на борту. С другой стороны, с ростом общей теплонапряженности конструкции силовой установки (СУ) актуальны требования к повышению ресурса топливоподающих систем и систем впрыска, располагающихся в области повышенных температур (например, трубопроводы и форсунки, находящиеся в непосредственной близости от КС).

Наиболее реалистичным для высокоскоростных ЛА малого и среднего взлетного веса являются СУ работающие на углеводородном топливе (авиационном керосине) с использованием существующей топливной базы и аэродромной инфраструктуры.

Особенностью применения в качестве хладагентов авиационных керосинов в системах охлаждения (СО), теплообменных аппаратах (ТА) и обогреваемых трубопроводах является коксообразование с коксоотложением на поверхностях нагрева в области температур топлив, превышающих пределы их термической стабильности [1, 2] ($T_{т.мах} = 130...180^{\circ}\text{C}$) [2]. Так, для керосинов от $T_{т.мах}$ и до температуры полной газификации проявляется интенсивный процесс коксоотложений, связанный, в частности, с жидкофазным окислением топлива, вследствие неизбежного присутствия растворенного кислорода воздуха в топливе [1], составляющего 3 - 5 об.% при нормальных условиях. Эти отложения, образуясь на внутренней поверхности каналов со временем, вследствие более низкого уровня коэффициента теплопроводности по сравнению с исходным материалом теплопередающей стенки, приводят к значительному росту температуры стенки и ее перегреву, что является основным ограничителем ресурса обогреваемых топливных систем и двигателя в целом. Тем не менее, использование хладоресурса топлива для высокоскоростных и высокотемпературных двигателей пока неизбежно. Поэтому разработка эффективных конструкций СО и ТА и способов снижения коксоотложений является актуальной задачей.

В работе [3] были проведены систематические экспериментальные исследования процессов коксоотложений и наработки модельных топливных каналов с нагревом в них керосина при различных тепловых нагрузках $q_w = 0.2-0.7 \text{ МВт/м}^2$ как аналогов каналов топливной СО перспективных высокоскоростных ВРД. Опыты выполнялись при электрическом нагреве авиационных керосинов РТ и ТС-1 в трубчатых моделях (нетеплоизолированная

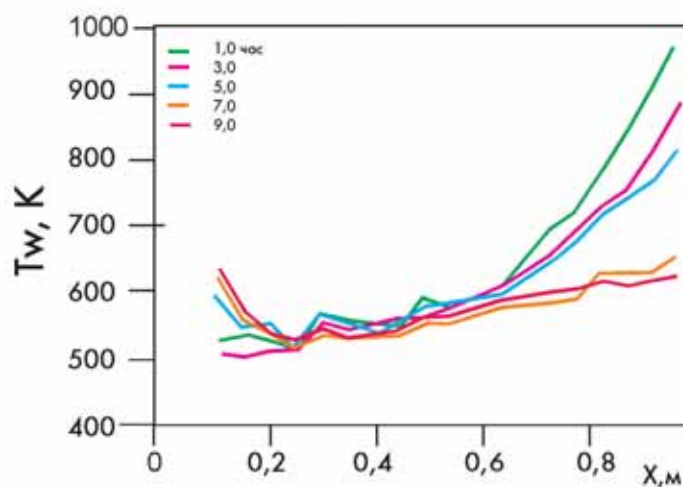


Рис. 1. Характерное распределение температуры наружной поверхности трубки в зависимости от времени наработки

трубка 3.0X0.5 мм, материал 12X18H9Т длиной 1 м), препарируемых термопарами с наружной стороны. Испытания проводились при температуре топлива на входе $10 \approx 20^{\circ}\text{C}$, давлении $\approx 5.0-6.0 \text{ МПа}$ и температурами на выходе $\approx 240...370^{\circ}\text{C}$, и прекращались по достижению максимальной температуры наружной поверхности $\approx 700^{\circ}\text{C}$.

На рис. 1 показано характерное распределение температуры наружной поверхности стенки по длине топливного трубчатого канала при различных временах наработки. Видно, что по мере наработки происходит общее повышение температуры наружной поверхности трубки, особенно в области выхода из ТО. Такое поведение температуры стенки связано с коксоотложением на внутренней поверхности трубки (рисунок 2).

На основании проведенного цикла исследования

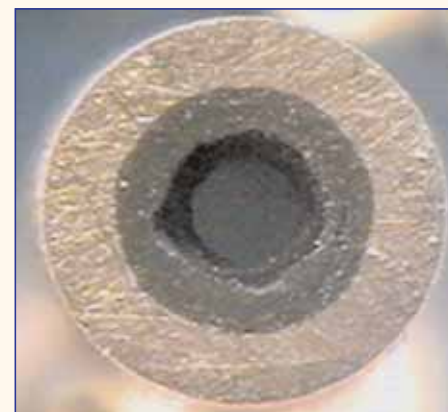


Рис. 2. Пример распределения отложений кокса в сечении максимальной температуры стенки трубки

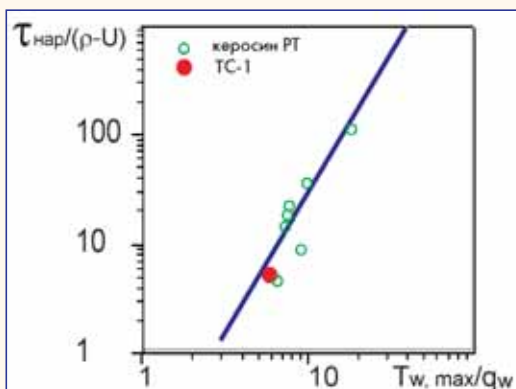


Рис. 3. Зависимость максимального времени наработки топливного канала в условиях коксоотложений

мость позволяет провести экспресс-оценку наработки трубчатых каналов СО.

Ключевым источником коксообразования в жидком топливе при его нагреве является растворенный в топливе кислород воздуха. В этом случае устройство, позволяющее значительно снизить склонность нагреваемого топлива к коксоотложению, должно исключить первопричину этого процесса. В [1] представлены экспериментальные данные по изменению скорости перегрева стенки (прямая характеристика наличия коксоотложений) в зависимости от содержания растворенного кислорода в н-октане, протекающего в нагреваемом канале (практически линейная зависимость) из которых следует, что при снижении количества растворенного кислорода $\%O_2 \rightarrow 0$, в пределе $T_w \rightarrow 0$. Отметим, что механизм процесса коксообразования и коксоотложения достаточно сложен и зависит так же от наличия примесей (меркаптаны, смолы и пр.) растворенных в авиационном керосине, пусть и в небольших количествах. Избавление от них также благотворно сказывается на снижении уровня коксоотложений [1].

Следовательно, одним из способов повышения ресурса топливных систем охлаждения может стать разработка устройств кондиционирования (дегазации) авиационного керосина для удаления из него растворенного кислорода воздуха. При этом устройство, предположительно, должно размещаться на двигателе (как дополнительный узел топливной системы) и обеспечивать проточную и безнагревную дегазацию. Размещение дегазатора на двигателе определяет требования к его массово-габаритным параметрам, а требования безнагревности - возможность максимального сохранения располагаемого физического хладоресурса керосина. Очистка керосина от растворенного кислорода позволит значительно снизить уровень коксоотложений в обогреваемых топливных каналах и увеличить температурный интервал нагрева вплоть до температур начала его термического разложения ($\approx 800-850$ К) [1]. Этим требованиям во многом удовлетворяет принцип ультразвуковой дегазации жидкости, с успехом применяемый в нефтехимической промышленности [4-6].

Настоящая работа посвящена начальному этапу экспериментальных исследований и отработке перспективных устройств по снижению интенсивности коксоотложений методом ультразвуковой дегазации для дальнейшей реализации хладоресурса углеводородных топлив с целью повышения ресурса работы обогреваемых топливных систем.

Основу метода ультразвуковой дегазации жидкости составляют два основных устройства: генератор пузырьков растворенного газа и сепаратор этих пузырьков выделений. На данном этапе работы исследовались возможности использования в качестве основы системы дегазации ультразвукового генератора. Этот генератор посредством подвода энергии к объему жидкости в виде ультразвуковых колебаний мембраны образует пузырьки растворенного газа, всплывающие на поверхность жидкости. В

ний проведено обобщение экспериментальных данных (рисунок 3) по предельной наработке модельных каналов СО в виде размерных комплексов, зависящих от основных параметров процесса в условиях исходной ("чистой") трубки. Подобная зависи-

работе использовался ультразвуковой лабораторный проточный генератор ультразвуковой частоты (ГУЗЧ) УЗАП-0,2/22-ОП, разработанный для водной среды, с паспортной частотой ультразвуковых колебаний 22 1.65 кГц и мощностью 200 Вт при максимальном расходе воды 1.0 л/мин (≈ 13.0 г/с для керосина РТ).

На предварительном этапе исследований задача состояла в оценке принципиальной возможности генерации пузырьков растворенного воздуха (кислорода воздуха) с визуализацией процесса их образования и изменений параметров потока керосина (расход, давление, температура) при подводе акустической энергии. С этой целью создана экспериментальная установка (см. рисунок 4) для испытаний с протоком и без протока керосина через ГУЗЧ.

Объект испытаний - ГУЗЧ, система подачи керосина - вытеснительная с наддувом топливного бака промышленным воздухом. В испытаниях предусмотрена регулировка расхода и давления керосина, который задается посредством кранов точной настройки, а также мощности генератора ультразвукового воздействия, задаваемого блоком управления ГУЗЧ.

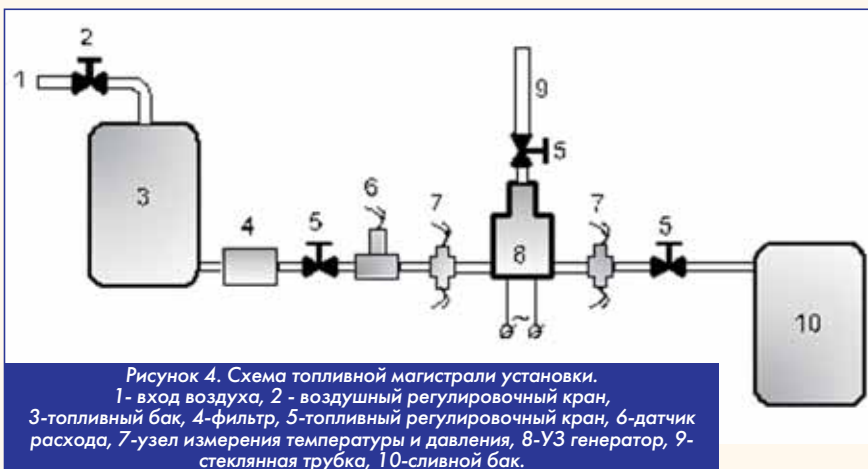


Рисунок 4. Схема топливной магистрали установки. 1- вход воздуха, 2 - воздушный регулировочный кран, 3-топливный бак, 4-фильтр, 5-топливный регулировочный кран, 6-датчик расхода, 7-узел измерения температуры и давления, 8-ГУЗЧ, 9-стеклянная трубка, 10-сливной бак.

В испытаниях с протоком керосин из расходного бака под давлением, регулируемым краном поз.2, поступает в расходную магистраль. Пройдя топливный фильтр тонкой очистки поз.4, регулировочный кран поз.5, расходомер поз.6 и узел измерения температуры и давления поз.7 он поступает в проточный ГУЗЧ поз.8, где подвергается УЗ воздействию. К верхней части ГУЗЧ присоединен запирающий кран поз.5 и стеклянная трубка поз.9, предназначенные для визуализации состояния керосина при незначительном избыточном давлении. Затем керосин проходит выходной узел измерения температуры и давления поз.7, регулировочный кран поз.5 и далее поступает в сливной бак.

В испытаниях измерялись расход керосина в диапазоне 3.0-10.0 мл/с (датчик ТПР-1-1-3), давление и температура керосина на входе и выходе из системы дегазации не более 2 атм и 50°C (датчик ADZ и термопары ТХК), концентрация растворенного кислорода. Погрешность измерений по давлению не более 0.3%, по температуре - 0.5%,

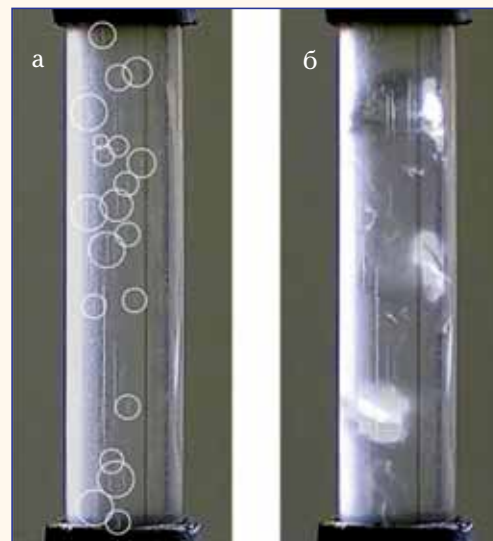


Рис. 5. Фотографии пузырьков растворенного газа (воздуха), образующихся в замкнутом объеме керосина при включенном ГУЗЧ, а - трек мелких пузырьков (обведены кружками), б - крупные газовые конгломераты

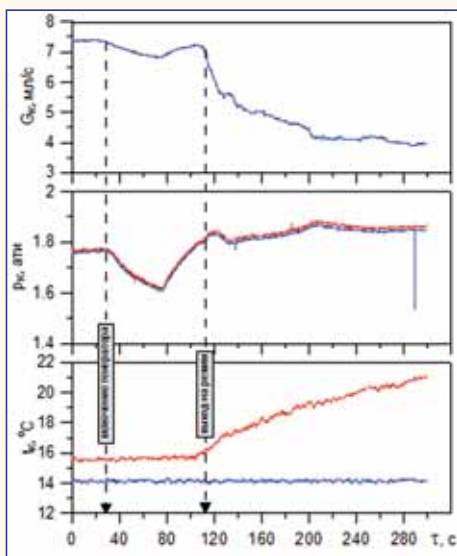


Рис. 6. - Пример изменения параметров топлива по времени при работе ультразвукового дегазатора (опыт №3). Синяя кривая - вход,

растворенного газа при его включении в непроточном режиме работы при атмосферном давлении. Видно, что при включении ГУЗЧ начинается активный процесс образования мелких пузырьков (рисунок 5а), поднимающихся к выходу из стеклянной трубки, а с течением времени, накапливающиеся все в большем количестве мелкие пузырьки формируют крупные образования - газовые конгломераты (рисунок 5б). Через некоторое время (очевидно зависящее от объема жидкости) газообразование практически прекращается.

Еще одним показателем, правда косвенным, активной генерации пузырьков растворенного газа являются данные измерений гидравлических параметров керосина в опытах с протоком керосина через ГУЗЧ (рисунок 6). Так, при включении ГУЗЧ и выходе его на рабочий режим работы в опытах наблюдалось значительное (до двукратного) снижение расхода керосина в проточной магистрали. Например, перед включением ГУЗЧ посредством регулировочных кранов был установлен расхода керосина $G_k \approx 7.4$ мл/с при избыточном давлении $P_k \approx 1.78$ ати с температурой на выходе из бака $t_k \approx 14.2^\circ\text{C}$ (см. рис. 6).

При включении ГУЗЧ в течение 30-50 с самонастройки генератора наблюдаются заметные нестационарные флуктуации измеряемых параметров. Далее, по установлению рабочего режима генератора происходит значительное снижение расхода керосина до $G_k \approx 3.9$ мл/с, с незначительным ростом общего давления и соответствующим повышением температуры до $t_k \approx 20.8$ С на рассматриваемом интервале времени. Это снижение расхода обусловлено появлением двухфазной среды с газовыми пузырями, препятствующей прохождению жидкого керосина ("запиранием") в наиболее узкой части топливной магистрали - выходного игольчатого крана. Отличие показаний температур керосина ($\Delta t_k \approx 1.5^\circ\text{C}$) на входе и выходе из магистрали близко к штатной погрешности ХК термомпар.

Еще одним эффектом, обнаруженным в процессе исследования, является изменение химического состава керосина, подвергнутого УЗ воздействию в непроточных опытах. На рисунке 7 показаны фотографии непроточного контрольного объема керосина (≈ 270 мл) до и после УЗ воздействия. Видно, что при УЗ воздействии после 15-20 секунд началось и после $\approx 3-4$ мин практически завершилось полностью заметное помутнение керосина, по-видимому, вследствие образования коллоидного раствора взвеси углеводородных соединений. Это свидетельствует об изменении состояния обрабатываемой среды при УЗ воздействии. Возможно, что возникающие физико-химические явления при распространении акустических волн вызваны процессами кавитационной деформации пузырьков.

В работе [8] со ссылками на многочисленные работы проведен подробный анализ физико-химических аспектов УЗ воздействия на жидкие углеводородные среды. В ней отмечается, что

по расходу - 1%.

Отметим, что равновесное содержание растворенного кислорода в авиационном керосине РТ, определенное при нормальных условиях, типичных для условий опытов, было определено на уровне 74.0 ± 3.7 мг/дм³. Это значение хорошо совпадает с данными [2]. Исследование выполнено в лаборатории "ЭкоЗонд" при МГУ им. М.В. Ломоносова методом адсорбционной пиролитической хроматографии.

На представленных фотографиях (рисунок 5) показан пример процесса генерации пузырьков

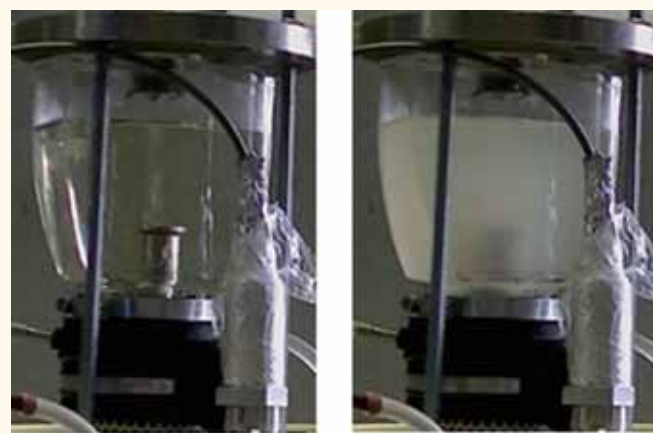


Рис. 7. Изменение структуры керосина после УЗ воздействия.

развитие химических реакций в ультразвуковом поле тесно связано с возникновением явления кавитации, которое представляет собой процесс образования под действием ультразвуковых волн в жидкой среде пузырьков и их исчезновения, сопровождаемое гидравлическими интенсивными ударами. Важной особенностью кавитации является локальное концентрирование энергии ультразвукового поля в малых объемах, за счет чего создаются высокие плотности энергии. При прохождении ультразвуковых колебаний через жидкости давление изменяет знак с удвоенной частотой создаваемого поля, поэтому размеры таких пузырьков очень малы ($\sim 10^{-5} - 10^{-1}$ см) [8]. Воздействие акустической энергии поля на углеводородные среды приводит к снижению их вязкости и молекулярной массы в результате фрагментации цепей на активные частицы. Отмечается, что в результате применения кавитационного метода существенно подавляются процессы коксообразования, интенсифицируются процессы деструкции и значительно снижается температура крекинга.

В частности, в момент схлопывания кавитационного пузырька в микрообъеме развиваются высокие температуры, достигающие 10000°C и больше и высокое давление до десятков тысяч атмосфер [9,10], что и приводит к различным химическим реакциям, основными из которых являются окисление, восстановление, распад и синтез органических и неорганических веществ, полимеризация и деполимеризация, внутримолекулярные перегруппировки и др. Так, в [10] приведены различные подходы к моделированию динамики одиночного пузырька в жидкости. В частности давление газовой смеси в пузырьке P складывается из давлений растворенного газа и паров жидкости P_s , которое принимают постоянным и равным давлению насыщенных паров жидкости при данной температуре (с давлением среды P_0 с коэффициентом поверхностного натяжения σ). Давление газа зависит от вида термодинамического процесса, принятого в конкретной модели движения пузырька исходного радиуса R_0 . Процесс сжатия обычно считается адиабатическим с показателем адиабаты k и это находит хорошее совпадение с результатами экспериментов.

В этом случае, следуя [10], изменение давления и температуры в пузырьке можно представить соотношениями:

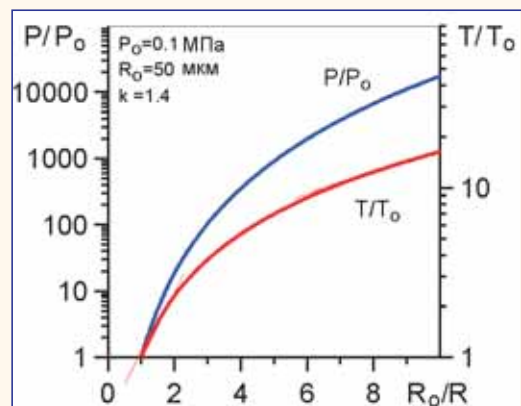


Рис. 8. Изменение относительного давления и температуры в одиночном пузырьке в зависимости от его относительного радиуса

$$P = P_s + (P_0 + (2\sigma/R) \cdot (R_0/R)^{3k}) \quad T/T_0 = (P/P_0)^{(k-1)/k}$$

На основании этих зависимостей на рисунке 8 показано изменение давления и температуры в пузырьке растворенного в керосине РТ газа при характерном уменьшении его радиуса в процессе деформации - значительное повышение уровня давления и температуры в при уменьшении радиуса пузырька.

Таким образом, в результате проведенных испытаний показана принципиальная возможность применения процесса ультразвуковой генерации пузырьков растворенного воздуха (кислорода воздуха) для дальнейшего их сепарирования. Применение эффективных сепарирующих устройств позволит отделить образовавшиеся пузырьки газа от жидкости и удалить их из топливной магистрали. Выявленные эффекты длительного ультразвукового воздействия на состав керосина в замкнутом объеме требуют специального рассмотрения с анализом последствий работы ГУЗЧ в проточной системе дегазации. **П**

Литература

1. Яновский Л.С., Иванов В.Ф., Галимов Ф.М., Сапгир Г.Б. Коксоотложения в авиационных и ракетных двигателях. Казань, 1999г, 285с
2. Дубовкин Н.Ф., Маланичева В.Г., Массур Ю.П., Федоров Е.П. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив. Справочник, М., Химия, 1985, 240с
3. Шлякотин В.Е., Шихман Ю.М., Митрофанов К.Е. и др. Экспе-

риментальные исследования коксоотложения в модели трубчатого теплообменника при нагреве керосина в условиях жидкофазного окисления. Труды ЦИАМ №1343, М; Торус пресс, 2010

4. Жежера Н. И. Размеры и движение пузырьков газа при дегазации нефти в акустическом деаэраторе. Альманах современной науки и образования Тамбов, изд. "Граммота", 2012. № 8 (63). С. 50-53. ISSN 1993-5552

5. Жежера Н. И. Сепарационная установка газ-нефть как объект автоматического управления по давлению газа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 5. С. 58-64.

6. Жежера Н. И., Самойлов Н. Г. Теоретические положения к устройству измерения динамической составляющей расхода газа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 4 (39). С. 47-50.

7. Коган В.Б., Фридман В.М., Кафаров В.В. Справочник по растворимости, Том I. Бинарные системы, книга первая. Издательство академии наук СССР, Москва-Ленинград, 1961, 961с.

8. Ануфриев Р. В. Влияние ультразвуковой обработки на структурно-механические свойства и состав нефтяных дисперсных систем. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Томск - 2017.

9. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. М., Химия, 1971. 264 с

10. Смородов Е.А., Галиахметов Р.Н., Ильгамов М.А. Физика и химия кавитации. М., Наука, 2008, 226с.

Связь с авторами: ev@ciam.ru

ИНФОРМАЦИЯ

В конце июня 2017 года компания Jaguar сообщила о пополнении семейства технологичных и экономичных двигателей Ingenium новым 300-сильным бензиновым мотором для Jaguar XE, XF и F-PACE. Крутящий момент этого 2,0-литрового четырехцилиндрового агрегата составляет 400 Нм и обеспечивает высокую динамику при ускорении.

Новый мотор позволяет разогнать Jaguar F-PACE с 0 до 100 км/ч за 6,0 секунды при расходе топлива 7,7 л/100 км. Для бизнес-седана XF с полным приводом этот показатель составляет 5,8 секунды, выбросы CO₂ - 163 г/км, а расход топлива всего 7,2 л/100 км. Таким образом, традиционная динамика Jaguar сочетается с замечательной экономичностью.

В случае со спортивным седаном XE разгон от 0 до 100 км/ч занимает всего лишь 5,5 секунды (для версии с полным приводом), а расход топлива - 6,9 л/100 км при выбросах CO₂ в размере 157 г/км.

По заявлению Ника Роджерса (Nick Rogers), исполнительного директора по разработке продуктов Jaguar Land Rover, компания продолжает расширять линейку двигателей Ingenium, предлагая покупателям еще больше возможностей для выбора. Новый бензиновый двигатель мощностью 300 л.с. обеспечивает впечатляющую динамику и отличную топливную экономичность благодаря современной технологии выхлопа и передовому газораспределительному механизму. Этот экологичный и эффективный двигатель отлично дополняет легкий алюминиевый кузов XE, XF и F-PACE.

Новый четырехцилиндровый двигатель P300 оснащается всеми новейшими технологиями Jaguar Land Rover, включая турбину twin-scroll с керамическими шарикоподшипниками, снижающими трение, и высокопроизводительным компрессорным колесом для улучшенной динамики. Двигатель производится в специализированном производственном центре в Уольверхэмптоне, Великобритания.

Вместе с технологичной автоматической 8-ступенчатой трансмиссией ZF новый силовой агрегат обеспечивает невероятно плавное ускорение и незаметные переключения передач.

Ранее в этом году была представлена линейка бензиновых 2,0-литровых двигателей Ingenium мощностью 200 л.с. и 250 л.с.

Кроме того, дебютировал 2,0-литровый турбодизель мощностью 240 л.с.

Дальнейшие обновления для 2018 года включают такие технологии, как управление приводом двери багажника жестами (Gesture Boot Lid) для XF и XE, а также технологию Configurable Dynamics, которая позволяет водителям персонализировать настройки трансмиссии и рулевого управления.

Все три модели оснащаются современными средствами активной безопасности, такими как система определения дорожной ситуации по ходу движения автомобиля Forward Traffic Detection и система Forward Vehicle Guidance, которая помогает водителю при совершении маневров на низкой скорости, показывая изменение курса автомобиля в зависимости от поворотов руля. **П**



ГИДРОДИНАМИКА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ И КРИТИЧЕСКИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ

Юрий Борисович Назаренко, к.т.н.,

ведущий конструктор ОКБ им. А. Люльки - филиал ОАО "УМПО"

Рассматривается жидкостное трение в подшипниках скольжения на основе гидродинамической теории смазки. На основе определения гидродинамических сил в клиновом зазоре подшипника скольжения устанавливается условие возникновения резонанса в масляном потоке и критические частоты вращения роторов.

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

Ключевые слова: подшипник, гидродинамические силы, масляный клин, критическая частота вращения ротора.

Keywords: bearing, hydrodynamic forces, oil wedge, critical revolution frequency of the rotor.

1 Введение

При жидкостном трении рабочие опорные поверхности вала (цапфа) и вкладыша (подпятник) разделены слоем масла, толщина которого должна быть больше суммы высот шероховатостей двух поверхностей. При этом реакция ротора на опоре компенсируется гидродинамическими силами масляного потока в клиновом зазоре.

В радиальных подшипниках клиновая форма зазора свойственна самой конструкции подшипника. Она образуется благодаря смещению центра цапфы вала и вкладыша (рис. 1).

При вращении вала ротора цапфа всплывает в масле и несколько смещается в сторону вращения.

Для определения параметров подшипников роторов в режиме жидкостного трения рассмотрим основы теории гидродинамики.

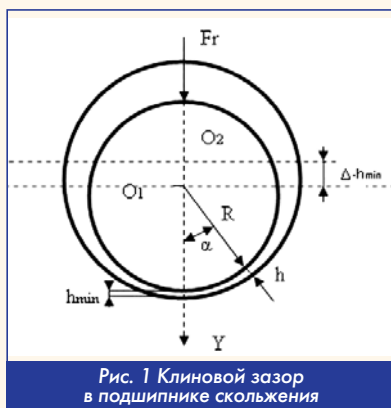


Рис. 1 Клиновой зазор в подшипнике скольжения

1 Гидродинамика вязкой жидкости при ламинарном течении масла между двух пластин

Исследование режима жидкостного трения в подшипниках основано на гидродинамической теории смазки. Эта теория базируется на решениях дифференциальных уравнений гидродинамики вязкой жидкости, которые связывают давление, скорость и сопротивление вязкому сдвигу [1-2].

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



Рис. 2 Течение жидкости между двумя пластинами

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

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

$$\tau = \mu dV/dy, \quad (1)$$

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

Продифференцируем обе части уравнения (1)

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

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

Рассматривая равновесие элементарного объема в виде

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

и подставляя

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

в (2) будем иметь основное уравнение гидродинамики для установившегося двумерного течения жидкости

$$\frac{d^2V}{dy^2} = G/\mu, \quad (3)$$

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

Интегрируя дважды, получаем

$$V = \frac{Gy^2}{2\mu} + C_1y + C_2. \quad (4)$$

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

Окончательно получаем

$$V = -\frac{Gy}{2\mu}(h-y) + \frac{Vy}{h}, \quad (5)$$

где h - текущая толщина слоя масла в зазоре.

Объемный расход на единицу ширины пластины равен

$$Q = \int_0^h V dy = -\frac{Gh^3}{12\mu} + \frac{Vh}{2}. \quad (6)$$

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

Из (6) следует, что градиент давления G должен определяться из условия

$$\frac{dp}{dx} = -G = 6\mu \left(-\frac{V}{h^2} + \frac{2Q}{h^3} \right). \quad (7)$$

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

$$P = -\frac{6\mu}{\alpha} \left[V \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{h_1} \right) - Q \left(\frac{1}{h^2} - \frac{1}{h_1^2} \right) \right]. \quad (8)$$

2 Гидродинамические силы в подшипниках скольжения

Максимальное гидродинамическое давление при движении потока масла по часовой стрелке формируется в двух четвертях щелевого зазора. В квадранте сужения зазора ($0 < \alpha < \pi/2$) от оси X и до оси Y и в квадранте расширения зазора ($-\pi/2 < \alpha < 0$) от оси Y до X (рис. 1).

Толщину зазора для четверти круга от зазора на оси X , рав-

ного Δ и до минимального $h_{\min}$ в квадранте сужения принимаем линейной, и она составит

$$\xi = [\Delta - h_{\min}] \cdot \frac{\alpha}{\pi/2} + h_{\min}, \quad (9)$$

где Δ - смещение центра вала и внутреннего радиуса вкладыша подшипника; $h_{\min}$ - минимальный зазор на рабочих режимах.

Для определения давления в клиновом зазоре из выражения (8) установим объемный расход жидкости на единицу пластины.

Из условия неразрывности потока жидкости значение Q не должно зависеть от "х" (во всех сечениях зазора Q постоянно). В сечении, совпадающем с максимумом давления $dP/dx = G = 0$. При этом, согласно уравнению (5), скорость в этом сечении изменится по линейному закону пропорционально "у".

Максимальное значение давления будет в самом узком месте канала при $h_{\min}$. Тогда получаем значение расхода жидкости в самом узком сечении канала, которое будет постоянно во всех сечениях клинового зазора

$$Q = V \cdot h_{\min} / 2, \quad (10)$$

где V - окружная скорость цапфы вала.

Подставляя расход потока (10) в (8), запишем давление в клиновом зазоре для элементарного элемента дуги $dL = R \cdot d\alpha$

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

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

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

$$P = \frac{6\mu V}{\beta} \left[\frac{R \cdot \beta \cdot d\alpha}{1} \cdot \left(\frac{1}{2h_1^2} - \frac{h_{\min}}{2h_1^3} \right) \right] = \frac{3\mu \cdot V \cdot R \cdot d\alpha}{1} \cdot \left(\frac{1}{\zeta^2} - \frac{h_{\min}}{\zeta^3} \right). \quad (12)$$

Интегрируя выражение (12) в интервале от оси "X" и до текущего значения α , получим значение давления для любого сечения клинового зазора

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

где λ - параметр, определяемый из соотношения, $\lambda = 3\mu VR$.

Произведя интегрирование и после преобразования выражения (13) будем иметь

$$P(\alpha) = \frac{\lambda}{\eta^2} \left[\frac{1}{\left(\alpha + \frac{h_{\min}}{\eta} \right)} - \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2} + \frac{h_{\min}}{\eta} \right)} \right] - \frac{\lambda h_{\min}}{2\eta^3} \left[\frac{1}{\left(\alpha + \frac{h_{\min}}{\eta} \right)^2} - \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2} + \frac{h_{\min}}{\eta} \right)^2} \right], \quad (14)$$

где η - параметр, определяемый соотношением, $\eta = 2(\Delta - h_{\min})/\pi$.

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

Пример расчета проведем на модели подшипника скольжения с радиусом цапфы вала $R = 50$ мм и шириной $B = 50$ мм. Величину коаксиального зазора принимаем $\Delta = 0,2$ мм. Окружная скорость цапфы вала составляет $V = 50$ м/с; μ - динамическая вязкость масла при температуре 100°C , $\mu = 0,0027$ Нс/м².

Распределение гидродинамического давления при минимальной толщине зазора $h_{\min} = 20$ мкм в интервале $0 < \alpha < \pi/2$ представлено на диаграмме (рис. 3).

Умножив гидравлическое давление на ширину опор-

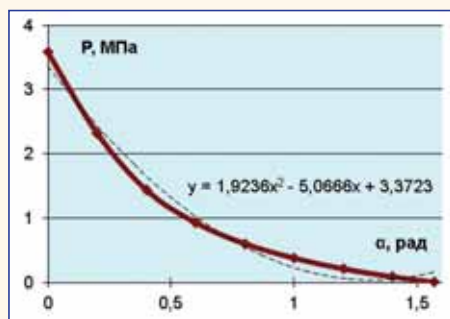


Рис. 3 Распределение гидродинамического давления при минимальной величине зазора $h_{\min} = 20$ мкм

ной зоны клинового зазора и интегрируя его проекцию на ось Y, установим гидродинамическую силу, поддерживающую ротор на опоре

$$F = 2 \int_0^{\pi/2} (1,92\alpha^2 - 5,07\alpha + 3,4) B R \cos \alpha d\alpha = 6911,6 \text{ Н}, \quad (15)$$

где B - ширина опорной зоны клинового зазора; радиус цапфы.

Радиальная сила ротора, приходящаяся на опору для обеспечения минимального клинового зазора 20 мкм, должна быть равна $F = 6911,6$ Н.

При более высоких значениях радиальных сил ротора величина минимального зазора будет иметь более низкие значения. Так результирующая максимальная гидродинамическая сила в клиновом зазоре подшипника при минимальном клиновом зазоре 15 мкм и 10 мкм составит соответственно $F = 8401,6$ Н и $F = 10913,8$ Н.

3 Критические частоты роторов на опорах с подшипниками скольжения

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

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

Смещение вала и цапфы при колебаниях ротора будет существенно сказываться на изменении гидродинамических сил только на сегменте $-1 < \alpha < 1$ рад. На сегментах, расположенных ближе к оси X, гидродинамические силы будут существенно ослабевать, а проекция гидродинамических сил на ось Y при смещении вала в этом же направлении будет дополнительно уменьшаться пропорционально квадрату косинуса угловой координаты рассматриваемого сечения.

Определение гидродинамических сил произведем для одного квадранта X-Y при разбиении длины дуги сектора $0 < \alpha < 1$ рад на два равных участка.

Гидродинамическое давление в середине клинового зазора $0,5 < \alpha < 1$ рад для элемента дуги $\Delta L = 0,5R$, определим из выражения (8) и оно будет равно

$$P = \frac{6\mu V}{\beta} \left[\left(\frac{1}{h_2 - 0,5R\beta/2} - \frac{1}{h_2} \right) - \frac{h_{\min}}{2} \left(\frac{1}{(h_2 - 0,5R\beta/2)^2} - \frac{1}{h_2^2} \right) \right], \quad (16)$$

где h_2 - начальная величина зазора $h_2 = (\Delta - h_{\min})2/\pi + h_{\min}$.

Давление в клиновом зазоре при вариации зазора Δh_2 , гораздо меньшей, чем величина зазора на входе, раскладывая в ряд Тейлора, представим в виде

$$P = \frac{3\mu V}{2} \left(\frac{R(1-\rho)}{(h_2 \pm \Delta h_2)^2} \right) = \frac{3\mu VR(1-\rho)}{2} \left(\frac{1}{h_2^2} \pm \frac{2\Delta h_2}{h_2^3} \right), \quad (17)$$

где ρ - параметр, определяемый из соотношения

$$\rho = [(\Delta/h_{\min} - 1)2/\pi + 1]^{-1}.$$

Переменная составляющая проекции гидродинамической силы по оси Y на сегменте клинового зазора $0,5 < \alpha < 1$ рад запишем в виде

$$F = \frac{3\mu VR^2 B \cdot \cos(0,75)}{1} \left[\frac{\Delta h(1-\rho) \cdot 0,54}{h_2^3} \right], \quad (18)$$

где Δh_2 - вариация ширины зазора на входе сегмента $0,5 < \alpha < 1$ рад, $\Delta h_2 = \Delta h \cdot \cos 1,0 = 0,54\Delta h$; Δh - виртуальное изменение ширины зазора по оси Y.

Гидродинамическое давление в середине клинового зазора $0 < \alpha < 1$ рад для элемента дуги $\Delta L = 0,5R$ при нулевом давлении на входе, определим из выражения (8) и оно будет равно

$$P = \frac{6\mu V}{\beta} \left[\left(\frac{1}{h_1 - 0,5R\beta/2} - \frac{1}{h_1} \right) - \frac{h_{\min}}{2} \left(\frac{1}{(h_1 - 0,5R\beta/2)^2} - \frac{1}{h_1^2} \right) \right], \quad (19)$$

где h_1 - начальная величина зазора $h_1 = (\Delta - h_{\min}) 2 \cdot 0,5/\pi + h_{\min}$.
Раскладывая в ряд Тейлора выражение (19) при малой величине приращения толщины зазора относительно его начальной толщины и пренебрегая величинами малого порядка малости, будем иметь

$$P = \frac{6\mu V}{\beta} \left[\left(\frac{R\beta/4}{h_1^2} \right) - \frac{\lambda}{2} \left(\frac{R\beta/2}{h_1^2} \right) \right] = \frac{6\mu V}{4} \left[\left(\frac{R\beta}{h_1^2} \right) (1 - \lambda) \right]. \quad (20)$$

Здесь λ - параметр, определяемый из соотношения
 $\lambda = [(\Delta/h_{\min} - 1)/\pi + 1]^{-1}$

Давление в клиновом зазоре определим при вариации толщины зазора Δh_1 гораздо меньшей, чем величина зазора на входе, и раскладывая в ряд Тейлора выражение (20), будем иметь

$$P = \frac{3\mu V}{2} \left(\frac{R(1 - \lambda)}{(h_1 \pm \Delta h_1)^2} \right) = \frac{3\mu VR(1 - \lambda)}{2} \left(\frac{1}{h_1^2} \pm \frac{2\Delta h_1}{h_1^3} \right). \quad (21)$$

где Δh_1 - вариация зазора на входе сегмента $0 < \alpha < 0,5$ рад, $\Delta h_1 = \Delta h \cos 0,5 = 0,88\Delta h$; Δh - виртуальное изменение ширины зазора по оси Y.

Первый член выражения (21) определяет статическое положение цапфы вала на опоре при минимальной величине клинового зазора, соответствующей определенной радиальной силе ротора на опоре.

Переменную составляющую гидродинамической силы по оси Y на сегменте клинового зазора $-0,5 < \alpha < 0,5$ рад с учетом давления на границе сектора $0,5 < \alpha < 1$ рад, определяемое как уд-

военное давление в середине сектора (18), запишем в виде

$$F = \frac{3\mu VR S \cos(0,25)}{1} \left[\pm \frac{0,88\Delta h(1 - \lambda)}{h_1^3} \pm \frac{1,08\Delta h(1 - \rho)}{h_2^3} \right], \quad (22)$$

где S - опорная площадь вкладыша на сегменте $-0,5 < \alpha < 0,5$; $S = BR$.

Приравняв приращение гидродинамической силы по оси Y на сегменте клинового зазора $-1 < \alpha < 1$ рад приращению центробежной силы $F = m\omega^2\Delta h$, определяем критическую круговую скорость вращения ротора на опоре с подшипником скольжения

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{3\mu VR^2 B}{m} \left(\frac{0,85(1 - \lambda)}{h_1^3} + \frac{1,44(1 - \rho)}{h_2^3} \right)}, \quad (23)$$

где m - масса ротора, приходящаяся на опору.

Подставляя в выражение (23) исходные данные для принятого ранее примера расчета и принимая массу ротора, приходящуюся на опору $m = 100$ кг, определим критическую круговую скорость $\omega_{кр} = 972,9$ рад и частоту вращения ротора $f_{кр} = 154,8$ Гц.

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

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: т. IV/Гидродинамика. М.: Наука, 1986. - 736с.
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



- ▶ **25 лет опыта в разработке, совершенствовании и изготовлении** сложного прецизионного оборудования для электроэрозионной обработки материалов
- ▶ **Все станки АРТА на 100% производятся на заводе НПК «Дельта-Тест» в России** - от механической обработки станин и деталей до сборки станочных модулей, ЧПУ-генераторов и испытаний комплексов
- ▶ **Эффективное применение для широкого спектра задач электроэрозии:** изготовление штампов, прессформ, инструмента, различных специальных изделий, микроэрозионная обработка ультратонкими электродами и многое другое



НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ «ДЕЛЬТА-ТЕСТ»

РОССИЯ, 141190, МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, ГОРОД ФРЯЗИНО, ЗАВОДСКОЙ ПРОЕЗД, 4, Тел.: +7 (495) 995 09 68, +7 (49656) 471 44, 494 55, **WWW.EDM.RU / ARTA@EDM.RU**

25 ЛЕТ ВСЕГДА НА ВЫСОТЕ



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЙ
САЛОН**



Организаторы



**МИНПРОМТОРГ
РОССИИ**



Ростех

МОСКВА • ЖУКОВСКИЙ • АЭРОДРОМ «РАМЕНСКОЕ» • 18–23 ИЮЛЯ

ВКЛАД ГЕНЕРАЛЬНОГО КОНСТРУКТОРА П.А. СОЛОВЬЕВА В РАЗВИТИЕ АВИАЦИИ И АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

Александр Александрович Иноземцев, генеральный конструктор ОАО "Авиадвигатель", д.т.н.



П.А. Соловьёв за рабочим столом

В этом году вся авиационная общественность отмечает знаменательную дату: 26 июня 2017 г. исполнилось бы 100 лет одному из самых выдающихся авиационных конструкторов нашей страны Павлу Александровичу Соловьёву, основоположнику практического двухконтурного газотурбинного двигателестроения.

Чем дальше уходит время, тем более значительными предстают его дела и тем крупнее видится его фигура конструктора и ученого.

Вклад П.А. Соловьёва - достойного ученика и преемника Генерального конструктора А.Д. Швецова - и коллектива ОКБ 19 в развитие отечественной военной и гражданской авиации, создавших двигатели для всемирно известных самолетов: Ла 5, Ла 7, Ту 2, Ту 4, Ли 2, Ан 2, Ил 12, Ил 14, Ту 124, Ту 134, Ил 62М, Ту 154М, МиГ 31, М 55, Ту 204, Ил 96 и вертолетов Ми 4, Ми 6, Ми 10 - настолько велик, что его трудно полностью описать и оценить.

П.А. Соловьёв пришел в ОКБ 19 в сороковом - предгрозовом году, накануне страшной войны, которая приближалась к нашим границам и которую назвали великой войной моторов.

Павел Александрович, будучи совсем молодым человеком, сразу включился в это великое соревнование конструкторов, когда платой за ошибки и задержки в создании передовой боевой авиационной техники были кровь и удлинение страданий нашего народа в жестокой войне за свою независимость.

При этом нужно признать как неоспоримый факт, что создание авиационных моторов является одной из самых наукоёмких, труднейших и ответственных сфер человеческой деятельности, ибо авиационный мотор, соответствующий сути своего предназначения, где все работает на пределе - это "сгусток энергии", вбирающий при своем создании все наивысшие достижения человеческого интеллекта во множестве разделов науки и технологий: это термо- и газовая динамика, горение и прочность при высочайших нагрузках, металлургия, теория механизмов и автомати-

ческого управления и так далее.

Помимо концентрации огромной удельной энергии здесь требуются высочайшая надежность, экономическая и боевая эффективность. Занимать передовые позиции, выдержать острую конкуренцию и, тем более, совершить прорыв при создании все более эффективных авиамоторов можно только на пределе человеческих и технических возможностей, используя весь арсенал доступных новейших технологий и материалов.

Создавать такую технику и обеспечивать при этом ее высочайшие характеристики и надежность могут только творческие люди с выдающимися инженерными и организаторскими способностями, готовые своей полной отдачей делу, своей энергией, умением преодолевать неудачи и своей верой в успех зажечь других людей, создать коллектив творческих соратников-единомышленников.

Именно таким человеком, выдающимся конструктором авиамоторов и был Павел Александрович Соловьёв.

Как и большинство людей его поколения, он всего добивался сам. Безусловно, это был самородок, выходец с Волги - колыбели многих выдающихся людей.

Его родина - это край смелых и смекалистых, обладающих природной мудростью людей, каким и был Павел Александрович, ибо ясно, что только люди смелые, уверенные в себе, обладающие выдающимися конструкторскими талантом и интуицией, человеческим обаянием и искрометным чувством юмора, могли выдержать то колоссальное напряжение, то тяжелейшее и непрерывное бремя ответственности, которое постоянно несет на себе Генеральный конструктор авиамоторов для обширного эксплуатирующегося парка летательных аппаратов.

Безусловно, суровые годы войны, напряженнейший творческий труд этого периода способствовали быстрому возмужанию молодого конструктора, которому посчастливилось работать под руководством и в тесном контакте с родоначальником отечественной школы поршневых двигателей воздушного охлаждения Генеральным конструктором Аркадием Дмитриевичем Швецовым, "правой рукой" которого (первым заместителем) П.А. Соловьёв стал в 1948 году в возрасте 31 года.

При непосредственном участии П.А. Соловьёва во время войны был создан выдающийся ряд двухрядных "звезд" АШ 82, АШ 82Ф, АШ 82ФН, АШ 83, мощностью от 1500 до 1950 л.с., устанавливавшихся на истребителях Ла 5 и Ла 7, штурмовиках Су-2, скоростных бомбардировщиках Ту 2, пикирующих бомбардировщиках Пе 2 и дальних бомбардировщиках Пе 8, вклад которых в нашу победу в Великой Отечественной войне трудно переоценить.

После войны практически все новые задачи военной и гражданской авиации страны с применением поршневой техники сконцентрировались в ОКБ 19. В 1947 году создается самый мощный серийный поршневой двигатель АШ 73ТК (18 цилиндровая двухрядная звезда с двумя турбокомпрессорами наддува ТК 19) мощностью 2400 л.с. для дальнего четырехмоторного стратегического бомбардировщика Ту 4. Всего до 1953 года было выпущено 1200 бомбардировщиков Ту 4 различных модификаций фактически стоявших на вооружении ВВС до начала 60-х гг. В 1950 году прошел 100 часовое испытание четырехрядный 28-цилиндровый двигатель АШ 2К мощностью 4500 л.с. с турбокомпрессором наддува и семью пульсирующими турбинами, передававшими энергию выхлопных газов на коленчатый вал двигателя, а также проектировался еще более мощный (6000 л.с.) 36-цилиндровый двигатель АШ 3К.



С.Туполевым Внуковым_июнь 1963 года

При этом нужно признать как неоспоримый факт, что создание авиационных моторов является одной из самых наукоёмких, труднейших и ответственных сфер человеческой деятельности, ибо авиационный мотор, соответствующий сути своего предназначения, где все работает на пределе - это "сгусток энергии", вбирающий при своем создании все наивысшие достижения человеческого интеллекта во множестве разделов науки и технологий: это термо- и газовая динамика, горение и прочность при высочайших нагрузках, металлургия, теория механизмов и автомати-

На опытный бомбардировщик Ту 85 был выбран двигатель ВД 4К несколько меньшей мощности 4300 л.с., но опережавший по готовности двигатель АШ 2К. Однако, 100 тонный бомбардировщик Ту 85 в серию не пошел.

В конце 40-х - начале 50-х годов началось широкое внедрение поршневых двигателей ОКБ 19 в транспортную авиацию. Помимо установленных еще в начале войны двигателей М 62ИР на самолетах Ли 2, начинается массовое использование:

- с 1947 года двигателя АШ 82ФН - на самолетах Ил 12;
- с 1949 года двигателей АШ 62ИР, выпускавшихся более 60 лет - на самолетах Ан 2;
- с 1953 года двигателей АШ 82Т - на самолетах Ил 14;
- а также двигателей АШ 82В - на вертолетах Ми 4 и Як 42.

Все эти работы по освоению военных поршневых двигателей в транспортной авиации и вертолетостроении потребовали немало времени и усилий ОКБ 19, включая доделку базовых двигателей и создания новых вертолетных трансмиссий и редукторов.

В марте 1953 года ушел из жизни Генеральный конструктор Аркадий Дмитриевич Швецов.

Это событие произошло в переходный период в авиационном моторостроении, когда поршневая техника уже исчерпала технические возможности в попытке дальнейшего увеличения скорости и высоты полета, а также грузоподъемности летательных аппаратов, а газотурбинная техника не имела достаточно высоких КПД лопаточных машин, степеней сжатия в компрессоре и термопрочности конструкционных материалов для реализации высокорежимных термодинамических циклов.

Несмотря на то, что ТВД не позволяли значительно увеличить скорость полета, а ТРД имели низкую экономичность, газотурбинная техника, появившаяся еще в предвоенное время, имела важнейшие преимущества по лобовой тяге и удельной массе по сравнению с поршневой техникой и начала бурно развиваться после войны в странах - победительницах: Великобритании, СССР и США, в ряде случаев - с привлечением немецких специалистов, добившихся накануне и во время войны значительного прорыва в области реактивной техники.

Русские ученые и инженеры также внесли в довоенный период достойный вклад в теорию и практику создания газотурбинной и реактивной техники.

Достаточно вспомнить ракетно-турбинный ТВД офицера М.Н. Никольского, строившийся в 1914 году на Русско-Балтийском заводе для установки на самолете "Илья Муромец", патенты инженера В.И. Базарова, предложившего вполне современные схемы ТВД и ТРД (1923, 1924 гг.), теоретические работы К.Э. Циолковского и его проект компрессорно-поршневого двухконтурного ВРД (1932 г.), работа Б.С. Стечкина "Теория ВРД" (1929 г.), конструкторские работы профессора ВТИ В.В. Уварова (с 1940 г. - в ЦИАМ), начавшего работать над ГТУ в 1930 г. и создавшего экспериментальный ТВД ГТУ 3 в 1939 году с температурой перед турбиной с водяным охлаждением $T_f=1500$ К.

Во время войны под руководством В.В. Уварова были построены экспериментальные ТВД Э 3080 с $N_e=1000...1400$ л.с. при $\pi_k=7$ и $T_f=1500$ К, а также ТВД Э 3081 с $N_e=3500$ л.с.

Несомненно пионером в создании ТРД в СССР был Архип Михайлович Люлька, начавший в 1937 году в ХАИ конструктивную разработку, а с 1940 года - изготовление на Кировском заводе первого отечественного ТРД РД 1 тягой 500 кгс и $T_f=920$ К. В 1943 году А.М. Люлька возобновил работы над ТРД и в 1947 году был создан первый ТРД отечественной конструкции ТР 1 с тягой 1350 кгс.

Несмотря на большую загрузку поршневой техникой в 1946...1949 гг., в ОКБ 19 также предпринималась попытка создания ТРД с центробежным компрессором АШ РД 100 тягой 2500 кгс. Были изготовлены и испытаны 3 двигателя.

Разумеется, развитие реактивной техники велось при поддержке созданной еще в 30-е годы и ранее сети центральных научных учреждений типа ЦАГИ, ЦИАМ, ВИАМ и др. с их лабораториями, аэродинамическими трубами, испытательными стендами и теоретическими исследованиями.

Однако роль Главного конструктора, несущего прямую ответственность за выбор направления развития, концептуальный выбор схем и параметров, конкретную реализацию и эксплуатационную эффективность двигателей, оставалась решающей.

Величайшей заслугой назначенного в трудном для ОКБ 19 1953 году в возрасте 35 лет Главным конструктором П.А. Соловьева было то, что он сумел преодолеть определенный кризис, сохранил коллектив, правильно определил направления работ, нашел свои весьма перспективные ниши, можно сказать, догнал вышедших раньше и занял одно из лидирующих мест в отечественном и мировом авиадвигателестроении.

Его деятельность в области газотурбинной техники условно можно разбить на ряд этапов. Любого Генерального или Главного конструктора тех лет невозможно обвинить в недостаточной активности, но многообразие и количество реализованных и нереализованных проектов П.А. Соловьева поражает.

1-ый период - 1953...1956 годы - период поиска типа и схем реактивных и газотурбинных двигателей, когда смело брались за все: за все схемы - от турбовинтовых до прямоточных, ракетных и даже ядерных.

Здесь нужно отметить следующие разработки ОКБ 19 того периода:

1) ТВД Д 19, заложенный еще при жизни А.Д. Швецова в 1953 году, с высокими параметрами на мощность 15000 л.с. В 1953...1955 гг. велось проектирование и изготовление двигателя и редуктора.

2) Редуктор и трансмиссия к ТВД ТВ 2М ($N_e=6250$ л.с.) - для пикирующего торпедоносца Ту 91 А.Н. Туполева (1954 г.) и к ТВ 2МВ ($N_e=5500$ л.с.) - для тяжелого вертолета Ми 6 (1957 г.). Впоследствии на вертолетном двигателе газогенератор от ТВД ТВ 2Ф конструкции Н.Д. Кузнецова был заменен на газогенератор от ТРДД Д 20П.

3) Прямоточный ВРД и турбонасосный агрегат к нему (1955 год). Однако, главный и судьбоносный выбор, определивший тематику ОКБ 19 на многие годы, был сделан в середине 1955 года, когда начали проектировать первый двигатель по двухконтурной схеме Д 20 со степенью двухконтурности $m=1.56$. Двигатель проектировался с форсажными камерами во втором контуре для установки на бомбардировщике А.Н. Туполева с $M_{max}=1.4$, способном преодолевать зону ПВО на форсажном режиме работы двигателя.

В 1955 г. были испытаны на установках 40 вариантов жаровых труб наружного контура. Велись (в задел) перспективные работы с изготовлением и испытанием 1СА турбины до $T_{вх}=1450$ К с целью создания более экономичной модификации Д 20Ф с $T_{св}=1400$ К. В 1956 году были изготовлены 5 двигателей Д 20 без жаровых труб во втором контуре; в октябре 1956 года изготовление и доводка двигателей Д 20 были прекращены в связи с прекращением работ по самолету.

2-й период - 1956...1961 гг. - это весьма значимый период в жизни ОКБ - создание и внедрение в эксплуатацию двухконтурных двигателей Д 20П для самолетов Ту 124 и турбовального ГТД Д 25В для тяжелых вертолетов Ми 6 с уникальными трансмиссией и редуктором Р 7 мощностью 11000 л.с.

При проектировании двигателей Д 20 и Д 20П был сделан стратегический выбор ОКБ на многие годы, а именно выбраны: схема двигателя и размерность компрессора газогенератора.

Двухконтурная схема двигателя, занимая промежуточное положение между ТРД и ТВД, позволяла значительно улучшить эконо-



Ближнемагистральный пассажирский самолет Ту-124 с двигателями Д-20П



Военный транспортный вертолет Ми-10 и вертолет Ми-6 с двигателями Д-25В

мичность ТРД за счет меньших потерь с выходной скоростью, улучшить газодинамическую устойчивость компрессорной высоконапорной системы за счет естественного перепуска за КНД во второй контур, уменьшить уровень шума и тепловыделения в гондолу, а по сравнению с ТВД позволяла иметь менее сложную конструктивную схему и большую надежность за счет отсутствия редуктора и поворотных лопастей винта, большую крейсерскую скорость полета, меньшее акустическое воздействие на планер и местность.

Развиваясь по степени двухконтурности от 1 до 9...12, двухконтурная схема осталась доминирующей по настоящее время во всем мировом авиадвигателестроении.

Выбор в 1955...1956 годах размерности 7 и 8 ступенчатых компрессоров двигателей Д 20 и Д 20П позволил, не меняя размерности группы базовых ступеней, создать в будущем семейство авиационных ТРДД с тягой от 5.5 до 17.5 тс и промышленных ГТУ мощностью от 2.5 до 25МВт. Незначительному моделированию (на ~11% по диаметру)



Ближнемагистральный пассажирский самолет Ту-134 с двигателями Д-30

базовые компрессоры подверглись только в двигателях Д 30КУ/КП и Д 30Ф6, что позволило сохранить на всех ТРДД вплоть до ПС 90А газодинамически более устойчивую компрессорную схему ТРДД без подпорных ступеней на валу вентилятора.

Благодаря большей двухконтурности вследствие меньшей размерности газогенератора, а, следовательно, лучшей экономичности, а также большей устойчивости компрессорной группы двигателей Д 30КУ и Д 30КУ 154 были ремоторизованы самолеты Ил 62 и Ту 154, получившие название Ил 62М и Ту 154М, а двигателю ПС 90А с большой степенью двухконтурности и степенью сжатия в компрессоре было отдано предпочтение на конкурсе двигателей ПС 90А и НК 64 для самолетов Ту 204 и Ил 96.

Огромным мировым достижением этого периода явилось создание тяжелого вертолета Ми 6 с двигателем Д 25В. Вертолет был способен поднимать груз 20 тонн на высоту до 2500 м. и летать со скоростью до 340 км/ч. Всего было установлено 16 мировых рекордов по грузоподъемности и скорости полета.

Первый полет состоялся 5 июня 1957 года, серийное произво-



Среднемагистральный пассажирский самолет Ту-154М с двигателями Д-30КУ-154

дство началось в 1959 г., было выпущено более 4000 двигателей Д 25В и 924 вертолета Ми 6.

И если газогенератор двигателя Д 25В был использован с двухконтурного двигателя Д 20П (с добавлением 9-ой ступени в КВД), то редуктор Р 7 был уникальным техническим объектом, включающим многие новаторские конструкторские решения.

Журнал "Интеравиа" так охарактеризовал вертолеты Ми 6 и Ми 10: "При создании большого вертолета Ми 6 и "летающего крана" Ми 10 были решены такие инженерные проблемы, к которым до сих пор не осмеливаются приблизиться конструкторы западных фирм".

Вклад тяжелых вертолетов Ми 6 и Ми 10 в освоении Сибири, в особенности ее нефте-газоносных районов, трудно переоценить.

Поражают темпы, с которыми во второй половине 50-х годов создавались двигатели Д 20П и Д 25В с редуктором Р 7.

В декабре 1956 года был закончен выпуск чертежей и запущено производство деталей на первый двигатель Д 20П. В январе-феврале 1957 года были изготовлены первые три экземпляра и начато испытание экз. №1 (18 01). Всего в 1957 году были изготовлены 10 двигателей, а двигатель 18 06 в июне 1957 г. прошел 50 часовое испытание. В 1957...1959 гг. было изготовлено в кооперации с серийным заводом 42 двигателя, а двигатель 18 40 в 1959 году успешно прошел 100-часовые Госиспытания и начал производиться серийно. 29 марта 1960 г. - самолет Ту 124 совершил первый полет. Общий срок разработки, доводки (до ограниченного ресурса) и передачи в серийное производство двигателя Д 20П составил около 3-х лет.

Вертолетная силовая установка с двигателем Д 25В была создана за еще более короткий срок - 8 месяцев и в 1959 г. запущена в серийное производство. Указанные короткие сроки создания двигателей Д 20П и Д 25В были обеспечены наличием заделов (двигателей Д 20, ТВД ТВ 2МВ с редуктором Р 6) и широким привлечением серийного завода в производство опытных двигателей, что позволило избежать даже минимального дополнительного срока на освоение двигателя серийным заводом.

Пассажирские перевозки на Ту 124 начались в октябре 1962 года. За 18 лет эксплуатации (до 1980 года) было перевезено около 6.5 млн. пассажиров. Всего было произведено 165 самолетов и 1795 двигателей Д 20П 4-х серий.

В этот же период (1956...1960 гг.) велось проектирование и доводка весьма новаторского двигателя Д 21, значительно опережавшего свое время. Это был двухконтурный сверхзвуковой высокотемпературный (ТСА=1430 К) двигатель с общим форсажем для разбежника-перехватчика конструкции П.В. Цыбина со скоростью полета $M_{\max}=2.8$.

Уникальным для того времени был сверхзвуковой регулируемый осесимметричный воздухозаборник, который проектировался в ОКБ 19 и совместно доводился на стендах ЦАГИ. Чертежами этого воздухозаборника интересовались в 80-х годах работники ОКБ Туполева. Работы по двигателю Д 21, как и по самолету Цыбина, были свернуты в связи с ракетными приоритетами.

Пионерскими начинаниями во второй половине 50-х годов были: - освоение двухконтурной схемы двигателей: двухвальной, одновальной, без смешения и со смешением потоков контуров, с отношением высокой (по сравнению с первыми зарубежными двухконтурными двигателями) степенями двухконтурности $m=1...1.5$ против $m=0.25$ одного из первых английского двухконтурного двигателя RCo.12Conway;



Двигатель Д-20П Внуково 11 июля 1963 года



Дальнемагистральный пассажирский самолет Ил-62М с двигателями Д-30КУ

ром с большим передаточным соотношением.

В 3-ий период - 1963...1972 годы - были созданы двухконтурные двигатели 3-го поколения: Д 30 и Д 30КУ/КП.

При этом заслугой Павла Александровича явилось то, что, несмотря на сильный крен в эти годы на ракетные двигатели (в 1963...1964 годах в ОКБ 19 также велось проектирование нескольких крупных ЖРД), в эти же годы был спроектирован двигатель Д 30 для массового пассажирского ближнемагистрального самолета Ту 134.

Двигатель имел значительно большую степень повышения давления: $\pi_{\kappa\Sigma}=19$ против $\pi_{\kappa\Sigma}=14$ (Д 20П), и главное, значительно лучшие КПД всех узлов, а также имел смеситель потоков, а затем получил и реверс тяги (на Д 30 II серии).

В целом программа двигателей Д 30 была весьма успешной:

- Всего было выпущено 3490 двигателей Д 30 различных серий;



На опытном заводе

- К 2002 году общая наработка двигателей составила более 28.5 млн. часов;

- Достигнуты (в 1999 г.) одни из самых высоких в мире показателей надежности: $K_{вг}=0.0065$ (153660 ч. на 1 выключение в полете) и $K_{дс} 1000=0.0036$

(28000 ч. на 1 досрочный съем);

- К 1991 году было перевезено уже 500 млн. пассажиров;

- Всего было построено 854 самолета, число пассажиров на борту доведено до 80 на самолете Ту 134БЗ.

В 1966 году ОКБ 19 (ПМКБ с 1966 г.) вышло с инициативой (поддержанной приказами МАП) по созданию двигателя Д 30К на тягу 11 тс для ремоторизации ДМС Ил 62, чтобы надежно обеспечить беспосадочные полеты в Западное полушарие.

Сложность проекта заключалась в необходимости не превышать существенно габариты двигателя НК 8 4 со степенью двухконтурности $m=1$ и значительно повысить экономичность (на ~13%), а также газодинамическую устойчивость СУ при повышенных углах атаки самолета, когда с крыла сходят вихри на вход в двигатели, расположенные в хвостовой части.



Л.И. Брежнев, П.А. Соловьев у военно-транспортного самолета Ил-76 с двигателями Д-30КП

Поэтому была принята, в отличие от НК 8 4, схема двигателя без подпорных ступеней, что обусловило необходимость некоторого моделирования (на 11% по D) компрессора ВД двигателя Д 30. Степень двухконтурности двигателя Д 30 была увеличена более чем в 2 раза

(до $m=2.4$).

Метод моделирования был использован и для создания каскада НД: моделировались первые три ступени КНД двигателя Д 30 (на 51% по D). В связи с меньшим $\pi_{\kappaнд}$ по сравнению с КНД Д 30, была подставлена ступень на входе в компрессор ВД. Таким образом, был реализован качественно новый 11-ступенчатый компрессор ВД с $\pi_{\kappa}=11$ с плавно регулируемым ВНА (впервые в ОКБ).

Увеличенная на 100°C температура газа на входе в турбину (до $T_{CA}=1430$ К) потребовала применения более интенсивно охлаждаемой, так называемой "штырьковой" лопатки первой ступени турбины ВД.

Двигатель Д 30КУ с тягой 11 тс прошел Госиспытание в октябре 1971 года; в марте 1972 года было закончено Госиспытание двигателя Д 30КП с тягой 12 тс.

Серийное производство двигателей Д 30КУ/КП было передано в 1972 году на Рыбинский моторостроительный завод, где при участии работников филиала ПМКБ уже в августе 1972 года на РМЗ был изготовлен первый серийный двигатель Д 30КУ, что свидетельствовало о высокой производственной технологичности двигателей семейства Д 30 и Д 30КУ/КП.

Летные испытания самолета Ил 62М были проведены в 1970...1972 годах, а в 1973 году началась эксплуатация.

По сравнению с самолетом Ил 62 была значительно увеличена практическая дальность полета, что позволило надежно осуществлять беспосадочные перелеты через Атлантический океан при любом направлении ветра.

При максимальной нагрузке 23000 кг дальность возросла с 6950 км до 8270 км, а с коммерческой нагрузкой 10000 кг (100 пассажиров) с 8700 км до 10000 км. В зависимости от протяженности маршрута Ил 62М был способен принимать коммерческую нагрузку в среднем на 40% больше, чем Ил 62. Так, в полет из Москвы в Токио Ил 62М брал на борт 18 т., в то время как Ил 62 - 13 т.

Всего было построено 193 самолета Ил 62М и Ил 62МК, регулярная их эксплуатация продолжалась до конца 2008 г.

В 1980 году, спустя десятилетие после начала испытаний самолета Ил 62М, были проведены испытания ставшего еще более массовым самолета Ту 154М, на котором вместо двигателей НК 8 2У были установлены двигатели Д 30КУ 154.

В 1985 году началась регулярная эксплуатация самолетов Ту 154М за границей и на трассах Аэрофлота.

По сравнению с самолетом Ту 154Б дальность полета с полной загрузкой была увеличена от 2800 км до 3500 км, топливная эффективность увеличена на 28%.

Всего было построено 313 самолетов Ту 154М, серийное производство (на последнем этапе - мелкосерийное) закончилось в 2013 году.

Особое место как объект, на котором был установлен двигатель Д 30КП с тягой 12 тс, занимает военно-транспортный самолет Ил 76 - его основные модификации Ил 76ТД и Ил 76МД. Всего было выпущено около 1000 экземпляров, из которых примерно 400 - для ВВС.



В сборочном цеху у двигателя Д-30

Первый полет прототипа - 25 марта 1971 года, первый полет серийной машины - 5 мая 1973 года.

Самолеты Ил 76ТД и Ил 76МД способны перевозить груз до 50 т на дальность 3700 км и 40 т - на дальность 4900 км.

Были созданы множество модификаций, способных решать весь комплекс гражданских и военных задач по грузоперевозкам и десантированию, заправке в воздухе (самолеты Ил 78), пожаротушению, госпитализации и другие.

"Самолет Ил 76 с точки зрения руководства и всего личного состава Военно-транспортной авиации навсегда останется в истории ОКБ и заводов золотой страницей". Такую оценку этому самолету дал в 2003 г. командирующий 61-ой воздушной армии ВГК (ВТА) генерал-лейтенант В. Денисов.

Всего было выпущено двигателей Д 30КП - 4900 экземпляров; Д 30КУ - 1554 экземпляра и Д 30КУ 154 - 1510 экземпляров.

Двигатели Д 30 КУ/КП оставались самыми экономичными в мире в среднем классе тяг 10...12 тс, вплоть до середины 80-х годов, когда были введены в эксплуатацию двигатели типа CFM.56 3 на самолете В.737 300.

Во второй половине 80-х годов, благодаря широкой эксплуатации самолетов Ту 134, Ил 62М, Ту 154М, Ил 76ТД, более 60% всех перевозок пассажиров и грузов только в МГА производилось на самолетах с двигателями конструкции П.А. Соловьева.

4-ый период деятельности П.А. Соловьева на посту Главного конструктора - 70-е годы - были посвящены, в основном, созданию военного двигателя Д 30Ф6. Необходимо было, опираясь на имеющуюся конструктивную (главное, на компрессорную) базу создать многорежимный двигатель с выдающимся комплексом тягово-экономических и эксплуатационных характеристик для дальнего многоцелевого перехватчика с максимальной скоростью 3000 км/ч ($M_{\max}=2.83$). Нужно сказать, что ОКБ само сознательно и заранее готовилось к освоению сверхзвуковой области полетов. Еще в декабре 1965 года в инициативном порядке была создана бригада под руководством В.М. Чепкина, которой было поручено отработать для ТРДД Д 30 общую форсажную камеру (ФК) за смесителем и регулируемое сопло. В 1966 году началось изготовление ФК и установок по испытанию двигателя Д 30Ф (изд.38) с ФК. В 1967 году был изготовлен и испытан двигатель 38-01 на тягу $R_F=11.5$ тс, который в начале 1968 года прошел 25 часовое испытание. В 1971 году двигатель 38 04 испытывался на стенде Ц2 в ЦИАМ для проверки работы ФК при малых давлениях.

С 1970 года началось проектирование более мощного ТРДДФ на тягу 16 тс - двигателя Д 30Ф6, предназначенного для значительного развития тактико-технических возможностей самолета МиГ 25 с ТРДФ Р15Б 300.

Создание двигателя Д 30Ф6 - это образец нахождения наименее рискованных, наименее дорогостоящих решений с максимальным сохранением преемственности важнейших узлов (прежде всего - компрессорных) при достижении значительно новых качеств разрабатываемых изделий. Именно этими принципами, сочетанием новаторской смелости и осторожности, всегда руководствовался П.А. Соловьев при выборе концепции создания того или иного двигателя, учитывая все требования ТТЗ и прочие обстоятельства.

Перед созданием двигателя Д 30Ф6 для многорежимного сверхзвукового самолета нужно было решить (для выполнения ТЗ) ряд малоизученных вопросов для такого типа двигателей (с $t_{\text{вх макс}}=290^\circ\text{C}$ и $P_{\text{вх макс}}^*=2.3$ кгс/см²):



Двигатель Д-30Ф6 на испытательном стенде

- 1) выбор основных параметров m , $\pi_{\kappa\Sigma}$, T_{CA} ;
- 2) выбор программ и параметров регулирования основного и форсажного контуров;
- 3) выбор конструктивных решений по узлам турбокомпрессора, ФК, регулируемому соплу, тепловой защите подшипниковых узлов, топливомасляной системе, системе автоматического регулирования и др.

Принятые под руководством П.А. Соловьева в 1970 году решения, которые в ряде организаций подвергались сомнениям, в большинстве своем оказались правильными, в частности, параметры $m=0.5$, $\pi_{\kappa\Sigma}=22$, $T_{CA}=1640\text{K}$ стали классическими для большинства отечественных и зарубежных, позже спроектированных, военных многорежимных ТРДДФ.

Новым решением явилось применение так называемой "температурной раскрутки" с увеличением скорости полета, т.е. повышение T_{CA} на 150°C (от $T_{CA0}=1490\text{K}$ до $T_{CA\max}=1640\text{K}$), позволившее получить рекордно крутую для ТРДДФ скоростную характеристику $R_F=f(M)$. При этом впервые в мире на серийном двигателе был внедрен воздухо-воздушный теплообменник в системе охлаждения турбины.

Выбор относительно низконапорной компрессорной группы: КНД - от двигателя Д-30 с добавлением ступени впереди и КВД - от двигателей Д-30КУ/КП без первой ступени - позволили избежать длительной доводки компрессора и обеспечить его газодинамическую устойчивость при высоком уровне как внешних (со стороны воздухозаборника), так и внутренних возмущений (приемистость, включение форсажа и др.).

Первый полет с опытными двигателями Д 30Ф6 самолет МиГ 31 совершил 16 сентября 1975 года.

После энергичного преодоления ряда неизбежных в ходе доводки трудностей, в частности, по подшипниковым узлам, виброгирению в ФК, регулируемому соплу, системам автоматического регулирования, обеспечению прочности ряда узлов и деталей - с 1977 года освоено производство двигателей на серийном заводе, а в декабре 1979 года двигатель Д 30Ф6 (48 35) выдержал Госиспытания.

Это была большая и признанная победа всего коллектива ОКБ под руководством П.А. Соловьева. По напряжению и самоотдаче всего коллектива труд при создании двигателя Д 30Ф6 неопишимо труден в военные годы.

Создание двигателя Д 30Ф6 - это пример успешной реализации государственной программы с участием десятков НИИ и предприятий авиационной отрасли и МО - под руководством Генерального конструктора П.А. Соловьева.

Выполнение жестких требований к двигателю Д 30Ф6 позволили создать уникальный воздушный оборонный комплекс - дальний перехватчик МиГ 31 - для борьбы с самыми различными воздушными наступательными целями от КР на сверхмалых высотах до стратегических целей на больших высотах и удалениях. Группа из четырех самолетов МиГ-31 может контролировать воздушное пространство по фронту 1100 км.

Благодаря высоким тягово-экономическим характеристикам двигателя самолет МиГ 31 обладает большой скороподъемностью, набирая за 7.9 мин. высоту 20 км с разгоном до большой скорости, а для демонстрации возможностей самолета по дальности полета летчик Роман Таскаев перелетел из Мурманска в Анадырь (Чукотка) через Северный полюс без посадки с дозаправкой топливом в



Истребитель-перехватчик МиГ-31 с двигателями Д-30Ф6

воздухе от самолета-танкера Ил 78.

В 2016 году самолет МиГ 31БМ установил рекорд беспосадочной дальности более 8000 км, проведя в полете 7 часов с дозаправками в воздухе. В 1997 г. летчик-испытатель А.В. Федотов достиг высоты 37650 м. Этот рекорд до сих пор не побит.

Официально к концу 1994 года всего было построено более 500 самолетов МиГ 31 и МиГ 31БМ и выпущено более 1500 двигателей.

Летчик-испытатель самолета МиГ 31 Валерий Меницкий: "Я могу с полной уверенностью сказать: такого самолета нет ни у Соединенных Штатов, ни у наших европейских оппонентов. В данном комплексе заложены громадные потенциальные возможности".

Командир пермского авиаполка МиГ 31 Валерий Григорьев: "МиГ 31 - это один из лучших самолетов всех времен и народов, непревзойденный шедевр авиастроения... Нет другого серийного самолета в мире, который летает со скоростью 3000 км/ч и способен на такой большой дальности обнаруживать цели".

На базе двигателя Д 30Ф6, исключив форсажную камеру и регулируемое сопло, был создан двигатель ПС 30В12 для уникального высотного самолета М 55 "Геофизика", равного которому в мире до сих пор нет. Совершив первый полет в 1988 году М 55 установил 16 мировых рекордов. М 55 может совершать длительный полет (до 6 часов) на высоте свыше 20 км, неся до 1.5 тонн приборного оборудования, участвуя в международных программах по исследованию верхних слоев атмосферы.

5-ым (к сожалению, завершающим) периодом деятельности Павла Александровича был период создания двигателя ПС 90А на посту Генерального конструктора - 1980...1989 годы и в качестве советника - 1989...1996 годы.

Потребность обновления парка отечественных магистральных пассажирских самолетов с целью значительного улучшения их топливной эффективности (в 1.5...2.0 раза) и обеспечения новейших требований ИКАО по шуму и эмиссии ВВ назрела еще в 70-е годы, когда на трассы вышло новое поколение магистральных самолетов типа B747, DC 10, L 1011, A300 и др. с двигателями увеличенной степени двухконтурности ($m=4...6$).

Вслед за созданием ТРДД Д 30КУ/КП (с $m=2.4$) с начала 70-х годов в ПМКБ велись широкие расчетно-конструкторские работы по нескольким вариантам двухвального ТРДД Д 70 с повышенной степенью двухконтурности ($m=4...5$) и тягой 14.5...15.5 тс на базе газогенератора ТРДД Д 30КУ/КП.

Главной причиной того, что двигатель типа Д 70 не был создан в 70-е годы, как известно, явилось то, что коллектив ПМКБ был сосредоточен на решении весьма сложной и ответственной задачи - создании высокопараметрического ТРДДФ Д 30Ф6 для сверхскоростного дальнего перехватчика с $M_{\max}=2.83$, потребовавшей большого напряжения и полной самоотдачи всего коллектива ПМКБ.

Тем не менее, проработки Д-70, создание ТРДД Д 30А - с одноступенчатым вентилятором и ТРДДФ Д 30Ф6 подготовили к концу 70-х годов базу для создания высокопараметрического ТРДД повышенной степени двухконтурности 4 поколения. Этот двигатель уже соответствовал разрабатываемому новому поколению зарубежных ТРДД типа PW4000, PW2037, V2500, CF6 80C2, отличавшимися улучшенной экономичностью: $C_{R_{\text{кр}}}=0.575...0.59$ кг/кгс*ч против $C_{R_{\text{кр}}}=0.63...0.65$ кг/кгс*ч у ТРДД предыдущего поколения JT9D, CF6-50 и RB211.

После предварительных проработок различных схем двигателя (включая трехвальную) и различных размеров газогенератора (от Д 30КУ и Д 30) П.А. Соловьевым было принято стратегически важное решение использовать КВД меньших размеров (в размерах КВД двигателя Д 30): меньшая размерность газогенератора давала ряд преимуществ как для проекта ПС 90А, так и для возможных будущих модификаций, а именно:

- могли быть реализованы большая степень двухконтурности (при ограничении СУ по габаритам) и меньшая масса двигателя;
- представлялась возможность модификации двигателя с сохранением газогенератора в сторону меньших тяг, актуальных для

110...150-местных самолетов (проекты ТРДД ПС 90А10, А12).

К декабрю 1982 года был изготовлен первый газогенератор с 13 ступенчатым компрессором в принятой размерности двигателя Д 30.

Исторической заслугой П.А. Соловьева является выбор облика и создание высокопараметрического газогенератора для ТРДД ПС 90А, имевшего весьма эффективный турбокомпрессор ВД с $\pi_{\text{квд}}=16$ в 13 ступенях и двухступенчатую турбину с $T_{\text{СА макс}}=1640$ К, который открывал широкие возможности для создания на его базе семейства эффективных ТРДД и ТВВД в классе тяг 10...22 тс для различных классов транспортных самолетов и, что не менее важно, современных высокоэффективных промышленных ГТУ в актуальном ряду мощностей 10, 12, 16, 25 МВт - без моделирования и до 65, 180, 250 МВт - при соответствующем моделировании базового газогенератора. Всего выпущено более 650 ГТУ на базе газогенератора двигателя ПС-90А.

Еще при жизни П.А. Соловьева, работавшего в должности советника, в 1994 году был спроектирован 14 ступенчатый компрессор с $\pi_{\text{кс}}=23$, который используется в серийной промышленной газотурбинной установке ГТУ 16П мощностью $N_e=16$ МВт.

Для сравнения, 14 ти ступенчатый компрессор ТРДД CF6 80C2, введенный в эксплуатацию в конце 80 х годов на самолетах типа A310 и B767, имел степень сжатия $\pi_{\text{квд макс}}=11.9$. Компрессор с $\pi_{\text{квд}}=23$ в 10 ступенях был введен в эксплуатацию на двигателе GE90 только в 1995 году.

В декабре 1983 года первый опытный двигатель 94 01, изготовленный с участием серийного завода, был поставлен на испытательный стенд и показал близкие к расчетным данные.

В марте 1985 года конкурсная комиссия МАП признала победителем конкурса на унифицированный двигатель с тягой 16 тс для самолетов Ту 204 и Ил 96 - ТРДД Д 90А, как показавший на прямых сравнительных испытаниях в июне и декабре 1984 года лучший на 4% удельный расход топлива и меньшую на 150 кг взвешенную сухую массу по сравнению с ТРДД НК 64.

В конце 1985 - начале 1986 г. после Постановления ЦК КПСС и СМ СССР, поручившего разработку нового двигателя Пермскому МКБ, была принята комплексная программа, предусматривающая создание 52 экземпляров двигателей до 1989 года и выполнения комплекса сертификационных работ.

Двигатель Д 90А, переименованный в 1987 году в связи с 70 летием Генерального конструктора П.А. Соловьева, в двигатель ПС 90А, как и двигатель Д 30Ф6, занимает особое место в ряду двигателей, созданных под руководством П.А. Соловьева.

При высокой конструктивной преемственности с семейством двигателей Д 30: 11 ступенчатый КВД Д 30КУ (с добавлением нулевой и 13-ой ступени, в размерах КВД Д 30); конструкция и технология высокотемпературной турбины ВД двигателя Д 30Ф6; конструкция и технология 4-х ступенчатой турбины НД двигателя Д 30КУ и при следовании всем принципам конструкторско-технологической и методологической школы, выработанной П.А. Соловьевым, был создан качественно новый продукт - высокоэкономичный и экологически чистый авиационный двигатель широкого применения в актуальном классе тяги 16 тс, обладающий комплексом основным признакам, характеризующих технический уровень, которые ставили этот двигатель в один ряд с лучшими зарубежными двигателями близкого класса тяги и назначения, а именно:

- высокими параметрами термодинамического цикла:
- степень сжатия в компрессоре $\pi_{\text{кс}}=38.0$,
- температура газа на выходе из СА турбины ВД $T_{\text{СА макс}}=1640$ К;
- высокой экономичностью на крейсерском режиме $C_R=0.595$;
- применением современных технологий и материалов, в частности:

- 1) дисков, полученных методом порошковой металлургии,
- 2) лопаток турбины ВД, отлитых с направленной кристаллизацией,
- 3) композиционных материалов в наружных корпусных деталях,
- 4) сотовых шумопоглощающих панелей;
- применением высокоточной многофункциональной электрон-



П.С. Соловьев со своим молодым заместителем А.А. Иноземцевым

но-цифровой системы автоматического регулирования с полной ответственностью и резервированием высокого уровня, обеспечивающие управление всеми процессами в двигателе и интеграцию с системами контроля и диагностики двигателя и управляющими системами самолета;

- применением новейших систем улучшения экономических и эксплуатационных характеристик двигателя, а именно систем:

1) активного управления радиальными зазорами в компрессоре и турбинах ВД и НД,

2) управления расходом охлаждающего воздуха, контроля теплового состояния лопаток турбины с помощью оптического пирометра,

3) автоматического увеличения тяги двигателя при отказе второго двигателя при взлете,

4) запуска, приемистости и дросселирования двигателя по приведенному ускорению ротора ВД,

5) автоматической защиты от помпажа компрессора;

- реализацией новейших принципов контроля, ремонтнопригодности и эксплуатационной технологичности в целом за счет развитых систем контроля, диагностики и регистрации, применения модальности конструкции;

- получения удовлетворяющих требованиям ИКАО акустических и эмиссионных характеристик.

Двигатель ПС 90А стал объектом реализации, можно сказать, национальной программы, в которой участвовали десятки опытно-конструкторских организаций, отраслевых и академических институтов и серийных (производственных) предприятий.

В процессе поузловой доводки на специальных стендах было проведено большое количество автономных испытаний большинства узлов и их основных деталей. На начало 1985 года в ПМКБ было задействовано около 65 экспериментальных установок.



Самолет Ил-96М с двигателями ПС-90А

Общее количество испытаний двигателя ПС 90А в процессе сертификации по специальным программам (ЕНЛГ-С), включая испытания по обрыву рабочих лопаток, по защите от раскрутки ротора ТНД, титановому пожару, режиму ЧР ($\vartheta_{TCA}=45^{\circ}C$), попаданию на вход града, льда, воды и птиц, составило 63 испытания. Для сравнения: по двигателю Д 20П было проведено 4 специспытания, по Д 30 - 16 специспытаний, по Д 30КУ и Д 30КП - 14 специспытаний. К моменту предъявления на ГСИ суммарная наработка двигателей по всем видам испытаний составила около 28000 часов, из которых наработка на стендовых испытаниях составила около 21400 часов, а 6600 часов - составили летные испытания.

В декабре 1987 года были начаты летные испытания на самолете Ил 76ЛЛ.

В марте 1988 года был собран первый двигатель, изготовленный на серийном производстве.

29 сентября 1988 года состоялся первый полет самолета Ил 96 300, а 2 января 1989 года - первый полет самолета Ту 204.

В августе 1991 года двигатель ПС 90А успешно прошел ГСИ, акт ГСИ был утвержден в декабре 1991 года.

В апреле 1992 года двигатель ПС 90А получил Сертификат летной годности и стал первым отечественным двигателем, прошедшим сертификацию в полном объеме гл. 6 ЕНЛГС-3.

14 июля 1993 года самолет Ил 96 300 совершил первый коммерческий рейс по маршруту Москва - Нью-Йорк.

В 1995 году начал коммерческие грузовые перевозки самолет Ту 204, а 23 февраля 1996 года состоялся первый пассажирский рейс Москва - Минводы.

В августе 1995 года совершил первый полет транспортный самолет Ил 76МФ с двигателями ПС 90А-76.

Общий парк двигателей ПС 90А, 90А 76, 90А1 и 90А2 насчитывает к марту 2017 года 368 штук, а суммарная наработка парка воздушных судов составила 3.845 млн. часов. Всего к концу 2016 года было выпущено 463 двигателя семейства ПС-90А.

Наработка лидерных двигателей с начала эксплуатации: ПС 90А - 43707 часов и ПС 90А 76 - 36531 часов.

Максимальная наработка двигателя без съема с крыла: ПС 90А - 11071 часов и ПС 90А 76 - 14017 часов.

Двигатель ПС 90А, роль П.А. Соловьева в выборе концепции и создании которого была решающей, являясь высокотехнологическим национальным продуктом, имеет все основания для долгой и достойной жизни в авиации 21 века.

Подтверждением этому заключению является активно проводимая ремоторизация самолетов Ил 76ТД/МД заменой двигателей Д 30КП на двигатели ПС 90А 76, что позволяет самолетам Ил 76ТД/МД 90 увеличить дальность полета с полной нагрузкой на 800 км и снять все ограничения по экологическим характеристикам для полетов во все районы мира.

Признанием высокого доверия к авиадвигателям конструкции П.А. Соловьева является тот факт, что в "Специальном летном отряде "Россия" сегодня "служат" 28 самолетов с пермскими двигателями.

За период, охватывающий четыре десятилетия с начала 50-х до начала 90-х годов прошлого столетия под руководством П.А. Соловьева было разработано и запущено в серийное производство не менее 15 авиационных газотурбинных двигателей различных схем и назначений, включая ряд модификаций.

Основными особенностями развития семейства двигателей Пермского ОКБ за эти годы являются:

- рост взлетной тяги разработанных двигателей, значение которой увеличилось более, чем в 3 раза: с 5500 кгс у Д 20П до 17400 кгс - у ПС 90А1 при сохранении высокой преемственности компрессора внутреннего контура, что позволило значительно сэкономить материальные и временные затраты при создании всего семейства двигателей;

- повышение экономичности двигателей на ~35%:

от $C_{RKP} = 0,915$ кг/кгс ч (Д-20П) до $C_{RKP} = 0,595$ кг/кгс ч (ПС 90А) за счет значительного повышения степени двухконтурности от $m=1$ (Д 20П) до $m=4.4$ (ПС 90А), основных параметров цикла

от $\pi_{\kappa\Sigma}=14$ (Д 20П) до $\pi_{\kappa\Sigma}=37$ (ПС 90А) и от ТСА макс=1330 К (Д 20П) до ТСА макс=1640 К (ПС 90А и Д-30Ф6);

- снижение удельной сухой массы двигателей на ~35%: от $\gamma=0.266$ кг/кгс (Д 20П) до $\gamma=0.170$ кг/кгс (ПС 90А1) при увеличении диаметра вентилятора:

от $D_B=915$ мм (Д 20П) до $D_B=1900$ мм (ПС 90А) и, соответственно, суммарного расхода воздуха:

от $G_{B\Sigma}=114$ кг/с (Д 20П) до $G_{B\Sigma}=500$ кг/с (ПС 90А1);

- развитие всех узлов и систем до уровня двигателей 4-го поколения: применение новых материалов и конструкций в горячих узлах, получение нормируемых экологических характеристик, внедрение электронно-цифровой системы регулирования, контроля и диагностики, позволяющей вести эксплуатацию по техническому состоянию.

Таким образом, в процессе создания под руководством П.А. Соловьева семейства газотурбинных двигателей различного назначения были последовательно разработан и впервые в стране реализован ряд новых объектов и технических решений:

- первая серийная газотурбинная вертолетная силовая установка, включавшая 2 двигателя Д 25В со свободной турбиной и редуктор Р 7 (1959 год);

- первый серийный двухконтурный двигатель Д 20П (1959 год);

- первая серийная турбина с внутренним воздушным охлаждением рабочих лопаток (двигатель Д 30, 1964...1967 гг.);

- первая общая форсажная камера за смесителем ТРДД (двигатель Д 30Ф, 1967 год);

- первый серийный ковшовый реверс внешнего расположения (двигатели Д 30КУ/КП, 1968...1971 гг.);

- первая силовая установка с 4-мя двигателями общей мощностью 26000 л.с. для самого грузоподъемного вертолета, когда-либо построенного в мире. 6 августа 1969 года вертолет В 12 поднял груз 44205 кг на высоту 2255 м. Силовая установка состояла из 4х двигателей Д-25ВФ, 2-х редукторов Р 12, связанных синхронизирующими устройствами (1968...1973 гг.);

- первый серийный воздухо-воздушный теплообменник в системе охлаждения рабочей лопатки турбины (двигатель Д 30Ф6, 1974...1979 гг.);

- первый серийный электронный цифровой регулятор двигателя с полной ответственностью РЭД 3048 (двигатель Д 30Ф6, 1977...1979 гг.);

- первый серийный двухконтурный многорежимный двигатель с общей форсажной камерой, рассчитанный на максимальную скорость полета 3000 км/ч ($M_{\text{макс}}=2.83$) - Д 30Ф6 (1970...1979 гг.);

- первые серийные высоконапорные однокаскадные компрессоры ВД:

на $\pi_{\kappa \text{ макс}}=16.5$ в 13-и ступенях (двигатель ПС 90А, 1982...1991 гг.) и

на $\pi_{\kappa \text{ макс}}=23.0$ в 14-и ступенях (ГТУ 16П, 1994...1997 гг.);

- первый (единственный в России) двигатель 4-го поколения ПС 90А для магистральных самолетов, сертифицированный по российским и международным нормам безопасности и экологическим нормам ИКАО, эксплуатирующийся по техническому состоянию в пределах установленных циклических ресурсов основных деталей с максимальными достигнутыми наработками лидерного двигателя ПС 90А - 43707 часов и без съема с крыла: 11071 часов (ПС 90А) и 14017 часов (ПС 90А 76) (годы создания 1983...1991).

Методологическими приемами и стратегическими концепциями, которые выработал и последовательно осуществлял Павел

Александрович Соловьев, определившими успешный и широкий выход в 60е...80е годы на гражданский и военный рынок (в условиях жесткой конкуренции с не менее известными ОКБ)

пермских двигателей Д 20П, Д 30, Д 30КУ/КП, Д 30Ф6, ПС 90А и их модификаций были:

- принятие концепции "стояния на двух ногах" - гражданское и военное двигателестроение;

- своевременное принятие двухконтурной схемы ТРД (в 1955 году), которая стала доминирующей во всем мире, как в гражданской, так и в военной авиации;

- выбор оптимальной размерности и типа компрессора ВД, начиная с компрессора Д 20 (1955 год), позволившие сохранить на долгие годы ядро двигателя - базовую группу 7 ступеней во всех разработках, включая двигатель ПС-90А с подстановками ступеней спереди и сзади и с незначительным (на +11% по D) моделированием для двигателей Д 30КУ/КП и Д 30Ф6, что позволило создать ряд ТРДД с тягой от 5.5 тс до 17.5 тс, а затем и ряд ГТУ с мощностью от 2.5 до 25 МВт с одной размерностью базовых ступеней КВД и сэкономить немало времени и средств;

- решительное применение с первых проектов высоких параметров цикла: температуры газа перед турбиной до ТСА=1400 К для опытных военных двигателей Д 20Ф и Д 21 и степени сжатия в компрессоре до $\pi_{\kappa\Sigma}=14$ (двигатель Д 20П);

- особо важным концептуальным принципом П.А. Соловьева было нахождение наименее дорогостоящих и наименее рискованных решений с сохранением максимально возможной преемственности при достижении при этом принципиально новых качеств разрабатываемых объектов;

- создание научно-технических заделов и широкое использование установок для полуживой аэродинамической и прочностной доводки;

- широкая, на возможно ранней стадии, кооперация с серийным заводом, значительно сокращающая сроки доводки опытных двигателей и переход к серийному производству.

Принципом "Школы Соловьева" можно назвать: "Высокая эффективность при минимальных затратах, как высшее проявление подлинного профессионализма". КПД его деятельности и деятельности не самого крупного Пермского ОКБ был необычайно велик, и роль П.А. Соловьева в достижении этого КПД была определяющей.

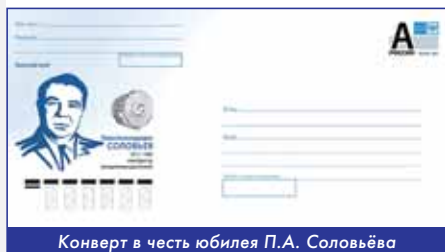
И, хотя П.А. Соловьев всегда искренне говорил: "Один человек ничего не может - делает всегда коллектив", но все же - это тот случай, когда так немногим (в данном случае П.А. Соловьеву) обязаны так многие.

Опираясь на творения наших великих предшественников и учителей, таких, как Павел Александрович Соловьев, сохраняя верность его традициям и принципам, продолжая развивать его достижения, коллектив "ОДК-Авиадвигатель" в новых условиях напряженно работает, реализуя с применением новейших технологий и материалов сверхвысокие параметры авиационных двигателей нового поколения.

Россия была и будет великой авиационной державой.



П.А. Соловьев в кабинете



Конверт в честь юбилея П.А. Соловьева

МНОГОМЕРНЫЕ ВЕКТОРНО-ФАЗОВЫЕ АТТРАКТОРЫ ГОМЕОСТАЗА СОСТОЯНИЙ УПРУГИХ СИСТЕМ

Анатолий Алексеевич Сперанский,

вице-президент Российской инженерной академии, директор Института наукоемких инженерных технологий, руководитель Рабочей группы "Технологическая безопасность" Экспертного совета председателя Коллегии ВПК при Президенте РФ, DExpert, профессор, академик РИА, руководитель Национальной исследовательской лаборатории ресурсных испытаний

На основе фундаментального научного базиса механики упругих сплошных сред предложен новый креативный инструмент наблюдения, оценки и прогноза напряженно-деформированных состояний объектов механических систем.

On the basis of scientific fundamentals of mechanics in elastic continuous media there has been proposed a new creative instrument of observation, assessment and forecast of stress-and-strain behavior of objects in mechanical systems.

Ключевые слова: фазовое пространство, годограф, аттрактор, энергия состояния.

Keywords: phase space, hodograph, attractor, energy of state.

"...Проблема организации научного мониторинга, стратегического управления рисками, прогноза и предупреждения кризисных явлений может стать национальной сверхзадачей.

По масштабу и важности она сравнима с разработкой стратегических вооружений и космическими программами, от которых в своё время зависело будущее великих держав".

Из аналитического обзора Совета Безопасности РФ

Глобальная угроза земной цивилизации

Как и предсказывали государства-участники "Римского клуба" еще в 1964 году, общество XXI века стало свидетелем и заложником глобальной технологической угрозы - ускоряющимися темпами прогрессируют проблемы, обусловленные антропогенной деятельностью Человека [1].

Техногенные, а правильнее сказать, экотехнологические катастрофы (ЭТК) занимают одно из ведущих мест по количеству человеческих жертв и представляют наибольшую опасность Социуму. По статистике международного *Center for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), общий ущерб от ЭТК в прошлом веке оценивается в \$14,7 млрд за сто лет. В 2001 году ущерб от ЭТК составил \$144 млн, после чего наблюдается взрывной рост - мировые экономические потери в 2009 г. составили \$63 млрд, а в 2010 г. \$222 млрд при количестве погибших более 260 тыс. человек [2]. Среднегодовые потери только японской экономики от ЭТК в начале текущего столетия оцениваются в \$66,7 млрд. Консалтинговая фирма *Risk Management Solution* информирует, что с 2003 г. доля ЭТК существенно превосходит объемы природных катастроф при стабильном росте смертности. Научные аналитики считают главными четыре причины глобально нарастающей угрозы:

- потребительская стратегия общества, фактически понизившая ответственность бизнеса в сфере производственно-эксплуатационной безопасности сложных объектов и систем;

- энтропийный хаос в научно-технологической сфере как следствие мирового системного кризиса экономик, тормозящего фундаментальные и прикладные исследования для опережающего развития интеллектуальных систем прогнозтики и предотвращения ЭТК;

- сложившаяся в мире жесткая конкуренция и активное научно-технологическое противостояние постоянно ускоряет воспроизводство уникальных новационных достижений в виде сложных инженерно-технических объектов и систем, которые вследствие дефицита временных, финансовых, материальных и технологических ресурсов несут потенциальные техно-патогенные угрозы, связанные с их непредсказуемым функционированием;

- равнодушие, консерватизм и низкая компетентность исчезающей научно-технологической элиты, мотивированной менеджментом на легкодоступные и "экономически выгодные" решения,

существенно отстающие от представленных выше темпов роста глобальных угроз.

По аналитическим прогнозам МЧС в обозримом будущем рост негативного влияния ЭТК на экономику приведет к затратам от 1,5 до 4,5 % валового национального продукта, что превышает суммарные расходы на здравоохранение и охрану окружающей среды. К примеру, аварии на трубопроводах, загрязняя значительные территории, ведут к потере от 7 до 20 % транспортируемой нефти в объеме от 10 до 68 млн тонн ежегодно. Такова цена социальной безответственности и научно-технологической инфантильности, и подобными примерами изобилует множество инженерных практик.

Устойчивая деградация привела к тому, что в экономиках отсутствуют действенные инструменты эффективного регулирования и поддержания баланса общественных потребностей и научно-технологических возможностей при решении проблем, особенно в сфере экотехнологической безопасности. Проблемы техногенных и экотехнологических опасностей имеют глобальный системный характер, а их последствия наносят неисчислимы бедствия, материальные, финансовые, экологические и людские потери. Из приведенного анализа следует, что **невозможно добиться экономического роста и устойчивого развития без эффективных мер по предотвращению ЭТК, обусловленных антропогенной деятельностью человека.**

Вывод: для устранения глобальной угрозы ЭТК необходимо решить проблемы:

- а) *научного изучения теории, факторов и причин опасных эксплуатационных режимов, процессов и состояний конструктивных материалов объектов упругих систем;*

- б) *научно-методического обеспечения адекватного наблюдения, оперативной ранней диагностики патологий и формирования объективно достоверного прогноза гомеостаза;*

- в) *создания интеллектуальных инструментов ресурсного техногенеза, раннего предупреждения и эффективного предотвращения патологических состояний и потерь.*

Фундаментальным подходам к решению первой из указанных проблем посвящена работа автора [3], получившая многочисленные подтверждения в исследовательских авиационных приложениях и одобрительный интерес механиков-прочнистов.

Инструменты наблюдения в технологических укладах

В механике упругих систем фундаментальной научной основой наблюдения напряжённо-деформированных состояний (НДС) являются основополагающие законы теоретической механики, основные постулаты механики сплошных сред, системно-информационный подход и тензорный аппарат анализа причинно-следственной трансформации массово-энергетических диагностических параметров текущих состояний. Несмотря на такой обширный научный базис XVIII века, инженеры-механики более трех столетий наблюдали виброакустические состояния объектов механических систем путем статистической оценки усредненных скалярных (1D-монокопических) измерений диагностических параметров в направлениях установки их измерительных осей. Независимо от физических методов преобразования виброакустических колебаний (пьезоэффект, емкостной, индукционный, резистивный и т.д.), физической сути и топологии измеряемых параметров (вибросмещение, виброскорость, виброускорение), все традиционно применяемые в механике измерительные средства являются скалярными, в большинстве случаев, с инерционными чувствительными элементами.

Из научного базиса следует, что все наблюдаемые спектральные колебательные процессы природного синтеза состояний в сплошных и упругих средах существенно пространственные и системно связаны во времени, являются амплитудно-фазо-частотными (АФЧ) и соответствуют векторно-фазовой 4D-мерности, а метрологические инструменты первых пяти технологических укладов являются амплитудно-частотными (АЧ), усредняющими измерения во времени и соответствуют скалярной 1D-мерности. Различие в мерности и усреднение временных измерений среднеквадратическими методами (СКЗ), устраняющими проблему инерционности как метрологических средств, так и объектов наблюдения, существенно снижают информативность скалярных измерений, в разы искажая достоверность диагностики [4].

При этом следует иметь ввиду, что любой технологический уклад, особенно метрологический, имеет конкретный реально достижимый предел физической применимости. Как следует из теории технологически укладов, метрологическая скалярная парадигма первых четырех укладов вызывает обоснованное сомнение в перспективности усредненных 1D-измерений и статистических оценок состояний [5]. Неадекватность природному синтезу и низкая информативность виброакустических скалярных измерений привела к тому, что технологический хаос с каждым годом углубляется и превратился в реальную антропогенную угрозу, ощущению деформирующую экономику. Поэтому, начиная с пятого технологического уклада, заметно повысился интерес метрологической общественности к освоению новых физических методов пространственного мониторинга природной мерности с компьютерной реконструкцией текущих (real-time) ресурсных состояний механических систем.

Вывод: с уверенностью можно утверждать, что "физический предел" скалярных измерений породил углубляющийся информационный кризис в сфере экотехнологической безопасности.

О мерности наблюдения состояний

Одним из первых механиков, обративших внимание на недостоверность скалярных измерений, был выдающийся русский ученый-гидроакустик академик А.Н. Крылов, обосновавший идею повышения мерности и временной связанности измерений механических колебаний. Он утверждал, что поскольку энергетические колебательные процессы природного синтеза состояний в механических системах имеют пространственно-временной характер, то для их объективного наблюдения и последующего адекватного анализа необходимо стремиться к мерности измерений, соответствующей мерности собственно наблюдаемых физических процессов или явлений. Этому научно обоснованному подходу соответствует пространственно-временная LT-мерность земной цивилизации.

Лидеры мировой метрологической индустрии подхватили



Рис. 1 Причинно-следственная модель возникновения линейных упругих состояний



Рис. 2 Причинно-следственная модель упругого объемного (тензорного) сопротивления материала



Рис. 3 Причинно-следственная модель нелинейных воздействий на упругие состояния

идею русского ученого и более 40 лет производят серийно трехкомпонентные вибропреобразователи, монополизировав международный рынок прецизионных инструментов механических измерений. В первую очередь это компании APC, Endevco, Beantly Nevada, Dygital в США и Bruel&Kjaer, Kistler, LMS, Alstom в Евросоюзе. Все они и их технологические последователи демонстрируют неоспоримое стремление к повышению мерности измерений путем ортогонального размещения в общем корпусе трех скалярных 1D-датчиков. Возникающие при таком подходе принципиальные метрологические недостатки устраняются также по "рецепту" А.Н. Крылова путем применения ортонормализаторов. Безусловно, увеличение мерности существенно повышает достоверность измерений, но вместе с тем, современные инструменты вибромониторинга не обеспечивают ожидаемого обществом уровня эффективности виброакустической диагностики.

Подтверждением этого являются достоверные свидетельства дальнейшего стремления к повышению мерности измерений.

Например, компания Snesta, являющаяся одной из мировых лидеров в области авиационного моторостроения, запатентовала конструкцию многомерного 5D-сенсора с тензорно-матричной обработкой измерений через систему уравнений 68-й степени (патент EP 2 034 275 A1). Метрологическая идея в смысле практических приложений несовершенна и даже абсурдна, но подтверждает стремление авторитетной компании к новому уровню адекватности измерений собственно наблюдаемым процессам и состояниям. Впервые примененный в патенте термин "букет" свидетельствует о том, что разработчик предполагает "structural - структурный" анализ спектра пространственных колебаний.

Мировой лидер в области информационных технологий (IT) компания Hewlett-Packard (HP) разработала и запатентовала технологическую линейку сверхминиатюрных микро электромеханических систем (MEMS) на основе электронных измерительных микрочипов. MEMS являются 1D-сенсорами для преобразования различных диагностических параметров (давление, деформации, температура и т.д.) в измеряемый сигнал. Примером массовых приложений MEMS-технологии является объявленный HP транснациональный проект "Центральная нервная система Земли" (Central Nervous System for the Earth - CeNSE). Целью проекта является создание глобальной системы всеобъемлющего мониторинга состояния всех потенциально опасных инженерных сооружений с применением MEMS-акселерометров и самых современных вычислительных технологий обработки измерений HP.

При этом, впервые в метрологической практике, исходя из научного базиса предлагается измерять **полные механические колебания упругих механических систем** - три линейные и три вращательные компоненты шестью одномерными MEMS-сенсорами одновременно. Несовершенство в целом фундаментального подхода HP состоит в том, что измеряемые шесть компонентов не связаны пространством (разнесены на расстояния, на порядок превышающие собственные размеры микрочипов) и временем (существенное разнесение в пространстве на гибком основании порождает искажение временных запаздываний - фазы измеряемых компонентов). Но, вместе с тем, этот пример также подтверждает практическое стремление лидирующей IT-компании к новому уровню адекватности измерений наблюдаемым процессам и состояниям.

Шестимерные измерения параметров виброакустических колебательных процессов зарегистрированы в качестве интеллектуальной собственности в промышленно развитых странах: международные патенты компании Spider Technologies № WO 2006/011145 A2 (Израиль, США), компании Generale de geophysique № 2 446 494 (Франция), компании Siemens Aktiengesellschaft № EP 1 053 917 A1 (Германия), а также национальный патент № 2382990 RU (Россия).

Вывод: стремление к повышению информативности наблюдений является общей мировой тенденцией, что подтверждает активное создание новых типов и методов измерения виброакустических колебаний с использованием знаний и принципов перспективных технологических укладов: контактные (вакуумные, оптоволоконные, пленочные и т.д.) и дистанционные (оптические, лазерные MEMS, локационные и т.д.).

О наблюдениях системного гомеостаза антропогенных систем

Другим принципиально важным научным аспектом в рассматриваемом сегменте знаний является теория системного анализа выдающегося русского академика А.М. Ляпунова, который с учетом работ У.Р. Эшби обосновал фундаментальный научный подход к объективной исходной классификации явлений, достоверному пониманию физической сути природного синтеза и адекватного ему анализа гомеостаза наблюдаемых антропогенных объектов. По его прозорливому предвидению, пространственно-временная **IT-экспертиза гомеостатических состояний является универсальным методом адекватного наблюдения и рационального управления объектами жизнедеятельности** в биосфере и техносфере, а системным диагностическим отображением текущего

состояния сложных кибернетических систем является многопараметрический гомеостатический портрет (Homeostasis). Гомеостаз решает проблему оптимизации принятия решений, прогнозирования чрезвычайных состояний, предупреждения и предотвращения катастроф.

Простой несистемный анализ измерений, характерный для всех приведенных выше примеров стремления к повышению их мерности, как правило, опирается на статистические знания предшествующих (устаревающих) технико-технологических укладов и не предполагает перехода к принципиально новому уровню знаний на основе их простого количественного превосходства. В противоположность формальному увеличению мерности измерений, системный гомеостатический анализ измерений высокой мерности позволяет существенно приблизиться к адекватности антропогенных наблюдений через виртуальную многопараметрическую реконструкцию процессов, режимов и состояний природного синтеза объектов наблюдения.

Робкой, но достаточно эффективной попыткой приблизиться к "относительно системному" анализу состояний является развиваемая в последние четверть века в США и Евросоюзе **технологическая платформа Structural Health Monitoring (SHM)**, реализуемая в содружестве ведущих мировых университетских центров и фирм: The University of Michigan Laboratory for Intelligent Structural Technology; Los Alamos National Laboratory, Engineering Institute; Department of Civil and Environmental Engineering, Vanderbilt University Nashville (USA); Luleå University (Sweden); Campbell Scientific, Digitexx (USA), Structural Vibration Solutions A/S (DM), Oxford University, Advanced Vector Analytics (EU), HGL-dynamics (GB) и другими лидерами IT-кластера. По мнению разработчиков, "технология ориентирована на своевременную идентификацию деформаций аэрокосмических, гражданских и промышленных инженерных сооружений. В данном случае, деформация понимается как изменение свойств материала или/и геометрии конструкции, включая изменение граничных условий (например, грунтовых) и взаимодействий в системе, которые оказывают неблагоприятные воздействия на текущее или будущее её состояние. Дефект может быть выявлен путем сравнения текущего состояния системы с начальным или заведомо исправным". Активное распространение технологии SHM в область безопасности силовых агрегатов и машин (классическая механика) наблюдается в аэрокосмической отрасли.

Одним из эффективных приложений стали современные системы контроля и оценки технического состояния конструкций, узлов и агрегатов авиационной техники. Авиационные приложения SHM под названием **Health & Usage Monitoring Systems (HUMS)** создавались в Великобритании более 30 лет в качестве "...систем контроля за уровнем вибраций для наглядной индикации приближения будущего отказа и предоставления информации о состоянии основных узлов и агрегатов с возможностью раннего обнару-

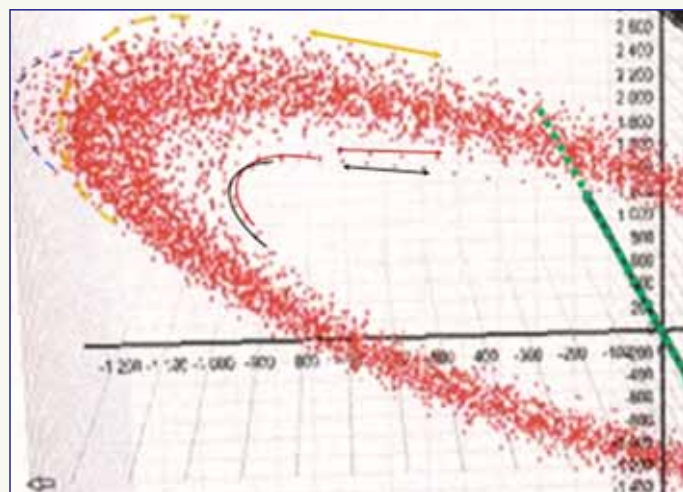


Рис. 4 Одночастотный квазистационарный энергетический аттрактор (тензорный годограф)

жения. Основная цель внедрения HUMS - сокращение расходов на эксплуатацию путём улучшения качества диагностирования, повышения точности прогнозирования остатка срока службы узла или агрегата, формирования поставок по реальной необходимости с постепенным переходом с промышленного этапа на этап информационный".

Одновременно и независимо от повышения информационно-метрологических возможностей систем наблюдения, ещё более ускоренными темпами возрастают размеры, сложность и мощность самих наблюдаемых технических систем. Последнее обстоятельство ведет к естественному увеличению масштабов людских, материальных и экологических потерь по отношению к практическим усилиям в области экотехнологической безопасности. Поэтому заметно увеличивается с каждым годом интерес международного научного сообщества и лидеров мирового рынка ИТ, проявляемый к области деятельности SHM. Компании HP, Siemens, Alstom, ABB, BP, Goodrich Corp., Mitsubishi, Honeywell, National Instruments и др. успешно работают в области экотехнологической безопасности машиностроения и строительства. В деятельности лидирующих ИТ-компаний присутствует осознанное триединое понимание научно-технологического главенства:

- широкополосных гиперчувствительных измерений (I),
- многомерной реконструкции текущих гомеостатических состояний (II) и
- встроенной интеллектуальной прогнозной экспертизы для кибернетического принятия решений (III).

Вывод: общество в своем технологическом развитии вплотную приблизилось к новой интеллектуальной модельной парадигме инженерной практики будущего [6]; оно пока не в состоянии предотвращать ЭТК полностью, но своей деятельностью по их достоверному предсказанию - научному прогнозу, оно может предвидеть и минимизировать потери и, напротив, своей бездействием или необоснованными действиями многократно усилить природно-антропогенный разрушительный потенциал.

О диагностических параметрах наблюдения состояний

Факт признания профессиональным метрологическим сообществом чрезвычайно низкой эффективности статистических методов ранней диагностики патологий эксплуатационных состояний является достаточным основанием для новых интеллектуальных усилий в понимании системно триединого технологического главенства достоверных измерений (проблема I), адекватной реконструкции гомеостаза (проблема II) и эффективной прогнозной экспертизы (проблема III) при выборе диагностических параметров текущих и прогнозных ресурсных трендов.

В **уходящей метрологической парадигме** главным диагностическим параметром, отражающим энергетические уровни причинно-следственных трансформаций в сплошных упругих средах, является амплитуда измеряемого параметра в спектре наблюда-

емых частот. Усредненные измерения амплитуды в сравнении со статистическими регламентированными оценками (уставками) порождают проблему недостоверности измерений (I) и, как следствие, проблему неадекватной реконструкции гомеостаза (II) и, в результате, проблему эффективности техногенеза (III). Таким образом, существующая метрологическая парадигма не способна успешно решать информационные проблемы экотехнологической безопасности без её кардинального пересмотра.

Методически наблюдения причинно-следственных процессов текущих и прогнозных эксплуатационных состояний конструкций, машин и механизмов должны опираться на фундаментальный научный базис механики упругих систем сплошных сред [7]. Волновая модель физических процессов в упругих системах следует постулатам суперпозиции и непрерывности (сплошности), основополагающим закону Гука и коэффициенту Пуассона. Системно-информационный подход к описанию напряженно-деформированных состояний (НДС) сформирован классическими уравнениями движения материальных точек упругой среды и математически реализуется тензорным аппаратом анализа причинно-следственной трансформации массово-энергетических диагностических параметров текущих состояний.

Научное обоснование междисциплинарного волнового клас-тера знаний опирается на признанные фундаментальные теории и системные научно-технологические школы:

- системный анализ и оптимальное управление академика А.М. Ляпунова;
- векторно-фазовая реконструкция колебаний академика А.Н. Крылова;
- траекторный анализ волновых физических состояний профессора А.А. Сперанского;
- прочность, устойчивость и динамика упругих систем профессора А.П. Лещенко;
- физическое моделирование сложных технических систем академика Е.А. Федосова.

Приведенные теории образуют научный фундамент Волновой информационной технологии (ВИТ), которая реализует **принципиально новую доктрину** объективных (достоверных) знаний о природных закономерностях, процессах и состояниях, основанную на соответствии (адекватности) метрологической информативности анализа и физической информативности (мерности) наблюдаемого природного синтеза.

В **новационной метрологической парадигме** мерность наблюдаемых диагностических параметров должна соответствовать мерности природного синтеза энергетических уровней причинно-следственных трансформаций НДС в спектре наблюдаемых частот. Речь идет о низкой эффективности традиционных диагностических параметров в виде усредненных за период значений скалярных амплитуд, якобы отображающих энергию деформационных смещений в упругих системах. В среде профессионалов неизбежно формируется отказ от консервативной научной позиции в пользу связанного временем (фазой) непрерывного множества **диагностических параметров динамических фазовых причинно-следственных состояний** в виде совокупности текущих значений последовательности **тензорных энергетических преобразований состояний** (ТЭПС) в измерительных точках сплошной упругой среды.

Такая научная постановка позволяет обосновано считать все диагностические параметры в механике упругих систем **аттракторами** - компактным подмножеством полевое или дискретного **м-мерного фазового пространства** динамической системы, все траектории из некоторой окрестности которого с течением времени стремятся к нему.

В теории упругих систем фазовые пространственно ориентированные траектории (годографы) описываются эллиптическими уравнениями Ламэ (для напряжений) или Коши (для деформаций). Эллиптические траектории имеют значительное множество универсальных диагностических параметров, каждый из которых отражает физическую сущность текущего эксплуатационного состояния и формируется под воздействием множества причин, зара-



нее известных или вовсе неизвестных наблюдателю. Очевидно одно - каждому квазистационарному полемому напряженному состоянию, спровоцированному внешними или внутренними силовыми факторами, в силу пространственности закона Гука-Пуассона соответствует квазистационарное полемое деформационное состояние, позволяющее с помощью метрологических инструментов определенной мерности оценивать его динамику. Обратное тензорное преобразование измерений позволяет реконструировать собственно динамику НДС - гомеостаз. Характеристические параметры фазовых годографов являются многомерными диагностическими аттракторами состояний.

Рассмотрим физический смысл аттракторов 4D-годографов упругих систем:

1. **Большая ось** $(R_1 + R_2)_f$ отображает кинетическую энергию гармонического воздействия силового фактора частоты f .
2. **Малая ось** $(2g)_f$ отображает потенциальную энергию сопротивления силовому фактору.
3. **Площадь годографа** $(\pi Rg)_f$ отображает полную энергию колебания полного периода в упругой среде.
- 4-6. **Эйлеровы углы** $(\alpha - \beta - \gamma)_f$ определяют пространственную ориентацию наблюдаемого годографа.
- 7-9. **Ракурс источника кинетической энергии** - векторы воздействия наблюдаемого силового фактора.
10. **Направление вращения по годографу** $(R \text{ или } L)_f$ отображает сектор источника воздействия.
- 11 - 13. **Координаты измерительной точки** (X_i, Y_i, Z_i) объекта (и центра годографа выбранного воздействия).
14. **Мгновенный вектор полной энергии колебания** $\ddot{E}(t_i)_f$.
15. **Мгновенный вектор кинетической энергии воздействия** $\ddot{E}_{кин}(t_i)_f$.
16. **Максимальное значение нормальных деформаций** $\varepsilon_{Nmax}(t_1)_f$.
17. **Максимальное значение нормальных напряжений** $\sigma_{Nmax}(t_0)_f$.
18. **Фазовый сдвиг нормальных деформаций** $(t_1 - t_0)_f$ - закон Гука.
19. **Мгновенный вектор потенциальной энергии сопротивления** $\ddot{E}_{пот}(t_i)_f$.
20. **Максимальное значение тангенциальных деформаций** $\tau_{Tmax}(t_3)_f$.
21. **Максимальное значение тангенциальных напряжений** $\gamma_{Tmax}(t_2)_f$.
22. **Фазовый сдвиг тангенциальных деформаций** $(t_3 - t_1)_f$ - закон Пуассона.
23. **Коэффициент трансформации энергии** $[\ddot{E}_{кин}(\varepsilon_{Nmax}) / \ddot{E}_{пот}(\tau_{Tmax})]_f$ - относительный показатель податливости.
24. **Коэффициент обратной трансформации энергии** $[\ddot{E}_{пот}(\tau_{Tmax}) / \ddot{E}_{кин}(\varepsilon_{Nmax})]_f$ - относительный показатель жёсткости.
- 25-45. **Вариационное энергетическое поле ракурсных проек-**

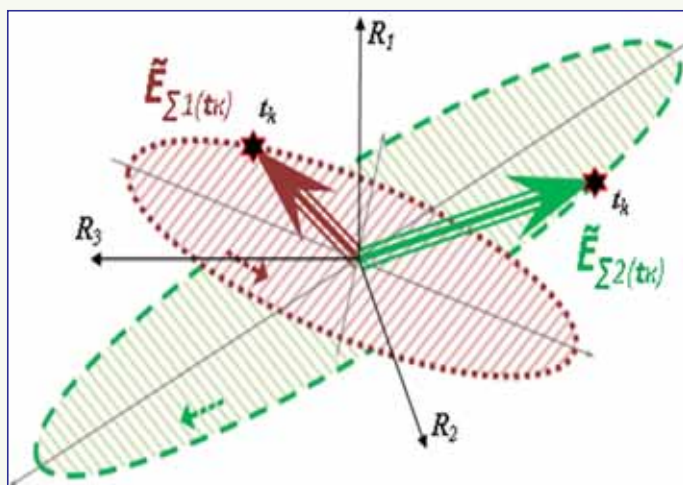


Рис. 7 Интегрированная мгновенная энергия двухчастотного физического состояния в измерительной точке

ций мгновенных векторов суммарной энергии $\Sigma \ddot{E}_R(t_i)_S$ в спектре S мгновенных деформаций (универсальная методика динамической реконструкции векторно-фазовых (пространственно-временных) энергетических аттракторов в обоснованно выбранных дискретно-распределенных измерительных точках объекта позволяет реконструировать контурные и даже объемные физические модели текущего гомеостаза в качестве системных интеллектуальных аттракторов).

46. **Критический ракурс** $R_{крит}[\Sigma_{max} \ddot{E}_R(t_i)_S]$ **Главного энергетического вектора** $E_{Vmax}[\Sigma_i \Sigma_S \ddot{E}_{Rmax}(t_i)]$ **вариационного спектра деформаций.**

47. **Запас эксплуатационного ресурса конструкционной прочности** $\Delta_\varepsilon = (\varepsilon_{пред} - \varepsilon_{тек}) / \varepsilon_{пред}$ в направлении критического ракурса $R_{крит}$ (динамика многомерных аттракторов позволяет эффективно оценивать целевые эксплуатационные ресурсные диагностические параметры конструкционной прочности, тренды развития процессов, режимов и состояний материалов и конструкций, прогнозировать и предотвращать аварийные и критические события).

48. **Эффективный запас конструкционной прочности** $\Delta_\tau = (\tau_{пред} - \tau_{тек} / \tau_{расч})$ в направлении критического ракурса $R_{крит}$.

49. **Диагностический тренд эксплуатационных состояний** $T_r = \Delta_\tau / \delta t_i$ в направлении критического ракурса $R_{крит}$.

50. **Прогнозная экспертиза критического события** $\delta t_{крит}$ при $\Delta_\tau \rightarrow 0$ в направлении критического ракурса $R_{крит}$.

Представленное множество аттракторов образует системную матрицу энергетической оценки текущих многомерных портретов гомеостатических состояний упругих систем, которая является креативным инструментом для создания библиотеки автоматизированной диагностики эксплуатационных патологий и образования дефектов на ранней стадии их зарождения.

В перспективе, помимо общепринятых диагностических параметров механических аттракторов, следует привлекать более тонкие инструменты диагностики аттракторов гомеостатических состояний, основанные на новых физических методах мониторинга и более информативных аналитических методах экспертизы состояний. С одной стороны, к ним относится квантово-волновой оптический инструментарий, с другой стороны, следует осваивать термодинамический интерференционный инструментарий наноматериаловедения, например, неравномерность распределения температуры в качестве полемого энергетического аттрактора. ▮

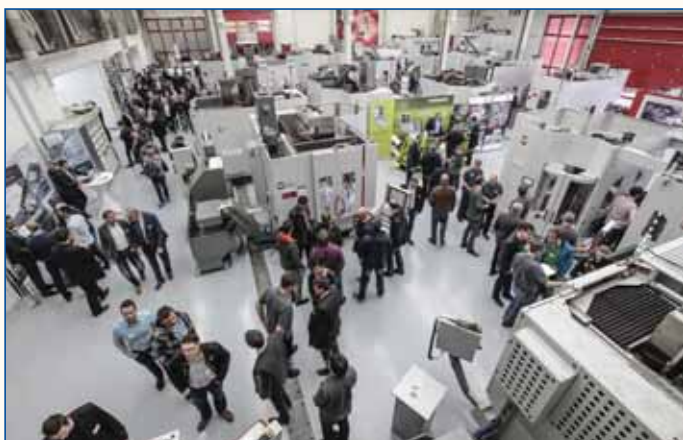
Литература

1. Сперанский А.А., Бельский А.Б. Инновационная информационно-метрологическая технология наблюдения и прогноза состояния для предотвращения аварий техногенных объектов // Инновации. - №9. - 2015. - С. 46-53 / издание ВАК.
2. Сперанский А.А., Михеев А.А., Михайлов Г.Г. Интеграция опережающих междисциплинарных знаний в качестве универсальной системообразующей основы перспективных межвидовых исследований // Двигатель. - №4. - 2015. С.10-23 / издание ВАК.
3. Сперанский А.А. Природный феномен напряженно-деформированных состояний. Двигатель, №3, С.18-23, 2015г. / издание ВАК.
4. Сперанский А.А. и др. Фундаментальный подход к реконструкции механических полей для оценки эксплуатационных свойств изделий Оборонпрома. Двигатель, №1, С.22-25, №2, С.22-24, №3, С.30-33, 2009г. / издание ВАК.
5. Гусев Б.В., Сперанский А.А., Жучков В.М. Научно-технологические инструменты устойчивого развития общества. Двигатель, №4, С.30-35, 2015 г. / издание ВАК.
6. Сперанский А.А. Гомеостатическое модельное проектирование как способ обеспечения техногенной безопасности при создании и эксплуатации объектов новой техники. Двигатель, №3, С.28-33, 2013 г. / изд. ВАК.
7. Дж. Мейз. Теория и проблемы механики сплошных сред. М. Изд. ЛКИ, С.112, 200, 2007г.

Связь с автором: vibro-vector@yandex.ru

HERMLE OPEN HOUSE

ОТРАСЛЕВАЯ ВСТРЕЧА HERMLE AG



В соответствии с современными тенденциями к повышению степени автоматизации и требованиями концепции Industrie 4.0 на выставке были продемонстрированы в производственных условиях различные станки, оборудованные автоматическими системами собственной разработки. В том числе, основной экспонат выставки - манипуляционная система HS flex.

Система HS flex позволяет индивидуальным образом автоматизировать станки Hermle различных моделей и мощностей. Состоялась также презентация собственных программных продуктов Hermle, в том числе автоматической системы управления HACS (Hermle-Automation-Control-System), информационно-мониторинговой системы HIMS (Hermle-Information-Monitoring-System) и дистанционного терминала Remote Desktop.

Разумеется, основной интерес посетителей снова привлекли свыше 20 моделей станков с комплексными технологиями обработки из самых различных отраслей промышленности - для производства инструментов и форм, авиакосмической промышленности, машиностроения, медицинской техники и модельного строительства.

Большим вниманием пользовалась также специальная выставка, в которой приняли участие более 60 экспонентов, занятых разработкой и производством зажимных устройств, программного обеспечения и аппаратуры. В проводившихся параллельно специальной выставке докладах специалистов были более подробно освещены основные темы этой выставки.

В нашей школе пользователей слушателям были предложены практические советы, специальные знания и сопровождавшиеся комментариями демонстрации практических примеров программирования с обучением на продуктах фирмы Hermle.

Сервисный и учебный отделы фирмы Hermle были представлены в отдельном разделе на примере двух обрабатывающих центров. На базе разнообразного диагностического и сервисно-

Несмотря на внезапно наступившие на юге Германии холода со снегом, многочисленные посетители со всех регионов мира снова прибыли в Хойберг, чтобы ознакомиться на предприятии Maschinenfabrik Berthold Hermle AG с последними новинками токарного, фрезерного и генеративного производства.

За четыре дня выставки подробную информацию и консультации получили 2700 специалистов из 1200 фирм, в том числе свыше 900 гостей из зарубежных стран.

Посетители из более чем 30 стран, в том числе многочисленные делегации из соседних европейских стран - Чехии, Нидерландов, Австрии, Швейцарии, Италии, а также специалисты различных предприятий России, США, Кореи, Японии, Мексики проявили большой интерес к продукции компании Hermle.

го инструментария посетителям было продемонстрировано, насколько быстро и компетентно специалисты фирмы Hermle по сервисному обслуживанию решают возникшие на производстве проблемы.

Технологию МРА (метод нанесения порошкового металлического покрытия) для генеративного производства конструктивных узлов показала на своем стенде дочерняя фирма нашего предприятия - Hermle Maschinenbau GmbH. Большой интерес у посетителей вызвали также концепции обучения учебного подразделения Hermle.

Посетители, принявшие участие в сопровождаемых специалистами предприятия экскурсиях по производственным цехам, смогли на практике ознакомиться с самыми современными технологиями производства и монтажа нашего оборудования, с учебным подразделением, а также с нашей дочерней фирмой Hermle-Leibinger Systemtechnik, занятой автоматизацией производственных процессов.

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.

Сайт представительства: www.hermle-vostok.ru

Кроме того, можно обратиться непосредственно в отдел маркетинга компании Maschinenfabrik Berthold Hermle AG к его руководителю Удо Хиппу:

Тел.: +49 (0)7426 95-6238.

Факс: +49 (0)7426 95-6110.

Эл. почта: udo.hipp@hermle.de

Сайт компании: www.hermle.de



Специалист предприятия проводит производственную экскурсию



Участники и гости выставки Open House 2017 на фирме Hermle

АССАД: ПРИМЕНЯЯ МАГИЮ ВРЕМЕНИ (ПО ЗАВОДСКИМ И ВУЗОВСКИМ МУЗЕЯМ ТЕХНИКИ)

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

Зачем и для чего вообще существуют музеи? Раз и навсегда отметим, что их создание и поддержание – не маниакальное стремление лиц, склонных к конформизму, привести всё в порядок. Это – материальное воплощение нашей памяти, хранилище свидетельств прожитого и пережитого, радости созидательных побед и преодоления неудач. Послание предков потомкам. И в немалой степени, свидетельское подтверждение нашей собственной состоятельности как членов человеческого коллектива, как творческих наследников тех, кто всё это создал, вкладывая своё представление о мире, верном порядке вещей, красоте, целесообразности и ходе событий. Это то, с чем мы можем быть согласны и не согласны, толковать его состояние тем или иным образом. Но оно уже есть. И уже самим своим наличием доказывает собственные претензии на место в нашей жизни. И именно поэтому становятся понятны попытки вандалов разного рода – и древних и современных – стереть следы сохранённого и заменить их реальность своими домыслами, лучше соответствующими их восприятию мира, чем сам реальный мир в его бесконечной и вечно меняющейся разнообразности..



Исключительно конкретным и деловым получилось выездное заседание АССАД, прошедшее в Самаре на территории СГАУ в конце мая этого, 2017 года. Впервые заседание АССАД проходило на территории ВУЗа. Тематикой однодневного заседания послужило как раз то, чем, среди всего прочего, славен Самарский Авиакосмический университет: "Вопросы развития заводских музеев". Задача была поставлена в разрезе темы "История отечественного авиадвигателестроения - основа будущих успехов". Во вступительном слове президент АССАД В.М. Чуйко вспомнил слова Андрея Николаевича Туполева - романтика авиации и гениального конструктора лучших российских самолётов, сказанные академиком в далёком теперь уже 1972 году: "Нужно помнить свою историю и людей, с любовью её делающих".

Известно всем, кто близок к этой теме, что коллекция авиационных и ракетных двигателей Куйбышевского тогда ещё авиакосмического университета начала формироваться при живейшем участии великого конструктора отечественных авиационных и космических двигателей Николая Дмитриевича Кузнецова. И начал её собирать молодой тогда ещё преподаватель этого университета Владимир Зрелов со своими ближайшими товарищами. Сейчас профессор СГАУ В.А. Зрелов демонстрировал участникам заседания



одну из наиболее подробных и интересных коллекций отечественных и зарубежных авиадвигателей и ЖРД в нашей стране и мире, которая, кстати говоря, весьма активно используется при практическом обучении студентов. Это даёт весьма заметный

практический эффект: молодые инженеры выпуска СГАУ имени Королёва - одни из наиболее толковых и понимающих в работе - весьма желанны ОКБ и предприятиям отечественной авиационной промышленности.

На совещании выработали общее мнение, что признанный в СГАУ тренд на привитие будущим авиаинженерам интереса и понимания в своей специальности через практическое приобщение к деятельности предшественников понятен и другим участникам совещания и также используется ими. Так, прекрасной экспозицией



обладает ПАО "НПО "Сатурн", в Рыбинске. А музею ПАО "УМПО", многообразному и содержательному, как и история уфимского Моторного, исполнилось уже 55 лет. Об этом нам рассказала Вера Осиповна Зесли. На чествованиях, посвящённых 100-летию со дня рождения великого конструктора двигателей Павла Осиповича Соловьёва, прошедших в конце ию-





доложил нам известный писатель, он же директор "Музея техники Богуслаева" Олег Валерьевич Варяник. В Запорожье, вся городская молодёжь (а также и сотрудники моторного завода и



ства. Этот музей - "реально полноценный заводской отдел, имеющий свою долю обязанностей в выполнении заводских планов" - как любил говорить директор Запорожского завода и один из основателей его музея В.И. Омельченко.

С прицелом на такое же использование фактов собственной истории и истории своей страны недавно возрадили институтский музей в ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова". С такой же мыслью целый большой цех отдали под экспозицию на ПАО "Кузнецов" - и ревниво соревнуются теперь с Самарским же СГАУ по глубине проработки темы. О планах и перспективах этого музея нам поведали его создатели: Наталья Александровна Куракова и Наталья

ня в Перми экспонаты музея Моторного завода могли видеть все участники торжеств прямо на улицах города.

АО "Мотор Сич" один из крупнейших советских авиадвигательных заводов, связь с которым не прерывается, несмотря на то, что он оказался за границей, сделало отдельный музейный комплекс под эгидой В.М. Богуслаева, директора завода, где ухитрилось собрать и поршневые, и газотурбинные двигатели своего производства за всю столетнюю историю предприятия. Об этом живо и интересно



своё дело и понимания хода жизни, с помощью которой можно бороться с многими нездоровыми вещами, характерными для современного обще-



Николаевна Аладьева.

Восстанавливается и пополняется известная по всей стране коллекция авиационных и космических двигателей различной конструкции и назначения в столичном МАИ, экспонаты которой изрядно пострадали при пожаре моторного факультета несколько лет назад. Но тут докладывать пока особенно нечего - за нас скажет результат наших работ, который, надеюсь, будет.

Современный и весьма деловой подход к теме показа собственной деятельности явили нам в АО "ОДК-СТАР", объединившие музейную экспозицию агрегатов различного назначения и времени производства с интерактивным показом современного состояния производства и его перспектив. Сергей Владимирович Остапенко, рассказывающий о новом музее "СТАР" убедил собравшихся, что "Современный музей должен быть интерактивным,



чтобы экспозиция могла адаптироваться под интерес любой группы экскурсантов. Наряду с традиционными музейными экспонатами в нём обязательно должны присутствовать поданные современными динамичными средствами, созвучные с экспонатами материалы об их истории, создателях, использовании, о предприятии и о связях всего этого

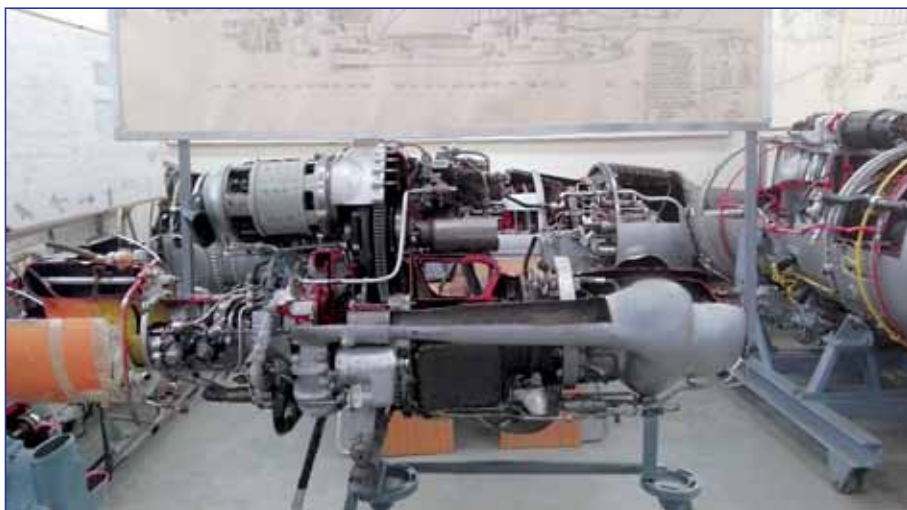


с вызовом времени." Над новым музейно-демонстрационным комплексом "СТАР" трудилось несколько групп сильных профессионалов, и результат этого получился сравнимым с самыми лучшими мировыми образцами такой деятельности. Молодёжь, которая, как известно, сейчас буквально млеет от возможностей современной цифровой техники, чуть не в очередь становится на работу на это предприятие, после посещения экспозиции. Так что, весьма немалые средства, затраченные пермяками на этот комплекс, окупаются сторицей. Воспитание корпоративной этики, о необходимости чего мы хорошо помнили в советское время и что подзабылось сейчас, когда это усвоил уже практически весь работающий мир, это задача, которую помогают решать такие вот экспозиционные комплексы.

Послесловие по теме

Надо всегда помнить, что людям всего интереснее сами люди, плоды их деятельности, творчества и вдохновения. И потому, любой





технический музей - не собрание "железок", а результат этого творчества, воплощённый в навсегда определившейся функциональной форме. С этой точки зрения музейная работа с техникой всегда предполагает решения двух основных проблем: нахождение и сохранение артефактов и обретение и сохранение истории, с ними связанной.

Экспозиция любого современного музея техники всегда многолика. С одной стороны, он - результат сбора и сохранения ранее существовавшего и прожившего уже свою жизнь, что позволяет музею быть и называться музеем, определяет его концепцию и историко-научную ценность. Эта часть весьма объективна и слабо зависит от характера и взглядов посетителей и мнения исследователей. Если, конечно, не брать в расчёт, что именно собиратели коллекции - и ради посетителей, и ради собственного понимания жизни, именно это и собирали, вообще-то. С другой - стремление достичь некой концептуальной идеи и донести её до целевой аудитории, учитывая её предполагаемые вкусы и интересы. Эта часть - абсолютно субъективна и она уже целиком зависит от тех, кто оформляет и представляет коллекцию и для кого он предполагает её делать.

Музей как экспозиция неотделим от атмосферы времени. Времени создания и возраста предметов коллекции. Если музей ретроспективен, то есть показывает свою экспозицию в привязке ко времени, то и сам должен это учитывать, строя своё собрание. Иначе говоря, понятно, что мы оцениваем представляемое нам с точки зрения своего времени, со всеми зна-

ниями, собственными нашему времени (и одновременно с тем - со всеми потерями, которые информационно и физически понесли экспонирующиеся объекты в результате влияния времени).

Пробелы утерянного знания нельзя заполнять исключительно своими домыслами, хотя предположения всякого рода об их виде и содержании, несомненно, должны иметь место. Они - авторская часть концепции. Но всегда и во всём, утверждая свою точку зрения, мы обязаны оставлять место сомнению. И никогда не удивляться неожиданному появлению новой информации, пусть даже и в корне расходящейся с принятым нами.

Впрочем, не стоит удивляться тому, что жизнь способна вносить изменение даже в самую стройную этическую теорию: историческую, политическую, идеологическую. Излишняя стройность теории, вообще-то - свидетельство её абстрактности, удалённости от жизненных реалий. Конкретика жизни, на самом деле, никогда целиком не укладывается в осмысленное и всегда куда-нибудь, но выпирает. Если, конечно, это не толкование конкретных законов (скажем, физики или математики). Но как раз и они-то также весьма абстрагированы от конкретной действительности.

И самое, пожалуй, основное. Говоря о музее предприятия - производственного ли предприятия, научного, учебного - нет особого смысла разделять -, мы говорим о том, что жизнь такого музея жёстко зависима от заинтересованности предприятия в создании и сохранении такого музея. О превращении коллекции раритетов (возможно, и ранее существовавшей, и даже как-то использовавшейся в работе: научной, учебной, конструкторской) в полноценную музейную экспозицию. Со свойственными любому музею исследовательской, реконструкционной, коммуникативной и демонстрационной функциями. Предприятие должно воспринимать его как свой отдел, часть производственной структуры, не меньшую по значительности, чем всё остальное. Это необходимо потому, что задачи имиджевой части поддержания производства (соответственно, научной или учебной деятельности) - обеспечение сбытовой и партнёрской устойчивости, поддержание и пополнение на должном уровне состава работников и сохранения его качественного состояния - всё это существенно облегчается при наличии у организации отдела, сохраняющего и преумножающего память о его деятельности и успехах его работников.

И ещё: показать, это - один из наилучших способов объяснить что-то наиболее эффективным и доходчивым способом. Иначе говоря, заменить дидактическую функцию реальных музейных экспонатов, несущих на себе отпечаток работы создателя, изготовителя, всех, кому приходилось с ним работать или хотя бы просто хоть как-то контактировать не способен ни один сколь угодно умело собранный макет. Нет от них такого влияния на зрителя или посетителя музея. Необъяснимая магия времени весьма притягательна.



НА ПУТИ К ВЕЛИКОЙ МЕЧТЕ

Елена Васильевна Остапенко, методист МБУ ДО ЦДТ



Во все времена человек мечтал о покорении воздушного пространства. На протяжении столетий великие умы человечества придумывали и строили механизмы для полета.

В 2010 году решением Администрации г.о. Жуковский по инициативе Управления образования в Центре детского творчества были созданы объединения детского авиационно-технического творчества. Для их функционирования были выделены средства на ремонт помещений и закупку оборудования. Педагогами дополнительного образования Центра детского творчества стали семь бывших преподавателей Клуба юных техников "Полет" ЦАГИ, работающие на предприятиях г.о. Жуковский: ЛИИ, ЦАГИ, ЛИИДБ, ЖМПО, Центроспас. Среди руководителей объединений - бывшие и действующие спортсмены, в том числе, мастера и кандидаты в мастера авиамodelьного спорта, судьи различных категорий. Совсем недавно (28.04.2017) руководитель объединения "Авиамodelирование. Кордовые модели" педагог дополнительного образования Дмитрий Захаров участвовал в Этапе Кубка мира по моделям воздушного боя F-2D.

Воспитанники объединений технического творчества занимаются в двух профессионально оборудованных помещениях общей площадью более 100 кв.м. В основе всей работы юных авиамodelистов лежит практическая деятельность: работа на

токарном, фрезерном, лазерном станках, малярные работы. Строя модель, регулируя или запуская ее, ребёнок должен знать, как эта модель устроена и почему летает, на каких законах физики основано то или иное её действие.

Одновременно с практической деятельностью в объединениях проводятся беседы и лекции по истории авиации, встречи с интересными людьми (старейшими авиамodelистами города, лётчиками, инженерами).

За прошедшие 7 лет воспитанники Центра детского творчества успешно участвовали в соревнованиях различного уровня в классах свободнолетающих, кордовых и радиоуправляемых моделей.

Юные спортсмены ЦДТ ежегодно принимают участие в 8-10 соревнованиях городского, областного, всероссийского уровня. Команда Центра детского творчества является многократным призёром соревнований по кордовым и радиоуправляемым моделям в рамках областного фестиваля детского и юношеского художественного и технического творчества "Юные таланты Москвы".

Неоднократно воспитанники ЦДТ в соревнованиях Первенств Москвы, Зеленограда, Химок, Королева, Балашихи занимали призовые места в классе моделей "Воздушный бой".

Педагоги ЦДТ ежегодно организуют Первенство г.о. Жуковский по авиационным моделям для закрытых помещений и другие городские соревнования. А с тех пор, как в Жуковском создан кордром (на территории СК "Метеор"), участвуют в организации областных соревнований в рамках фестиваля "Юные таланты Москвы", входят в состав судейских бригад.

Следует отметить призеров соревнований: Алексея Скробцова, Георгия Овсянникова, Валерия Сахарова, Евгения Барсукова, Дениса Рыбина, Кристину Павлову, Даниила Мухина, Константина Федорова, Петра Стрельникова, Ярослава Осовика.

В настоящее время на трёх ребят из наших авиамodelьных объединений поданы представления о присвоении им судейской категории. Это значит, что скоро в качестве судей они смогут представлять наш город на различных соревнованиях.

Неоднократно (2013, 2014, 2016гг.) Центр детского творчества вместе с Федерацией авиамodelьного спорта России и Администрацией г.о.Жуковский организовывал проведение Этапа Кубка России в классе авиационных моделей F2D, посвященный памяти Заслуженного лётчика-испытателя СССР О.Г. Кононенко. Главным судьей этих соревнований является заведующий отделом технического творчества ЦДТ М.В. Сысоев.

По приглашению президента Федерации авиамodelьного спорта Героя России Заслуженного лётчика-испытателя России Юрия Ващука педагоги и воспитанники авиамodelьных объединений ЦДТ приняли участие в Авиамodelьном фестивале "Взлет России", посвященном 90-летию авиамodelьного спорта России. На лётном поле ОАО "ЛИИ им. М.М. Громова" собрались вместе несколько сотен авиамodelистов Москвы и Московской области, чтобы одновременно поднять в небо максимальное число авиамodelей различных видов - от простейших метательных планеров до сложных кордовых, радиоуправляемых и даже реактивных моделей.

Рекорд по максимальному количеству находящихся в воздухе моделей (более 250), который был задуман организаторами, установлен!

Авиамodelизм - увлекательный творческий процесс конструирования моделей различных летательных аппаратов: самолетов, вертолетов, планеров и аэростатов. Это путь ребят к великой мечте человечества - умению летать!



ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

БАЗИС-ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ТЕНЗОРЫ ТЕРМОГАЗОДИНАМИКИ

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

В работе введены шесть базис-определяющих тензоров термогазодинамики. Показано, что каждому тензору соответствует физическая характеристика термодинамики, газовой динамики или термохимии.

Определяющей характеристикой в процессах, связанных с молекулярным переносом, является энтропия и зависящая от неё связанная энергия, входящая в базис-определяющие тензоры.

In the work introduced six basis-defining tensors thermogasdynamic. It is shown that each tensor corresponds to the physical characteristics of the thermodynamics, gas dynamics, or thermochemistry.

The defining characteristic of the processes associated with molecular transport, is entropy and depend on the associated energy, which is the basis for defining tensor.

Ключевые слова: турбулентность, термогазодинамика, тензор.

Keywords: turbulence, thermogasdynamics, tensor.

Описывая математически тот или иной процесс, мы с разной степенью общности при помощи символов отображаем его нюансы, научную емкость, наполненность содержанием. Для практики в первую очередь нужны цифры и тогда математический аппарат ложится в основу конструкции, эксперимента, испытания. Но если мы с помощью математики пытаемся познавать мир, окружающие нас физические процессы, то математика тем ценнее, чем она сложнее. Но сложность не в смысле загруженности информацией нужной и ненужной, а в смысле качественного, желательного однозначного и правильного плотноупакованного научно символического объекта. В связи с этим можно еще раз констатировать, что, по-видимому, самое полное описание процесса может быть осуществлено с помощью тензорных уравнений. Это - верх научной символики на сегодняшний день. Это - наиболее полная и содержательная упаковка смысловых отображений реальности. Это - самая простая и логичная взаимосвязь частных внутри общего. В термогазодинамике используется определенный набор параметров, описывающих процесс. Это те ключи, которые связывают науку с практикой. Эти параметры можно пощупать, оценить, сравнить. Но более сложные характеристики - импульсы, энергии, уже являются продуктами абстрагирования. Термодинамические потенциалы являются уже продуктами обобщения. И всегда, рассматривая тот или иной процесс, мы наталкиваемся на то, что этих характеристик для описания в общем-то требуется ограниченное количество. Из этого количества далее следуют производные, необходимые часто для более подробного понимания.

Итак, известно, что к основным термодинамическим потенциалам относятся четыре энергии: это - внутренняя энергия U , энтальпия h , свободная энергия (потенциал Гельмгольца) F и свободная энтальпия (термодинамический потенциал Гиббса) G . Построение двух последних потенциалов тесно связано с понятиями связанная энергия (ST) и большим потенциалом (RT) [1]. Причем RT - это частный случай (ST), реализующийся при условии термодинамического равновесия [2]. И тогда с учетом двух последующих потенциалов можно записать:

$$U, h, F = U - ST; G = h - ST = U + RT - ST.$$

С помощью потенциалов описываются термодинамические, химические и другие различные равновесные и неравновесные процессы.

Взаимосвязь потенциалов

Все перечисленные потенциалы связаны между собой. Так, например, известно, что внутренняя энергия для газа может быть записана как произведение теплоемкости при постоянном объеме:

$$U = C_v \cdot T.$$

Энтальпия - как произведение теплоемкости при постоянном

давлении:

$$h = C_p \cdot T.$$

Тогда потенциал Гельмгольца запишется в виде

$$F = C_v T - ST,$$

а Гиббса:

$$G = C_p T - ST = C_v T + RT - ST.$$

Итак, четыре величины одной размерности определяют четыре базисных потенциала. Это: C_v , C_p , S и R .

Ранее, при интерпретации второго закона термодинамики, было показано [2], что энтропия всегда больше или равна газовой постоянной:

$$S \geq R.$$

Из соотношения Майера известно, что теплоемкость при постоянном давлении всегда больше на величину газовой постоянной R , чем теплоемкость при постоянном объеме:

$$C_p - C_v = R.$$

Далее из определения потенциала Гельмгольца, в предположении, что он всегда положителен, следует

$$F = C_v T - ST = (C_v - S)T \geq 0.$$

То есть получается, что теплоемкость при постоянном объеме всегда больше энтропии:

$$C_v \geq S.$$

Тогда выстраивается приоритетная цепочка в виде тройного неравенства:

$$C_p \geq C_v \geq S \geq R.$$

Самая большая величина всегда C_p и самая маленькая - R . А как же тогда правая граница величины S ? Получается, что она ограничена сверху как минимум теплоемкостью при постоянном объеме. А может ли она быть бесконечно большой? Да, может. Все зависит от величины

$$K = C_p / C_v$$

Запишем неравенство в виде:

$$1 \leq S/R \leq 1/(k-1).$$

Это неравенство показывает, что энтропия с одной стороны ограничена величиной R , а с другой комбинацией из C_p/C_v или для идеального газа комбинацией из показателя адиабаты. Видно, что при $k \rightarrow 1$, энтропия будет стремиться к бесконечности.

Базис-определяющие тензоры

В работе [3] был введен в обиход молекулярно-кинетический тензор K . Он был сконструирован как потенциал, умноженный на единичный тензор 1 . Этим потенциалом была внутренняя энергия. Дивергенция от этого потенциала приобрела смысл производной от импульса потока и интерпретировалась как четвертый закон термодинамики [4]. С целью наглядности напишем этот закон для случая $\rho = \text{const}$:

$$\frac{dj}{d\tau} = -\text{div } K.$$

Другими словами, поток модифицированного тензора Князева есть результирующая сил, действующая на элемент жидкости.

По аналогии с предложенным приемом построим на базе перечисленных выше потенциалов новые тензоры. Эти тензоры будут базис-определяющими в термогазодинамике. Другие тензоры, построенные на их основе, будут только вариациями. Итак, всего было зафиксировано шесть базис-определяющих потенциалов. Это - внутренняя энергия U ; энтальпия h ; связанная энергия ST ; большой потенциал RT ; потенциал Гельмгольца F и потенциал Гиббса G .

Далее построим шесть новых тензоров.

$K = U/I$ - модифицированный тензор Князева.

$L = h/I$ - тензор, связанный с энтальпией или теплосодержанием. Этот тензор назовем именем основателя учения о теплоте, великого русского ученого Михайло Васильевича Ломоносова. Тензор Ломоносова.

$M = (RT) \cdot I$ - тензор, построенный на базе большого потенциала. Этот тензор вправе может быть назван в честь великого русского ученого Дмитрия Ивановича Менделеева, открывшего универсальную газовую постоянную. Тензор Менделеева.

$Q = (ST) \cdot I$ - тензор в честь Рудольфа Юлиуса Эммануила Клаузиуса, который впервые ввел понятие энтропии в термодинамику.

$G = F/I$ - тензор Гельмгольца, в честь великого немецкого ученого Германа Людвиг Фердинанда фон Гельмгольца первооткрывателя начал термодинамики.

$D = G/I$ - тензор Гиббса. Джозайя Виллард Гиббс - великий ученый, основоположник неравновесной химической термодинамики и молекулярной физики.

Частным, но очень важным тензором может быть тензор Людвиг Больцмана, величайшего австрийского ученого-теоретика и основоположника статистической физики: $B = (KT) \cdot I$.

Этот тензор связан с тензором Менделеева и отличается лишь от него, как известно, только числом Авогадро.

Краткая интерпретация базис-определяющих тензоров

Модифицированный тензор Князева был уже определен и имеет четкий физический смысл. Дивергенция от этого тензора тесно связана с основным газодинамическим параметром - импульсом потока, точнее с его субстанциональной производной.

Рассмотрим тензор Ломоносова. Этот тензор можно преобразовать и представить в виде градиента:

$$\text{div} L = \text{grad } h.$$

В принципе дивергенция от тензора Ломоносова есть градиент от энтальпии потока. В работе [5] была получена связь этого градиента с тензором собственных частот, присущий упругой газовой или жидкостной среде T :

$$\vec{V} \cdot T = -\text{grad } h = -\text{div } L.$$

Действительно, одним из трех условий устойчивости автоколебаний является условие подпитывания энергией колебательно-го контура. В данном случае это выражается в виде энтальпии, поступающей в контур, например, в результате горения топлива.

Известно, что тепловой поток в соответствии с законом Фурье пропорционален градиенту температуры

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T.$$

Новое представление этого закона может быть изображено с помощью тензора Менделеева

$$\vec{q} = -\frac{\lambda}{R} \text{div } M$$

или тензора Больцмана

$$\vec{q} = -\frac{\lambda}{k} \text{div } B.$$

Таким образом и тензор Менделеева, и тензор Больцмана связаны с тепловыми потоками.

Закон Фика о потоках концентраций также может быть интерпретирован как зависимость от фундаментального тензора Гиббса. Без вывода, но со ссылкой на [6] можно записать этот закон через химический потенциал μ :

$$X_i = -\text{grad } \mu_i.$$



Николай Иноземцев -
русский ученый



Ларс Онзагер -
норвежский ученый



Илья Пригожин -
бельгийский ученый

Или в общем виде, вспоминая, что μ есть удельный потенциал Гиббса, через тензор:

$$\Pi = -\text{div } D.$$

Аналогично можно найти интерпретацию и для тензора Гельмгольца.

Анализируя последние выражения, можно сказать, что применение преобразования дивергенция к любому из шести базис-определяющих тензоров обязательно приведет к пониманию того, что внутри термодинамической системы существуют внутренние силы и микропотоки в виде диффузии, тепла и т.д.

По аксиоматизированной теории Онзагера, развитой впоследствии Пригожиным, пропорциональность между силами и скоростями при стационарном движении распространяется на любые процессы. Причины появления сил должны определяться градиентами концентраций, температур, давлений и т.д.

В общем случае потоки зависят сразу от всех сил, действующих в системе. Так, например, диффузия определяется как градиентом концентрации, так и градиентом температуры. Теория Онзагера в общем не противоречит эксперименту, хотя она и не была выведена из точных теорий, а если так, то можно сказать, что она была сконструирована. В любом случае эта теория отвечает на главный вопрос: процессы переноса внутри системы связаны с возникновением градиентов параметров молекулярной системы вещества, а значит с возрастанием энтропии. Любой процесс внутри системы, связанный с переносом, будет сопровождаться производством энтропии. Из теории Онзагера также однозначно следует:

$$\rho \frac{dS}{d\tau} = \frac{1}{T} \sum J_i X_i,$$

где J_i и X_i - условные обозначения потоков и сил.

А в каком же виде сама энтропия выступает в этой ситуации? Ведь ее также можно выразить и в виде градиента?

$$\rho \frac{dS}{d\tau} = \vec{V} \cdot \text{grad } S.$$

И, конечно же, в виде тензора Клаузиуса:

$$\frac{dST}{d\tau} = \vec{V} \cdot \text{div } Q,$$

зависящего от так называемой связанной энергии (ST).

Получается, что для необратимых процессов, таких как законы Фурье, Фика и т.д., этот тензор является самым главным. Ведь производство (ST) осуществляется в результате появления внутренних потоков, градиентов, зависящих от градиента связанной энергии. Любой градиент, например, концентрации или температуры определяется градиентом энтропии, а также связанной энергии. $\square$

Литература

1. Н.В. Иноземцев. Основы термодинамики и кинетики химических реакций // М. Изд. Военной академии МиМКА им. Сталина, 1940.
2. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Новая интерпретация второго закона термодинамики и теорема векторного анализа о соотношении движений // Двигатель №6, 2016.
3. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Молекулярно-кинетический тензор // Двигатель №1, 2016.
4. Н.Ю. Кочетков. Турбулентность. Четвертое начало термодинамики или первое начало термогазодинамики // Двигатель №5, 2016.
5. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Фундаментальный тензор собственных частот // Двигатель №2, 2016.
6. А.А. Жуховицкий, Л.А. Шварцман. Физическая химия // М. изд. По черной и цветной металлургии, 1963.

Связь с автором: swgeorgiy@gmail.com

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

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

(Продолжение. Начало в 4-6 - 2015, 1-6 - 2016, 1-2 - 2017)

"ЛУНА", ПОЛЁТ Ю.А.ГАГАРИНА, НОВЫЕ ПРОЕКТЫ

В советской историографии мировой космонавтики принято считать, что американская Лунная программа началась 15 мая 1961 года, когда президент США Дж. Ф. Кеннеди в послании Конгрессу поставил задачу обеспечить первыми высадку на Луну американских астронавтов. Однако при более внимательном изучении деятельности США в области космонавтики выясняется, что это не так. Американцы с самого начала работ в области космической техники считали главным направлением полёты к Луне и на Луну. К работам по созданию спутника, в американском наименовании, сателлита Земли, они пришли несколько позднее, видимо, разобравшись в имеющихся у них технических возможностях.

Приведём несколько фрагментов из начальных этапов американских космических планов. В 1956 г. корпорация RAND предлагала направить для достижения поверхности Луны многоступенчатую ракету, чтобы получить видимый с Земли искусственный лунный кратер. Проект остался на бумаге из-за отсутствия требуемых для этого ракет. В 1957 г. в США был опубликован проект "Рэд Сокс", по которому один аппарат типа "Эксплорер" должен был выйти на окололунную орбиту в июне 1958 г., второй аппарат облететь вокруг Луны и сфотографировать невидимую с Земли сторону Луны. Проект, безусловно, хорош, но также остался на бумаге. Были и другие проекты полёта космических аппаратов к Луне и на Луну, один из них даже получил в марте 1958 г. одобрение президента США Д. Эйзенхауэра.

Запуск советского спутника стал тяжёлым ударом по космическим амбициям США. Реально мыслящие члены Конгресса США пришли к выводу, что разрозненными усилиями с использованием многочисленных проектов отставание США от СССР в космическом ракетостроении не преодолеть. Нужна концентрация интеллектуальных сил и финансово-промышленных средств. И 29 июня 1958 г. Конгресс утвердил закон о создании НАСА - Национального управления по аэронавтике и использованию космоса. С момента своего основания НАСА активно включилось в Лунную программу, нацеленную на опережение достижений советской космической деятельности. НАСА координировало и объединяло работы ВВС, ВМС и армии, а также коммерческих фирм в области создания космической техники. Дальнейшие события в мировой истории космонавтики показали, что принятое решение о создании общенационального

органа для централизации руководства работами по исследованию космоса обеспечило США дальнейшее успешное развитие космонавтики.

А как развивались события в космической отрасли в СССР? После триумфальной мировой реакции на запуск первого спутника всё общество - политические лидеры, руководители министерств и ведомств, научная общественность повернулись лицом к разработчикам ракетно-космической техники. Все ждали продолжения неожиданно произошедшего чуда. В качестве праздничного подарка советскому народу 3 ноября 1957 г. был запущен второй спутник с собакой Лайкой, а 15 мая 1958 г. - космическая лаборатория (запланированный первый спутник). Эти спутники по своей научно-технической оснащённости и по политической значимости превосходили первые американские спутники "Эксплорер" и "Авангард-1". Но чтобы уверенно удерживать преимущество на дистанции, требовалась постановка и успешное решение новых научно-технических задач. Тем более что о мерах, активно принимаемых в США в области организации ракетно-космической техники, было известно из публикаций американской прессы.

Наши американские конкуренты вели работы в соответствии с предложенной НАСА программой, названной "Пионер". Программа имела государственную значимость, её утвердил президент США. С целью ускорения создания космических ракет-носителей, способных доставить космический аппарат на Луну или хотя бы в её окрестности, использовалась широко распространённая в то время в США методика: на первые и вторые ступени РН устанавливались ЖРД от находящихся в эксплуатации ракет военного назначения "Редстоун", "Юпитер", "Атлас", "Тор", третьи и, если требовалось, четвёртые ступени оснащались также имеющимися твёрдотопливными двигателями.

Применение такой методики давало возможность максимально сократить сроки создания космической ракеты с целью опередить СССР в пусках ракет в сторону Луны. Что получилось у американцев с такими пусками, изложено ниже, а сейчас вернёмся к отечественному ракетостроению.

Как и у американцев, у советских ракетчиков следующим шагом в космической гонке, а она началась, как мы помним, с подготовки запуска первого ИСЗ, была Луна. Но имеющаяся двухступенчатая ракета Р-7 не могла сообщить выводимому в космос объекту вторую космическую скорость, позволяющую преодолеть гравитационные силы Земли. Нужна была третья ступень.

Стремясь не потерять набранный темп работы в космической отрасли, руководители основных министерств и АН СССР в начале марта 1958 г. подготовили для направления в правительство предложения о разработке трёхступенчатого носителя на базе ракеты Р-7. Эти предложения легли в основу вышедшего 20 марта 1958 г. "Постановления ЦК КПСС и СМ СССР о разработке трёхступенчатой ракеты на базе ракеты Р-7 и лунной станции для полёта к Луне".

Работающий на опережение эволюционного развития собы-



Приборный блок третьего ИСЗ

тий, Королёв направил 25 сентября 1957 г. в ОКБ-456 Глушко техническое задание на разработку двигателя тягой 8...10 тс с удельным импульсом 320 с, работающий на топливе кислород-керосин. Двигатель планировался в качестве третьей ступени ракеты-носителя Р-7 (индекс РН - 8К73). Техническое задание не вызвало сомнения в возможности его выполнения в короткие сроки: у конструкторов ОКБ-456 имелся опыт создания кислородно-керосиновых двигателей с камерами тягой в диапазоне от 5 до 20 тс, что же касается высокой величины удельного импульса тяги, то на третьей ступени практически неограниченная степень расширения сопла обеспечивает нужную величину. Казалось бы, подписывай ТЗ и принимайся за дело. Но у Глушко были свои виды на разработку этого двигателя. Он уже тогда руководствовался принципом, ставшим основой его конструкторской школы - каждый последующий двигатель должен иметь более высокие технические характеристики по сравнению с предыдущим двигателем. И для этого были основания. К этому времени по техническому заданию Глушко ГИПХ разработал технологию промышленного производства нового горючего - НДМГ, которое по сравнению с керосином даёт существенное увеличение удельного импульса тяги. Учитывая повышенные энергетические характеристики нового горючего, Глушко 25 декабря 1957 г. направляет в ОКБ-1 "встречные" предложения: разработать двигатель тягой 10 тс с использованием топлива кислород-НДМГ, что обеспечит удельный импульс тяги 343 с.

Предложение, конечно, заманчивое, дополнительная величина к предложенному ОКБ-1 удельному импульсу тяги в 23 с даёт возможность существенно увеличить массу конечного полезного груза. Но были и серьёзные сомнения. Новый компонент топлива практически ещё не изучен, как пойдёт отработка двигателя, сколько потребуется времени, да и в эксплуатации появятся дополнительные трудности из-за его токсичности. Не такого ответа от Глушко ожидал Королёв. Двигатель нужен в кратчайшие сроки, чтобы американцы не смогли первыми достигнуть Луны. А предложение Глушко никоим образом не позволяет решить эту задачу. Не останавливая работ у Глушко, Королёв ищет другой вариант создания двигателя для третьей ступени. С этой целью 10 февраля 1958 г. он встретился с С.А. Косбергем, главным конструктором воронежского ОКБ-154 Министерства авиационной промышленности и договорился о совместной - ОКБ-1 и ОКБ-154 - разработке ЖРД. Обращение к ОКБ-154 было не случайно, оно с 1954 г. занималось вначале ракетными ускорителями полёта для истребителей-перехватчиков ОКБ А.И. Микояна и А.С. Яковлева, а затем вместе с ОКБ-2 главного конструктора А.М. Исаева - маршевого ЖРД для зенитной управляемой ракеты ОКБ генерального конструктора С.А. Лавочкина. Так что некоторый аналогичный опыт совместной разработки ЖРД с другим ОКБ у конструкторов ОКБ-154 имелся. Закрепляя договорённость с Косбергом о совместной работе, Королёв 11 марта 1958 г. направил письмо министру МАП П.В. Дементьеву с предложением включить в план министерства участие ОКБ-154 в разработке ЖРД для третьей ступени Р-7.

Далее события развивались с рекордной для подобных работ скоростью. 1 июня 1958 г. ОКБ-1 завершило эскизный проект, в котором рассмотрены два варианта трёхступенчатых ракет: РН 8К72 с двигателем РД-0105 совместной разработки ОКБ-1 и ОКБ-154 и РН 8К73 с двигателем РД-119 ОКБ-456. 6 июня Государственная экспертная комиссия утвердила эскизный проект, выбрав к реализации вариант 8К72 с двигателем РД-0105.

Следует, видимо, дать краткую характеристику отклонённому комиссией двигателю РД-119. В процессе отработки его параметры и конструкция претерпели ряд изменений, поэтому здесь приводятся особенности конструкции и параметры окончательного варианта этого двигателя: топливо - кислород+НДМГ, тяга - 10 тс, давление в камере - 60 атм, на срезе сопла - 0,05 атм. Газогенератор - однокомпонентный, основан на термическом разложении НДМГ, газ после турбины через специальные сопла используется для управления вектором полёта ракеты. Корпус камеры выполнен из титанового сплава, что существенно уменьшало сухую массу двигателя. Двигатель РД-119 имел рекордный в своём клас-

се удельный импульс тяги - 350 с. Двигатель всем хорош, вот только его отработка была завершена в 1962 г. Необходимо уточнить, что в процессе его отработки В.П. Глушко несколько раз менял предъявляемые к нему требования. Эти изменения и позволили получить рекордный до сих пор для двигателей открытой схемы удельный импульс тяги, но "дорога ложка к обеду". Но такой "обед" всё-таки состоялся. ОКБ Янгеля использовало двигатель РД-119 на второй ступени РН "Космос-1", созданной в 1962 г. на базе одноступенчатой боевой ракеты Р-12.

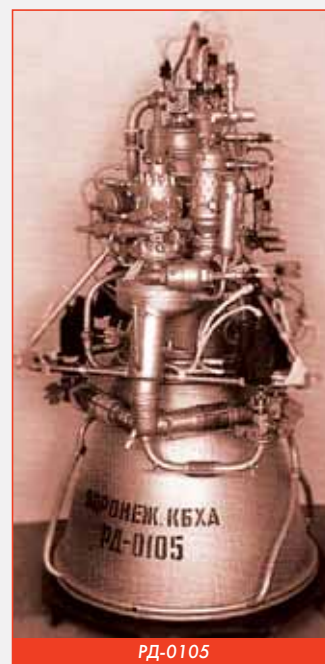
В выбранном комиссией кислородно-керосиновом двигателе РД-0105 ОКБ-1 разрабатывало камеру, раму и ещё ряд элементов общей сборки двигателя, ОКБ-154 разрабатывало ТНА, газогенератор, агрегаты автоматики, регулирования и наддува баков. Сборка двигателя и его стендовая отработка возлагалась на ОКБ-154.

Двигатель имел тягу в пустоте 5 тс, удельный импульс 316 с, давление в камере 46 атм. Его применение на ракете Р-7 увеличивало массу выводимого полезного груза до 4,5 т и позволяло развивать вторую космическую скорость, т.е. преодолевать силу притяжения Земли.

Для создания камеры этого двигателя ОКБ-1 использовало уже имеющуюся рулевую камеру ракеты Р-7, а ОКБ-154 для разработки ТНА и всех других агрегатов использовало конструкции, ранее разработанные совместно с ОКБ-2 Исаева для ЗУР конструкции С.А. Лавочкина. Это позволило создать двигатель в течение 9 месяцев.

Однако впечатление от рекордной скорости разработки третьей ступени было омрачено аварийными пусками ракеты 8К72. Первый же пуск 2 сентября 1958 г. завершился разрушением ракеты на 87 секунде полёта. Аварийные пуски ракет в тот период не являлись каким-то исключительным случаем, но на этот раз ракетчики столкнулись с новым, ранее не известным явлением. В конце работы первой ступени в тракте подачи окислителя появились пульсации давления с максимальными амплитудами на входе в насосы всех маршевых двигателей с последующим разрушением конструкции и падением ракеты. Дополнительным осложнением ситуации было то, что этот пуск должен был открыть новую победную страницу в истории советской ракетной техники. И вдруг авария... Чтобы быстрее и качественнее разобраться в причинах аварии была назначена весьма представительная комиссия: С.П. Королёв (председатель), члены - М.В. Келдыш, В.П. Глушко, Н.А. Пилюгин, А.Ю. Ишлинский, Б.Н. Петров, В.П. Мишин, Н.А. Аккерман, Н.Д. Протопопов, Г.С. Нариманов, В.А. Боков.

О природе неожиданно появившихся пульсаций давления к однозначному мнению члены комиссии с первых же заседаний не пришли, начались споры, главным образом между Королёвым и Глушко. Не выясненность причины аварии предполагало остановку пусков и проведение подробного исследования. Но как тогда быть с обещанием, данным Н.С. Хрущёву, этой ракетой попасть в Луну? И кто будет ему докладывать об остановке пусков на неопределённое время? Ближайшее астрономическое окно для попадания в Луну открывалось в первой половине октября, вот к этому времени и нужно было принять меры, позволяющие провести следующий пуск. Так для ускорения ликвидации появившегося дефекта решили вначале устранить не причину, а следствие, для чего провели упрочнение разрушившейся магистрали и повысили жёсткость её крепления. А выяснением причин появления пульсаций давления и их уст-



РД-0105

ранением планировали заняться позже, не останавливая пуска ракет. Главное - не потерять набранного темпа работ, не дать обогнать себя американцам, которые уже начали реализацию своей лунной программы "Пионер".

Но при проведении следующего пуска ракеты 8К72 12 октября 1958 г. повторилась предыдущая авария, изменилось только время разрушения - 104 секунда полёта. "Гомеопатический" метод лечения не оправдался. Техническая проблема оказалась довольно сложной, а её решение усугублялось разногласиями между членами аварийной комиссии. Об этом фрагменте истории ракетной техники в книге "Начало космической эры" (серия: "Дороги в космос", Москва, 1994 г.) вспоминает член аварийной комиссии В.А. Боков, бывший в ту пору начальником отдела анализа результатов пуска ракет на полигоне Байконур: "...начиная с осени 1958 г. тянулась серия неудачных попыток запуска космических аппаратов на Луну модифицированным трёхступенчатым вариантом ракеты-носителя. Дело в том, что перед окончанием работы двигателей первой ступени возникали интенсивные продольные колебания, совпадавшие по частоте (10-15 Гц) с собственными колебаниями корпусов блоков, что вызывало резонанс и, как правило, разрушение ракеты. Затянувшееся разбирательство причин аварий явилось следствием возникшей тяжбы между головной организацией (С.П. Королёв) и разработчиками двигателей (В.П. Глушко).

Академик Сергей Павлович не хотел допустить даже намёка на наличие каких-либо недостатков в конструкции ракеты и всю ответственность возлагал на двигателистов. В свою очередь академик Валентин Петрович резонно доказывал, что двигатель может быть передатчиком и даже усилителем этих низкочастотных колебаний, но по своей природе не может быть их источником".

В.А. Боков достаточно интеллигентно изложил полемику Королёва и Глушко. По воспоминаниям ветеранов ОКБ-456, привлечённых к работе в аварийной комиссии, споры велись в более чем острой форме. Королёв обвинял в аварии двигателистов, исходя из того, что "это у вас имеются пульсации и вибрации, крутится и горит, так что ищите причину у себя". И полностью исключил причастность к аварии конструкции ракеты, смысл приводимых им аргументов можно изложить одной фразой: "Это не может быть, потому что не может быть никогда". Глушко пытался с привлечением теории колебаний, принципа резонанса и других физико-математических доказательств расширить круг исследования причин возникновения колебаний низкой частоты, несвойственной рабочему процессу в двигателе. Но на Королёва эти научные доводы впечатления не произвели, он упорно отвергал причастность конструкции ракеты к возникновению причин аварии.

Решение этой технической задачи было найдено всё-таки на научной основе, точнее научными сотрудниками НИИ-1 М.С. Натанзоном и А.Н. Аккерманом, которые по поручению Келдыша провели расчётно-аналитические исследования и предложили возможный механизм разрушения магистрали окислителя.

Я не буду излагать описание механизма разрушения ракеты, эта информация представляет интерес для узкого круга читателей и, при их желании, её можно найти в мемуарной литературе. И всё-таки одной фразой: пульсации давления, возникающие в магистрали подвода окислителя к насосам, усиливались в камерах сгорания, что приводило к появлению резонансных разрушительных колебаний в контуре конструкции ракеты - двигатель.

В качестве "лекарства" было предложено установить в магистралях подвода окислителя к насосам двигателей гидравлические демпферы для гашения изначальных пульсаций давления. Демпферы были срочно разработаны и изготовлены в ОКБ-1 и после их установки на ракетах семейства Р-7 подобных аварий не происходило.

Первый успешный пуск ракеты "Луна-1" ("Мечта") состоялся 2 января 1959 г., однако ракета пролетела мимо Луны на расстоянии около 5000 км и вышла на гелиоцентрическую орбиту. Второй, удачный пуск, состоялся 12 сентября 1959 г. Межпланетная станция "Луна-2" доставила на поверхность Луны выпел с гербом СССР. Следующая автоматическая станция "Луна-3", стартовавшая 4 ок-

тября 1959 г., сфотографировала обратную сторону Луны и передала фотокadres по телевизионному каналу на Землю.

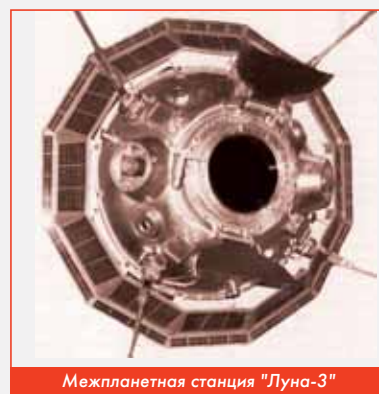


Межпланетная станция "Луна-2"



Советские выпелы, доставленные на Луну аппаратом "Луна-2"

Все эти космические достижения сопровождались опубликованными в газетах поздравлениями ЦК КПСС и СМ СССР участников запусков. Зарубежная пресса также отмечала сенсационный успех и приоритет СССР в космических исследованиях. Макет "лунного" выпела Н.С. Хрущёв во время своего визита в США в сентябре 1959 г. подарил президенту Д. Эйзенхауэру.



Межпланетная станция "Луна-3"



Н.С. Хрущёв и Д. Эйзенхауэр

Здесь приведена "парадная" статистика пусков по лунной программе. Для объективности следует указать, что с 23.9.58 г. по 4.10.59 г. в СССР осуществлено 7 пусков в сторону Луны, из них только "Луна-2" и "Луна-3" выполнили полётное задание, пуск "Луна-1" принято считать относительно удачным - аварии не произошло, но и задание не выполнено. Остальные 4 пуска были аварийными, но о них не сообщалось.

А как обстояли дела с пусками на Луну у наших конкурентов, предпринимающих неординарные способы создания космических

ракет для запуска на Луну? Первый пуск по программе "Пионер" состоялся 17 августа 1958 г., т.е. с опережением нашего первого пуска 23 сентября 1958 г. Но пуск оказался аварийным, в связи с чем в зачёт исторического приоритета зачислен быть может. Такие же результаты были получены и при последующих запусках, осуществлённых в октябре, ноябре и декабре 1958 г. Относительно успешным можно считать пятый пуск, состоявшийся 3 марта 1959 г. На этот раз космический аппарат (КА) "Пионер" пролетел на значительном расстоянии от Луны и стал искусственным спутником Солнца. Полностью выполнил программу полёта космический аппарат "Пионер", запущенный 11 марта 1960 г. Всего в 1958-1960 гг. было проведено 8 пусков КА "Пионер" и только один из них выполнил полётное задание. Второй этап космической гонки США также проиграли.

Следует, видимо, напомнить, что в начальной стадии промышленного развития ракетостроения в СССР научно-исследовательские работы в космической области были побочным продуктом производства боевой ракетной техники. Но первые же успехи в запусках ИСЗ, а затем и опережение американцев по программе пусков космических аппаратов на Луну несколько изменили вектор перспективных работ в ракетостроении. Успехи в космических исследованиях значительно повысили престиж страны, и политическое руководство СССР стремилось его закрепить, для чего требовались новые достижения. Естественным следующим шагом в развитии мог стать только полёт человека в космическое пространство. Собственно, это и являлось изначальной целью космонавтики, все предыдущие технические достижения в космической технике были её предтечей.

Работы в этом направлении велись в ОКБ-1 с 1957 г., со времени организации проектного отдела под руководством М.К. Тихонравова. В первой половине 1958 г. определились с массой выводимого пилотируемого космического аппарата - 5...5,5 тонн, его формой - сфера, баллистической схемой приземления, теплоизоляцией и другими принципиальными техническими вопросами. В конце 1958 г. началась разработка конструкции основных узлов и элементов аппарата. Одновременно велась подготовка проекта правительственного Постановления по созданию пилотируемого космического корабля "Восток" для обеспечения выведения его на космическую орбиту высотой около 200 км трёхступенчатой модернизированной ракетой на базе ракеты Р-7. Постановление о разработке пилотируемого комплекса "Восток" и о кооперации предприятий-исполнителей было принято 22 мая 1959 г. Одновременно с разработкой технических вопросов началась подготовка будущих космонавтов: 5 января 1959 г. вышло правительственное Постановление "О медико-биологической подготовке человека для полёта в космос". Тогда же был организован Центр подготовки космонавтов. Решения научно-технических проблем создания пилотируемого комплекса "Восток" были изложены в эскизном проекте, выпущенном ОКБ-1 в апреле 1960 г. После утверждения эскизного проекта вышло правительственное Постановление от 4 июня 1960 г., которым устанавливались сроки - август - декабрь 1960 г. - запусков беспилотных кораблей-спутников для отработки аппаратуры и системы жизнеобеспечения. В след за ним, 23 июня 1960 г. вышло правительственное Постановление "О создании мощных ракет-носителей, спутников, космических кораблей и освоении космического пространства в 1960 - 1967г.". Это была широкая, многоцелевая и долговременная программа развития мирного и военного космоса. Из этого Постановления выделим один пункт: "Разработать и создать при использовании ракеты-носителя Р-7 ИСЗ и ориентированные корабли-спутники (объект "Восток") для полёта вокруг Земли и спуска в пилотируемом варианте в 1960-1961 гг.". При разработке нового комплекса использовался опыт конструирования и эксплуатации ракет Р-7 и 8К72, а также полётов первых ИСЗ, лунных аппаратов и защиты головных частей баллистических ракет при их входе в плотные слои атмосферы. Принципиально новыми проблемами было жизнеобеспечение космонавта, включая создание лётного скафандра, и разработка тормозной двигательной установки (ТДУ) для снижения пилотируемого корабля с орбиты в плот-



Один из первых вариантов спускаемого корабля

ные слои атмосферы. Было и ещё множество новых технических вопросов, связанных с пребыванием на борту человека, всех не перечислишь. Остановимся на разработке ТДУ.

Создание этой ответственной энергетической системы было поручено ОКБ-2 во главе с Алексеем Михайловичем Исаевым. В мемуарной литературе имеются воспоминания ветеранов, что ещё до принятия решения о разработке ТДУ в ОКБ-2 существовало негативное отношение к этой работе. Дело новое, ответственное, а как поведёт себя конструкция, материалы после длительного пребывания в космосе? Отказ в работе ТДУ - цена жизни космонавта. Разделял эту позицию и сам Исаев. И когда Королёв пригласил его к себе для обсуждения вопроса о ТДУ, Исаев направился к нему с твёрдым намерением отказаться от этой работы. Причём он был настолько уверен в твёрдости своей позиции, что считал предстоящий разговор простой формальностью, которая не займёт более 5-10 минут. Но разговор оказался более продолжительным и, выходя из кабинета Королёва, Исаев с удивлением обнаружил, что внутренне он уже является участником этой работы. Королёв, когда ему было нужно, умел убедить, уговорить, увлечь собеседника своими предложениями. А Исаев ему был нужен, очень нужен. Основным лейтмотивом агитации была простая, обезоруживающая собеседника мысль: "Если не мы, то тогда кто же?".



Корабль "Восток"



С.П. Королёв и А.М. Исаев

Кроме опыта, профессиональных знаний и организационных способностей Исаева к разработке ТДУ оказался причастным и его вес (писать вместо "веса" человека его "масса" как-то непривычно). Вес Исаева - около 105 кг - Королёв, сопровождая это шуткой, утвердил в качестве требуемой массы ТДУ.

Аналогичные работы велись и у наших заокеанских конкурентов. Ещё в конце 40-х годов в США разрабатывался проект "Адам" - запуск человека по баллистической траектории, частично проходящей в околоземном космическом пространстве, с целью ведения

визуальной разведки. Однако отсутствие необходимых для выполнения этого проекта средств выведения не позволило его реализовать. Но с совершенствованием баллистических ракет в 1958 г. начались работы по программе "Меркурий", предусматривающей в течение июня-сентября 1959 г. проведение экспериментальных пусков по баллистической траектории (так называемый суборбитальный полёт) кораблей с обезьянами на борту, а в октябре провести такой же пуск корабля "Меркурий", пилотируемого человеком. Однако по техническим причинам лётные испытания кораблей "Меркурий" начались только летом 1960 г. Первые 2 пуска 29.6.60 г. и 21.11.60 г. имели аварийный исход. Потребовалась существенная техническая доработка конструкции корабля. А в СССР в период с мая по декабрь 1960 г. состоялось 5 успешных космических пусков. Для успокоения американской общественности руководству НАСА и президенту США пришлось сделать ряд заявлений. В новогоднем интервью агентству "Ассошиэтед Пресс" Вернер фон Браун заявил: "В новом 1961 г. на орбиту Земли возможно будет запущена ракета с американцем на борту, а американская ракета без человека достигнет Луны". В начале января 1961 г. уходящий в отставку президент США Д. Эйзенхауэр пообещал Конгрессу, что первый орбитальный полёт астронавта состоится не позднее 25 апреля 1961 г.

Масштабность и сроки выполнения этой программы национальной безопасности США с использованием космического пространства в военных целях вызвали обеспокоенность у политического руководства СССР и в первых числах января 1960 г. Н.С. Хрущёв провёл совещание с главными конструкторами и руководителями предприятий ракетно-космической отрасли и предложил им представить свои предложения по дальнейшему освоению космического пространства как в интересах науки и народного хозяйства, так и в интересах обороны страны.

Такие предложения были разработаны по всем направлениям. В интересах Министерства Обороны они включили ведение фото и радиотехнической разведки, служебную радиосвязь, навигационное и метеорологическое обеспечение, контроль проведения ядерных взрывов, раннее обнаружение пусков ракет и т.д. После обобщения все предложения в апреле 1960 г. в форме проекта Постановления были направлены в Правительство СССР.

Главным направлением в области космических работ, регламентированных последовательно выпускаемыми правительственными Постановлениями, было создание ориентированного корабля-спутника как в беспилотном, так и пилотируемом вариантах. Но при этом не оставалось без внимания и продолжение дальнейшего совершенствования конструкции базовой ракеты-носителя Р-7А и её космической модификации 8К72, которая находилась в процессе лётных испытаний. В соответствии с договорённостью с Королёвым, в рулевых агрегатах произведена замена камеры на более совершенную, разработанную в ОКБ-456. А также, с целью повышения запасов по высокочастотной устойчивости рабочего процесса в камерах основных двигателей, внесены изменения в смесеобразование в части некоторого изменения доли расхода топлива в периферийную завесу. Одновременно введено уменьшение допусков на величину расхода компонентов топлива через форсунки, что позволило стабилизировать процесс горения в камерах.

Наибольшим изменением подверглась конструкция камеры третьей ступени ракеты 8К72. Успешная работа двигателя Р-0105 в составе ракеты 8К72 воодушевило воронежских конструкторов на дальнейшее усовершенствование конструкции и технических характеристик этого двигателя. Они решили вместо поставляемой из ОКБ-1 камеры разработать камеру собственной конструкции. И преуспели в этом новом для них деле. Конструкция получилась действительно новая - заключительная часть высотного сопла не имела привычной наружной стенки. Так называемая гофрированная проставка, соединяющая в паяном пакете внутреннюю и наружную стенки, использовалась в качестве наружной стенки, припаянной к внутренней. Низкое давление газов в этой части сопла в сочетании с незначительным тепловым потоком в стенку позволяли обойтись без силовой наружной стенки. Какому двигателю

ОКБ принадлежит идея этой оригинальной конструкции - мне не известно. Методом исключения "подозревается" КБ-2 Исаева, но подтверждающих документов я не видел. Однозначен только факт - первыми использовали эту конструкцию в камере товарного производства конструкторы ОКБ-154. Ценность конструкции заключается в существенном снижении массы камеры.

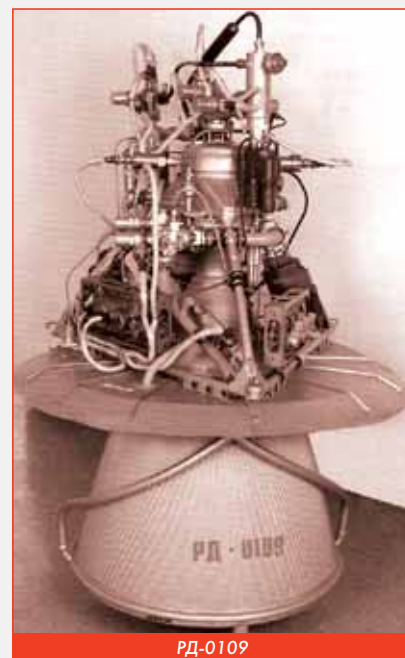
После технологического освоения изготовления и проведения прочностных испытаний новую конструкцию до её внедрения в товарное производство решили согласовать с потребителем двигателя - с ОКБ-1. Для наглядной демонстрации камеру новой конструкции в сопровождении группы конструкторов во главе с Косбергом доставили в ОКБ-1. Необычный вид камеры насторожил конструкторов двигательного отделения ОКБ-1 и они пригласили для осмотра камеры своего начальника М.В. Мельникова. Кроме применения на отработанном двигателе камеры новой конструкции был ещё один щекотливый момент. Внедрение воронежской камеры исключало участие в этом двигателе ОКБ-1, что вызвало недовольство у Мельникова и он привлёк для решения этого вопроса В.П. Мишина. О дальнейших событиях мне рассказал участник этих "смотрин" А.А. Голубев, впоследствии работавший первым заместителем главного конструктора воронежского ОКБ А.Д. Конопатова. Мишин не заставил себя долго ждать и, подходя к группе ожидавших его конструкторов во главе с Косбергом, громко произнёс: "Ну, показывайте, что тут придумала еврейская морда". Все повернулись в сторону Косберга. Семён Ариевич в молодые годы работал кузнецом в сельской местности и в совершенстве владел ненормативной лексикой. К тому же имел вспыльчивый характер, но на этот раз он сдержался и молча прошёл мимо Мишина. Воронежские конструкторы последовали за ним. А Косберг прошёл прямо в кабинет Королёва, который оказался на своём рабочем месте. Как шёл у них разговор, ни Королёв, ни Косберг после не рассказывали. Выйдя из кабинета, Косберг распорядился конструкторам продолжить работу в ОКБ-1, а сам уехал в Москву. Грубая выходка Мишина не стала откровением для работников ОКБ-1, но настроение у всех собравшихся испортилось. Однако интересы дела взяли верх и в итоге была составлена программа технологических и огневых испытаний для подтверждения технической пригодности новой конструкции камеры.



С.А. Косберг

Разработка нового двигателя РД-0109 продолжалась в течение 1 года и 3-х месяцев в 1959-1960 гг. Он имел улучшенные характеристики по сравнению с двигателем РД-0105: тяга в пустоте - 5,56 тс, удельный импульс тяги - 323 с, давление в камере - 51 атм. В процессе наземной отработки на запуске двигателя в камере периодически проявлялась высокочастотная неустойчивость, но принятыми конструкторскими мерами была устранена.

Лётные испытания по программе пилотируемого полёта начались 15 мая 1960 г. запуском экспериментального космического корабля-спутника для проверки работоспособности конструкции основных систем. На следующий день в газете



РД-0109

"Правда" появилось сообщение об этом событии. Приведём его фрагмент: *"В течение последних лет в Советском Союзе проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по подготовке полёта человека в космическое пространство. 15 мая 1960 г. осуществлён запуск космического корабля на орбиту Земли. Вес корабля-спутника без последней ступени ракеты-носителя составляет 4 т 500 кг".* Дальнейшие пуски проводились с биологическими объектами - подопытными собаками. Завершающие два пуска состоялись 9 марта 1961 г. - с собакой Чернушкой и манекеном космонавта и 25 марта 1961 г. - с собакой Звёздочкой и манекеном. После этих пусков, признанных зачётными, 3 апреля 1961 г. состоялось заседание Президиума ЦК КПСС, на котором было принято Постановление *"О запуске космического корабля-спутника с космонавтом на борту"*. 8 апреля на заседании Госкомиссии Ю.А. Гагарин был утверждён первым космонавтом, его дублёром - Г.С. Титов, дублёром дублёра - Г.Г. Нелюбов.

К дате принятия решения о полёте Гагарина было проведено 46 пусков двухступенчатых ракет Р-7 (из них 6 аварийных пусков), 16 пусков трёхступенчатых ракет 8К72 (8 аварийных пусков) и 7 пусков кораблей-спутников (2 аварии и 2 невыполненных полётных заданий). В начале 2000-х годов на одной из научно-исторических конференций Б.Е. Черток упомянул, что по меркам сегодняшнего дня при имеющейся статистике пусков ракет никто в наше время не осмелился бы принять решение о запуске Гагарина в космос. Но тогда это было время романтизма, космической гонки с США и формально выполненные установленные требования о двух подряд прошедших успешно пусков - и Гагарин сделал свой исторический шаг в эру мировой пилотируемой космонавтики. А с ним и всё советское ракетно-космическое сообщество. А как же без него? Ведь все работы в ракетно-космической отрасли определялись и регламентировались правительственными Постановлениями, выполнение которых обеспечивалось государственными ресурсами и строго контролировалось.

Не будем приводить восторженные оценки полёта Гагарина в мировой прессе, отметим только, что практически все главы государств направили свои личные поздравления народу и руководству СССР. Вместо этого поделюсь собственными воспоминаниями о том весеннем светлом апрельском дне, о внутреннем подъёме и душевной гордости - это наши двигатели отработали без замечаний и *"это мой труд вливается в труд моей республики"*. Поистине незабываемое чувство радости и торжества успешно выполненной работы. Прошло уже 56 лет, а из глубины памяти выплывают объятия и рукопожатия со своими друзьями-сотрудниками и последующий вечерний "поход через гастроном" в Химкинский парк.

Хотя в ракете-носителе "Восток" установлены уже "старые" двигатели, разработанные для МБР Р-7, использованные при запуске ИСЗ и "Лунников", но мы гордились, что это они, наши двигатели преодолевают земную гравитацию. И спустя некоторое время наши чувства получили подтверждение с неожиданной стороны. Президент США Джон Ф. Кеннеди так оценил значимость ракетных двигателей в космических успехах СССР: *"Мы стали свидетелями того, что начало*

достижениям в космосе было положено Советским Союзом благодаря имеющимся у него мощным ракетным двигателям".

По сложившейся традиции после очередного выдающегося достижения в Советском Союзе проводились награждения предприятий и отличившихся работников. На этот раз в июне 1961 г. ОКБ-1 и ракетный завод № 88 были награждены орденами Ленина, Королёв получил вторую золотую ме-

даль Героя Социалистического труда, этого же высокого звания были удостоены ещё 12 человек из ОКБ-1 и завода № 88, 5 человек стали лауреатами Ленинской премии, а 43 человека - награждены орденами Ленина.

Двигательное ОКБ-456 было награждено орденом Ленина, главный конструктор Глушко стал дважды Героем Социалистического труда, ещё 7 работников ОКБ и завода № 456 были удостоены того же звания, а 35 человек получили ордена Ленина. Так что вопреки мнению резидента США руководство СССР считало вклад ракетчиков ОКБ-1 и завода № 88 более весомым, чем вклад двигательного ОКБ и завода № 456.

Программа полётов человека в космос предусматривала постепенное, осторожное изучение воздействия невесомости и других медицинских факторов, влияющих на физическое и психологическое состояние человека. Поэтому первый полёт Гагарина был одновитковым и продолжался 108 мин. Второй советский космонавт Г.С. Титов, стартовав в космос 6 августа 1961 г., 17 раз облетел Земной шар и приземлился после 25 часов нахождения в космосе.

Для американской космонавтики начало 1961 г. ознаменовалось двумя успешными пусками кораблей "Меркурий" - 31.01.61 г. (с обезьяной на борту) и 21.02.61 г. Однако последующий за ними пуск 25.04.61 г. оказался аварийным. И несмотря на это, американцы, даже уже проиграв гонку в выведении человека в космос, продолжили свою, граничащую с авантюрой, программу - 3.05.61 г. состоялся суборбитальный полёт астронавта А. Шеппарда. Параметры этого полёта: высота 187 км, дальность 486 км, продолжительность до приводнения в океане - 15 мин. 22сек.

Этот полёт, бывшим с точки зрения советской космонавтики, довольно рядовым событием, внёс существенное разночтение в историографию мировой космонавтики. По американским правилам принято считать, что космос начинается с высоты более 80 км над поверхностью Земли. По международным меркам - 100 км. Это послужило основанием для американцев засчитать суборбитальный полёт А. Шеппарда космическим, а самого Шеппарда - астронавтом. Более того, американцы считают Шеппарда вторым в мире человеком, побывавшим в космосе. В нашей истории космонавтики вторым является Г.С. Титов, находящийся в космическом пространстве более 25 часов.

В связи с этим разночтением представляется интересным рассмотреть в американской интерпретации последовательность первых десяти человек, побывавших в космосе.

1. Ю.А. Гагарин, "Восток-1" - 12.04.1961 г. - 1 виток.
2. А. Шеппард, "Меркурий-3" - 3.05.1961 г.
3. В. Гриссом, "Меркурий-4" - 21.07.1961 г.
4. Г.С. Титов, "Восток-2" - 6-7.08.1961 г. - 17 витков.
5. Дж. Гленн, "Меркурий-6" - 20.02.1962 г. - 3 витка.
6. М. Карпентер, "Меркурий-7" - 24.05.1962 г. - 3 витка.
7. А.Г. Николаев, "Восток-3" - 11-15.08.1962 г. - 64 витка.
8. П.Р. Попович, "Восток-4" - 12-15.08.1962г. - 48 витков.
9. У. Ширра, "Меркурий-8" - 3.10.1962 г. - 6 витков.
10. Г. Купер, "Меркурий-9" - 15-16.05.1963 г. - 22 витка.

Вот такая хронология первых полётов. И поскольку общепри-



12 апреля 1961 г., "Восток" на старте



Г.С. Титов и Ю.А. Гагарин

нятых критериев для определения звания космонавт и астронавт не существует, каждая сторона имеет право на свою точку зрения. Однако иметь право что-то считать не означает, что это соответствует действительности. Необоснованные в нашем понимании претензии американцев указывают на их уязвленное честолюбие. В истории человеческого общества Ю.А. Гагарин - первый человек в космосе. А если бы он совершил свой полёт вокруг Земли после "прыжка" в космос американца? Сколько бы сломали "копий" и разбрызгали слюны историки космонавтики в спорах - кого же считать первым? Даже сейчас, в среде американских обывателей господствует мнение, что первым в космосе был американец. Но первым на все времена был Юрий Алексеевич Гагарин!

Для изложения указанной в подзаголовке статьи темы "Новые проекты" требуется вернуться к событиям середины 50-х годов.

Выбирая по велению ума и сердца в качестве своей профессии разработку ЖРД, Глушко исходил из того, что именно двигатель, его энергетически-эксплуатационные характеристики определяют область применения и тактико-технические характеристики ракеты. В связи с этим он считал, что в его профессиональные обязанности входит опережающие разработки новых двигателей, открывающих новые возможности для создания перспективных ракет.

Ещё до начала лётных испытаний ракет Р-7 Глушко в конце августа 1956 г. предлагает Королёву (копии письма направлены В.М. Рябинову, Д.Ф. Устинову и М.И. Неделину) приступить к разработке более мощной ракеты Р-8, способной доставить боевой заряд массой до 10 т на расстояние 10...12 тыс. км. Для этой ракеты он берётся разработать двигатели в двух вариантах: два двухкамерных, общей тягой 200 тс или один четырёхкамерный с двумя ТНА, тягой 200 тс. В перспективе, для повышения удельного импульса тяги предполагалось керосин заменить на НДМГ. В развитие этого предложения в ОКБ Глушко были проведены проработки на уровне предэскизного проекта. Но предложение было отклонено, признано нецелесообразным подвергать ревизии конструкцию ракеты Р-7 до получения результатов её лётных испытаний.

В этот же период времени в ОКБ-456 под руководством Глушко проводится расчётно-исследовательская работа, завершившаяся в ноябре 1957 г. выпуском технического отчёта *"Предварительные результаты исследования перспектив развития ЖРД для баллистических ракет дальнего действия"*. В отчёте рассмотрена возможность создания двигателей с использованием кислородного, азотнокислотного и фторного окислителя, а также двигателей с применением атомной энергии. Схемы указанных ЖРД имеют замкнутый аммиачный цикл охлаждения, в связи с чем их удельный импульс тяги существенно превышает величины удельных импульсов для двигателей "классической" схемы. В разделе об атомном двигателе приводятся общие характеристики такого двигателя и его удельный импульс тяги около 900 с. В заключении указывается, что в случае проявления интереса к любому из приведённых в отчёте двигателей, могут быть проведены дальнейшие подробные расчёты. Внешней реакции на выпуск отчёта не последовало. Дальнейшее

развитие получил только фторо-аммиачный двигатель, который прошёл в ОКБ Глушко полный цикл наземной отработки, но по не имеющим отношения к техническим характеристикам двигателя причинам дальнейшие работы с ним были приращены выпуском правительственного Постановления в феврале 1977 г.

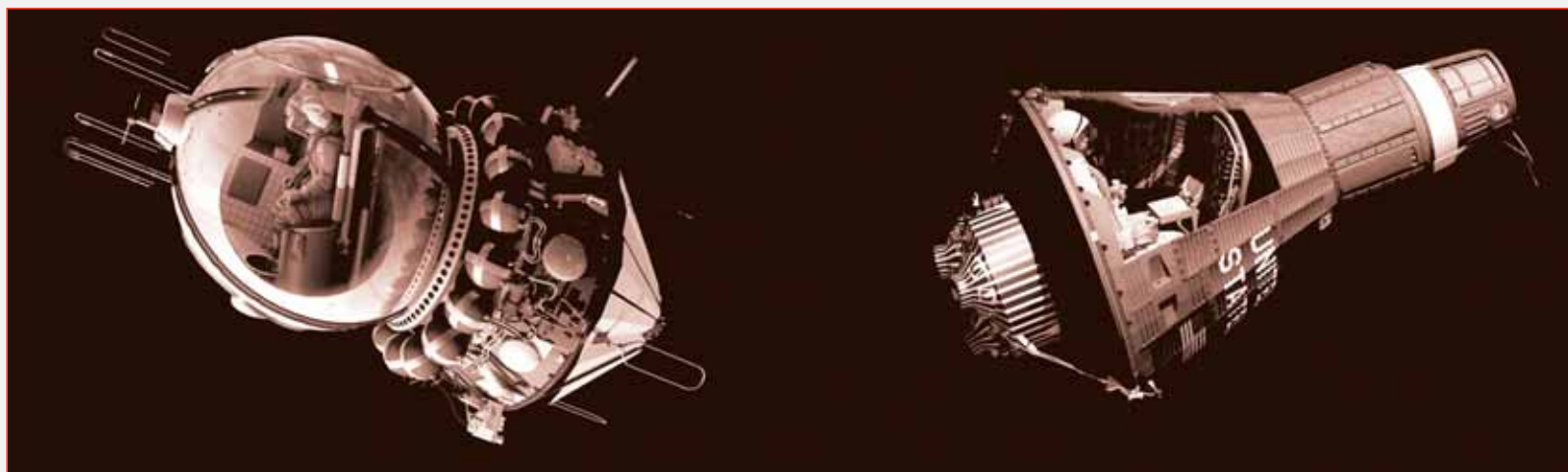
Успехи СССР в космической деятельности и связанные с ними политические дивиденды обеспечили ракетно-космической отрасли повышенное внимание со стороны правящих кругов. Мощным импульсом для развития ракетостроения в СССР стало уже ранее упомянутое совещание главных конструкторов ракетно-космической техники в первых числах января 1960 г. у Н.С. Хрущёва. Поводом для этого совещания стал нарастающим темп работ американских конкурентов, грозивших обогнать СССР в единственной научно-технической области, в которой достижения социалистической системы имели преимущества перед остальным миром. На этом совещании Хрущёв высказал серьёзную озабоченность состоянием наших перспективных проектов работ в космосе в связи с разработанной комиссией сената США под руководством Л. Джонсона программой национальной безопасности с использованием космоса в научных и военных целях. Политический лидер СССР отметил, что сейчас успехи в космосе для нашей страны не менее важны, чем создание боевых ракет.

На следующий день в ОКБ-1 состоялось совещание Главных конструкторов с участием Келдыша. Приняли оперативное решение: в недельный срок подготовить развёрнутую программу перспективных работ в ракетно-космической отрасли. Программу свертали, предусмотрев работы в ближайшие годы и на дальнейшую перспективу.

В 1960-1962 гг. космические исследования планировалось вести с использованием имеющейся ракетной техники. Они включали в себя облёт Луны и фотографирование её невидимой с Земли части, полёт в космос и приземление человека, полёты космических аппаратов к Марсу и Венере, мягкую посадку аппарата на Луну и т.д. В последующие годы - создание ракетно-космической системы с выведением полезной нагрузки 60...80 т на орбиту ИСЗ и приводился широкий перечень планов лётной эксплуатации этой ракеты-носителя.

Более конкретные предложения сделал Глушко. Анализируя перспективы развития мировой ракетно-космической техники, он увидел в планах наших американских конкурентов тенденцию создания мощных ракет для полётов в дальний космос. В связи с этим в инициативном порядке в ОКБ-456 прорабатывались варианты создания новых мощных носителей.

В ответ на обращение главы государства буквально через месяц, в феврале 1969 г., Глушко в письме к председателю ГКОТ К.Н. Рудневу и главному конструктору С.П. Королёву предлагает начать разработку двух космических ракет - тяжёлого класса Р-10 и сверхтяжёлого класса Р-20. Представленные предложения учитывали возможность создания ракеты Р-10 в короткие сроки, используя набор практически уже имеющихся двигателей, а Р-20 - с учё-



Советский корабль "Восток" и американский "Меркурий"

том всех последних достижений в области конструирования и технологии изготовления двигателей для получения предельно возможных в ближайшие годы характеристик ЖРД.

По ракете Р-10 предполагалась: стартовая масса 1500 т, 4 ступени с поперечным делением, тяга первой ступени - 1974 тс, топливо кислород - керосин. На первой ступени устанавливается 7 блоков-модулей, каждый состоит из двух четырёхкамерных двигателей 8Д716, заимствованных от первой ступени Р-9А, находящейся на заключительной стадии отработки. На второй ступени устанавливается 4 двигателя 8Д716 в высотном варианте; на третьей ступени один двигатель 8Д716 в высотном варианте. Высотный вариант двигателей 8Д716 отличается от штатного только размерами сопла и имеет тягу 171 тс. На четвёртой ступени устанавливается двигатель 8Д710 тягой 10 тс.

Завершая предложения, Глушко пишет: *"Предлагаемые ОКБ-456 двигатели для тяжёлого носителя на базе двигателей 8Д716 для ракеты Р-9А и 8Д710 позволяют создать весьма эффективный тяжёлый носитель, существенно превосходящий носитель на базе Р-7, допускающий решение качественно новых задач по освоению Космоса, включая полёты экипажа к Луне"*.

По ракете Р-20 предполагалось: стартовая масса 2000 т, 4 ступени с поперечным делением. Тяга первой ступени - 2800 тс. Первая ступень состоит из семи блоков-модулей, содержащих по 4 двигателя РД-112, двигатели РД-112 - однокамерные, тягой 100 тс каждый, давление в камере 150 атм, работают на топливе кислород и НДМГ с дожиганием генераторного газа. Вторая ступень состоит из четырёх двигателей РД-113, отличающихся от РД-112 высотным соплом, тяга РД-113 - 117 тс. На третьей ступени устанавливаются 3 или 4 двигателя РД-113, на четвёртой - один двигатель РД-113.

Эти предложения Королёвым были отвергнуты, так как уже начались работы по мощной ракете-носителе, получившей впоследствии обозначение Н1. Однако игнорирование варианта ракеты Р-10 представляется недостаточно обоснованным. Ракета "собиралась" из практически уже имеющихся двигателей: оба двигателя - 8Д716 и 8Д710 - находились на заключительной стадии доводки. Можно было использовать и меньшее число ступеней, а также сократить число двигателей на каждой ступени, т.е. создать космический носитель, который заполнил бы пустующую нишу вывода тяжёлых - массой 15...20 т - аппаратов в космос. Как показал опыт эксплуатации РН "Протон", созданной в 1962-1965 гг. в ОКБ Челомея, наличие такого носителя было необходимо не только для осуществления космической программы, но и для поддержания авторитета СССР как великой космической державы.

Что касается отвергнутой ракеты Р-20, то здесь могут быть технические основания. Начатая проработка Н1 показала, что для поставленной задачи освоения дальнего космоса, в том числе и посещения советским космонавтом Луны, потребуется более мощная ракета. В первоначальном варианте Н1 тяга первой ступени была определена в 3600 тс. Но отвергая предложение Глушко, в ОКБ Королёва, к сожалению, прошли мимо идей использовать блочно-модульное построение двигательной установки первой ступени. А этот вариант позволял вести стендовые огневые испытания ЖРД, объединённых в группу, что повышало надёжность двигательной установки.

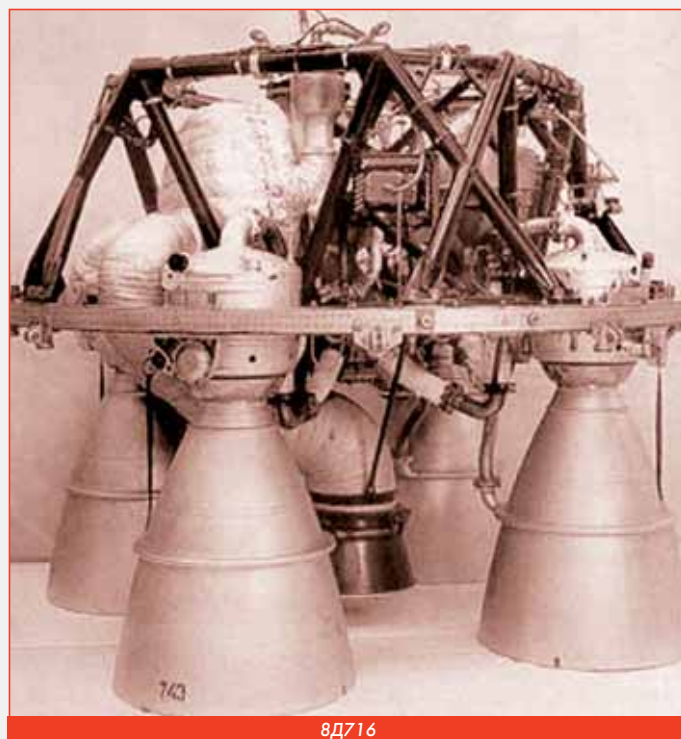
Не найдя понимания у Королёва, Глушко в конце марта 1960 г. обращается к председателю ГКОТ К.Н. Рудневу и главному конструктору М.К. Янгелю. В своём письме он пишет: *"В настоящее время остро назрела необходимость в безотлагательной разработке ракеты-носителя, более тяжёлой, чем Р-7, для обеспечения дальнейшего развития работ по освоению космоса в сохранении приоритета Советского Союза в этой области"*. Далее следует предложение разработать новую сверхмощную ракету и повторяется техническое построение ступеней Р-20. Однако и в КБ "Южное" это предложение не нашло своей реализации, так как КБ было загружено завершением отработки боевых ракетных комплексов Р-14 и Р-16, а проектанты уже приступили к работам по боевой ракете нового поколения Р-36.

Отклонение ведущими ракетными ОКБ предложений по созданию ракет типа Р-10 и Р-20 не останавливает Глушко в его дальнейших проработках в этом направлении. Глушко волнуется складывающаяся ситуация, когда два из трёх ведущих ракетных ОКБ - Янгеля и Челомея - заняты работами по боевой тематике, а третье - Королёва - приступает к проектным работам по носителю Н1, разработка которого займёт неопределённое время, по меньшей мере пять-шесть, а то и более лет. Свою обеспокоенность о намечающейся длительной паузе в развитии средств выведения космических объектов и предложения по разрешению назревающей проблемы Глушко излагает 30 апреля 1960 г. в письме к Королёву: *"ОКБ-456 полностью разделяет опасения, связанные с неизбежной длительностью создания новых тяжёлых носителей с двигателями, обладающими особо высокими характеристиками, и вытекающей отсюда опасности временной потери приоритета нашей Родины в деле освоения космоса, поскольку в США ожидается в ближайшие годы создание ракеты-носителя "Сатурн" вдвое более тяжёлой, чем Р-7. Поэтому ОКБ-456 целиком поддерживает точку зрения о необходимости создания улучшенной модификации ракеты-носителя на базе Р-7 со сроком разработки не более 1,5 - 2-х лет, способной обеспечивать сохранение приоритета Советского Союза и на период предшествующий созданию тяжёлого носителя с высокоэффективными двигателями принципиально новой схемы"*. Далее Глушко предлагает создать качественно новый, более мощный носитель на базе Р-7 и двигателей от первой ступени ракеты Р-9А: *"Замена четырёх двигателей первой ступени Р-7 на шесть двигателей от ракеты Р-9А приведёт к увеличению тяги первой ступени новой ракеты до 846 тс вместо 406 тс, при этом возрастёт и величина удельного импульса тяги... Для третьей и четвёртой ступеней носителя ОКБ-456 может предложить двигатель тягой 10 тс на топливе кислород+НДМГ"*.

Ответ Королёва последовал незамедлительно, письмо было подписано 7 мая 1960 г. Основная мысль письма: *"По мнению ОКБ-1 делать какой-либо промежуточный вариант тяжёлого носителя вместо Н1 нецелесообразно, так как это отвлечёт силы от основной задачи - создания Н1. Поэтому это предложение мы считаем неприемлемым"*.

У творцов новой техники чужие, даже прогрессивные предложения, не вызвали интереса. А третейского арбитража не было, каждый головной разработчик выбирал и, если появлялась необходимость, отстаивал собственные проекты.

(Продолжение следует.)



8Д716

ДОРЕВОЛЮЦИОННЫЕ АВИАДВИГАТЕЛИ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МУЗЕЯХ

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" выпустила книгу-справочник "Авиация в музеях России", в которой содержатся сведения о 35 музеях и почти тысячи хранящихся в них летательных аппаратах и двигателях. В статье, подготовленной на основе этой книги, рассказывается о музейных двигателях, созданных в период с 1880-х годов по 1917 год.

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. In the article prepared on the basis of this book tells about museum engines, design in the period from 1880-s up to 1917.

Ключевые слова: *прямоточный воздушно-реактивный двигатель, И.А. Меркулов, истребитель, скорость полёта.*

Keywords: *ram-jet engine, I.A. Merkulov, fighter, speed of flight.*

В музеях нашей страны находятся свыше 300 авиационных двигателей. 21 из них относится к периоду до 1917 года.

В Центральном музее ВВС в Монино выставлен старейший из сохранившихся воздухоплавательных двигателей - **паровая машина Габриэля Иона**. Она была построена в 1887 году выше-названным французским инженером для проектируемого им для России дирижабля. Состояла из водотрубного парового котла, двигателя и конденсатора. Сохранился только двигатель, музей получил его 13 декабря 1969 года из Центрального Дома авиации и космонавтики. Это единственный авиационный паровой двигатель в музеях России.



Паровая машина Габриэля Ионы

Двигатель трёхцилиндровый, с т р о й н ы м расширением пара. Отработавший в первом цилиндре пар переходил во второй, а затем в третий. Цилиндры отлиты из бронзы. Из неё же сделаны поршни и опорная рама. Коленчатый вал и шатуны - стальные. На носок коленвала надет небольшой маховик, одновременно являющийся шкивом приводного ремня. Вес двигателя был 450 кг, котла - 140 кг. После постройки паровой машины и проведения испытаний определилась её мощность - 52 л. с. Однако конденсатор, предусмотренный проектом, не сгушал водяных паров из-за своих малых размеров, поэтому двигатель не развивал максимальной мощности. Ион пытается заказать паровой котёл меньшего веса и конденсатор больших размеров. Но на это требовались дополнительные расходы, а к тому времени средств на этот проект и так было затрачено больше, чем предусматривалось - свыше 100 тысяч франков. Комиссия российского военного министерства, с которой Г. Ион в 1886 году заключил договор на постройку дирижабля с паровым двигателем, обсудив создавшееся положение, решила прекратить финансирование.

Паровой двигатель Ион передал в Россию, где он использовался в качестве силовой установки для выработки электрического освещения, а затем оказался в Ленинградском институте инженеров Гражданского Воздушного Флота. В конце 1930-х годов его отправили в Москву, в Аэрохиммузей (Центральный Дом авиации и космонавтики). Надо помнить, что коллекция этого музея составила на основе крупнейшей в своё время в Европе коллекции авиационного отдела московского Политехнического музея. Оттуда в конце 1969 года паровую машину Иона передали в монинский музей.

В августе 2005 года двигатель пострадал при пожаре. По инициативе научного сотрудника музейного отдела научно-фондовой работы М.Я. Стребкова, которому помогли сотрудник реставрационных мастерских М.А. Сегренёв и волонтер Е. Овсянников, он был отреставрирован до максимально возможной идентичности первоначальному состоянию и вновь занял место в экспозиции.

Двигатель Костовича хранится в Музее ВВС с 1977 года. Это первый двигатель внутреннего сгорания, предназначавшийся для летательного аппарата. Построен во второй половине 1880-х годов проживавшем в России изобретателем Огнеславом Стефановичем Костовичем, сербом по национальности, для спроектированного им дирижабля "Россия".

Двигатель четырёхтактный, восьмицилиндровый, оппозитный, с горизонтальным расположением цилиндров, соединённых в две группы по четыре цилиндра. Цилиндры, поршни и некоторые другие детали выполнены из бронзы, коленчатый вал, шатуны, коромысла - из стали. Топливовоздушная смесь из карбюратора поступала к впускным клапанам цилиндров по четырём патрубкам. Костович впервые использовал электрическое зажигание током низкого напряжения с применением подвижных контактов. Охлаждение цилиндров - водяное.



Двигатель Костовича

Смазка трущихся поверхностей осуществлялась маслёнками. Для равномерности хода двигателя использовался маховик больших размеров, а вспышки в смеси должны были происходить поочерёдно в противоположных цилиндрах. Расчётная мощность силовой установки составляла 60-80 л. с. при весе двигателя 240 кг. В качестве топлива предполагалось использовать керосин или бензин.

Испытания и доводка двигателя продолжались до 1889 года. В этом году Военное министерство прекратило финансирование работ по дирижаблю, и двигатель оказался не нужен. В 1923 году его нашли в сарае на территории брошенной и частично сгоревшей усадьбы Костовича под Петроградом (сам изобретатель скончался в 1915 году). Карбюратор и некоторые другие части отсутствовали. Как историческую реликвию двигатель передали в только что созданный Петроградский аэромузей. После его закрытия в 1937 году двигатель Костовича отправили в Аэрохиммузей в Москве, откуда он попал в Монино.

Двигатель также пострадал при пожаре в музее в 2005 году. В 2012 году он отреставрирован научным сотрудником музея М.Я. Стребковым и работником реставрационных мастерских М.Я. Крючковым и возвращён в экспозицию.

В начале XX века в воздух поднялись самолёты. Первым из успешно испытанных был самолёт братьев Райт (1903 г.). Они же изготовили и двигатель для этой машины. Позднее начался серийный выпуск усовершенствованной модели двигателя образца 1908 года - "Райт Б".

В Музее ВВС находится **"Райт Б" производства рижского завода "Мотор"**. По инициативе владельца завода Теодора Калеп в 1910 году у немецкой фирмы "Флюгmaschinen Райт" был приобретён самолёт, построенный по американскому образцу самолёта братьев Райт, вместе с двигателем мощностью 30 л. с. Это рядный четырёхцилиндровый двигатель воздушного охлаждения. Калеп писал: "Убедившись в необходимости строить авиационные моторы для летательных аппаратов русской постройки, мы приступили в 1910 году на нашем заводе в Риге-Зассенгофе, основанном в 1889 году, к постройке авиационного двигателя автомобильного типа...". Калеп внёс в конструкцию ряд усовершенствований, позволяющих поднять мощность до 35 л. с. Первые "Райты" завод "Мотор" выпустил летом 1910 года (их иногда именовали "Райт-Рига"). Но к этому времени двигатель "Райт" по своим данным, особенно по мощности, уже не соответствовал требованиям времени, и завод "Мотор" перешёл на производство французских моторов "Гном".



Двигатель "Райт"

заканчивается его реставрация. Историческая ценность этого экспоната очевидна - с подобным двигателем в 1903 году был совершён первый в мире полёт на самолёте. Кроме того, это первый серийный авиамотор российского производства.

Но наибольшее распространение в первые годы авиации имели французские моторы.

Производство авиационных двигателей на заводе фирмы "Ре-

но" началось в 1907 году. Их разработкой занимался конструкторский коллектив, руководимый Луи Рено. В конце 1907 года был создан **"Рено-50"** с восемью цилиндрами воздушного охлаждения, расположенными V-образно под углом 90 градусов. Его мощность составляла 50 л. с. Для лучшего охлаждения цилиндров на задней части двигателя установили вентилятор.

До 1909 года этот двигатель считался одним из наиболее мощных и применялся на многих летательных аппаратах. Известно, что

данный двигатель был установлен на самолёте "Морис Фарман", на котором поларный лётчик Я.И. Нагурский вместе с механиком Е.В. Кузнецовым совершили в августе 1914 года полёт в Арктику вдоль западного побережья Новой Земли в поисках пропавшей экспедиции Г.Я. Седова.



Рено-50

"Рено-50" имеется в Музее ВВС. Он получен в дар от племянницы известного лётчика Бориса Илиодоровича Россинского С.Ф. Россинской в 1983 году. Цилиндры двигателя оребренные, каждый крепится к картеру посредством крестовины и четырёх шпилек с гайками. Крутящий момент к распредвалу, являющемуся одновременно и валом воздушного винта, передаётся через зубчатую передачу. Распределительная система управляет впрыском и выхлопом с помощью качалок и тяг с возвратными пружинами. На заводской табличке приведена фирма-изготовитель: Renault Billancourt (Seine) и серийный номер изделия. Дата изготовления музейного экземпляра определена как 1908-1910 годы. На образце утрачены: магнето, три свечи зажигания, четыре коромысла с толкателями распределительной системы, один из коллекторов выпускной системы, крышка патрубка маслосистемы, полностью устройство установки и крепление воздушного винта.

Другой известной французской авиамоторной фирмой была "Анзани", выпускавшая прежде моторы для мотоциклов.

Двигатель "Анзани" воздушного охлаждения поступил в Музей ВВС из Центрального Дома авиации и космонавтики 23 октября 1963 года. Он был разработан в 1907 году. Двухцилиндровый V-образный двигатель оснащён литыми стальными цилиндрами с перфорированными рёбрами охлаждения. Поршень выполнен не из алюминиевого сплава, а из чёрного металла. Чтобы он мог работать без заклинивания в паре со стальной поверхностью цилиндра, на него напрессованы бронзовые кольца. Ответ-



Двухцилиндровый двигатель "Анзани" воздушного охлаждения

рстия в нижней части цилиндра соединяют полость картера с атмосферой, и когда поршень находится в верхней мёртвой точке, происходит суфлирование картера. Отверстия открывались после открытия выпускного клапана. Выхлопные газы сначала устремлялись через выпускной клапан в выхлопную трубу, потом открывались отверстия внизу цилиндра и воздух всасывался через них вслед за выходящими через выпускной клапан и выхлопную трубу отработанными газами. Так осуществлялась прямоточная продувка цилиндра в такте выпуска.

Такой двигатель использовали на своих летательных аппаратах первые русские авиаконструкторы И.И. Сикорский и Я.М. Гаккель.

Трёхцилиндровый двигатель воздушного охлаждения "Анзани" был подарен музею ВВС 28 мая 1973 года лётчиком-испытателем А.И. Жуковым. Создан в 1909 году. Двигатель имеет цилиндры, расположенные под углом 120 градусов друг к другу, составной коленчатый вал с маховиками и противовесами. Кривошипные головки шатунов работают по шейке коленчатого вала порознь. Впускные клапаны автоматические, выпускные управляются при помощи трёх отдельных кулачковых валиков.

С 1961 года в монинском музее находится ещё один **трёхцилиндровый "Анзани"**. В отличие от вышеописанного мотора цилиндры в нём расположены веерообразно, в верхней части, под углом 60 градусов друг к другу. 25 июля 1909 года на самолёте с таким мотором Луи Блерио совершил исторический перелёт через пролив Ла Манш.

Отличительные качества двигателей "Анзани" - простота, лёгкость и дешевизна изготовления. При весе 65 кг и 1400 оборотах в минуту они обладали мощностью 25-35 л. с.

Старейшим из авиадвигателей отечественной конструкции является **биротативный мотор Анатолия Георгиевича Уфимцева АДУ-3**. Изобретатель построил его в своей мастерской в Курске в начале 1910 года на собственные средства. У этого мотора коленчатый вал вращался в одну сторону, а картер - в другую. По сравнению с входящими тогда в моду ротативными двигателями данная конструкция позволяла уменьшить нагрузки на подшипники и избавиться от воздействия гироскопичес-

кого момента. Диаметр цилиндров равнялся 80 мм, ход поршня - 110 мм, частота вращения - 1000 об/мин. Масса двигателя - 50 кг, расчётная мощность - 40 л. с. Двигатель Уфимцев установил на своём самолёте "Сфероплан № 2". Из-за ненадёжной работы двигателя с неотработанной системой смазки полёты не удались.

В Центральном Доме авиации и космонавтики биротативный двигатель Уфимцева находится с момента открытия музея. Его превратили в демонстрационный макет, сняв картер и закрепив на валу деревянные детали, имитирующие корневые части пропеллеров.

В 1912 году Уфимцев спроектировал новый шестицилиндровый двухтактный биротативный двигатель с улучшенной продувкой цилиндров. Были существенно изменены параметры и конструкция основных узлов. Двигатель построили на Брянском паровозостроительном заводе, он получил наименование **АДУ-4**. Его испытания и

доводка не были завершены. А.Г. Уфимцев оставил работы в авиации, так как экспериментальная и производственная база не позволяла создать надёжный биротативный двигатель. К тому же он не получал никакой поддержки со стороны государства. Позже Уфимцев занимался разработкой и постройкой двигателей для сельскохозяйственных машин, а затем конструированием ветряных двигателей.

В 1912 году АДУ-4 экспонировался на Второй международной воздухоплавательной выставке в Москве. Жюри под председательством профессора Н.Е. Жуковского за интересную идею присудило А.Г. Уфимцеву Большую серебряную медаль.

Этот двигатель демонстрируется в Центральном музее ВВС, куда он поступил в 1960 году из Центрального Дома авиации и космонавтики.

Экспериментальный двигатель внутреннего сгорания "Гипоцикл" выставлен в монинском музее, а до 1959 года был экспонатом Центрального Дома авиации и космонавтики. Спроектировал "Гипоцикл" военный инженер А.В. Нестеров в 1914 году. Мотор был произведён на московском заводе "Дукс", строившем самолёты. Это семицилиндровый звёздообразный двигатель водяного охлаждения. Нестеров отказался от привычной комбинации главного и прицепных шатунов. В "Гипоцикле" все шатуны были равноправны и надевались друг за другом на одну кривошипную шейку коленчатого



Биротативный мотор Уфимцева АДУ-3



Трёхцилиндровый дигатель "Анзани". Цилиндры под 120°



Биротативный мотор Уфимцева АДУ-4



Трёхцилиндровый дигатель "Анзани". Цилиндры под 60°

тер - в другую. По сравнению с входящими тогда в моду ротативными двигателями данная конструкция позволяла уменьшить нагрузки на подшипники и избавиться от воздействия гироскопичес-



"Гипоцикл" Нестерова

мушества по сравнению с уже имевшимися в России авиамоторами, его законсервировали и отправили в одно из авиационных училищ в качестве наглядного пособия.

Демонстрируемый в Музее ВВС препарированный **двухцилиндровый двигатель воздушного охлаждения "Ньюпор-Даррак"** мощностью 28 л. с. устанавливался на самолёте Эдуарда Ньюпора "Ньюпор II" (1911 год). У истоков создания данного двигателя стоял французский инженер Александр Даррак. Двигатели такого типа применялись в России в основном как учебные.

Отличием данного двигателя является расположение поршней - угол, под которым они находятся, составляет 180 градусов. Результатом является более плавная работа мотора из-за того, что поршни движутся в противоположных направлениях и тем самым осуществляется взаимная нейтрализация вибрации, мощность на-



"Ньюпор - Даррак"

растает плавно, без рывков.

Немецкие авиационные двигатели в Музее ВВС представлены

изделиями фирмы "Аргус", основанной в 1902 году. **"Аргус" мощностью 50 л. с.** был передан в Монино из Центрального Дома авиации 22 августа 1961 года. Четыре цилиндра расположены в ряд, как на автомобильных двигателях. Этот мотор с системой водяного охлаждения был довольно тяжёлым, но отличался надёжностью и умеренным расходом топлива и масла.



Четырёхцилиндровый "Аргус" 50 л.с.

В России "Аргусы" использовались на самолётах Я.М. Гаккеля и И.И. Сикорского в начале 1910-х годов. 18 августа 1911 года на самолёте С-5 с мотором "Аргус" Игорь Сикорский сдал экзамен на звание пилота и установил четыре всероссийских рекорда: высота 500 м, дальность 85 км, продолжительность полёта 52 минут, максимальная скорость полёта 125 км/ч.

В музее в Монино хранится и ещё один "Аргус" - шестицилиндровый, трёхблочный, по два цилиндра в блоке, мощностью 140 л. с. Такие двигатели устанавливали на первых многомоторных самолётах "Илья Муромец". Сейчас этот "Аргус" находится на реставрации.

В 1903 году французский инженер Леон Левассёр получил патент на V-образный мотор оригинальной конструкции и в течение 1903-1905 годов построил несколько однотипных моторов для гоночных лодок различной мощности. Двигатель впоследствии получил название **"Антуанет"** в честь дочери промышленника Юлия Гастембиды, который спонсировал его разработку. Созданное в 1906 году общество Antoinette приступило к промышленному выпуску этих моторов, которые часто применяли на первых аэропланах.

Одной из особенностей конструкции мотора была система непосредственного впрыска горючего, устроенная следующим образом: в основании впускного патрубка каждого цилиндра размещалась форсунка конструкции Левассёра, похожая на T-образный тройник, в боковой канал которого подавалось топливо. В процессе тактов сжатия, расширения и выпуска топливо накапливалось в корпусе форсунки, а на такте всасывания - распылялось под воздействием разрежения в цилиндр. Состав смеси регулировался изменением производительности топливного насоса с помощью небольшого штурвального в кабине пилота. Ещё одной интересной особенностью мотора была испарительная система охлаждения, благодаря которой удалось обеспечить малый удельный вес силовой установки.

Двигатель "Антуанет" передали в музей ВВС из Центрального Дома авиации и космонавтики в 1969 году.

На заре авиации большой популярностью пользовались ротативные двигатели, у которых расположенные по кругу цилиндры вращались вокруг неподвижного картера. Этим достигалось хорошее охлаждение двигателя даже при работе его на земле.

Первый вполне надёжный и работоспособный **авиационный ротативный двигатель, названный "Гном"**, сконструировал в 1908 году французский инженер Лаурен Сегин. На ротативных двигателях фирмы "Societe des Moteurs Gnome" с воздушным охлаждением летало большинство французских, английских, итальянских и русских аэропланов. Моторы Сегина строились в пяти- и семицилиндровых вариантах. В первом случае их мощность составляла 50-60 л. с., вес - 76 кг, во втором - соответственно 70-80 л. с. и 94 кг.

Семицилиндровый ротативный двигатель **"Гном" (модель "Лямбда")** можно увидеть в музее ВВС. Туда он попал из Центрального Дома авиации и космонавтики в 1977 году в препарированном виде. В 2005 пострадал во время пожара, был отреставрирован.

"Гном" состоит из основного картера, на котором расположены звёздообразно семь цилиндров. Картер имеет две крышки: заднюю, в которой помещается механизм, распределяющий работу выпускных клапанов, и переднюю, служащую для крепления пропеллера и



"Антуанет"

подшипников мотора. Коленчатый вал закреплён неподвижно, а мотор вращается вокруг него на шариковых подшипниках; вращение



"Гном - Лямбда"

цилиндров происходит около оси вала, а вращение поршней, находящихся в цилиндрах, - около колен вала. Каждый поршень соединён шатуном с коленом вала, причём один шатун имеет большую головку, охватывающую колено, а остальные шесть шатунов присоединены к этой головке. В каждом поршне находится по автоматическому впускному клапану, прижимаемому к седлу при помощи пружины и противовесов, действующих своей инерцией во время вращения мотора. На крышках цилиндров установлены выпускные клапаны, приводимые в действие тягами из распределительной коробки в передней крышке картера мотора. Смесь воздуха и паров бензина подаётся карбюратором, находящимся на конце пустотелого вала и состоящим из простого распылителя струи бензина. Смесь проходит через вал, попадает в картер мотора, а оттуда через впускные клапаны засасывается в цилиндры. Воспламенение смеси происходит при помощи свеч и магнето высокого напряжения. Смазка двигателя осуществляется при помощи масляной помпы, подающей масло по двум трубкам внутри пустотелого вала в главный подшипник и колено вала, откуда оно центробежной силой разбрасывается в цилиндры и попадает в переднюю крышку.

Наряду с достоинствами роторный мотор "Гном" имел существенные недостатки. Вращающиеся цилиндры и картер создавали значительный гироскопический момент, который усложнял управление самолётом. К другим недостаткам относятся малый технический ресурс (30-40 часов), большой расход масла, которое выбрасывалось через клапан выпуска вместе с отработанными газами под влиянием центробежных сил. Кроме того, "Гном" не мог работать на малых оборотах, так как при уменьшении числа оборотов нарушалась пропорция всасываемого бензина и воздуха из-за применения простейшего карбюратора с одним жиклером.

Семицилиндровые моторы "Гном" устанавливались на многих летающих в России самолётах периода Первой мировой войны: "Фарман", "Депердюссен", "Моран-Солнье", Сикорский С-16.

Российским вариантом "Гнома" является двигатель **"Калеп-Гном" ("Калеп-80")**. Он также является экспонатом Музея ВВС.

Т.Г. Калеп в начале 1911 года решил приступить к производству на своём заводе в Риге двигателей "Гном", но попытка догово-

риться с этой фирмой окончилась неудачей, т. к. та поставила условие отдавать ей 2/3 чистого дохода. Тогда Калеп решил спроектировать новый двигатель. Проект разрабатывался совместно с инженером Шухгальтером. Конструкторам удалось значительно усовершенствовать конструкцию "Гнома". Первоначально мощность моторов "Калеп-

Гном" равнялась 60 л. с. В 1913 году завод начал производить более мощные моторы той же конструкции под названием "Калеп-80". В музей мотор поступил из Центрального Дома авиации и космонавтики 23 октября 1969 года.

В конструкцию мотора были внедрены алюминиевые поршни вместо чугунных, модернизирован карбюратор, что позволило эксплуатировать мотор в условиях русской зимы. Цилиндры теперь крепились к картеру на резьбе, а не при помощи разрезных колец и стержней, как у французов. Это упрощало монтаж и разборку цилиндров. Сильно изменилась конструкция картера. Калеп сделал его всего из двух частей, причём плоскость разъёма не совпадала с плоскостью, в которой лежали геометрические оси цилиндров, а была отнесена несколько в сторону, что упрощало сборку двигателя.

Двигатели "Калеп-Гном" устанавливались на самолёты "Ньюпор", "Хиони", "Стеглау" и др.

В московском Доме авиации и космонавтики есть два двигателя французских роторных двигателя "Рон", по конструкции близкие к "Гному". Один из них, **"Рон-80" ("Рон 9С")** мощностью 80 л.с., с 1927 года находится в экспозиции. Он не препарирован, имеет некоторые утраты (в частности, отсутствуют направляющие толкателей клапанов цилиндров).

Второй **"Рон" модели 9J ("Рон-110")** мощностью 110 л. с. поступил в фонды в 2003 году. Это дар Дому от племянницы одного из первых русских авиаторов Б.И. Россинского. Данный мотор в 2015-2016 годах демонстрировался на выставке "Юность авиации" на ВДНХ.

С началом Первой мировой войны фирмы "Гном" и "Рон" объединились, появилось "Акционерное общество моторов Гном и Рон". Находящийся в музее в Монино "Гном-Рон Д" 1916 года выпуска - девятицилиндровый, мощностью 110 л. с., воздушного охлаждения. По расходу бензина и масла является более совершенным роторным двигателем, чем его предшественники. В отличие от них каждый цилиндр был снабжён двумя клапанами - всасывающим и выпускным, управляемыми посредством механического привода. Мотор получал топливную смесь от карбюратора, присоединённого к концу вала. Смесь входила в картер и из него по патрубкам поступала к всасывающим клапанам двигателя. Цилиндры имели ту особенность, что в них вставлена тонкая чугунная втулка.

В России "Гном-Рон Д" выпускали



"Рон-80"



"Калеп - Гном"



"Гном-Рон"

серийно, он устанавливался на самолётах М-11, М-12, П-VI, "Ньюпор-XVI", "Ньюпор-XVII", "Ньюпор-X", "Моран-Парасоль", "Спад SA-4".

Французский авиационный мотор "Клерже 9В" можно увидеть в Музее ВВС, а прежде он находился в Центральном Доме авиации и космонавтики. Данный двигатель был изготовлен по лицензии в Англии в 1916 году. Это девятицилиндровый ротативный двигатель, однорядная звезда воздушного охлаждения с максимальной мощностью 130 л. с. при 1300 об/мин. По сравнению с другими ротативными двигателями "Клерже 9В" является наиболее совершенным в конструктивном отношении. Для уменьшения массы поршни выполнены не из чугуна, а из алюминиевого сплава, шатуны трубчатые. Газораспределительный механизм состоит из двух кулачковых шайб. Наличие упорного двухрядного подшипника позволяло использовать двигатель как с тянущим, так и с толкающим воздушным винтом. Надёжную работу обеспечивала дублированная система зажигания - в каждом цилиндре находится по две свечи.

В России этот мотор применялся на самолётах "Сопвич-разведчик" во времена Гражданской войны.



"Клерже 9В"

В заключение - о двух авиадвигателях из фондов Политехнического музея.

В конце Первой мировой войны в России было освоено производство немецких авиадвигателей автомобильного типа - тяжёлых, но надёжных. Двигатель "Мерседес" - рядный, три блока по два цилиндра. Картер литой, из двух частей, соединённых болтами. Блоки цилиндров литые, крепление к верхней части картера болтовое. Распредвал закреплён сверху на блоках цилиндров и имеет привод через промежуточный вертикальный вал с двумя парами конических зубчатых колёс от коленчатого вала.

Изготовлен в 1916 году на заводе "Мотор", о чём имеется надпись на медной пластинке, закреплённой на картере. Документация разработана конструкторским подразделением завода ДЕКА, г. Александровск (позднее г. Запорожье) под руководством инженера Воробьёва.



"Мерседес"

Двигатель не подвергался реставрации, утрачены устройство крепления воздушного винта, оба магнето, система выпуска, трубопроводы водяного охлаждения, маслосистемы, топливной системы, четыре свечи зажигания, электропроводка.

Двигатель "Санбим" - V-образный, восьмичилиндровый, водяного охлаждения. Цилиндры в виде четырёх блоков по

два цилиндра в каждом присоединены болтами к литому чугунному картеру. Распределительное устройство управления клапанами впрыска и выхлопа - пружинного типа. В передней части двигателя установлен редуктор.

В 1899 году владелец английской фирмы "Санбим" Элдерман Джон Марстон, занимавшийся ранее производством велосипедов, начал производить автомобили и двигатели к ним. В 1916 году были построены восьмичилиндровый, а затем двенадцатичилиндровый авиационные двигатели. Россия, не дожидаясь доводки образцов до надёжной работы и подтверждения заявленных разработчиками характеристик, закупила восьмичилиндровые двигатели и лицензию на их производство.

Выпуск авиационных двигателей "Санбим" в 1916 году освоило "Московское акционерное общество экипажно-автомобильной фабрики П. Ильина". Часть узлов изготавливалась по кооперации или закупалась в Англии. В 1916-1917 годах было выпущено 20-25 русских двигателей. Один из них и находится в фондах Политехнического музея.

Литература:

1. РГВА. Ф. 29. Оп. 35. Д. 59. Л. 64-65.
2. Меркулов И.А. Первые экспериментальные исследования прямоточных воздушно-реактивных двигателей ГИРДа // Из истории авиации и космонавтики. Вып. 3. М., 1965. С. 26-27.
3. АРАН. Р-4. Оп. 14. Д. 2376. Л. 5.
4. Щербаков А.Я. Лётные испытания ПВРД на самолётах конструкции Н.Н. Поликарпова в 1939-1940 гг. // Из истории авиации и космонавтики. Вып. 3. М., 1965. С. 40-41.
5. Маслов М.А. Истребитель И-15 бис. М., 2003. С. 23.
6. АРАН. Р-4. Оп. 14. Д. 2376. Л. 45.
7. Щербаков. С. 47.
8. Путилов К.А. Научно-экспериментальная подготовка лётных испытаний ПВРД на самолёте конструкции А.С. Яковлева в 1942-1944 гг. // Из истории авиации и космонавтики. Вып. 3. М., 1965. С. 56.
9. ЦГАМО. Ф. 4419. Оп. 1. Д. 96. Л. 210.
10. АРАН. Р-4. Оп. 14. Д. 2376. Л. 181-182.
11. ГАРФ. Ф. 8007. Оп. 1. Д. 21. Л. 86 // Сайт Ivan Rodionov's Chronology of Soviet Aviation.

Связь с автором: daso1152@mail.ru



"Санбим"



"ОЛДТАЙМЕР-ГАЛЕРЕЯ" 2017 ГОД

Александр Иванович Бажанов, академик Международной инженерной академии

(Продолжение. Начало в № 2 - 2017)

Le Zebre Type A (Франция, 1910 год)

Le Zebre - марка французских малолитражных автомобилей, существовавшая с 1909 по 1931 год. Основали марку Жюль Соломон и Жорж Ришар благодаря финансовой помощи Жака Бизе - сына известного композитора Жоржа Бизе. Заводские цеха Societe anonyme des automobiles Le Zebre располагались в парижском пригороде Пюто.

Автором первой модели Type A был Жюль Соломон. Машина получилась компактных размеров - её колесная база равнялась 1800 мм, одноцилиндровый мотор объемом 600 см³ развивал 5 л.с., а цена составляла всего 3000 франков. Оба компаньона - Соломон и Ришар решили не давать автомобилю свои имена, тем более, что марка Georges Richard уже существовала, и назвали марку Le Zebre.



За свою историю фирма представила шесть моделей. Следом за Type A в 1912 году последовал Type B, и так до литеры E, после которой в 1924 году появился сразу Type Z, ставший последней моделью "Зебры". Производство не прекращалось даже во время Первой мировой войны, так как французское военное министерство заказывало для армии и малолитражные автомобили.

В дореволюционной России у марки Le Zebre не было своего торгового представителя, но один такой автомобиль числился в списках автовладельцев с 1911 по 1913 год. Обладателем "Зебры" являлся некий Арман Францевич Азибер, проживавший на Старо-Петергофском проспекте, 44, но и он в 1913 году продал машину своему соседу Эрнесту Генриховичу Унгебауну. Возможно, Азибер привез "Зебру" из Франции или приобрёл при посредничестве какой-либо технической конторы по продаже подержанных машин. Дальнейшая судьба автомобиля неизвестна.



Phanomobil 4/9PS (Германия, 1911 год)

Необычная трехколесная конструкция автомобиля с мотором на переднем управляемом колесе - одна из попыток создать простое и доступное транспортное средство. Название Phanomobil произошло от предприятия Phänomen Werke Gustav Hiller AG, основанного Густавом Хиллером в 1888 году и существовавшего первые годы под различными вывесками. Первой продукцией под маркой Phänomen стали велосипеды, за ними последовали мотоциклы, а потом и автомобили, продававшиеся под маркой Phanomobil.



Первые "Феномобили" появились в 1907 году и были двухцилиндровыми. Мощность мотора первоначально составляла всего 6 л.с., но затем увеличилась до девяти. В 1912 году начала выпускаться и модель с четырехцилиндровым мотором мощностью 12 л.с., которую с различными изменениями выпускали до 1927 г. Несмотря на нелепый вид, "Феномобили" могли развивать скорость до 50..60 км/ч, что по тем временам считалось хорошим показателем.

В России "Феномобили" торговала техническая контора Л.Я. Выгодского, расположенная в Санкт-Петербурге на Александринской площади, дом 9. "Самые экономные, как по цене, так и по содержанию автомобили. Последняя новинка автомобильной техники" - так утверждала реклама Выгодского. На складе конторы всегда находились в наличии несколько "Феномобилей", которые, впрочем, не получили в нашей стране широкого распространения - в 1913 году из 2036 частных автомобилей в Санкт-Петербурге насчитывалось только пять марки Phanomobil. Самым известным в городе стал развозной фургончик газеты "Речь", часто мелькавший на улицах столицы и в журнальной рекламе.



"Русско-Балтийский" тип К 12/20 (Россия, 1911 год)

Русско-Балтийский вагонный завод (РБВЗ) в Риге являлся крупнейшим производителем автомобилей в дореволюционной России. Кроме автомобилей завод также выпускал железнодорожные вагоны, стационарные двигатели внутреннего сгорания, обозный транспорт, сельскохозяйственную технику и аэропланы. РБВЗ был основан в 1869 году как сборочный филиал немецко-бельгийского завода Van der Zypen und Charlier и поначалу занимался сборкой вагонов, получая детали и части из-за границы. В 1875 году РБВЗ начал самостоятельный выпуск вагонов, качество которых оказалось настолько высоким, что завод дважды, в 1882 и 1896 годах, удостоился права изображать на своей продукции государственный герб России.



Автомобильный отдел РБВЗ начал свою деятельность в 1909 году, когда был собран первый "Русско-Балтийский", разработанный швейцарским инженером Жюльеном Поттера, специально приглашенным в Ригу для организации производства автомобилей. Жюльен Поттера создал две модели - тип С и тип К.

Первый - тип С - станет самым массовым и "долгоиграющим", его будут собирать и при советской власти. "Русско-Балтийский" тип К представлял собой компактный автомобиль с двигателем небольшой мощности - за все время производства модели она составляла от 16 до 24 л.с., а также невысокой налоговой ставкой. Сумма ежегодного транспортного налога для типа К составляла 27 рублей, а для типа С - 54 рубля, исходя из "налоговых сил", рассчитываемых по специальной таблице, по соотношению диаметра цилиндра и хода поршня. В 1913 году тип К с кузовом дубль-фаэтон типа "торпедо" стоил 5500 рублей.

Большинство "Руссо-Балтов" отправлялись на службу в армию, в том числе и небольшие тип К. Отечественные автомобили пользовались популярностью в Санкт-Петербурге и провинциальных городах, а вот в Москве не было ни одного "Русско-Балтийского" в частном пользовании. Два "Руссо-Балта" находились в Собственном Его Величества гараже, но числились по разряду свитских, а не императорских автомобилей.

Единственный сохранившийся легковой "Русско-Балтийский" является экземпляром тип К 12/20, выпущенным в 1911 году. Автомобиль приобрела Офицерская воздухоплавательная школа в Гатчине, сформированная в 1910 году для обучения офицеров летному делу.



Baby (Франция, 1912 год)

Братья Анри и Акилле Фурнье начали заниматься производством автомобилей в 1909 году, представив небольшую двухместную модель легкого типа. Журнал "Автомобиль" в 1911 г. писал о модели Baby, что это "нечто среднее между мотоциклеткой и автомобилем". Такие машины, массой не более 750 английских фунтов (337 кг) и с мотором объемом не более 70 кубическим дюймам (1147 см³), в те времена назывались термином cyclecar. В России их называли словами "циклекар" или "сайкль-кар".

Модель "Бэйби" представляла из себя типичный "сайкль-кар" - комплектовалась одноцилиндровым мотором мощностью 8 л.с., а её трансмиссия была фрикционного типа: передаточное отношение менялось путем перемещения одного из двух перпендикулярных дисков.

Водитель и пассажир сидели рядом, но с небольшим смещением пассажира назад. Легкий кузов открытого типа обходился без дверей: чтобы сесть в "Бэйби" достаточно было перешагнуть через борт.

В дореволюционной России у фирмы Fournier не было собственного представителя, но в журналах печаталась реклама модели Baby с указанием адреса французского агента. Рекламный слоган гласил, что автомобиль "вне конкуренции в отношении цены, конструкции, легкости, экономности, силы". Также в рекламе указывалось, что "требуется агенты-концессионеры для всей России", но торговать "сайкль-карами" так никто и не решился.

Экземпляр "Бэйби", представленный на выставке, попал в Россию еще до революции. К сожалению, от автомобиля сохранилось только шасси без мотора, а его история неизвестна, поэтому приводим фотографии внешнего вида автомобиля "Бэйби" того времени и размещение водителя и пассажира в "салоне".



Benz 18/24PS (Германия, 1912 год)

До появления объединенной марки Mercedes-Benz в 1926 году, Mercedes и Benz существовали отдельно и конкурировали друг с другом. Первый автомобиль Benz появился в 1886 году и являлся одновременно еще и первым в мире автомобилем с двигателем внутреннего сгорания, появление которого официально закреплено патентом на имя Карла Бенца. В 1894 году "Бенц" стал первым автомобилем, появившимся в России, а всего в 1894-1897 годах фирма поставила в нашу страну 19 машин, отправленных в Москву, Петербург, Одессу, Николаев и Варшаву.

В дореволюционной России марка Benz быстро стала одной из самых распространенных. В 1913 году в Санкт-Петербурге из 2036 частных автомобилей 201 были марки Benz. Россия в те годы занимала второе место в экспортной строке фирмы после Южной Америки: в 1912-1913 годах в нашу страну отправили 304 автомобиля Benz.

Фирма была одной из немногих, кто предпочитал работать в России без посредников в виде технических контор и торговых домов, а напрямую через собственные отделения. "Бенц и К, акционерное общество газомоторных двигателей Мангейм - Гатгенау для устранения посредников между фабрикой и покупателями открыло Санкт-Петербургское отделение" - сообщала реклама из журнала "Автомобиль" №6 за 1911 год. Вслед за Петербургом собственное

отделение Benz & Cie в 1912 году появляется и в Одессе на Ришельевской улице, дом 11. И только в Москве марку представлял Густав Лист - известнейший и уважаемый промышленник.

С началом войны все отделения закрыли, а находящиеся в них "Бенцы" реквизируют, передав в собственность казны. Попавшие в автомобильные войска Русской Императорской армии "Бенцы" служили долго и исправно - настолько высоким оказалось их качество. Некоторые экземпляры пережили не только Первую мировую, но ещё и революцию, и Гражданскую войну.

На выставке представлены фрагменты автомобиля "Бенц", найденные в Псковской области в районе города Великие Луки, причём, в двух разных деревнях: останки кузова в одной, а рама - в соседней.



Ford Model T Delivery (САСШ, 1912 год)

Такие фургоны начали рекламироваться в России в 1912 году. "Расход бензина 35 фунтов на 100 верст. Шины годны больше чем на 12000 верст. Цена 2800 рублей со всеми принадлежностями" - гласила реклама торгового представителя марки "Форд" Маркуса Фриде в журнале "Автомобиль".

В том же году один фордовский фургон принимал участие в пробеге легковых автомобилей Военного ведомства и, несмотря на поломки, добрался до финиша. В отчете о пробеге указывался весь перечень неисправностей: "Неоднократная замена свечей. Несколько раз кипела вода в радиаторе. При падении автомобиля в канаву была погнута рулевая тяга, заводная ручка и упорный треугольник передней оси. По исправлении вышеуказанных частей в поле, без посторонней помощи, и замены их новыми частями автомобиль продолжал участвовать в состязании. За д. Соловьевкой у переправы лопнула ведущая зубчатка кардана вследствие развинтившейся закрепительной гайки. После замены сломавшейся зубчатки автомобиль продолжал участвовать в пробеге. При осмотре автомобиля в Петербурге все оказалось в порядке".



По результатам пробега комиссия составила следующее заключение: "Автомобили "Форд" просты по устройству, компактны, испортившиеся части шасси заменяются без затруднения, сделаны из хорошего материала; легко берут подъемы, проходят по всяким дорогам и экономичны в расходе бензина и шин, благодаря своей легкости". Несмотря на такой положительный отзыв, автомобили "Форд" не закупались для Русской Императорской армии. Не получили широкого распространения и легкие коммерческие фургоны на базе Ford Model T - в Санкт-Петербурге в 1913 году был известен только один такой фургон, принадлежавший газете "Новое время".

Lorraine-Dietrich (Франция, 1912 год)

Двойное название марки появилось в 1907 году, а до этого автомобили выпускались под названием De Dietrich, доставшимся в наследство от завода по производству вагонов Эжена де Дитриха. "Лорен" на французском языке - Лотарингия, регион на северо-востоке Франции. Автомобили "Лорен-Дитрих" создавали самые выдающиеся конструкторы своего времени: Этторе Бугатти, Леон Тюрка и Симон Мери. Все трое впоследствии основали собственные автомобильные марки: Bugatti и Turcat-Mery.

Автомобили "Де Дитрих" начали рекламироваться в России еще в 1902 году. Потом возникла некоторая пауза, и вновь реклама появилась в 1907 году, уже марки "Лорен-Дитрих". На следующий год в Москве открылось собственное отделение фирмы на Большой Дмитровке, 30. "Этот магазин вполне соответствует значению известной фирмы "Лорен-Дитрих" и напоминает своей роскошью парижские магазины этого завода. В магазине выставлено много различных моделей лимузин- ландолэ и дубль-фаэтонов, и выбор их настолько значителен, что покупатели могут считать себя как бы в центре самого производства в Париже" - так писал о московском отделении фирмы журнал "Автомобиль".

В 1910 году фирма закрыла свое отделение на Дмитровке и передала свое представительство в Москве Адриану Люциановичу Нотомбу, магазин которого находился в Каретном ряду, дом 14. В Одессе торговым представителем Lorraine-Dietrich был гараж "Эмпеде", названный так по инициалам своего владельца Михаила Петровича Дмитриева. Располагался гараж "Эмпеде" на улице Белинского, дом 17.



Уже после революции марка Lorraine-Dietrich оказалась увековеченной в русской литературе. Именно "Лорен-Дитрихом" считал свою безродную машину самый известный шофер русской литературы Адам Козлевич: "В виде доказательства он приколол к радиатору автомобиля медную бляшку с лорендитрихской фабричной маркой". Может быть эмблема попала ему случайно, а может он сделал это специально в память о старых временах, когда автомобили "Лорен-Дитрих" были известны и почитаемы в России.



Lozier Type 77 (САСШ, 1912 год)

В начале XX века в Америке производством автомобилей занимались сотни фабрик и заводов, но лишь единицы из них были представлены на российском рынке. Марка Lozier была в числе немногих, засветившихся в России еще до начала Первой мировой войны, её название произносили у нас как "Лозиэр".

Генри Лозьер начинал со швейных машинок и велосипедов, потом выпускал стационарные двигатели внутреннего сгорания, а в 1900 году занялся производством автомобилей. Ставка была сделана на представительский класс, поэтому "Лозьеры" стоили очень дорого, а выпускались небольшими партиями, примерно по 500 машин в год. Возможно по этой причине, уже в 1915 году Lozier Motor Company прекратила свое существование.



Самая ранняя известная реклама Lozier Motor Company на русском языке датируется 1911 годом - она публиковалась сразу в двух главных журналах - петербургском "Автомобиле" и московском "Автомобилисте". В рекламе автомобиля Lozier позиционировались следующим образом: *"Хотя "Лозиэр" не конструируется для гонки, однако, этот чудный автомобиль, благодаря представляемому им комфорту и роскоши, равно и приспособленности, в смысле мощности машины, к совершению поездок на значительные расстояния, остался в прошлом сезоне победителем самых больших гоночных автомобилей в Америке"*. Торгового представителя в России для Lozier Motor Company так и не нашлось, поэтому заказывать автомобиль надо было в Нью-Йорке.

Mercedes 22/50PS (Германия, 1912 год)

Автомобили "Мерседес" в дореволюционной России были одними из самых распространенных. В 1913 году в Санкт-Петербурге из 2036 частных автомобилей насчитывалось 95 "Мерседесов" - по популярности марка уступала только "Бенцу", "Опелю" и "Делоне-Бельвиллю". В Москве в 1913 году зарегистрировали 112 "Мерседесов", марка по популярности оказалась на третьем месте, уступив только "Берлие" и "Бенцу", а всего частных автомобилей было 1283.



"Мерседесы" находились в Собственном Его Величества гараже, а также в гараже великого князя Николая Николаевича - дяди Николая II. Более десятка "Мерседесов" держал в своем гараже "железнодорожный король" Николай Карлович фон Мекк. Владельцами автомобиля Mercedes до революции были композитор и пианист Сергей Рахманинов, вице-президент Императорского русского автомобильного общества Свечин и другие.

На выставке представлен экземпляр модели 22/50PS с кузовом дубль-фаэтон типа "торпедо". Модель 22/50PS выпускалась с 1912 по 1920 год, мощность 4-цилиндрового двигателя составляла 50 л.с. при 1300 об/мин, рабочий объём равнялся 5699 см³, в коробке скоростей было четыре передачи, автомобиль весил около двух тонн и разгонялся до скорости 70...75 км/ч.

Studebaker Model 25 (САСШ, 1912 год)

"Общество "Студебакер" в Америке имеет 12 фабрик и годовое производство в 50000 автомобилей. Такие цифры свидетельствуют о том, что производимые фабриками Общества автомобили имеют спрос и спрос большой, что, несомненно, вызвано хорошими качествами и прочностью их. Автомобили "Студебакер" по постройке схожи с машинами европейского производства, но прочнее их, так как рассчитаны для американских дорог, ничем не отличающихся от наших". Так писал о "Студебекерах" московский журнал "Автомобилист" в 1913 г.

Истоки будущей автомобильной марки Studebaker берут свое начало еще в XVIII веке. Семейство Студебекеров прибыло в Америку в 1736 году из немецкого города Золинген. В Германии многие поколения этой семьи занимались кузнечным и оружейным делом. В 1750 году Клемент Студебекер построил свой первый "фирменный" американский фургон с полукруглым тентом и большими колесами, а к концу XIX века Studebaker Brothers Manufacturing Company стала крупнейшим в Америке производителем транспортных средств на конной тяге, а с появлением моторных экипажей предприятие занялось и ими. В 1903 году появился Studebaker-Garford Model A, ставший результатом совместных усилий фирм Studebaker и Garford. Самостоятельной марка стала только в 1911 году, сменив вывеску на Studebaker Corporation. В России как только не писали и не произносили её название: "Студебакер", "Студебэккер", "Студебеккер".

В Санкт-Петербурге "Студебекерами" торговало товарищество инженеров "Покровский и Фейерабенд", расположенное во дворе дома на углу Невского проспекта и Надеждинской улицы - ныне улицы Маяковского. Модель с двигателем мощностью 25 л.с. стоила 2800 рублей, а 35-сильная - 3800 рублей. На автомобили давалась гарантия сроком на 12 месяцев. Число "Студебекеров" в столице постоянно увеличивалось - если в 1912 г. в городе был только один автомобиль этой марки, то в 1913 году - уже семь.

К 1914 году торговые представители марки "Студебекер" работали не только в Москве и Петербурге, но и в Гельсингфорсе, Ревеле, Варшаве, Воронеже, Армавире, Одессе, Тифлисе и даже в Ташкенте.

(Продолжение следует.)



ТРАНСПОРТНО-ЛЕДОКОЛЬНОЕ СУДНО И ЛЕДОКОЛ НОВОГО ТИПА

Щербаков Владимир Николаевич, к.т.н., доцент МФТИ

В работе дается краткое описание нового способа разрушения ледяного покрова и на его основе разработанных проектов полупогружного ледокольного, транспортного судна и ледокола, способных преодолевать самые тяжелые Арктические льды и обеспечить круглогодичную навигацию в Арктике.

The paper gives a brief description of a new method of ice cover destruction and on its basis developed projects semi-submersible icebreaking transport vessel and ice breaker, capable to overcome the most difficult Arctic ice and provide year-round navigation in the Arctic

Ключевые слова: лед, разрушение, полупогружной, таран, ледокольное судно, ледокол.

Keywords: ice, breaking, semi-submersible, icebreaker ship, ice breaker.

В патенте на изобретение [1] предложен новый способ разрушения ледяного покрова и на его основе проект полупогружного транспортного ледокольного судна для перевозки жидких (нефтепродукты, сжиженный газ), сыпучих грузов и контейнеров, способное разрушать самые мощные торосистые Арктические льды. Разрушение ледяного покрова производится снизу вверх узким, прочным тараном, расположенным сверху вдоль всего корпуса. Разрушающее ребро тарана представляет собой полосу из полированной нержавеющей стали шириной порядка одного метра. Угол между плоскостью ребра и ледовым полем составляет величину 2 - 50°, что дает возможность при коэффициенте трения 0,03-0,04 для пары полированная сталь, смоченная водой [2], получать вертикальное разрушающее усилие, на порядок и более превосходящее величину горизонтального (тяги винтов). Угол может изменяться дифферентом судна. Ходовая рубка находится высоко над поверхностью льда (воды) на прочном, узком плавнике. Вертикальная разрушающая нагрузка создается всей положительной плавучестью судна с помощью специальных балластных цистерн и гидродинамической подъемной силой подводных крыльев. Для крупных транспортных судов водоизмещением 150 - 300 тыс. тонн это усилие может составлять 20 - 30 тыс. тонн и более (10-15% водоизмещения), что превышает полное водоизмещение современных ледоколов и равно водоизмещению строящихся. Для стабилизации и управления по крену и дифференту ледокол снабжен четырьмя балластными цистернами, две в носовой части и две в кормовой, разнесенными по бортам. Дви-



жение ледокола в особо мощных льдах носит волнообразный характер: ледокол погружает корпус и заводит его под лед до плавника ходовой рубки, всплывая, разрушает лед, затем все повторяется. Вертикальному усилию 20 - 30 тыс. тонн не смогут противостоять самые мощные Арктические льды. Проведенные расчеты показали, что необходимое усилие для осуществления полного одновременного пролома шестиметрового льда тараном длиной 150 м. составляет величину, равную 9000 т., семиметрового около 11000 т. Такое усилие при мощности силовой установки 18 тыс. л.с. и более может быть создано за 36 сек., что позволит ледокольному судну двигаться в таких льдах со скоростью 9 км/час.

Сравнительные экспериментальные исследования на моделях, выполненных в масштабе 1:100, показали шести - семи кратное снижение тягового усилия необходимого для разрушения льда, по сравнению с ледоколами классического типа. Процесс разрушения льда имеет плавный характер, колебание продольного усилия не превышало 10%. Ширина пролома, в зависимости от толщины льда, может достигать десятков метров, что позволяет проводить за собой другие суда. Так как над поверхностью воды в полынье находится только узкий плавник, судно обладает высокой маневренностью, оно может разворачиваться на 180°, практически, на месте. Такой полупогруженный режим движения дает заметное преимущество и на чистой ото льда воде за счет снижения волнового сопротивления, особенно в шторм, т. к. ударам волн подвергается только прочный плавник, а не весь корпус. Силовая установка имеет связь с ат-



мосферой, что позволяет использовать обычную, а не дорогостоящую атомную силовую установку. С увеличением тоннажа эффективность таких судов только возрастает.

На основе предложенного способа разрушения ледяного покрова разработан проект ледокола [3] с малой осадкой и возможностью работы на глубинах до 6 м, с образованием прохода во льдах шириной 120 м и более, что обеспечивает двухстороннее движение судов. Разрушение ледяного покрова производится тремя узкими, прочными таранами, расположенными вдоль всего корпуса сверху. Один таран находится в диаметральной плоскости судна и снабжен надводной частью, состоящей из надстройки, закрепленной на прочном узком плавнике. Остальные два тарана расположены вдоль бортов. Разрушение льда начинается средним тараном, бортовые тараны расширяют проход. Широкий, отношение ширины к длине 0,6 - 1, плоский, тонкий корпус ледокола представляет собой крыло малого удлинения, с гидродинамическим профилем. Вертикальное разрушающее усилие создается положительной плавучестью судна и гидродинамической подъемной силой всего корпуса. Балластные цистерны занимают большую часть объема подводного корпуса. Площадь герметичной обшивки днища ледокола не превышает 25 - 30 % от общей площади днища, т. к. балластные цистерны для более быстрого заполнения водой и ее вытеснения могут вообще не иметь дна. У них должны быть герметичными только верх и боковые стенки (эффект водолазного колокола). Герметичная обшивка днища располагается только в районе машинного отделения, топливных цистерн и других объемов, требующих герметизации снизу. Отсутствие герметичного днища на большей части его площади повышает живучесть ледокола и безопасность его работы на мелководном шельфе. Маршевые движители максимально разнесены к бортам широкого корпуса, что позволяет эффективно управлять ледоколом, отказавшись от рулей, как легко повреждаемых элементов. При реверсе одного из движителей ледокол может развернуться на 180° на месте. При длине корпуса 150 м., ширине 90 м. и высоте корпуса 5 м., объем подводного корпуса составит 50 тыс. м³. При весе снаряженного ледокола в 20 тыс. тонн разрушающая сила (положительная плавучесть) равна 30 тыс. тонн, что превышает полное водоизмещение современных ледоколов и в 1,5 раза больше собственного

Характеристики	Арктика	полупогружной танкер	полупогружной ледокол
Водоизмещение, т	33540	150000	20000
Длина, м	173,3	350	150
Ширина, м	34	50	90
Минимальная осадка, м	8,55	12	2,5
Разрушающее усилие, т	вес носовой части	24000	30000
Предельная ледопроечность, м	2,9	любые арктические льды, кроме айсбергов	26
Ширина полыньи, м	не более 40	50 и более	120 и более
Экипаж, чел.	74	26	26
Мощность установки, л.с.	81500	55000	72000
Силовая установка	атомная	любая судовая	газотурбинная

веса. Гидродинамическая подъемная сила корпуса, как показывают расчеты, при скорости 3 м/с (10,8 км/ч) может достигать величины в несколько тысяч тонн за счет гидродинамической подъемной силы и эффекта присасывания корпуса ледокола к ледяному полю при движении. Рабочие глубины до 6...7 м. Ширина образующейся области разрушения, в зависимости от толщины льда, 120 м. и более. В таблице приводятся характеристики ледокола "Арктика" (по проекту).

Из представленных материалов можно сделать вывод, что предлагаемые проекты обладают уникальными характеристиками и параметрами, не доступными для ледоколов классической схемы.

Необходимо отметить, что идея погружения корпуса ледокольного судна не нова и предлагалась еще в 1941 году [4]. Проблема состоит в том, как разрушать лед. Предлагались различные способы. Разрушать лед продольно-поперечным ударом [4], фрезеровать лед на всю толщину специальной фрезой [5], строгать и разрушать ледяную плиту поперечным ударом [6], [7], пилить специальными пилами и т.д. Все эти способы, при их анализе, не дают преимущества перед ледоколами классической схемы, а некоторые просто не работоспособны. Так например, используемый многими авторами способ прорезывания льда острым, тонким плавником, режущая кромка которого составляет приблизительно угол 20...45° с ледяной плитой, как показали эксперименты, приводит просто к заклиниванию.

Литература

1. В.Н. Щербаков. Патент на изобретение №2535346
2. Б.П. Ионов, Е.М. Грамузов. Ледовая ходкость судов. Санкт-Петербург, "Судостроение", 2013, 502с.
3. В.Н. Щербаков. Патент на изобретение №2612343.
4. П. Гроховский. "Окно в будущее. Корабль Севера". Журнал "Техника молодежи", 03-1941г., с.45.
6. В.Н. Пикуль. Сб. "Человек, море, техника". Л., "Судостроение", 1980, с. 163-164.
7. В.Н. Пикуль. Патент на изобретение SU 1031844 А.

Связь с автором: vsc55@yandex.ru

ИНФОРМАЦИЯ

Как сообщает архангельская газета «У Белого моря», в Архангельской области пройдут морские испытания экспериментальной лазерной установки для разрушения льда. Их проведение планируется на ледоколе «Диксон» в предстоящую зимнюю навигацию в Белом море и в устье Северной Двины.

Ранее все исследования проводились в лабораторных условиях. К настоящему моменту смоделировано оборудование мощностью 30 кВт, эффективность действия которого пока подтверждена лабораторно, где установка быстро разрезает метровую толщину льда с расстояния 6 м.

Конечной задачей проекта является создание судового лазера мощностью 200 кВт, который предполагается использовать для проводок ледовых караванов по трассе Северного морского пути. По словам разработчиков, такая установка позволит открыть круглогодичную навигацию в высоких широтах для ледоколов среднего уровня, которые в обычном режиме работают только три месяца в году. С применением мощного лазера 4-метровые льды перестанут быть помехой при морской транспортировке грузов в Заполярье. Арктические проводники смогут обеспечить движение караванов судов в ледовых полях со скоростью 2...3 узла в час.



Морской НК-12 для амфибий: ...До востребования

Из записок корабельного механика Семёнова

Владимир Александрович Тerasимов, СГАУ

Штрихи истории и состояние современности

Концепция высадки морского десанта подразумевает использование амфибных кораблей на воздушной подушке (АКВП), способных осуществить десантирование на 70% побережья Мирового Океана. За прошедшее с 60-х годов время в производстве танкодесантных АКВП определились две страны - лидера: США и СССР. США построили серию АКВП типа LCAC в количестве 90 единиц с грузоподъемностью 60 тонн под основной танк "Абрамс". В СССР, под основной танк "Т-72" массой около 40 тонн, были построены три серии АКВП под перевоз 1-го, 2-х и 3-х танков в количестве около 55 единиц в классе грузоподъемности 40-80 тонн и около 15 единиц в классе 150 тонн соответственно с тремя различными типами энергоустановок (ЭУ). Энергоустановки получили маркировки ДТ4, МТ70, М35 и включали приводные газотурбинные двигатели (ГТД) мощностью от 10 до 20 тыс. л.с., 3 типа редукторов воздушного винта (ВВ), 3 типа редукторов осевых вентиляторов (ОВ), 2 типа раздаточных редукторов и один промежуточный с массами редукторов от 450 кг до 2100 кг.

Все ЭУ указанных проектов АКВП и США, и СССР объединяет наличие угловой передачи с коническими шестернями для передачи мощности либо на ВВ либо на ОВ, либо на центробежный нагнетатель в американском варианте.

В США, в отличие от СССР, порядка 10 единиц LCAC были выделены как для выполнения транспортно-логистических задач, так и для экспериментов по совершенствованию тактико-технических характеристик (ТТХ) АКВП на перспективу. Непрерывное совершенствование бронетехники и увеличение массы основного танка "Абрамс" сформировали основные требования к перспективному АКВП, которые условно сводятся к повышению грузоподъемности до 75 тонн при волнении моря до 3-х баллов и размещению 3 - 4 единиц АКВП в доковой камере корабля-носителя. Эти требования привели к исключению угловой передачи с малонадежными коническими шестернями из перспективной ЭУ (см. схему компоновки ЭУ).

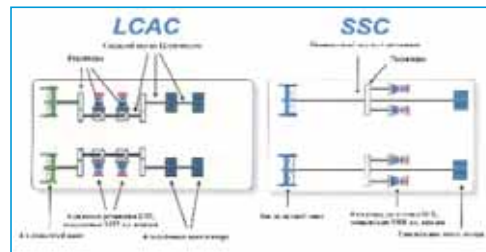


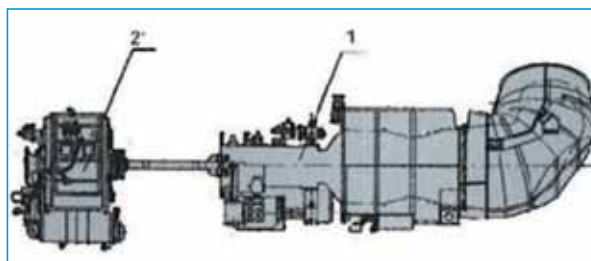
Схема компоновки энергоустановки

При этом сохранены все габариты LCAC и возможность модернизации действующих до уровня SSC.

Китайские кораблестроители подхватили идею отказа от угловой передачи и скопировали вариант LCAC/SSC без угловой передачи с коническими шестернями для своего АКВП, но с украинскими двигателями и редукторами в составе ЭУ маркированной как М79 (см. фото таблицы). Причем, установка М79 имеет правое и левое исполнения.



Китайский АКВП



Двигательная установка китайского АКВП



Действующий АКВП

Проект американского АКВП SSC

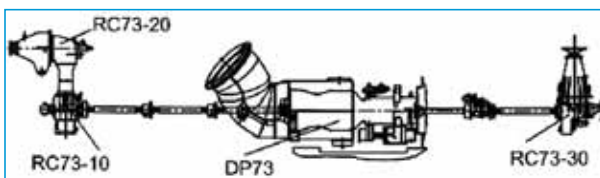


Тип редуктора	R079L	R079R
Мощность, л.с.	10000	10000
Передаточное отношение	4,57	4,57
Обороты выходного вала, об/мин	1530	1530
Вес, кг	1100	970
Габаритные размеры, мм	1260x	1200x
	1200x	1200x
	1570	1580

Сингапурские корабли отдали предпочтение советскому варианту, с осевым нагнетателем и угловой передачей, но потребовали унификации редукторов ВВ и ОВ для установки М73, также украинских разработчиков. Внешний вид головного АКВП, его ЭУ и характеристики редукторов представлены ниже.



АКВП "ACV-1" (Сингапур)



Силовая энергетическая установка М73 производства "Зоря-Машпроект" для АКВП

Тип редуктора	RC73-10	RC73-20	RC73-30
Мощность, л.с.	6500	6500	3500
Передаточное отношение	1.048	4,23	4,18
Обороты выходного вала, об/мин	6680	1580	1675
Вес, кг	335	850	670
Габаритные размеры, мм	1140	2015	1100
длина, ширина, высота	730	101	1950

Как видим, в отношении ЭУ для АКВП утверждают следующие принципы:

- размещение приводных ГТД в миделевой (срединной) или в носовой частях корабля вместо кормового размещения;
- побортная мощность двигателя/двигателей выходит на уровень 10-11 тыс л.с.;
- унификация приводных редукторов;
- противовращение винтов и вентиляторов.

Отрадно, что из 3-х проектов по созданию перспективных АКВП, в 2-х применяются экспериментальные ЭУ предприятия "Зоря-Машпроект" как аккумуляция опыта создания 3-х типов серийных ЭУ советского периода и при нормализации отношений опыт будет востребован в общих интересах.

Россия, учитывая мировые тенденции в развитии АКВП, имеет все возможности создать свой вариант АКВП с водоизмещением 150-200 тонн и грузоподъемностью до 75 тонн с начальной отработкой ЭУ на понтоне корпуса одного из базовых проектов АКВП "Мурена" или "Джейран" с морским вариантом двигателя и редуктора НК-12.

Эксперименты, проверенные практикой

Начнем с двигателя и его возможностей. Малоизвестно, что кроме морской версии НК-12МК мощностью 15,0 тыс. л.с., установленного в качестве маршевого на экраноплане "Орлёнок" с тягой 16,5 тонн на воздушных винтах, существует украинский клон НК-12 специально для АКВП. Двигатель в составе ЭУ ДТ4 (проект "Джейран") на 20 тыс. л.с. по конструктиву один в один НК-12, производился в 70-80-х гг в количестве более 50 единиц. При вероятной средней наработке на двигатель более

1000 часов за весь период эксплуатации получаем более 50 000 часов суммарной наработки. Это весьма значимая статистика, по сравнению с наработкой всех НК-12МК около 1000 часов на всех трёх "Орлятах" без системы 4-х ступенчатой очистки воздуха для ГТД на АКВП, позволяет утверждать о достаточной надёжности конструкции одновального клона НК-12 для темпа эксплуатации 100 часов в год в условиях морской среды.

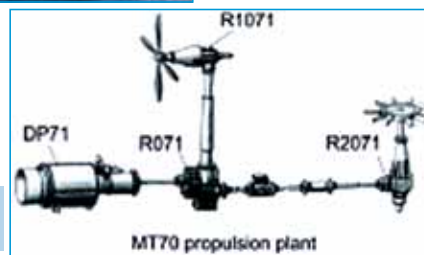
Эти же условия морской среды оставляют за одновальным однокаскадным ГТД с температурой газов перед турбиной до 1250° К преимущества длительной работы до интенсивного засоления и загрязнения проточной части и 2/3 его номинальной мощности достаточно для обеспечения побортной мощности в 10-11 тыс. л.с..

Теперь о трансмиссии. Надо сказать, что эксплуатация АКВП показывает, что редукторы в составе ЭУ важнее приводного ГТД, по причине высокой нагруженности редуктора и шестерен, в особенности конических, из-за авиационных требований к их массогабаритам. В целях сохранения ресурсов редукторов, АКВП эксплуатируют порожнем и это важнейшая причина отсутствия конверсионных грузовых судов на воздушной подушке (ВП). Так, украинский производитель для самой массовой и освоенной в производстве ЭУ МТ70 дает ресурс на редуктор нагнетателя 500 часов для грузовых амфибных судов на воздушной подушке (АСВП) проектов "Ямал-60" и "Ямал-150". (см. рисунок).



АКВП "Мурена" с МТ70

Энергоустановка МТ70



Проект АСВП "Ямал-150" с МТ70



Другими словами, редукторы определяли темп эксплуатации АКВП и закрывали возможности экспериментальных и транспортно-логистических исследований, как это было сделано в США.

Любителям истории моторостроения хорошо известен экспериментальный двигатель НК-62 (70-80 гг), в состав которого входит дифференциальный планетарный редуктор с передаточным отношением 7,2 на базе НК-12 и передаваемой мощностью на винты около 30000 л.с. Конструкторы изменили только две шестерни и продолжая идею изменения только этих шестерен

можно снизить передаточное отношение до 6,014 без глубоких изменений в редукторе с ростом передаваемой мощности.

Поэтому редуктор от НК-12 практически безальтернативен для ЭУ АКВП и будет соответствовать решению сразу нескольким перспективным задачам:

- иметь запас по передаваемой мощности до 100% приводного ГТД;
- обеспечивать противовращение в группе воздушного винта и вентилятора;
- может быть унифицирован в диапазоне передаточных отношений от 6,014 до 11,333 подбором двух шестерен из четырех, оставляя без изменений главное внутреннее зацепление;
- отсутствие внутри редуктора конических шестерен.

Тем не менее вопрос о возможной конвертации "корабля" в "судно" может стать главным на пути создания проекта и опыт обратимой конвертации по-английски дает ответ.

Англия не строила танкодесантных АКВП, однако именно Англии принадлежит истинное лидерство в амфибийном судостроении, которая задает мировой уровень удельной энерговооруженности порядка 40-45 л.с. на тонну водоизмещения для АСВП. Для крупнейшего АСВП проекта SRN4 Mk3, выполнявшего паромные рейсы в поливе Ла-Манш, была достигнута удельная энерговооруженность менее 60 л.с./тонну ещё в 80-х годах. Эксплуатация первого SRN4 началась в 1969 году и первые 5 лет была убыточна, но совершенствовалась всё - от ЭУ до гибкого ограждения и береговой базы обслуживания. Финансирование проектных работ жизненного цикла шло от морского военного ведомства, а содержание и ремонт легло на гражданского эксплуатанта. Паром SRN4 Mk3 достиг вместимости свыше 400-х человек или 60 легковых авто и мог быть отоброшен в разряд танкодесантных за счет установки силовых панелей под бронетехнику с некоторой потерей полезной нагрузки и скорости. Паром SRN4 с суммарной мощностью ЭУ 18-20 тыс. л.с. стал прототипом проекта танкодесантного АКВП "Джейран" с суммарной мощностью ЭУ около 40 тыс. л.с. Поэтому на понтоне проекта "Джейран" с ЭУ "НК-12" логично получить амфибийный паром с удельной энерговооруженностью порядка 50 л.с./т и грузоподъемностью 80-100 тонн. Далее, отработанная ЭУ "НК-12" перебрасывается на понтон проекта "Мурена" с целью постройки серии танкодесантных АКВП водоизмещением 150-200 тонн грузоподъемностью до 75 тонн и удельной энерговооруженностью до 100 л.с./т.

Итак, внешний вид российского АКВП без угловой передачи с ЭУ "НК-12" с центробежным нагнетателем может принять вид (см. рисунок), и в силу заложенных запасов по двигателю и редуктору превзойти возможнос-

ти ЭУ трех перспективных зарубежных проектов АКВП. Известный вариант вертикального размещения осевого вентилятора так же должен быть рассмотрен.

Синергия мирового опыта и русский прорыв

Английский опыт обратимой конвертации наиболее ценен для России, как и идеи, влияющие на снижение потребных мощностей и расхода топлива.

Расход топлива - вот вопрос, который понятен будущему эксплуатанту АСВП, за которым скрывается удельная энерговооруженность судна и к.п.д. двигателя в 30-33 %, ограниченный морскими условиями. Англичане уделили особое внимание снижению гидродинамического сопротивления за счет работы с конструкцией двухрусного горизонтального оперения и увеличению подачи воздуха в ВП с постепенным увеличением отбора мощности от ЭУ на нагнетание с классических 30% до 40-45%. Те же 40% мощности на нагнетание на проекте АКВП "Зубр" уже повлияли на снижение стартовой тяги с классических 10-12% от массы корабля до 5-6% из-за снижения горба сопротивления, характерного для аэроглиссеров, экранопланов, гидросамолетов.

Вторая идея: носовая тяга, также служит снижению горба сопротивления за счет управления расходом воздуха на разгоне и повышению тяги на догребовой скорости. В научно-технических изданиях упоминается регулирование расходом воздуха на скеговом корабле на воздушной подушке проекта "Самум" как благоприятное.

Реализация этих идей на будущих проектах АСВП/АКВП напрямую связана с необходимостью увеличения расхода воздуха и пропорциональным ростом мощности на нагнетание до 50% от всей мощности ЭУ. Как и в случае с пределом кпд ГТД для морских условий имеем сформированный уровень удельных энергозатрат на сжатие воздуха для ВП, отнесенный к единице объема и заданному давлению для действующих вентиляторов с оборотами 1530-1675 об/мин.

Перспективная ЭУ "НК-12" может дать диапазон оборотов 732-1380 об/мин, что позволяет увеличить диаметры вентиляторных колес в целях снижения удельных энергозатрат на сжатие воздуха для ВП.

Гипотетически, сочетание всех достижений в мире по АСВП/АКВП в виде удельной энерговооруженности около 40-50 л.с./тонн, полезной весовой отдаче (груз+топливо) 50-60 % позволяет говорить о пределе экономичности амфибий со статической ВП на уровне 0,25 кг/ткм, характерной современным грузовым самолетам. Очень важно, что компоненты ЭУ "НК-12" производятся, эксплуатируются и имеют единого проектанта, в компетенции которого все вопросы создания ЭУ и ответственность перед эксплуатантом.

Связь с автором: g_vva714@mail.ru

Рисунки перспективного АКВП



ОТКРЫТА ПОДПИСКА на 1917 годъ

на двухнедѣльный, популярный, научно-техническій журналъ

„ДВИГАТЕЛЬ“

ДЕВИЗЪ „ДВИГАТЕЛЯ“

ДОЛОЙ „НѢМЕЦКІЙ ДУХЪ“
ИЗЪ РУССКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ!



Журналъ служитъ дѣлу
націонализаціи рус-
ской промышленности,
расцвѣтъ которой
неразрывно связанъ съ
распространеніемъ здра-
выхъ понятій о надле-
жащемъ выборѣ и пра-
вильной эксплуатаціи

ДВИГАТЕЛЕЙ И СТАНКОВЪ.

Сообразно съ этимъ:

„ДВИГАТЕЛЬ“ даетъ обзоръ всѣхъ изобрѣтеній и усовер-
шенствованій въ области моторостроенія.



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, 1-2 - 2017)

5 Танки в годы второй мировой войны

Развитие танков в послевоенные годы шло бурными темпами, достаточно противоречиво и оказало существенное влияние на возможный характер вооруженной борьбы на сухопутных ТВД. С стороны, появление новых средств борьбы, их существенная противотанковая направленность, радикальное изменение возможного характера вооруженной борьбы в значительной степени повлияли на развитие танков.

В годы войны танки показали себя важнейшим и эффективнейшим средством борьбы. Начавшаяся научно-техническая революция раскрыла новые технические возможности совершенствования танков (совершенная технология, электроника, автоматика, гидравлика). Она же привела к созданию ядерного оружия, которое коренным образом изменило возможный характер вооруженной борьбы, задачи и принципы строительства вооруженных сил.

Появились и другие виды оружия - ПТУР и РПГ, боевые вертолеты, высокоточное оружие, в том числе разведывательно-ударные комплексы. Названные боевые средства или имеют прямую противотанковую направленность, или могут с успехом использоваться в борьбе против танков. Все это создало для танков исключительно сложные условия на возможном поле боя, обусловило возращение потерь.

В то же время задачи танков в известной мере и облегчаются, ибо в их интересах (как основы различных формирований сухопутных войск) действуют многие средства борьбы - ядерное оружие, высокоточное оружие, средства ПВО, тактическая и войсковая авиация, инженерные средства и др. Они поражают непосредственно противостоящие танкам боевые средства, защищают танки от высокоточного оружия и авиации, обеспечивают действия танков и вообще избавляют танки от несвойственных им функций, позволяют в полной мере использовать то, что присуще именно танкам - сочетание огневой мощи, защиты и подвижности, позволяющие танкам успешно действовать на передней линии.

В связи с ростом численности танков важнейшей их задачей стала борьба с танками противника. Хотя танки и сохранили свою универсальность, усложнившиеся условия на поле боя потребовали создания целого ряда боевых бронированных машин, тесно взаимодействующих с танками (БМП и др.). Так произошел переход от танков к системе бронетанкового вооружения. Изменилось и соотношение между типами танков. Если легкий танк сохранился как многоцелевое средство для разведки, охранения, воздушно-десантных войск, морской пехоты, то прежние средний и тяжелый танки слились в единый тип - основной танк, который унаследовал от средних массовость, универсальность, хорошую подвижность, а от тяжелых - высокий уровень огневой мощи и защищенности.

Наглядно проявившиеся на примере танков преимущества защищенности и подвижности привели к тому, что другие рода войск (артиллерия, ПВО), органы управления и другие стали создавать свое вооружение в виде подвижных бронированных машин. Это привело к постепенному переходу на бронетанковую основу сухопутных войск, обеспечило необходимую однородность по защищенности и подвижности, создало на этой основе предпосылки для общевойсковой интеграции.

Данные процессы не означают растворения танков в сухопутных войсках. Танки переросли свое первоначальное предназначение как оружие рода войск и стали основным средством борьбы сухопутных войск вообще, основным элементом их боевой структуры. При этом возникает вопрос: если Сухопутные войска стали броне-

танковыми и интегрированными, то стоит ли выделять род войск - танковые войска? Видимо, правильнее будет говорить о мощном бронетанковом компоненте как основе формирований сухопутных войск любого уровня.

В связи с прекращением холодной войны, распадом СССР, переходом России к новой военной доктрине, реформированием её Вооруженных Сил танковый арсенал России и других стран СНГ, естественно, будет сокращаться. Но это не означает снижения удельного веса танков и соответствует общему сокращению Вооруженных Сил. В современных условиях оправдано возрастает роль мобильного компонента - сил быстрого развертывания, но и они будут создаваться на бронетанковой основе (в соответствующей категории по массе).

Рассматриваемый отрезок времени можно в известной мере условно разбить на два периода: окончание войны - середина 60-х годов и середина 60-х годов - начало 90-х годов. Первый период соответствует танкам первого послевоенного поколения в СССР и странах НАТО. Второй период связан со вторым послевоенным поколением танков в СССР, в странах НАТО в конце второго периода появилось третье поколение, ибо возможности совершенствования образцов предшествующего поколения были уже исчерпаны.

Танки первого поколения, естественно, создавались с учетом ожидаемых изменений на поле боя и с использованием появляющихся в ходе технического прогресса новых технических решений. Однако на их развитие оказал определяющее влияние опыт минувшей войны. Технология танкостроения отличалась от военной, но в ней еще не произошло существенных прогрессивных изменений.

На протяжении первого поколения танки и в СССР, и за рубежом подразделялись на три типа: легкие, средние, тяжелые (с некоторыми вариациями в терминологии).

Средние танки первого поколения в СССР представлены последовательным семейством: Т-54, Т-54А, Т-55, Т-55А, Т-62.

На танке Т-54 (главный конструктор А.А. Морозов) существенный прирост эффективности по сравнению с Т-34 был достигнут прежде всего за счет тщательной отработки компоновки, которая характеризовалась высокой плотностью (исключено место стрелка-радиста рядом с механиком-водителем), поперечным расположением двигателя (что позволило увеличить объем боевого отделения) и снижением высоты машины (боекомплект перенесен с пола боевого отделения в носовую часть корпуса). Люк водителя удалось перенести на крышу корпуса и тем самым избежать ослабления носовой брони. Основы подобной компоновки были заложены еще в переходной модели Т-44. На танке установлена 100-мм пушка, башня получила полусферическую форму, эквивалентная толщина лобовой брони доведена до 200 мм, повышена подвижность за счет некоторого повышения мощности двигателя, совершенствования трансмиссии (планетарные механизмы поворота) и ходовой части (торсионная подвеска, гидравлические амортизаторы).

На основе совершенной компоновки и новых технических решений удалось при незначительном повышении веса по сравнению с Т-34-85 существенно усилить и огневую мощь, и броневую защиту (практически вдвое).

При переходе к каждой последующей модели использовались отработанные на предыдущих образцах или опытных установках новые технические решения. На Т-54 - автоматическое противопожарное оборудование, подогреватель, обеспечивающий быструю заводку зимой; на Т-54А и Т-54Б - система стабилизации пушки в вертикальной, а затем и в обеих плоскостях, приборы ночного ви-



T-54-1

После того, как предпринятые попытки перевооружить танк Т-44 новым орудием (в 1945 году были построены два опытных образца Т-44-100 со 100-мм пушкой ЛБ-1 в прежней башне), провалились, то дальнейшие работы в этом направлении были прекращены. Вместе с тем, для размещения 100-мм пушки в КБ завода № 183 ещё с лета 1944 года в инициативном порядке приступили к проектированию новой модификации Т-44, первоначально получившей обозначение Т-44В. 20 августа 1944 г. проект был представлен наркому танковой промышленности В.А. Малышеву, и к ноябрю проект под названием Т-54 был одобрен наркомом танковой промышленности. Опытный образец должен был быть готов уже к 1 декабря 1944 г., а к 20 мая 1945 г. КБ должно было направить рабочие чертежи танка заводским изготовителям.

Основным препятствием, сдерживающим разработку нового танка, была силовая установка. Для обеспечения высокой подвижности был необходим двигатель мощностью порядка 700 л.с., а в наличии был только модернизированный В-2 мощностью 520 л.с. Это обстоятельство вынуждало жёстко ограничивать массу машины. Единственный выход был в дальнейшей дифференциации броневой защиты.

Первый образец танка, известный как "Т-54 образца 1945 года", всё ещё был сильно схож с Т-44. Наиболее заметным внешним отличием была новая, более крупная башня со 100-мм пушкой, чьё лобовое бронирование увеличилось со 120 до 180 мм, а бортовое - с 90 до 90-150 мм. Форма башни вместе с тем, существенных изменений не претерпела и углы наклона её стенок не превышали 20°. Лобовая броня корпуса была также увеличена, до 120 мм, однако толщина бортового бронирования увеличилась лишь на 5 мм, а кормовая часть и вовсе была заимствована у Т-44 без изменений. В лобовой плите корпуса была ликвидирована щель смотрового прибора механика-водителя, в результате она стала монолитной. Поскольку общая масса танка возросла по сравнению с Т-44, была несколько удлинена ходовая часть для увеличения площади опорной поверхности гусениц, а также увеличена ширина опорных катков. Двигательная установка и трансмиссия практически без изменений перешли с Т-44.

Испытания переданного на государственные испытания Т-54 проводились с 11 марта по 11 апреля 1945 года. В отчёте об испытаниях говорилось о высоких тактико-технических характеристиках Т-54. При массе в 35,5 тонны - лишь на 3,7 тонны больше, чем у серийного Т-44, танк обладал значительно более мощным бронированием и вооружением, при этом высота его вышла даже меньшей, чем у предшественника - 2275 мм вместо 2400 мм. Максимальная скорость танка, правда, упала до 45 км/ч вместо 51 км/ч на Т-44, но средняя скорость движения осталась прежней, а запас хода даже несколько возрос. Испытания выявили и множество недостатков новой машины, часть из которых была учтена при постройке в июле 1945 г. следующего опытного образца Т-54.

Танк получил новую башню, скруглённой формы, по типу ИС-3, но с обратными углами наклона брони в нижней части ("заманом"), особенно заметным в кормовой части. Толщина лобового бронирования башни достигла 200 мм, а бортов - от 160 до 125 мм, углы наклона вертикальных поверхностей башни доходили до 45°. Были изменены трансмиссия в соответствии с требованиями испытательной комиссии, а ходовая часть наконец получила цевочное зацепление гусениц. В состав вооружения танка добавились два 7,62-мм пулемёта СГ в бронированных ящиках на надгусеничных полках, неприцельный огонь из которых вёл механик-водитель, а также 12,7-мм зенитный пулемёт ДШК, установленный на турельной установке у люка заряжающего. В июле-ноябре 1945 года этот образец проходил испытания на полигоне в Кубинке, по результатам которых он был рекомендован государственной комиссией к серийному производству, но опять-таки, после устранения ряда недостатков. После доработки прототипа и очередных испытаний в апреле 1946 г. Т-54 был принят на вооружение.

Подготовка к массовому производству Т-54 образца 1946 года, известного также как Т-54-1, началась уже в 1946 году сразу на трёх заводах: заводе № 183 в Нижнем Тагиле, ХЗТМ в Харькове и ОЗТМ в Омске. По плану за оставшиеся месяцы 1946 года завод № 183 должен был выпустить 165 машин. В реальности же, за 1946 год изготовлены были всего три предсерийных Т-54.

И даже эти машины не были приняты государственной комиссией, которая потребовала снизить массу машины, усовершенствовать установку вооружения, ходовую часть и приводы управления. Всего в том году КБ завода № 183 пришлось внести в конструкцию танка 649 различных изменений.

План 1947 года был уже скорректирован в сторону уменьшения. Всего за год планировалось изготовить 400 Т-54. Однако, после того как две головные машины первой серии поступили на государственные ходовые испытания и испытания обстрелом в апреле-мае того же года, комиссия рекомендовала

начать производство установочной серии Т-54 после выполнения списка из 1490 изменений различных деталей и узлов танка, составленного комиссией. Последовавшие доработки вновь отложили начало производства танка, и первая серия из 20 танков была произведена лишь в конце 1947 г.

Полномасштабное производство Т-54 на всех трёх заводах удалось развернуть лишь в 1948 году. За год было выпущено 593 танка. Однако уже вскоре после начала войсковой эксплуатации из танковых частей стали поступать рекламации. Представители танковых частей на совещании у министра Вооружённых сил Н.А. Булганина в целом положительно отзывались о новом танке, но отметили, что начало серийного производства оказалось явно преждевременным. К этому прибавились и результаты испытаний Т-54 обстрелом, проведённых в 1947 году и показавших то, что было обнаружено ещё в 1943-1944 годах: при попадании в нижнюю часть башни её заман давал очень высокий шанс ricocheta снаряда в тонкую крышу корпуса, со всеми вытекающими последствиями. Результатом этого в январе 1949 года стало решение правительства об остановке выпуска танка.

Выход из этого положения был найден в изменении формы и размеров башни. Разработанная КБ завода № 183 уже в 1948 году новая башня, имевшая приближенную к полусферической форму в лобовой части, обеспечивала не только снижение массы, но и лучшую защиту. Кроме этого, ширина орудийной амбразуры на ней была уменьшена с 1000 до 400 мм, что позволило поднять монолитность башни и, как следствие, защищённость.

Достигнуть этого удалось путем замены общей маски для орудийной установки отдельными узкими прорезами для ствола орудия, пулемёта и прицела.

Первый Т-54 с новой башней поступил на испытания 29 августа 1949 года, ещё два контрольных танка были собраны в сентябре. По результатам их испытаний в ноябре было дано разрешение на серийное производство новой модификации, известной как Т-54 образца 1949 года или Т-54-2. Серийные машины отличались, помимо замены башни с "заманом", сохранившими только в кормовой части, уменьшением лобовой брони корпуса до 100 мм, с увеличением наклона нижней бронеплиты. Также были ликвидированы пулемёты на надгусеничных полках и заменены одним, жёстко закреплённым внутри корпуса и ведущим огонь через отверстие в лобовой плите. Гусеницы шириной 500 мм были заменены новыми, шириной 580 мм, что позволило снизить удельное давление на грунт до приемлемого уровня. Средний вес Т-54-2 снизился по сравнению с Т-54-1 в среднем на 1700 кг.

T-54-2



Доводка отдельных узлов привела к повышению надёжности танка. Основным вооружением Т-54 являлась 100-мм пушка Д-10Т. Длина ствола орудия - 56 калибров. Это орудие было разработано в конструкторском бюро артиллерийского завода № 9 под руководством Ф.Ф. Петрова для СУ-100. Эта пушка бронебойным снарядом пробивала вертикальный лист брони толщиной 125 мм на расстоянии 2000 м. Дополнительное вооружение состоит из спаренного с пушкой 7,62-мм пулемёта СГ-43, расположенного справа от пушки. Боевая масса 35,5 т. Серийно выпускался с 1949 по 1951 г. С 1952 по 1954 г. серийно выпускался танк Т-54-3 с новой литой полусферической башней без обратных скосов.

На Т-54А - следующей модификации танка Т-54 устанавливалась пушка Д-10ТГ с экзекуционным устройством для продувки канала ствола, с электрогидравлическим стабилизатором в вертикальной плоскости (СТП-1 "Горизонт"). Для механика-водителя был введён активный прибор ночного видения ТВН-1. С 1955 года на Т-54 устанавливался двухплоскостной стабилизатор орудия.

Эта модификация серийно выпускалась с 1955 по 1956 г. Последние модификации танка Т-54 продолжали производиться даже после того, как на вооружение был принят Т-62.

T-54A



дения, оборудование для преодоления водных преград под водой; на Т-55 (главный конструктор Л.Н. Карцев) - автоматическая система защиты от ядерного оружия и усовершенствованная система противопожарного оборудования (на части танков Т-55А) был установлен полиэтиленовый подбой), бак-стеллаж, применение которого позволило увеличить и боекомплект, и запас топлива, долговечная гусеница с резинометаллическим шарниром; на Т-62 (главный конструктор Л.Н. Карцев) - гладкоствольная пушка с мощным оперенным подкалиберным и кумулятивным боеприпасами, более совершенная система стабилизации (независимая линия прицели-

вания по вертикали), выброс стреляных гильз.

При совершенствовании данного семейства танков удалось существенно улучшить их эксплуатационные качества и надежность.

За прошедшее время все танки более ранних выпусков при капитальном ремонте были доведены до уровня танка Т-55. Для нарезной 100-мм пушки созданы вращающиеся подкалиберные и кумулятивные боеприпасы. В результате танк Т-55 по огневой мощи сравнялся с танком Т-62.

Танки Т-55 и Т-62 поставлялись на экспорт в развивающиеся



Танк Т-55 создавался на базе танка Т-54. Это был первый в мире серийный танк, оборудованный автоматической системой противоатомной защиты, что позволяло вести боевые действия в условиях применения ядерного оружия. Кроме того, на этом танке впервые был установлен комплекс активной защиты (КАЗ) "Дрозд".

Работы по созданию этого танка были начаты в 1957 году на заводе № 183 в инициативном порядке под руководством Л.Н. Карцева. Работы велись параллельно с организацией серийного производства танка Т-54Б. При создании танка был использован весь задел конструктивных решений, полученный при модернизации Т-54. В 1957 г. были изготовлены два опытных образца, которые с зимы 1957 г. до весны 1958 г. проходили государственные испытания. И уже 8 мая 1958 г. танк был принят на вооружение.

Помимо установки полноценной системы противоатомной защиты со счётчиком рентгеновского излучения на этом танке были проведены и другие усовершенствования:

- повышена мощность двигателя на 60 л.с.;
- внедрена полуавтоматическая система подачи выстрелов (выстрел подаётся на уровень казенника и затем вручную досылается в казенник);
- установлена термодымовая аппаратура, создававшая дымовую завесу путём впрыска топлива в выхлопной коллектор;
- применены баки-стеллажи, позволившие увеличить боекомплект к пушке с 34 до 43 выстрелов, а также увеличить ёмкость топливных баков;
- установлен воздушный компрессор вместо воздушных баллонов для более надежного пуска двигателя, сохранения ресурса аккумуляторных батарей и исключения необходимости заменять отработанные воздушные баллоны на заряженные;
- установлена автоматическая система пожаротушения "Роса";
- установлен планетарный бортовой редуктор;
- применена гидропневмоочистка смотрового прибора механика-водителя.

В отличие от Т-54 на новом танке не устанавливался зенитный пулемёт ДШКМ, так как считалось, что при возросших скоростях самолётов он будет неэффективен. Но в конце 1960-х, когда появились ударные противотанковые вертолёты, зенитный пулемёт вернули.

Серийное производство танков Т-55 и его модификаций было развёрнуто в 1958 г. на заводах № 75, 183 и 174, продолжавшееся до 1979 г. За эти годы было выпущено свыше 20 тыс. машин всех модификаций танка Т-55. Помимо СССР танки Т-55 выпускались и в других странах.

Тактико-технические характеристики танка различных модификаций отличались незначительно и были следующими: масса - 36 т; длина с пушкой вперёд - 9000 мм; длина корпуса - 6200 мм; ширина - 3270 мм; высота - 2350 мм; клиренс - 425 мм; экипаж - 4 чел.; вооружение: 100-мм пушка Д-10Т2С и два 7,62-мм пулемёта (спаренный с пушкой в башне и курсовой в лобовом листе корпуса); в боекомплект пушки входили 43 выстрела.

Дизельный двигатель В-55В мощностью 580 л.с. обеспечивал скорость по шоссе до 50 км/ч, запаса топлива хватало на 500 км при движении по шоссе.

Впоследствии танк неоднократно модернизировался. Так, после установки противорадиационных материалов снаружи и внутри обитаемых отделений, танк получил повышенную противоатомную защиту. Одновременно был снят курсовой пулемёт. Эта модификация получила название Т-55А. Танк Т-55А продолжал совершенствоваться на протяжении всего серийного производства:

- с 1965 года на танк стали устанавливать гусеницы с резинометаллическими шарнирами, усиленную коробку передач и др.;
- с 1969 года вновь стали устанавливать зенитный крупнокалиберный пулемёт ДШКМ, а с начала 1970-х годов - НСВ.

- с 1974 года танк получил лазерный дальномер КТД-1 "Нева", новый гамма-датчик ГД-1М и радиостанцию Р-123.

Так же были введены прицел ТШ-25-32П, giroкомпас ГПК-59, на некоторых танках установлены минные тралы ПТ-55, часть танков получила новое бульдозерное оборудование БТУ или БТУ-55.

Выпускался и командирский вариант Т-55А - Т-55АК. Из отличительных особенностей: дополнительная радиостанция Р-112, навигационная аппаратура, зарядное устройство АБ-1-П/30; боекомплект пришлось уменьшить до 37 выстрелов, т.к. устанавливалась дополнительная радиостанция, причем на Т-55К командира батальона и командира полка устанавливалось по две радиостанции.

На базе Т-55 с 1960 года выпускался огнемётный танк ОТ-55. На нём вместо спаренного пулемёта установлен огнемёт АТО-200,

стабилизированный вместе с пушкой в двух плоскостях. Курсовой пулемёт сохранён. В носовой части корпуса смонтирован бак для огнесмеси ёмкостью 460 л. Ёмкость огнемётного выстрела составляла 35 литров. Дальность выстрела 200 метров. В боекомплект входило 12 огневых выстрелов, 25 выстрелов к пушке и 750 патронов к курсовому пулемету.

В ходе поисковых работ в 1961 году был изготовлен опытный Т-55А с телевизионным комплексом "Алмаз". Были проведены испытания возможности применения телевизионного комплекса при езде и стрельбе из танка. В состав комплекса входили три камеры, одна располагалась на корпусе и служила для механика-водителя, остальные были установлены в башне. В результате полученных исследований было выяснено, что комплекс способен обеспечивать стрельбу танка на дальности от 1500 до 2000 метров. Но, так как в ходе испытаний комплекса "Алмаз" часто выходил из строя и он не обеспечил необходимую надёжность, танк на вооружение не был принят.

Дальнейшей модернизацией Т-55А стал танк Т-55АМ, который был разработан в 1981 году. На танке была установлена: дополнительная броневая защита башни, корпуса и днища; резиноктаневые бортовые противоккумулятивные экраны; комплекс управляемого вооружения 1К116-1 "Бастион"; двигатель В-55У (мощностью 620 л.с.); новая система управления огнём "Волна"; теплозащитный кожух на ствол пушки; система запуска дымовых гранат 902Б "Туча" и система защиты от напала "Сода". Часть машин оснащалась зенитным пулемётом ДШКМ. Модернизирована ходовая часть, установлены гусеничные ленты ГМШ с повышенными грунтозацепами. Танк оснащён радиостанцией Р-173 и радиоприёмником Р-173П.

Очередная модернизация - танк Т-55АМ-1 - отличался от Т-55АМ установкой дизельного двигателя В-46-5М мощностью 690 л.с.

Активная защита и гранатомёты системы постановки дымовой завесы были применены на танке Т-55АД, разработанном в 1983 году. На танке были установлены: комплекс активной защиты 1030М "Дрозд" с выстрелами ЗУОФ 14; дополнительная броневая защита корпуса и днища; резиноктаневые бортовые противоккумулятивные экраны; двигатель В-55У, мощностью 620 л.с.; лазерный дальномер КТД-2; баллистический вычислитель БВ-62; система запуска дымовых гранат 902Б "Туча".

Замена двигателя с В-55У на В-46-5М мощностью 690 л.с. - очередная модернизация и новое название - Т-55АД-1.



Огнемёт АТО-200 на танке ОТ-55



Т-55АД

страны. В рамках ОВД было организовано производство этих танков совместными усилиями Польши и Чехословакии.

В качестве практического шага по освоению управляемого оружия на танках и для усиления противотанковых возможностей наших танковых войск на базе танка Т-62 был создан танк-истребитель ИТ-1 (главный конструктор Л.Н. Карцев) с ракетным вооружением (главный конструктор А.И. Богданов) и автоматическим заряджанием пусковой установки. В связи с последующим созданием в рамках второго поколения совершенных пушечно-ракетных танков данное направление дальнейшего развития не получило.

Модернизированные "пятьдесятятки" после соответствующих испытаний с апреля 1983 года стали поступать на вооружение. Основное внимание конструкторы уделили усилению огневой мощи и защищённости танков при сохранении прежнего уровня подвижности. Задача повышения дальности и эффективности огня решалась в основном путём применения управляемых боеприпасов. Работы по их созданию велись в тульском КБ под руководством А.Г. Шипунова на базе спроектированного здесь же комплекса 9К116 "Кастет".

Благодаря этому разработка танкового комплекса с близкими к 9К116 характеристиками была завершена в сжатые сроки - к 1983 году.

Изменения в основном коснулись гильзы с метательным зарядом, адаптированной под камору пушки Д-10Т.

Комплекс управляемого вооружения 9К116-1 "Бастион" включал выстрел ЗУБК10-1 с управляемой ракетой 9М117, которая была заимствована от комплекса "Кастет" без изменений, и аппаратуру управления, состоящую из прицела-навигатора 1К13, преобразователя 9С831, блока управления и электронного блока. По основным внешним конструктивным признакам и размерам выстрел ЗУБК10-1 массой 26,7 кг не отличался от обычного артиллерийского и помещался в стандартной танковой боеукладке. Метательный заряд ракеты сообщал ей начальную скорость около 500 м/с, которая поддерживалась в полёте работой маршевого двигателя. Дальность действия ракеты составляла 4000 м днём и 1200 м ночью, бронепробиваемость кумулятивной боевой части достигала 550 мм брони.

Для управления ракетой применялась полуавтоматическая система наведения по лучу лазера, имеющая высокую помехозащищённость. Малые габариты системы позволили разместить её в боевом отделении машины. Единственный недостаток системы - невозможность применения ракет во время движения.

Как уже отмечалось, задача повышения точности огня, в том числе и обычными снарядами, решалась установкой системы управления огнём "Волна". В её состав входили лазерный дальномер КДТ-2, баллистический вычислитель БВ-55, прицел ТШСМ-32ПВ, стабилизатор вооружения "Циклон" М1. Диапазон измерения дальностей лазерного дальномера КДТ-2 составлял 500...4000 м. Автоматическая выработка углов прицеливания и бокового упреждения при стрельбе всеми типами снарядов обеспечивалась баллистическим вычислителем БВ-55. Прицел ТШСМ-32ПВ имел независимую стабилизацию поля зрения в вертикальной плоскости, которая работала и при блокировке пушки. Стабилизатор пушки "Циклон" М1 обладал улучшенными эксплуатационными характеристиками, благодаря использованию более прогрессивной элементной базы. Кроме этого, ствол пушки укрыли теплозащитным кожухом, устранившим в большой степени неравномерный нагрев ствола. Это позволило значительно уменьшить разброс углов вылета снаряда; в результате улучшились кучность и точность стрельбы.

Защищённость танка Т-55М и Т-55АМ повысили путём установки элементов дополнительного бронирования корпуса и башни. К верхнему лобовому листу корпуса приварили металлополимерный модуль: коробчатую конструкцию из броневых листов толщиной 30 мм, внутри которой размещались 5-мм стальные листы с 30-мм промежутками, заполненными пенным полиуретаном. Удалось обеспечить "приrost защиты" от бронебойных подкалиберных снарядов на 120 мм, от калиберных - на 200...250 мм. Дополнительная защита лобовой части башни состояла из двух блоков, расположенных справа и слева от амбразуры пушки (блоки за характерный внешний вид получили в войсках прозвище "хомуты", или "брови Ильича").

Конструктивно это были литые броневые детали, с внутренней стороны которых приваривалась коробка с 5-мм стальными листами и пенополиуретана. Борта танка прикрыли противоккумулятивными резиноканевыми секционными экранами, которые при транспортировке по железной дороге приходилось снимать.

Опыт боевых действий в Афганистане привёл к необходимости усиления



Т-55АМ

Танки Т-55 и Т-62 в свое время существенно превосходили зарубежные средние танки первого поколения (М48, "Центурион"). А после модернизации эти танки (с лазерным дальномером, повышенной точностью стрельбы и могуществом боеприпасов, а также управляемым оружием) превосходили уровень зарубежных основных танков второго поколения - М60А1 (США), "Леопард 1" (ФРГ). Однако модернизации коснулась лишь часть танков, т.к. после распада СССР этот процесс был остановлен.

(Продолжение следует.)



Т-55МБ

защиты танка и его экипажа при подрыве на минах. Для этого днище танка дополнительно бронировали - в районе расположения сиденья механика-водителя приварили защитный модуль: каркас из стального швеллера толщиной 80 мм, закрытый снизу шестью броневыми листами толщиной 20 мм. Кроме того, между днищем и крышей корпуса справа за сиденьем водителя установили силовой пиллерс - распорку, препятствующую прогибу днища при взрыве мины.

Для защиты от зажигательного оружия - типа напалма - танк оборудовали системой "Сода": поставили сетки с мелкой ячейкой на крыше трансмиссии, упрятали наружную электропроводку в стальные трубки, соединительные шланги внешних топливных баков проложили асбестовой тканью в металлическом каркасе.

В результате всех этих мер боевая масса Т-55М возросла до 40,9 т, а Т-55АМ - даже до 41,5 т. Поэтому для сохранения подвижности на танк пришлось поставить более мощные двигатели - В-55У (620 л.с.), а позже и В-46-5М (690 л.с.). Двигатель В-55У с инерционным наддувом отличался от В-55В конструкцией впускных коллекторов, в которых была установлена перегородка, разделяющая всасываемый воздух на два потока: один поступал в первые три цилиндра двигателя, другой - в остальные три цилиндра. Кроме того,

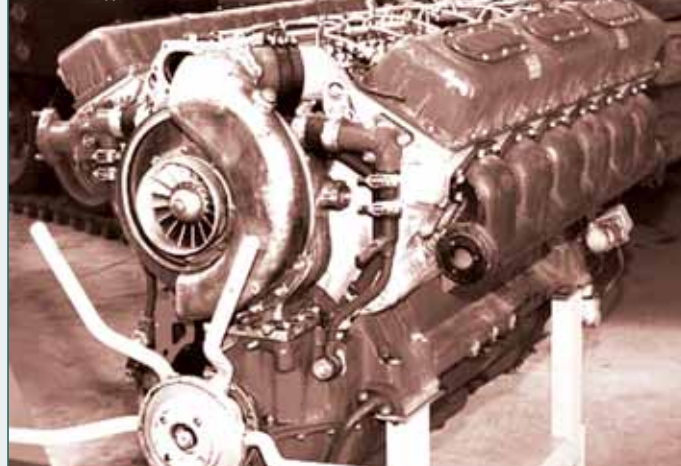
повысили давление впрыска топлива регулировкой топливной помпы и модифицировали воздушный фильтр. В итоге мощность двигателя возросла на 40 л.с., что обеспечило скорость по шоссе до 54 км/ч.

На базе Т-55 создавались различные инженерные машины, в т.ч. мостовые, минные тралы и др.

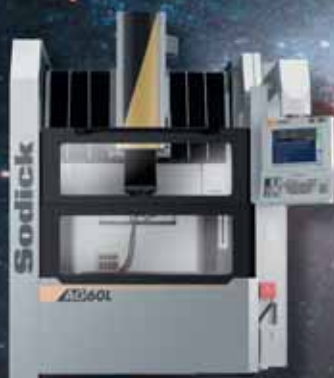
МТУ-55



Танковый дизель В-46



Sodick



39000 линейных электроискровых станков в эксплуатации

(свыше **700** в России, Украине и др. государствах
бывшего СССР; на 12.2015 г.)

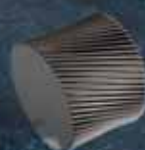
Единственный в мире изготовитель электроискровых (электроэрозионных) станков с проверенными временем плоскопараллельными линейными двигателями (ЛД).

Производство электроискровых линейных станков (станков с ЛД) с 1998 г.

Все линейные станки Sodick, включая самые первые 1998-1999 гг., по настоящий момент сохраняют неизменную точность позиционирования!

Испытанные пятнадцатью годами эксплуатации плоскопараллельные ЛД, разработанные для ЭИ станков, и ЭИ станки, сконструированные специально под плоскопараллельные ЛД. Собственная разработка, опытно-конструкторские работы, а также производство ЛД, Nd-Fe-B магнитов и систем управления для ЛД.

Собственные системы компьютерных ЧПУ, ПО и CAD/CAM.



Точность позиционирования:

гарантия **10** лет

Впервые в отрасли!

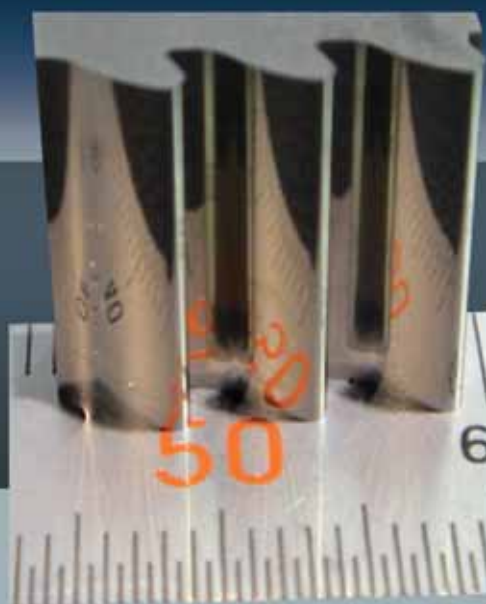
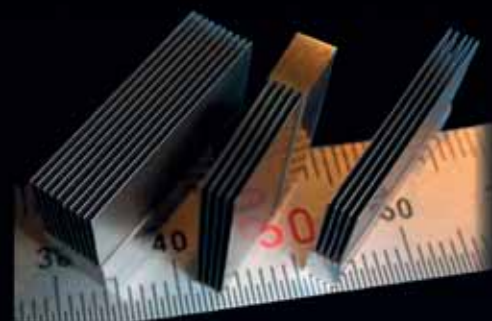
60 лет опыта производства ЭИ станков!

НАНОШЕРОХОВАТОСТЬ

**Шероховатость $Ra=0,006$ мкм
($Rz=50$ нано = 14-й класс!)
на серийном линейном
вырезном станке в масле!**

Sodick

www.sodicom.biz



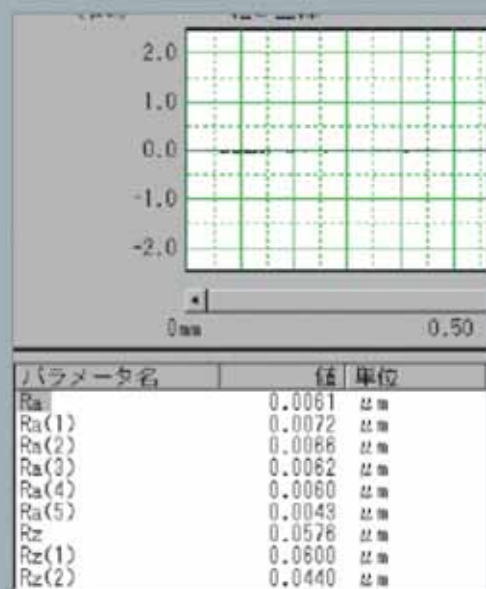
AP250L

**Рекордное зеркальное выхаживание
до уровня $Rz=50$ нанометров;**

**Сверхточная вырезка твердых сплавов
без выпадения кобальта;**

**Прецизионная вырезка тонкой проволокой
высоких пуансонов.**

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В МАСЛЕ =
= ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В ВОДЕ**



Рекорд отрасли!



7 ARGUMENTE
FÜR EINE HERMLE

Попадание с первого раза – что касается выдерживания заданной точности.

Обработывающие центры с непревзойденной
точностью.

Когда речь идет о безупречном функционировании готового изделия, зачастую решающую роль играет микрометрическая точность отдельных компонентов. Обработывающие центры Hermle подкупают своей высокой точностью типичной для Hermle в пяти или трех координатах.

Больше информации о точности наших обрабатывающих центров см. по адресу: **hermle1.de**.

Машиненфабрик Бертольд Хермле АГ, Госхайм телефон: +49 7426/95-0 info@hermle.de

