

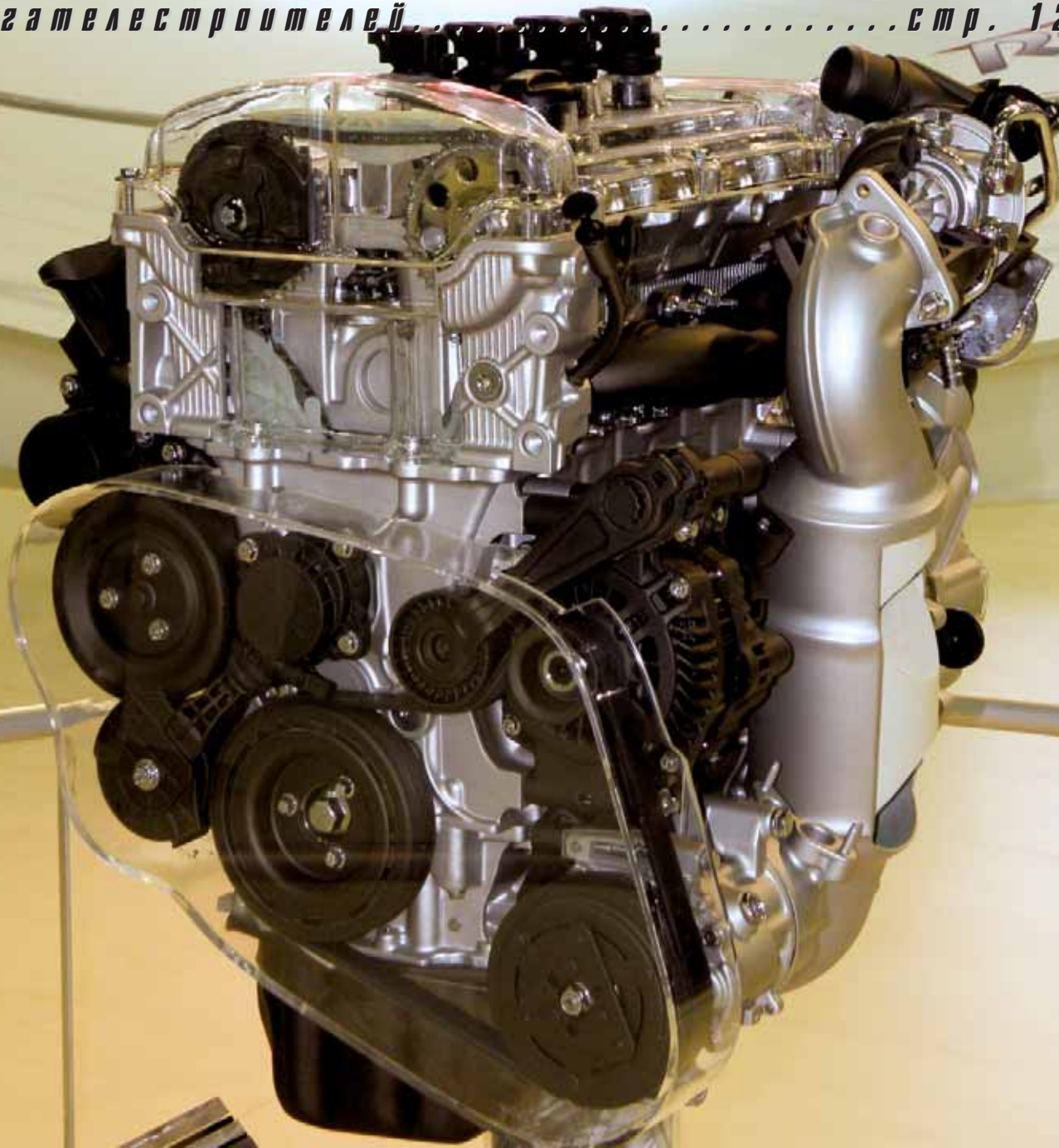
Двигатель

Научно-технический журнал

№ 2 (98 + 244) 2015



*Поиск путей
повышения КПД - вечная проблема
двигателестроителей.....стр. 12*





Научно-техническое издание по освещению проблем в промышленности



Медаль АМКОВ "Преодоление"



Редакционный совет

Агульник А.Б., д.т.н.,
декан факультета авиационных двигателей МАИ

Бабкин В.И., к.т.н.,
ген. директор 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

Губертов А.М., д.т.н.,
зам. директора ФГУП "Исследовательский центр
им. М.В. Келдыша"

Дическул М.Д.,
зам. управляющего директора ОАО "ОДК"

Дмитриев В.Г., д.т.н.,
главный научный сотрудник ГНЦ "ЦАГИ"

Иноземцев А.А., д.т.н.,
ген. конструктор ОАО "Авиадвигатель"

Каблов Е.Н., академик РАН,
ген. директор ГНЦ "ВИАМ"

Каторгин Б.И., академик РАН

Коржов М.А., к.т.н.,
руководитель проекта "Двигатель"
ОАО "АвтоВАЗ"

Кравченко И.Ф., д.т.н.,
ген. конструктор ГП "ИВЧЕНКО-ПРОГРЕСС"

Крымов В.В., д.т.н.

Кутенев В.Ф., д.т.н.,
зам. ген. директора ГНЦ "НАМИ" по научной работе

Кухаренок Г.М., к.т.н.,
зав. каф. ДВС Белорусского национального ТУ

Лобач Н.И.,
ген. директор ПО "Минский моторный завод"

Новиков А.С., д.т.н.
зам. ген. директора ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"

Пустовгаров Ю.Л.,
президент Торгово-промышленной палаты
Республики Башкортостан

Рачук В.С., д.т.н.,
ген. конструктор, ген. директор
ФГУП "КБ Химавтоматики"

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"

Скибин В.А., д.т.н.,
научный руководитель ГНЦ "ЦИАМ
им. П.И. Баранова"

Смирнов И.А., к.т.н.,
ген. конструктор КБХМ - филиала ФГУП "ГКНПЦ
им. М.В. Хруничева"

Соколов В.Н., 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"

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор

Александр Иванович Бажанов
член-корреспондент Российской и
Международной инженерных академий

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.В. Артамонова, 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 (2006-2014 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 экспертны-
ми советами ВАК по техническим наукам, по ис-
тории, экономике, философии, социологии и
культуры в числе журналов, в которых
должны быть опубликованы основные научные
результаты диссертации на соискание ученой
степени доктора и кандидата наук. Индекс 747
в общероссийском каталоге 2012 г.

Научно-технический журнал "Двигатель" ©
зарегистрирован в ГК РФ по печати.

Рег. № 018414 от 11.01.1999 г.

16-й (108-й) год издания.

Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати" Москва.

Тираж 5 000 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная.



СОДЕРЖАНИЕ

- 2 Отчетное собрание в ЦИАМ секции "Авиакосмическая" Российской инженерной академии**
- А.И. Бажанов
- 4 Системы для испытаний авиационной техники (научно-техническая конференция АССАД)**
- А.И. Бажанов
- 6 Инновации при применении композиционных материалов в авиационных двигателях**
- А.С. Новиков, Т.Д. Каримбаев, А.А. Луппов, Д.В. Афанасьев, М.А. Мезенцев
- 10 Жидкостное трение в подшипниках и влияние гидродинамических сил на контактные напряжения тел качения**
- Ю.Б. Назаренко
- 12 ДВС с аккумулятивным предварительным расширением рабочего тела**
- А.Ф. Равич, В.Н. Опришко, С.Н. Богданов
- 18 Знакомство с Антоновым**
- Г. Дорфман
- 22 Одноцилиндровые дизели многоцелевого назначения**
- 23 Дизель-генераторная установка ДГУ8-П27,5-ВМ2**
- 24 К оценке вероятности падения летательного аппарата на площадку атомной электростанции**
- А.И. Касьян, А.Н. Медведь, И.А. Нестеров, В.П. Тандура
- 28 Турбулентность. Опыты Куренкова и фундаментальные уравнения двухфазной газовой динамики сверхзвуковых сопел**
- Ю.М. Кочетков
- 31 Информация. ЦИАМ на международном военнотехническом форуме "Армия-2015"**
- 32 К натурфилософии ударных волн**
- В.А. Белоконь
- 36 Живописцу науки - 80. К юбилею А.Н. Петухова**
- Д.А. Боев
- 38 XII Олимпиада по истории авиации и воздухоплавания**
- А. Идин
- 42 Монеты XXI века к столетним юбилеям в авиации**
- А.В. Барановский
- 46 Танки от и до**
- О.Н. Брилёв
- 52 Колесные пароходы. На заре века пара и электричества**
- В.С. Шитарёв
- 57 Юбилей капитана "Бесстрашного"**
- Д.А. Боев



ОТЧЕТНОЕ СОБРАНИЕ В ЦИАМ СЕКЦИИ "АВИАКОСМИЧЕСКАЯ" РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



член-корреспондент РИА, ученый секретарь секции Э.Н. Дудар.

Президент РИА и МИА Б.В. Гусев информировал участников собрания о подготовке к празднованию 25-летия Российской инженерной академии, призвал членов профессионального сообщества принять активное участие в запланированных мероприятиях.

По окончании своего выступления Борис Владимирович вручил почетную награду Российской инженерной академии - Знак "Инженерная доблесть" Генеральному директору ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" В.И. Бабкину, академику Российской и Международной инженерных академий Г.А. Соколовскому, действительному члену РИА, начальнику отдела Специальные авиационные двигатели и химмотология ЦИАМ им. П.И. Баранова Л.С. Яновскому.

Поддержав "юбилейную" тематику, В.И. Бабкин напомнил собравшимся о том, что 2015 год является юбилейным и для Центрального института авиационного моторостроения, остановился на перечне мероприятий, приуроченных к празднованию 85-летнего юбилея ЦИАМ, и пригласил коллег принять в них участие. Он, в частнос-

27 марта в Центральном институте авиационного моторостроения имени П.И. Баранова состоялось общее отчетное собрание секции "Авиакосмическая" Российской инженерной академии и Международной инженерной академии по итогам работы в 2014 году. В заседании под председательством генерального директора ЦИАМ, академика-секретаря секции Владимира Ивановича Бабкина приняли участие члены президиума, действительные члены РИА, члены-корреспонденты РИА и МИА.

Отчетом о научно-технической работе секции в 2014 году собрание открыл В.И. Бабкин. В своем докладе он рассказал о структуре и численном составе секции, о проводимой научно-исследовательской работе. Особое внимание докладчик уделил деятельности, направленной на оказание помощи научно-исследовательским институтам, научно-производственным объединениям, конструкторским бюро авиакосмического профиля в организации и проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Работа секции в 2014 году была единогласно признана удовлетворительной. В рамках заседания был представлен финансово-экономический отчет и отчет ревизионной комиссии об основных результатах хозяйственной деятельности в 2014 году. Действительный член РИА В.В. Горбатенко ознакомил участников с планом работы секции на 2015 год. О результатах информационной деятельности рассказал



Б.В. Гусев



В.И. Бабкин докладывает



А.С. Башилов и М.М. Опарин


Э.Н. Дудар

ти, сказал: "Оглядываясь назад, мы поражаемся тому, как мощно в начале прошлого столетия в нашей стране происходила индустриализация, как менялась система образования, подготовки кадров и, самое главное, как развивалась авиация! Наряду с ракетостроением, атомной энергетикой, авиастроением - это наукоемкая и высокотехнологичная отрасль, и она исходит от науки. Подобно тому, как ЦАГИ находится на позициях ведущего института в самолетостроении, ЦИАМ был и остается головным институтом в авиационном моторостроении".

Член Президиума РИА М.Р. Либерзон выступил с докладом о ходе подготовки к VIII Международному аэрокосмическому конгрессу IAC-2015, который пройдет с 28 по 31 августа. Он отметил, что уже сегодня проводятся все необходимые организационные работы, принимаются доклады и заявки на участие делегаций.

Подробным рассказом о становлении, развитии и совершенствовании дальней авиации и тяжелого самолетостроения в России работу секции продолжил действительный член РИА, генерал-лейтенант, командующий Дальней авиации М.М. Опарин. Он поблагодарил участников секции за помощь в создании памятника к столетию дальней авиации ВВС России, и в знак особой признательности вручил памятные подарки участникам собрания. В завершение своего выступления участникам заседания был продемонстрирован фильм "Забутые герои Великой войны", посвященный событиям и героям в истории российской дальней авиации.

Работу отчетного собрания завершил действительный член РИА, начальник отдела Специальные авиационные двигатели и химмотология ЦИАМ им. П.И. Баранова Л.С. Яновский с информацией о состоявшемся международном конгрессе ICAS-2014. Несмотря на то, что Россия является членом ICAS с 1967 года, крупнейший в мире научный форум в нашей стране проводился впервые. Международный Совет по аэронавтическим наукам (ICAS) собрал в Санкт-Петербурге более 700 специалистов и ученых из области воздухоплавания; крупнейшие иностранные делегации прибыли из Японии, Китая, Германии, Франции и Италии.


Г.Н. Серёгин

Картина - в подарок Академии

Г.А. Соколовский и В.А. Довгань

В.С. Боголюбов

С выступлениями по актуальным направлениям научных исследований ЦИАМ им. П.И. Баранова в работе конгресса приняли участие порядка 50 ученых и специалистов Института.



По сообщению пресс-службы ЦИАМ press@ciam.ru

СИСТЕМЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ (НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ АССАД)

Александр Иванович Бажанов



Конференцию открывает В.М. Чуйко



Участники конференции с вниманием слушают докладчиков

Стало уже доброй традицией проводить на базе ООО "НПП "МЕРА" научно-технические конференции по проблемам создания и эксплуатации систем испытаний авиационной техники: корпусов летательных аппаратов, двигателей, редукторов, трансмиссий и т.д. Тема эта актуальна всегда, особенно в последнее время, когда на первое место ставится переход на современные методы исследований и испытаний, когда предпочтение отдается не лётным, а полунатурным стендовым испытаниям. Конечно, этот путь удорожает стоимость наземной части испытания авиационной техники, но в целом она снижается.

К испытаниям создаваемой техники везде подход особый - от уровня испытательной базы зависит и качество новой техники. А это означает одно: экспериментальная и испытательная базы должны по своему уровню быть выше создаваемой с их помощью техники. Если стоит задача создавать технику пятого (а уже пора бы и к шестому поколению переходить), то и наземная база должна соответствовать.

Так сложилось, что ранее для Советского Союза, а теперь для России Запад ставит всевозможные преграды в получении новых технологий в области испытаний. Сейчас, в условиях западных санкций, доступ к ним и вовсе закрыт. Именно по этим причинам крайне необходимо пристальное внимание к созданию собственной экспериментальной и доводочной баз, к решению тех проблем, которые стоят перед создателями новой техники.

Учитывая это, во вступительном слове президент АССАД В.М. Чуйко отметил, что при возрождении российского авиапрома необходимо ограничить роль импортных комплектующих для создаваемых сейчас и перспективных самолётов и, тем самым, обеспечить рабочими местами российские предприятия, а не зарубежные.

При этом, конечно, не надо отказываться от интеграции с мировой авиационной наукой, с западными производителями, искать пути получения современных технологий и материалов.

В последовавшем затем выступлении генеральный директор ОАО "Авиапром" В.Д. Кузнецов дал общую картину современного состояния авиапрома.

Авиапром сегодня - это 270 предприятий различной формы собственности, на которых работают 349 тыс. человек. Из них в

прикладной науке и ОКБ, а это 25 организаций, работает 12 тыс. ученых, конструкторов и других специалистов.

В 2013 г. выручка авиапрома составила 650 млрд руб., а в 2014 г. - 868 млрд руб., что в ВВП страны составило 1,1 %.

Что касается темы конференции, то В.Д. Кузнецов привел такие цифры: стендовая база насчитывает 2400 объектов, из которых 500 принадлежат науке. Износ - 60 %! Средний возраст эксплуатации 23 года, в авиационной науке - 20 лет. А это солидный возраст. Лидер - аэродинамическая труба в ЦАГИ, которая создана в 1932 г., работоспособна, но работой не загружена.

Весь мир переходит на новый 6-й технологический уклад (это новые технологии, материалы, это гиперзвук, это беспилотная авиация, особенно военная). А мы пока на 4-м...

В прошлом году на развитие материальной базы выделено - 27,5 млрд руб. На этот, 2015 год - 40,1 млрд руб. Это немалые деньги, тем более, что в начале 21 века на развитие выделялось всего 100 млн руб., да и совсем недавно, в 2010 г. - около 3 млрд рублей. Как видим, внимание к авиапрому у государства есть, но опять беда: значительные суммы из выделяемых денег на развитие, в том числе и на создание стендовой базы не используются, а лежат на счетах банков. Да и многое из того, что было построено, простаивает.

В конце своего выступления В.Д. Кузнецов предложил создать новую госкорпорацию "Росавиапром", а все существующие авиационные корпорации влить туда на правах главков. Тем самым возродить, в некоторой степени, бывшее в СССР Министерство авиационной промышленности.

А.Н. Попов - директор департамента системной интеграции



В.Д. Кузнецов

ООО "НПП "МЕРА" рассказал о том, что основной потребитель продукции предприятия - авиационная и космическая отрасли. И если в начале деятельности НПП "МЕРА" (1992 г.) заказчик не спрашивал о наличии сертификатов на оборудование, то теперь требования очень серьезные. В НПП "МЕРА" накоплен значительный опыт по созданию сложных систем по испытаниям авиационной техники, в т.ч. двигателей. И теперь "МЕРА" готова стать центром компетенции по



А.Н. Попов и один из слайдов его презентации

создаваемым стендам для исключения ошибок у тех, кто впервые заказывает стендовую базу.

НПП "МЕРА" не стремится соревноваться с дешевой техникой, создаваемой в Китае, а ориентируется на изделия, которые есть у одной-двух компаний в мире. Так, например, специалистами "МЕРЫ" создан измеритель вибрации лопаток дискретно-фазовым методом.

Далее А.Н. Попов рассказал о возможностях разрабатываемых НПП "МЕРА" стендов и бортовых измерительных системах.

Еще один представитель ООО "НПП "МЕРА" А. Петров рассказал о бортовой системе мониторинга нагрузок при лётных испытаниях самолёта Бе-200 и информационно-измерительной системе испытаний двигателя ПД-14 на летающей лаборатории Ил-76ЛЛ.



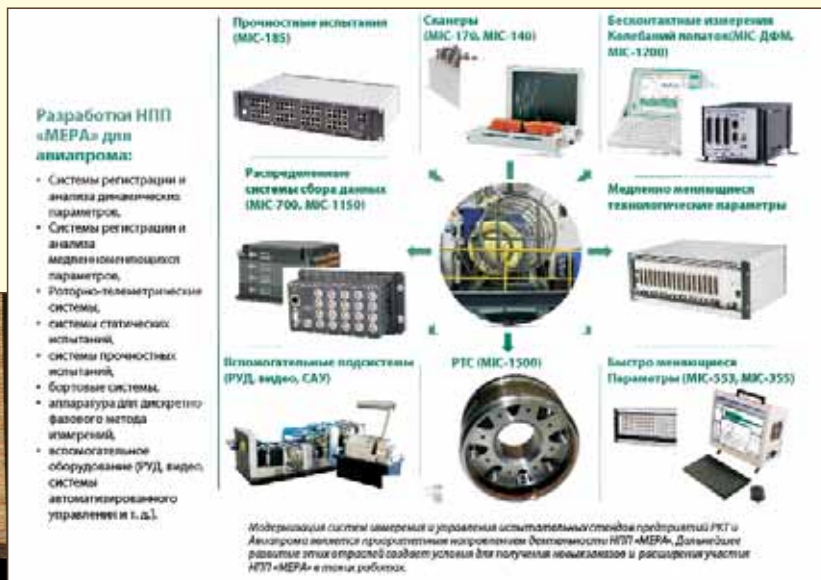
И.А. Потапов

Подвел черту под выступлениями представителей НПП "МЕРА" его генеральный директор И.А. Потапов. В своем выступлении он отметил, что предприятие, продолжая совершенствовать наземные стендовые системы испытаний, приступило к созданию бортовых систем. Кроме этого, сейчас расширяется спектр предлагаемых разработок - в их числе такое направление, как мехатроника.

Предприятие уже приступило к поискам тех решений, кото-



Д.А. Иванов



В.А. Царюк

зу и давно работает с Российскими железными дорогами, что позволит обеим компаниям расширить совместный бизнес.

С докладами выступили представители науки, промышленности и КБ.

Так, об эксплуатации стенда статических испытаний двигателя ПД-14, разрабатываемого на ОАО "Авиадвигатель" рассказал начальник отделения лабораторно-статических испытаний А.Б. Сенкевич. О стендовой базе ГНЦ "ЦИАМ им.

П.И. Баранова" поведал В.А. Палкин.

Об интересном решении при создании стенда для испытаний редукторов и трансмиссии вертолетов доложил главный конструктор ОАО "Редуктор-ПМ" Д.А. Иванов. Из-за невозможности проведения статических испытаний, испытаний с перегрузкой на существующем натурном стенде было предложено создать механически замкнутый стенд. Помимо расширения объемов проводимых исследований удалось значительно сократить стоимость одного часа испытаний и отказаться от ГТД, заменив его электродвигателем, и тем самым решить экологические проблемы стенда.

Не менее интересными были и другие выступления.

ОАО "АВИАЦИОННЫЕ РЕДУКТОРЫ И ТРАНСМИССИИ - ПЕРМСКИЕ МОТОРЫ"				
5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ВР-40, ВР-14, ВР-24				
Ресурсные показатели	Передаваемая нагрузка		Полная мощность двигателя	
Ресурс назначенный, час	15 000		2х2360	2х2830
Ресурс до 1 ремонта, час	10 000			
Срок службы назначенный, лет	25		1125	1350
Частота вращения	ВР-5А	ВР-14	ВР-24	
входных валов об/мин	12 000	15 000	15 000	
вала НВ, об/мин	192	192	240	

Из презентации Д.А. Иванова



ИННОВАЦИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

ФГУП ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова":

Александр Сергеевич Новиков, д.т.н., заместитель генерального директора института,

Тельман Джамалдинович Каримбаев, начальник отдела,

Алексей Анатольевич Луппов, начальник сектора

Дмитрий Викторович Афанасьев, научный сотрудник

Михаил Александрович Мезенцев, инженер первой категории

За много лет в ЦИАМ создан научно-технический задел по изучению композиционных материалов, инновационным приемам проектирования деталей авиационных двигателей из них, специфическим методам переработки исходного сырья композиционных материалов в детали и изделия авиационной техники, особенностям технологии испытаний и процедуры квалификационных испытаний конструкций из композиционных материалов. Накопленный опыт решения описанных в статье инновационных задач, связанных с проблемой применения композиционных материалов в авиационных двигателях, может и должен быть использован для доводки ряда деталей (прежде всего, рабочих лопаток вентиляторов) до VI уровня технологической готовности с последующим внедрением разработок в перспективные конкурентоспособные отечественные двигатели различного назначения.

For many years in CIAM the scientific and technical potential for the study of composite materials, innovative methods of developed elements of aircraft engines from its, specific methods re-processing of raw materials of composite materials in parts and products of aviation technology, the technology structures made of composite materials features testing and procedures qualification testing. The experience described in the article innovative tasks associated with the problem of application of composite materials in aviation engines, can and should be used for finishing some of the details (especially of the blades of the fans) to VI level of technological readiness with the subsequent introduction of the development of competitive domestic engines for various purposes.

Ключевые слова: турбореактивный двигатель, лопатки вентиляторов, инновации, полимерные композитные материалы.
Keywords: turbofan engines, fan blades, innovation, polymeric composite materials.

Введение

Используемые и разрабатываемые в настоящее время композиционные материалы (КМ) можно разделить на пять основных групп: полимерные (ПКМ), металлические (МКМ), интерметаллидные (ИМКМ), керамические (ККМ) и углерод-углеродные (УУКМ) с покрытиями. Каждая группа КМ представляет для отечественного авиационного двигателестроения новый класс материалов, требующий совершенно иных подходов на всех этапах их освоения и применения - от этапа выбора материала и проектирования до технического обслуживания и ремонта изделий в составе двигателя. На рис. 1 представлена область использования КМ различных типов по уровню предельно допустимых температур. Авиационный двигатель является объектом, во всех узлах которого могут найти применение современные КМ различного типа.

Любое использование КМ в силовых элементах авиационных двигателей является скачком в развитии двигателестроения и внедрением инновационных подходов. Таким скачком был 1995 г, когда фирма Дженерал Электрик в двигателе V поколения GE-90 на основе более 30-летнего мирового и собственного опыта впервые использовала лопатки вентилятора из углепластика. Сегодня это уже углепластиковые лопатки

IV поколения фирмы GE и разрабатываемые широкохордные лопатки из углепластика всех других ведущих зарубежных двигателестроительных фирм.

Ничто не может родиться без потребности и без надлежащей подготовленности. Сегодня в отечественном двигателестроении проблемы потребности создания новых конкурентоспособных двигателей постепенно поднимаются на должную для России высоту. Однако подготовленность для решения таких задач относительно низка, особенно, на уровне чиновников, от решения которых во многом зависит развитие отрасли и которые, в большей мере, заняты текущими делами, чем инновационными проблемами и научно-техническим заделом.

Ниже в работе описаны глубокие инновационные проблемы, без понимания которых и без надлежащей работы над которыми на стадии НИР и ОКР трудно рассчитывать на получение ожидаемых дивидендов от применения КМ. Применение КМ, отличающихся, прежде всего, малой массой, повышенной удельной прочностью, жесткостью и внутренним сопротивлением (демпфирование), позволяет по сравнению с деталями из традиционных металлических материалов снизить массу отдельных деталей от 10 до 50%, повысить долговечность узлов от 5 до 25%, снизить на несколько процентов или исключить отбор воздуха на охлаждение в отдельных узлах двигателя. При этом экономичность двигателей может возрасти от 3 до 8%.

Инновации на этапе выбора материала и проектирования конструкции

Выбор материала в отличие от металлов основан на многокомпонентности и неоднородности структуры КМ. Традиционными методами (компетентность поставщиков, качество сырья, стоимость и т.д.) выбираются не только материалы наполнителя и матрицы будущего КМ, форма их поставки, но и множество сопутствующих материалов (разбавители, отвердители, клеи, самоклеющиеся пленки, краски и т.д.)

В отличие от металлических конструкций при использовании КМ проектирование детали начинается с проектирования материала детали. Как правило, материал детали имеет слоистую, тканую, вязаную или ячеистую структуру. При проектировании материала детали пытаются направление армирующих волокон совместить в каждой точке изделия с направлением

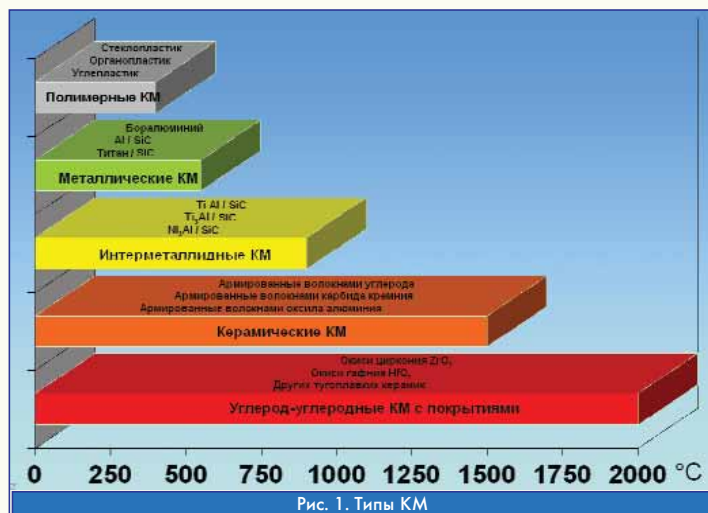


Рис. 1. Типы КМ

ем главной оси действующих напряжений. Это особенно важно в областях действия максимальных напряжений. Для деталей простой геометрической формы (прямолинейные силовые стержни без узлов крепления, вантовые конструкции, цилиндрические кольца и т.д.) такая задача относительно проста и решается применением однонаправленно-армированных КМ. В этих узлах большей частью применяются МКМ, ПКМ. Для деталей сложной геометрической формы (прежде всего, это широкохордные рабочие лопасти вентиляторов современных ТРДД) задача является сложной, многоэтапной и, как правило, она решается итерационными методами [1]. В ЦИАМ разработана и на примере широкохордных лопастей вентилятора отработана технология построения внутренней структуры и оптимизации характера армирования отдельных монослоев для обеспечения жесткости и прочности изделия в целом. Технология основана на разработанной в ЦИАМ процедуре представления материала изделия в форме совокупности монослоев с размерами, соответствующими размерам промышленно поставляемых тканей, ленты, и оптимизации полей напряжений и перемещений с использованием как собственных расчетных моделей, так и коммерчески доступных программ типа ANSYS, LS DYNA.

В отличие от металлов при проектировании изделий из КМ по кратковременной прочности в ЦИАМ используются многокритериальные подходы, позволяющие оценить возможности зарождения различных типов повреждений и различных форм разрушения в структурных компонентах КМ. Например, наиболее вероятны возможности зарождения повреждений в материале матрицы в слоях с направлением армирования, ортогональным главному напряжению. Аналогичные подходы используются также при оценке длительной прочности. Следует заметить, что во многих работах при оценке длительной прочности изделий из КМ применяются опробованные при проектировании металлических изделий модели линейного суммирования. В ЦИАМ с осторожностью относятся к таким правилам, считая что они должны быть модернизированы при оценке длительной прочности деталей из КМ. Действительно, модель линейного суммирования предсказывает одинаковый уровень истощения несущей способности детали при любой последовательности приложения нагрузок [1 и 2]. Имеются экспериментальные результаты, в том числе собственные, которые показывают, что результат истощения несущей способности детали из КМ зависит от того, какая из нагрузок приложена сначала: большая или меньшая по величине.

Модели допускаемой повреждаемости и одна из её базовых основ как степенной или обобщенный закон Пэриса, применяемые в оценках усталостной долговечности металлических конструкций, оказываются недостаточно обоснованными моделями долговечности для деталей из КМ. Это утверждение основано на том, что в КМ зарождение и рост повреждений обусловлены развитием не одной доминирующей трещины, как в металлических изделиях, а множеством видов повреждений, каждый из которых вносит свой собственный вклад в истощение несущей способности изделия. Возможные технологические или эксплуатационные повреждения в материале матрицы, в материале наполнителя, на границе их раздела и сложное (чаще всего непредсказуемое) взаимодействие этих типов повреждений приводит к необходимости разработки и применения более сложных математических моделей развития повреждений, чем модель Пэриса. Интегральные подходы роста пористости в деталях из КМ с хрупкой матрицей разработаны и используются в ЦИАМ [2].

Модели безопасной долговечности с использованием S-N кривых усталости и правило линейного суммирования для оценки усталостной долговечности требуют модификации при использовании КМ. В ЦИАМ выполнены теоретические и экспериментальные работы по использованию зависимости остаточной прочности от циклов нагружения при прогнозировании S-N кривых усталости.

В ЦИАМ разрабатываются математические модели роста повреждений для оценки изменения собственных частот колебаний деталей (в основном рабочих лопастей). Зарождение и развитие повреждений приводит к изменению (в основном снижению) изгибной и крутильной жесткости материала детали. Разработанные модели развития повреждений используются в ЦИАМ для расчетных оценок при установлении границы автоколебаний.

Новые подходы должны использоваться при изучении высокоскоростных процессов, связанных с проблемами обеспечения безопасности полета при обрыве рабочей лопасти вентилятора и/или при попадании в тракт двигателя посторонних предметов, прежде всего, таких как крупные птицы. В ЦИАМ эти задачи решаются на основе изучения кинематики контактного взаимодействия ударяемого тела и преграды, а также с привлечением структурной модели материала преграды. На этой базе проектируется материал преграды (корпуса вентилятора) такой структуры армирования и с такими характеристиками жесткости, которые при движении ударника (например, рабочей лопасти при её обрыве) с высокой скоростью позволяют вовлечь в процесс сопротивления удару как можно больший объем материала преграды (например, корпуса) [3].

Новые уровни температур могут быть освоены при применении ККМ и УУКМ для изготовления отдельных неохлаждаемых или охлаждаемых с меньшими затратами воздуха на охлаждение деталей турбины, камеры сгорания газогенератора. Эти инновации требуют разработки и внедрения новых способов проектирования, переработки материалов в изделия авиационной техники, экспериментальных исследований при высоких, в том числе, стехиометрических уровнях температур. Например, требуют разработки и применения новых методов проектирования, учитывающих не только новые уровни рабочих температур изделия, но и особенности как механических и физических свойств керамических и углерод-углеродных КМ и их структурного строения, так и их совместимость с соседними деталями и узлами двигателя при этих новых условиях. Эти сложные технические проблемы относятся не только и не столько к упомянутой проблеме проектирования. Они относятся к совокупности упомянутых многосторонних проблем, которые могут найти решение только на основе целевой государственной программы создания и использования ККМ в авиационной, ракетной, космической и других отраслях промышленности. Инновационные работы, проводимые в рамках научно-исследовательских программ в ЦИАМ совместно с ВИАМ, ЦНИИМ и др. организациями по исследованию ККМ применительно к МГТД, не могут конкурировать с зарубежными достижениями. Тем не менее даже решение частной задачи внедрения ККМ в МГТД позволило ЦИАМ сформировать базовую инфраструктуру, которая позволяет на основе разработанных методов проектирования, технологий изготовления и испытаний создавать экспериментальные образцы новой техники, а именно:

- соплового аппарата из дисперсно-упрочненного ККМ для МГТД и вертолетного двигателя,
- жаровой трубы из ККМ для МГТД,
- сепаратора из УУКМ,
- тел качения шарикоподшипников из различных керамических материалов,
- "холодную" заготовку рабочего колеса ТВД МГТД,
- рабочие колеса осевого и центробежного компрессора из ПКМ, в том числе, высокотемпературного для МГТД и вертолетного двигателя.

Рациональное использование в авиационных двигателях КМ различного типа с их новыми свойствами и возможностями невозможно не только без разумного проектирования материала деталей двигателя при сохранении их традиционной аэродинамической формы, но и без существенного изменения их конструктивного облика. Ниже приведены только два примера инновационных конструктивных решений при применении КМ. Одним из таких



Рис. 2. Новые конструктивные и технологические решения

примеров является составная конструкция рабочей лопатки биротативного вентилятора с силовыми элементами в виде несущих стержней и с тонкой обшивкой на профильной части лопатки. Разработанные и спроектированные в ЦИАМ модели составной конструкции рабочей лопатки изготовлены с применением МКМ и ПКМ и испытаны в ЦИАМ (см. рис. 2. а). Другим примером являются усиленные МКМ диски рабочих колес, в том числе, бездисковые конструкции типа "блинг" (см. рис. 2. б). Разработанная в ЦИАМ модель рабочего колеса ТВД МГТД (см. рис. 3. а) является уникальным примером рационального использования необычных свойств КМ в изделиях такой сложной геометрической формы и назначения. В ЦИАМ разработана модель МГТД с наружным валом (см. рис. 3. б), обеспечивающим работу рабочих лопаток ТВД из монолитной керамики и ККМ в более благоприятных для этих материалов условиях сжатия и изгиба. Разработанные, изготовленные и испытанные в ЦИАМ экспериментальные образцы рабочих колёс осевого и центробежного компрессоров МГТД могут найти широкое применение в двигателестроении.

Инновации на стадии переработки материала в изделия

При изготовлении деталей авиационных двигателей из любого из перечисленных типов КМ используется совершенно новая, отличная от того, что использовалась для металлов, технология изготовления. Даже такая простейшая операция, как механическая обработка, требует совершенно других режимов обработки (скоростей осевой подачи, рабочих оборотов, режимов охлаждения, вытяжки и т.д.), новых приспособлений, способов крепления и т.д. При этом технологии механической обработки деталей из ПКМ, МКМ, ККМ и УУКМ существенно отличаются друг от друга. Механическая обработка деталей из ПКМ, МКМ, ККМ и УУКМ должна выполняться с соблюдением правил экологической безопасности, вредности и чистоты



Рис.3. Новые конструктивные и технологические решения

производства, которые должны отвечать более жестким требованиям, чем при обработке металлических изделий.

Технология переработки КМ в изделия является многостадийной. Она основана на:

- специфических приемах контроля качества исходных материалов [4];
- разработке, изготовлении и использовании своеобразной технологической оснастки, разной для различных КМ и технологий;
- использовании соответствующего типу применяемого КМ технологического оборудования;
- подготовке преформ в соответствии с типом КМ для дальнейшей их переработки;
- соблюдении режимов (давление, температура, время) переработки КМ, которые для каждого типа КМ свои;
- своеобразии последующих технологических операций (механическая обработка, покраска и т.д.);
- специфическом неразрушающем контроле качества изделия.

Обеспечение разработанной на стадии проектирования материала схемы выкладки монослоев изделия является новой технологической задачей. Она требует разработки особых технологических приемов как на стадии подготовки монослоев к дальнейшим технологическим операциям, так и в процессе технологической переработки преформы в изделие. Инновационные решения этой трудной технологической задачи особенно для деталей сложной геометрической формы обеспечивают получение изделия с проектными механическими и эксплуатационными характеристиками. В этой цепи особо стоит проблема изготовления изделий с идентичными параметрами (размеры, масса, жесткость и т.д.) при их массовом производстве с выполнением общих требований о минимальных затратах и времени и средств. Решению этих проблем, при изготовлении широкохордных рабочих лопаток вентиляторов направлено, например, патент [5].

В ЦИАМ освоены новые модифицированные технологические приемы создания деталей авиационных двигателей из ПКМ (полноразмерные широкохордные рабочие лопатки вентиляторов изделий, модельные лопатки биротативного вентилятора) и даже из ККМ на этапе их холодной переработки (элементы камеры сгорания) на основе RTM (Resin Transfer Moulding)-технологий. По сравнению с традиционной технологией подготовки препрега и автоклавного (или прессового) формования метод формования трансферной пропиткой (RTM-технологией) имеет ряд преимуществ. Этими преимуществами являются:

- низкая стоимость технологического оборудования (нет необходимости в автоклавах, прессах, машинах для пропитки связующего - подготовки препрегов);
- возможности для интегрального соединения металлических вкладышей, устройств наружного покрытия и защиты в единой прессформе;
- низкие капитальные затраты за счет меньшего количества необходимой технологической оснастки;
- улучшенная пропитка волокна;
- пониженное содержание пор;

- снижение стоимости материалов (нет операции подготовки или закупки препрега);
- стабильное качество композиционного материала в изде-лии;
- снижение трудоемкости и повышение КИМ;
- сокращение времени на изготовление;
- улучшение условий труда (отсутствие вредных выделений).

Много частных новых технологических задач приходится решать при использовании инновационных технологий. Такими решенными в ЦИАМ задачами являются, например:

- конструктивное и технологическое формирование тече-ния вязкого полимера при изготовлении рабочей лопа-тки вентилятора методом RTM-технологии;
- приспособление для автоматизированной прецизионной обработки заготовок тел качения из дисперсно-упрочненных керамических композиционных материалов;
- способ "сварки" полок и профильной части лопаток в составных конструкциях соплового аппарата из дисперсно-упрочненных керамических композиционных материалов;
- технология холодной переработки керамообразующего по-лимера при создании деталей камеры сгорания из ККМ и т.д..

Технологическое оборудование для переработки каждого типа КМ является своеобразным. При этом переработка КМ одного типа в изделие может выполняться на основе различных конкурирующих технологических приёмов (например, изгото-вление лопаток на основе автоклавной технологии и RTM-тех-нологии), которые используют различное технологическое оборудование. Выбор способа переработки основан на конструктивной форме изделия (технология намотки для тел вращения, технология прессования для тел типа панелей и пластин) и требованиях к детали по условиям его применения.

Наряду с технологическим оборудованием уникальным явля-ется технологическая оснастка, индивидуальная для отдельных де-талей. Большинство конструкций технологической оснастки для изготовления различных деталей спроектировано и изготовлено в ЦИАМ. Для изготовления спроектированной в ЦИАМ оснастки для рабочей лопа-тки вентилятора и для рабочего колеса ТВД бы-ли привлечены другие организации. В ЦИАМ изготовлены техно-логические оснастки для жаровой трубы, модели рабочих лопа-ток, сепаратора из УУКМ и многое другое.

Инновации на стадии испытаний материала и доводки изделия

Новые методы испытаний образцов и деталей двигателей из КМ, прежде всего, связаны с тем, что материал является анизотропным, и в зависимости от структуры армирования материала изделия приходится определять соответствующее характеру армирования большое число независимых упругих и прочностных характеристик, необходимых для рабочего проектирования изделия. Эти характеристики в соответствии с требованиями нормативных материалов должны быть опре-делены с учётом условий эксплуатации (температура, влаж-ность, вибрация, агрессивность среды (масло, топливо, мою-щее средство и т.д.).

В отличие от металлов, где общая квалификация материа-ла достаточна для того, чтобы приступить к проектированию рабочей конструкции, при применении КМ сведения общей квалификации КМ используются только на стадии концептуаль-ного проектирования изделия. Данные общей квалификации КМ, представленные разработчиком материала, могут быть использованы только для проектирования материала детали. Как было выше отмечено, необходимо показать, что спроекти-рованный материал детали с индивидуальной для неё схемой армирования может быть технологически реализован. Специ-альные квалификационные испытания, подтверждающие свой-ства спроектированного материала детали, являются новым этапом, присущим только КМ, в пирамиде испытаний, которая является обязательной.

Важными элементами упомянутой пирамиды испытаний явля-ются её этапы, касающиеся испытаний конструктивно-подобных элементов и стендовых испытаний полноразмерных изделий в ус-ловиях, приближенных к эксплуатационным. Инновационными, бе-зусловно, являются, например, разработанные в ЦИАМ:

- конструкции двухзамковых образцов, выполненные по "ло-паточной" схеме армирования, испытания которых на кратковре-менную прочность и малоцикловую усталость позволяют экспери-ментально установить несущую способность хвостовика широко-хордной рабочей лопа-тки вентилятора и её долговечность;
- метод испытаний и конструкция хвостовика рабочей ло-патки ТВД из дисперсно-упрочненного ККМ;
- исследования стойкости на удар предварительно растя-нутых образцов из КМ и т.д..

Прочностная доводка созданных на технологическом участке ЦИАМ полноразмерных изделий проводится на стен-дах испытательной лаборатории, стендах отделения и ЦИАМ. Инновационными являются:

- технология испытания полноразмерной широкохордной рабочей лопа-тки вентилятора на малоцикловую усталость на установке Instron 8805;
- технология испытания полноразмерной широкохордной рабочей лопа-тки вентилятора на многоцикловую усталость на вибростенде УВЭ 10/5;
- технология испытания полноразмерной широкохордной рабочей лопа-тки вентилятора на разгонном стенде Т14-01.

В ЦИАМ создана необходимая инфраструктура для вы-полнения квалификационных испытаний КМ. Испытательная лаборатория аттестована АРМАК.

Выводы

Особенности композиционных материалов всех типов та-ковы, что технология создания деталей и узлов авиационных двигателей из них может привести к положительным результа-там только при условии неразрывной взаимосвязанности техно-логий проектирования, изготовления и испытаний. Иннова-ционные разработки ЦИАМ в области создания и исследова-ния полноразмерных широкохордных рабочих лопаток венти-лятора из углепластика, сопловых аппаратов из высокотемпе-ратурной турбины из дисперсно-упрочненного керамического КМ, керамических тел качения шарикоподшипников, неметал-лических сепараторов должны найти применение в двигателях. Однако, для этого события необходимо пройти большой путь создания научно-технического задела, соответствующий шес-тому уровню технологической готовности.



Литература:

1. Каримбаев Т.Д., Луппов А.А., Афанасьев Д.В. -Рабочие ло-патки вентиляторов из углепластика для перспективных двигателей, Журнал Двигатель № 6(78+243), 2011, стр.2-7.
2. Каримбаев Т.Д., Мыктыбеков Б., Панова И.М. - Математи-ческие модели нелинейного деформирования однонаправленно-армированных композиционных материалов - Труды ЦИАМ №1334, Москва, 2005, 160 стр.
- 3 Каримбаев Т.Д., Чернышов А.А. - "Устройство для удержания оборвавшихся лопаток или их фрагментов в турбореактивном дви-гателе" Патент РФ №133879, 2013 г.
4. Каримбаев Т.Д., Луппов А.А., Афанасьев Д.В., Пальчиков Д.С. - О формировании технических требований на полимерный матери-ал перспективной рабочей лопа-тки вентилятора ТРДД - Двигатель, №6(96), 2014, стр.1-8.
5. Каримбаев Т.Д., Афанасьев Д.В., Мартовский С.В., Колга-нов С.П., Деревянных Ю.А., Даньшин К.А. - "Устройство для полу-чения многослойной заготовки слоистых изделий" - Патент РФ №2419541, 27 мая 2011 г.

Связь с авторами: karimbayev@ciam.ru

ЖИДКОСТНОЕ ТРЕНИЕ В ПОДШИПНИКАХ И ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ НА КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ТЕЛ КАЧЕНИЯ

Юрий Борисович Назаренко, к.т.н., ведущий конструктор АО "НПЦ газотурбостроения "Салют"

Рассматривается жидкостное трение в роликовых подшипниках на основе гидродинамической теории смазки. На основе решения дифференциальных уравнений течения жидкости, которые связывают давление, скорость, сопротивление сдвигу, определены дополнительные силы, действующие на ролики в зоне масляного клина.

Considered fluid friction in roller bearings on the basis of hydrodynamic theory of lubrication. It's based at the solution of the differential equations of fluid flow, which connect the pressure, velocity, shear strength, defined additional forces acting on the rollers in the zone of the oil wedge.

Ключевые слова: роликовый подшипник, вязкость, частота вращения ротора, контактные напряжения, масляный клин.
Keywords: roller bearing, viscosity, revolution frequency of the rotor, contact stresses, oil wedge.

Введение

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

1 Гидродинамика вязкой жидкости при ламинарном течении масла между двух пластин

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. 1).



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 - напряжение 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:

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

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 найдем из граничных условий при задании скоростей на границах пластин. Верхняя пласти-

на набегает на жидкость со скоростью V и прогоняет ее через сужающийся зазор.

Этот процесс можно рассмотреть в обратном движении пластин. Для этого сообщим всей системе обратное движение. Интересующее нас относительное движение пластин при этом не изменится, но в обратном движении верхняя пластина остановится, а нижняя пластина и жидкость будут двигаться со скоростью V_{Π} . Тогда скорость потока на границах пластин будет равна $V = 0$ при $y = 0$ и $V = V_{\Pi}$ при $y = h$.

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:

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

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:

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

Пренебрегая величинами малого порядка малости при малом α и подставляя в (8) расход жидкости на входе $Q = Vh_1$, определим давление жидкости в середине пластины:

$$P = -\frac{6\mu V}{\alpha} \left[\left(\frac{1}{h_{cp}} - \frac{1}{h_1} \right) - h_1 \left(\frac{1}{h_{cp}^2} - \frac{1}{h_1^2} \right) \right] = \frac{3\mu V}{\alpha} \frac{\Delta h}{h_1^2}. \quad (9)$$

где h_1 - начальная величина зазора; Δh - уменьшение высоты зазора, $\Delta h = L \sin \alpha$; L - длина пластины; α - угол наклона верхней пластины.

В случае движения двух пластин - верхней со скоростью V_1 и нижней со скоростью V_2 , и при скорости потока, направленного навстречу движения пластин V_{Π} , давление жидкости будет равно:

$$P = -\frac{6\mu}{\alpha} \left[(V_1 + V_2) \left(\frac{1}{h_{cp}} - \frac{1}{h_1} \right) - h_1 (V_1 + V_{\Pi}) \left(\frac{1}{h_{cp}^2} - \frac{1}{h_1^2} \right) \right] = \frac{3\mu V}{\alpha} \frac{\Delta h}{h_1^2} (V_1 - V_2 + 2V_{\Pi}). \quad (10)$$

2 Течение масла между роликом и внешним кольцом

При вращении внутреннего кольца подшипника, на котором находится вал ротора, и при подаче масла форсунками на торец подшипника поток масла будет протекать между роликом и внешним кольцом (рис. 2) со скоростью $V = f \cdot \pi \cdot d_b \cdot d_n / 2 \cdot (d_b + d_w)$, где f - частота вращения ротора, Гц и d_b , d_n , d_w - диаметр беговой дорожки внутреннего, внешнего кольца и ролика, мм.

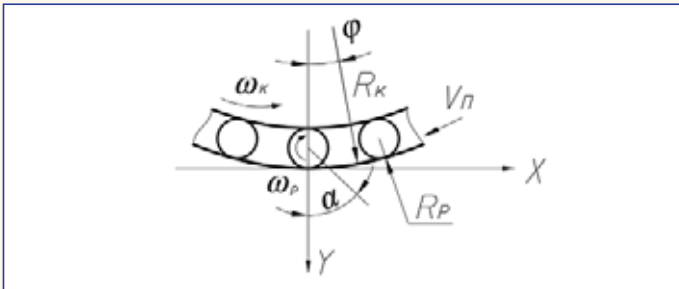


Рис. 2 Течение жидкости в подшипнике



Рис. 3 Бомбинированность ролика

Зазор под роликом будет определяться его бомбинированностью и примем его в виде усредненного значения b (рис. 3).

В цилиндрической системе координат зазор между роликом и внешним кольцом в радиальном направлении будет равен:

$$h_1 = b/2 + (R_p - R_p \cos \alpha) - (R_k - R_k \cos \varphi), \quad (11)$$

где R_p и R_k - радиусы ролика и беговой дорожки кольца; b - превышение радиуса в среднем сечении ролика относительно торцевого радиуса.

Раскладывая в ряд Тейлора выражение (11) при малых значениях углов α и φ и учитывая соотношение между ними $\varphi = \alpha R_p / R_k$, будем иметь:

$$h_1 = \frac{b}{2} + \frac{R_p \alpha^2}{2} - R_k \frac{(\alpha R_p / R_k)^2}{2}. \quad (12)$$

Подставляя (12) в (9), установим давление жидкости в зазоре между роликом и кольцом при определенном угле α и нулевом давлении на входе:

$$P_1 = \frac{\eta}{\left[\frac{b}{2} + \frac{R_p \alpha^2}{2 R_k} \xi \right]^2}, \quad (13)$$

где ξ - параметр, равный $\xi = R_k - R_p$; $\Delta \alpha$ - интервал разбиения, $\Delta \alpha = 0,025$; η - параметр, равный:

$$\eta = \frac{0,075 \mu V R_p R_k}{\xi};$$

V - скорость течения масляного потока перед роликом.

При разбиении дуги окружности ролика в зоне зазора, где давление имеет максимальные величины, на четыре участка будем иметь среднее давления на ролики:

- в первом интервале $0 < \alpha < 0,025$

$$P_1 = \eta (b/2 + R_p 0,025^2 \xi / 2 R_k)^{-2},$$

- во втором интервале $0,025 < \alpha < 0,05$

$$P_2 = \eta (b/2 + R_p 0,05^2 \xi / 2 R_k)^{-2},$$

- в третьем интервале $0,05 < \alpha < 0,075$

$$P_1 = \eta (b/2 + R_p 0,075^2 \xi / 2 R_k)^{-2},$$

- в четвертом интервале $0,075 < \alpha < 0,1$

$$P_1 = \eta (b/2 + R_p 0,1^2 \xi / 2 R_k)^{-2}.$$

Интегрируя выражение (13) численным методом и учитывая, что давление перед роликом и за ним будет одинаковым, установим суммарную силу, которая будет действовать на ролик в радиальном направлении:

$$F = 2 \int_0^{\alpha} P_i f \cdot R_p d\alpha = 2 \sum_{i=1}^n (P_i + P_{i+1}) f \cdot R_p \Delta \alpha. \quad (14)$$

Принимая интервал разбиения равным $\Delta \alpha = 0,025$ и количество интервалов - четырем, а также начиная суммирование с четвертой зоны, где давление минимально при задании давления на входе в зазор каждого интервала от предыдущего, будем иметь:

$$F = \lambda [P_1 + 2(P_2 + P_3 + P_4)], \quad (15)$$

где λ - параметр, равный:

$$\lambda = 2 R_p \cdot 0,025 f.$$

Здесь f - длина ролика.

Гидродинамические силы, действующие на ролики, уменьшают контактные напряжения тел качения, и это увеличивает долговечность подшипников.

Наибольший эффект гидродинамического влияния масляного слоя будет иметь место при эксплуатации подшипников с зазором между дорожками колец и роликами, так как в этом случае контактные напряжения на наиболее нагруженном ролике увеличиваются, и долговечность подшипника уменьшается [3].

Люфты подшипников изменяются на режимах эксплуатации и определяются частотой вращения ротора, температурой среды и подачей масла для охлаждения подшипника. На некоторых режимах зазоры могут иметь большие величины.

Гидродинамические силы могут компенсировать влияние больших люфтов подшипника. Для подшипника задней опоры турбины низкого давления двигателя АИ-222-25 гидродинамическая сила на каждом ролике, передающем нагрузки на внешнее кольцо, на режиме 100 % составит 8,2 Н. Это приведет к увеличению фактической долговечности подшипника при его люфте 20 мкм на 7,8 %.

Литература

1. Иванов М.Н. Детали машин. М.: Высшая школа. 1991. - 383 с.
2. Дж. Бэтчелор. Введение в динамику жидкости. М.: Мир. 1973. - 760 с.
3. Назаренко Ю.Б. Новое в динамике роторов газотурбинных двигателей и проблемы межроторного подшипника двигателя АЛ-31Ф. М.: ООО "Компания МЕГА-АРТ". 2014. - 110 с.

Связь с автором: nazarenkojb@rambler.ru



ДВС С АККУМУЛЯТИВНЫМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ РАСШИРЕНИЕМ РАБОЧЕГО ТЕЛА

Александр Фроимович Равич, к. ф-м. н.,

Вячеслав Николаевич Опришко, профессор, к.т.н., д. фил. н., ФГОУ ВПО Саратовский Гос. Аграрный ун-т им. Н.И.Вавилова

Сергей Николаевич Богданов, профессор, д.т.н., Моск. автомобильно-дорожный гос. техн. университет, (МАДИ)

Изложены результаты анализа нетрадиционного термодинамического цикла – аккумулятивного ПДВС, абстрактной модификации идеального цикла Дизеля, где процесс изобарного предварительного расширения осуществляют при постоянной плотности рабочего тела.

The results of the analysis of unconventional thermodynamic cycle accumulative ELVS, abstract modification of the ideal cycle of a Diesel engine, where the isobaric process pre-expansion is carried out at a constant density of the working fluid.

Ключевые слова: поршневой двигатель, изобарное расширение, плотность рабочего тела, аккумулятивный процесс, цикл Дизеля.

Keywords: piston engine, isobaric expansion, the density of the working fluid, accumulative process, the Diesel cycle.

Постановка задачи:

При всём многообразии рабочих циклов и конструкций поршневых двигателей внутреннего сгорания (далее ПДВС), реализованных до настоящего времени, неизменным остаётся способ преобразования теплоты в полезную работу в процессе рабочего хода поршня в цилиндре при закрытых клапанах, т.е. в процессе расширения замкнутого рабочего объёма. Такой традиционный способ осуществления рабочего цикла предопределяет существенное ограничение максимально возможной величины КПД и порождает проблемы, обусловленные неравномерной динамикой движения поршня и недостаточно широкой возможностью в выборе альтернативных видов топлива.

В статье изложены результаты анализа нетрадиционного термодинамического цикла, реализация которого позволила бы существенно увеличить энергоэффективность и решить обозначенные выше проблемы ПДВС.

Рассматривается абстрактная модификация известного идеального цикла Дизеля, отличающаяся от оригинала тем, что процесс изобарного ($p = \text{const}$) предварительного расширения осуществляют при постоянной плотности рабочего тела ($r = \text{const}$). Далее термодинамический процесс с $p = \text{const}$ и $r = \text{const}$ называется аккумулятивным, а ПДВС с аккумулятивным предварительным расширением рабочего тела – аккумулятивным ПДВС.

Отметим важную для последующего изложения особенность аккумулятивного процесса расширения: масса $m = r \cdot V$ рабочего тела изменяется (аккумулируется) пропорционально объёму V от $m_1 = r \cdot V_1 = 0$ до $m_2 = r \cdot V_2$ при изменении V от $V_1 = 0$ до $V_2 \gg 0$ (т.е., синхронно с процессом расширения, непрерывно осуществляется ввод извне в освобождаемое рабочее пространство соответствующего количества рабочего тела). Это принципиально отличается от динамики рабочего тела в "классических" термодинамических процессах расширения, в которых m фиксировано ($m = \text{const}$) и $r = m/V$ изменяется обратно пропорционально V от $r_1 = m/V_1$ до $r_2 = m/V_2 < r_1$ ($V_1 < V_2$).

Ожидаемый эффект

Для обоснования практической значимости предмета обсуждения сравним энергоэффективность аккумулятивного процесса расширения и изобарного процесса расширения фиксированной массы рабочего тела.

В качестве универсальной оценки энергоэффективности термодинамического процесса (или цикла) здесь и далее принята удельная, на единицу массы рабочего тела, теоретическая (индикаторная) работа данного процесса (цикла).

Вычислим сравнительную оценку энергоэффективности $\Theta_{i/cz} = l_i / l_{cz}$, где l_i – энергоэффективность процесса аккумулятивного расширения f :

$$(p, r): (p_i, r_i) \Rightarrow (p_f, r_f), \quad V: 0 \Rightarrow V_f, \quad m: 0 \Rightarrow m_f, \quad r: r_i;$$

l_{cz} – энергоэффективность процесса "классического" изобарного расширения cz :

$$(p, r): (p_c, r_c) \Rightarrow (p_z, r_z), \quad V: V_c \Rightarrow V_z, \quad m: m_z, \quad r: r_c \Rightarrow r_z.$$

Имеем (используя известные формулы работы изобарного процесса [6]):

$$l_i = p_i (V_f - 0) / m_f = p_i / r_f;$$

$l_{cz} = p_c (V_z - V_c) / m_z = p_c (V_z / m_z) \cdot (1 - 1/\rho) = (p_c / r_z) \cdot (\rho - 1) / \rho$, где $\rho = V_z / V_c = r_c / r_z$ – степень предварительного расширения рабочего тела в цикле Дизеля [2,3].

Искомая общая сравнительная оценка энергоэффективности аккумулятивного процесса расширения:

$$\Theta_{i/cz} = l_i / l_{cz} = \frac{p_i / r_f}{p_c / r_z \cdot (\rho - 1) / \rho} = \frac{p_i / r_f}{p_c / r_z} \cdot \frac{\rho}{\rho - 1}.$$

Уравняем параметры состояния рабочего тела в сравниваемых процессах, полагая:

$$p_i = p_c \quad \text{и} \quad r_f = r_z \quad (\text{кстати, последнее выполняется, в частности, при "геометрическом" уравнивании } V_f = V_z, \quad m_f = m_z).$$

В результате, из данного выше выражения $\Theta_{i/cz}$ получим приведённую сравнительную оценку $\Theta_{i/cz} = \rho / (\rho - 1)$ и, принимая во внимание [2,3] $\rho = 1.2 \dots 1.7$, в цифрах, $\Theta_{i/cz} = l_i / l_{cz} = 2.4 \dots 6$.

Таким образом, аккумулятивный процесс на порядок (в 2.4...6 раз) энергоэффективнее изобарного процесса расширения фиксированной массы рабочего тела.

Разумеется, для того, чтобы перейти от полученной сравнительной оценки энергоэффективности аккумулятивного предварительного расширения к сравнительной оценке энергоэффективности рабочего цикла аккумулятивного ПДВС в целом, необходимо учесть энергозатраты на генерацию рабочего тела. Это и является целью представленного в статье термодинамического анализа. Главный результат – доказательство существенной конкурентоспособности аккумулятивного ПДВС по сравнению с термодинамически сопоставимым традиционным ПДВС.

Схемы реализации

1. Компаунд-схема. Реально осуществлённым прототипом проекта аккумулятивного ПДВС можно считать известную в ретроспективе (в "продвинутом" паровозостроении в первой половине прошлого века) компаунд-машину последовательного расширения пара. Принципиальное отличие проекта от прототипа состоит в том, что вместо парового котла используется последовательность компрессор $\Rightarrow$ камера сгорания постоянного давления, генерирующая на входе в силовой агрегат стационарный рабочий газовый поток (продуктов сгорания). При этом, согласно концепции компаунд-схемы, процессы предварительного (аккумулятивного) и последующего ("классического") расширения рабочего тела осуществляются в отдельных цилиндрах.

В локальных обсуждениях возможной реализации проекта в таком виде "вырисовалась" проблема газодинамических потерь, обусловленных перетеканиями рабочего тела из цилиндров предварительного расширения в цилиндры последующего расширения. И, хотя анализ и обсуждение способов решения этой проблемы выходит за рамки данной статьи, однако, для полноты картины, следует отметить, что такая же, даже в ещё более сложном виде, проблема достаточно эффективно решена для двигателей Стирлинга [4].

2. Классическая схема. Принципиальное отличие этой схемы от вышеописанной компаунд-схемы состоит в том, что процессы предварительного и последующего расширения рабочего тела осуществляют последовательно в одном цилиндре – т.е., как в

обычном ПДВС. При этом, обозначенная выше проблема газодинамических потерь снимается "с повестки дня", однако возникает ещё не исследованная до конца проблема синхронизации процесса генерации рабочего газового потока с процессами рабочего цикла в цилиндрах силового агрегата аккумулятивного ПДВС.

3. Пульсирующий аккумулятивный ПДВС. Принципиальное отличие этой схемы от описанных выше состоит в том, что вместо камеры сгорания постоянного давления используется пульсирующая камера сгорания, которая генерирует дискретный рабочий газовый поток, аккумулирующий в процессе предварительного расширения рабочее тело с давлением не ниже давления сжатия и с плотностью, меньшей плотности сжатия в компрессоре. При этом, отдельно взятый "серийный" микропроцесс генерации дискретного заряда рабочего газового потока включает последовательно формирование рабочей смеси, сгорание рабочей смеси при постоянном объёме и термодинамическое расширение рабочего тела. Ожидаемый эффект - увеличение энергоэффективности в результате частичной рекуперации энергетических потерь в процессах сжатия и расширения [5].

Методология

Методология представленного в статье анализа термодинамики рабочего цикла аккумулятивного ПДВС исходит из общепринятой методики термодинамического анализа и расчёта обычного ПДВС [2,3] в части определения индикаторных параметров рабочего тела (давление, температура, плотность) и рабочего цикла (КПД, мощность, удельный расход топлива...) с учётом энергетических затрат на генерацию рабочего тела.

Задача определения эффективных параметров, учитывающих механические и другие энергетические потери, обусловленные конкретной конструкцией ПДВС, здесь не рассматривается.

Исследуемый теоретический аккумулятивный рабочий цикл можно изобразить в виде циклической последовательности процессов $\dots \rightarrow b \rightarrow f \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow \dots$, где

b - процесс генерации рабочего тела (далее р.т.),

f - процесс предварительного аккумулятивного расширения р.т.,

d - процесс последующего адиабатного расширения (фиксированной массы) р.т.,

e - процесс выпуска отработанного р.т..

В статье рассматриваются аккумулятивные ПДВС с камерами сгорания постоянного давления (компаунд- или классическая схема реализации). В этом случае $b = c \rightarrow z$, где

c - процесс адиабатного сжатия воздуха в компрессоре,

z - процесс изобарного расширения генерируемого рабочего тела в камере сгорания.

В принципе, для определения индикаторных параметров анализируемого идеального рабочего цикла выбор схемы реализации не имеет значения, т.к. достаточно задать параметры состояния рабочего цикла в начальных и конечных точках составляющих цикл процессов. Однако, с целью упрощения и большей наглядности последующего изложения, далее принята компаунд-схема реализации.

Таким образом, рассматривается аккумулятивный ПДВС с генератором непрерывного стационарного рабочего газового потока и с силовым агрегатом, включающим

- цилиндры предварительного расширения (далее **Ц1**);

- цилиндры последующего расширения (далее **Ц2**) большего рабочего объёма;

- систему газораспределительных каналов, обеспечивающих транспорт рабочего тела от камеры сгорания (далее **КС**) к **Ц1**, от **Ц1** к **Ц2** и от **Ц2** на выпуск;

- механизмы, обеспечивающие синхронизацию газораспределительных каналов и отбор мощности в процессе рабочего цикла.

Последовательность (**Ц1**→**Ц2**) образует тандем-блок.

Здесь и далее рассматривается минимальная конфигурация аккумулятивного ПДВС, включающая два работающих в противофазе тандем-блока.

Обозначения

Далее используются следующие обозначения:

p-давление (МПа), **ρ**-плотность (кг/м³), **T**-температура (K),

V-объём (м³), **G**-расход рабочего тела (за ход поршня кг, секундный кг/с);

индексы **a'**, **c'**, **z'**, **f'**, **d'** обозначают, соответственно,

a - параметры состояния воздуха на впуске,

c - процесс сжатия воздуха (в компрессоре),

z - процесс подвода теплоты (в **КС**),

f - процесс предварительного расширения (в **Ц1**),

d - процесс последующего расширения (в **Ц2**).

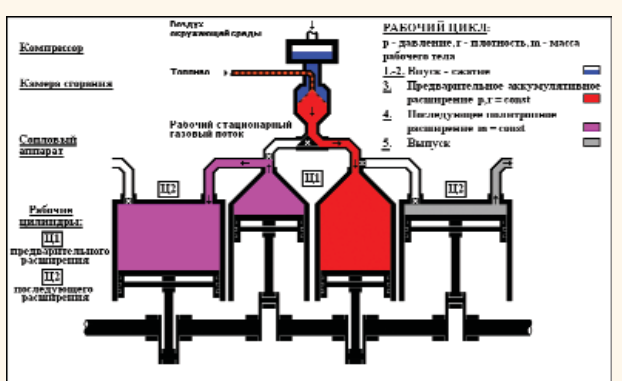
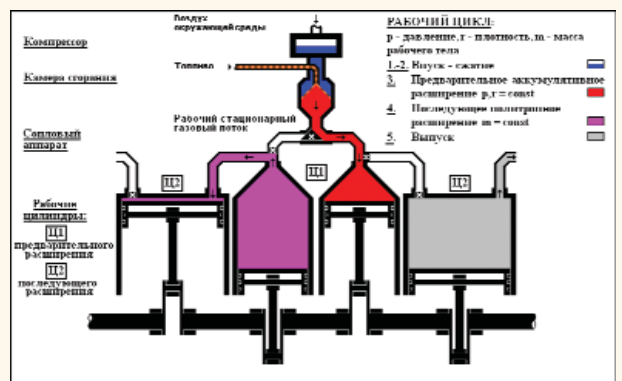
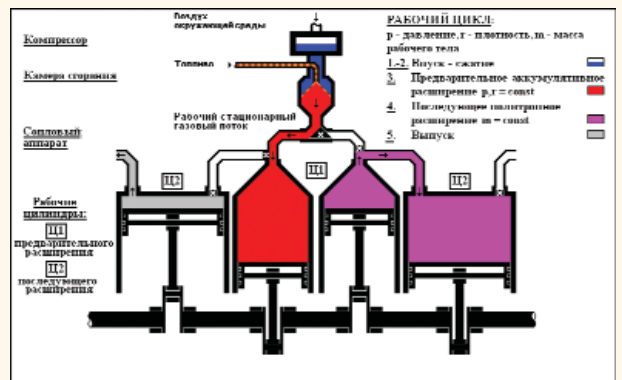
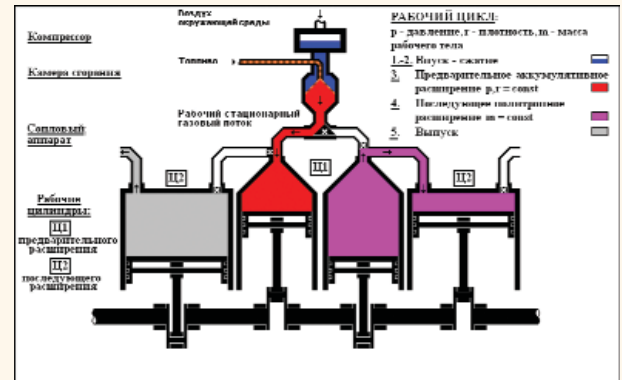


Рис. 1 Циклограмма работы двигателя

1. Термодинамика рабочих процессов

1.0. Формирование рабочего газового потока.

Последовательность (компрессор $\Rightarrow$ **КС**) формирует рабочий стационарный газовый поток с параметрами:

давление $p_z = p_c$, плотность $r_z = (R_c / R_z) r_c T_c / T_z$, где

p_c , r_c , T_c - соответственно, давление, плотность, температура рабочей смеси (далее р.с.),

T_z - температура р.т. в конце процесса сгорания,

R_c , R_z - удельная газовая постоянная, соответственно, р.с., р.т. (МДж/(кг·К)).

При этом $T_c \ll T_z$, и, следовательно, $r_z \ll r_c$. Это обстоятельство предопределяет направление движения рабочего газового потока от камеры сгорания в рабочие цилиндры и предотвращает (в "расчётном" режиме) реверс из камеры сгорания в компрессор (помпаж).

1.1. Предварительное расширение.

В цилиндрах **Ц1** предварительного расширения осуществляется аккумулятивный процесс с параметрами рабочего тела:

плотность $r_f = r_z = \text{const}$, давление $p_f = p_z = \text{const}$.

Необходимое условие "аккумулятивности" **Ц1**:

$V_f = G_{zs} / r_z$, где

V_f - объём **Ц1** (м³), $G_{zs} = \text{const}$ - расход рабочего тела за полный ход поршня (кг).

В этом случае работа предварительного расширения в **Ц1**

$$L_1 = p_z V_f = (p_z / r_z) G_{zs} \quad (\text{МДж}).$$

1.2. Последующее расширение.

В процессе последующего расширения рабочее тело воздействует на поршень в **Ц1** и

на поршень в **Ц2**. С учётом отрицательной работы расширения в **Ц1** (против движения поршня), суммарная работа политропного расширения в тандем-блоке **Ц1** $\Rightarrow$ **Ц2**

$$L_d = (p_d V_d - p_a V_a) / (n_d - 1) \quad (\text{МДж}), \text{ где}$$

V_d - объём (м³) **Ц2**,

p_d - давление (МПа) рабочего тела в **Ц2** в конце расширения,

n_d - показатель политропы расширения.

1.3. Суммарная полезная работа в тандем-блоке (МДж)

$$L_{td} = L_1 + L_d = p_z V_f + (p_d V_d - p_a V_a) / (n_d - 1) = p_z V_f + (p_z V_f - p_a V_d) / (n_d - 1)$$

2. Сравнение с обычным ПДВС

2.1. Постановка задачи.

Объекты сравнительного анализа.

Прототип (1) - обычный четырёхтактный ПДВС, работающий по смешанному термодинамическому циклу Тринклера-Сабате.

Проект (2) - предлагаемый аккумулятивный ПДВС.

Способ сравнения. Сравнение величин энергоэффективности проекта **Ц2** и прототипа **Ц1** при одинаковых условиях генерации рабочего тела.

Исходные условия.

Применительно к обозначенным выше объектам сравнительного анализа требование одинаковых условий генерации рабочего тела означает, в общем случае,

$$L_{c(2)} = L_{c(1)} \text{ и } \Delta q_{(2)} = \Delta q_{(1)}, \text{ где}$$

L_c - удельная работа сжатия воздуха (МДж/кг рабочего тела),

Δq - удельное количество подведённой теплоты (МДж/кг рабочего тела).

Этому требованию удовлетворяют следующие принятые здесь исходные условия сравнительного анализа:

1) $p_{a(2)} = p_{a(1)}$, $r_{a(2)} = r_{a(1)}$, $p_{c(2)} = p_{c(1)}$, $r_{c(2)} = r_{c(1)}$, где p_a , r_a и p_c , r_c - давление, плотность воздуха, соответственно, в начале и в конце процесса сжатия;

2) одинаковый состав рабочей смеси (воздух, топливо);

3) $G_{zs(2)} = G_{zs(1)}$, $G_{zs(2)} = G_{zs(1)}$, где G_{zs} , G_{zs} - расход рабочего тела, соответственно, секундный (кг/с), за ход поршня (кг).

2.2. Сравнительный анализ.

2.2.0. Удельная работа цикла (МДж/кг рабочего тела).

Удельная работа для прототипа:

$$L_{(1)} = L_{zd} - L_{c(1)}, \text{ где}$$

L_{zd} - суммарная удельная работа расширения в рабочем цилиндре,

$L_{c(1)}$ - удельная работа сжатия воздуха в рабочем цилиндре.

Удельная работа для проекта:

$$L_{(2)} = L_{fd} - L_{c(2)}, \text{ где}$$

L_{fd} - суммарная удельная работа в рабочих цилиндрах тандем-блока,

$L_{c(2)}$ - удельная работа сжатия воздуха в компрессоре.

При этом, так как $L_{c(2)} = L_{c(1)} = L_c$ (исходные условия, 2.1.), то сравнение величин

$L_{(1)}$ и $L_{(2)}$ сводится к сравнению величин L_{fd} и L_{zd} .

2.2.1. Удельная работа расширения в рабочих цилиндрах прототипа [2,3].

$$L_{zd} = L_1 + L_2, \text{ где}$$

$L_1 = p_{z(1)} (1/r_{z(1)} - 1/r_c) = p_{z(1)} / r_{z(1)} - \lambda p_c / r_c$ - удельная работа (изобарного) предварительного расширения;

$L_2 = (p_{d(1)} / r_{d(1)} - p_{d(1)} / r_{d(1)} (n_{d(1)} - 1))$ - удельная работа (политропного) последующего расширения;

p_c , r_c - соответственно, давление (МПа), плотность (кг/м³) рабочей смеси;

$p_{z(1)}$, $r_{z(1)}$ - соответственно, давление (МПа), плотность (кг/м³) рабочего тела в конце процесса предварительного расширения;

$\lambda = p_{z(1)} / p_c > 1$ - степень повышения давления,

$p_{d(1)}$, $r_{d(1)}$ - соответственно, давление (МПа), плотность (кг/м³) рабочего тела в конце процесса последующего расширения,

$n_{d(1)}$ - показатель политропы расширения.

Из предыдущего следует

$$L_{zd} = p_{z(1)} / r_{z(1)} + p_{z(1)} / r_{z(1)} - p_{d(1)} / r_{d(1)} (n_{d(1)} - 1) - \lambda p_c / r_c.$$

2.2.2. Удельная работа расширения в рабочих цилиндрах проекта.

Из 1.3. и исходных условий 2.1 следует

$$L_{fd} = L_{fd} / G_{zs} = p_c / r_{z(2)} + (p_c / r_{z(2)} - p_{d(2)} / r_{d(2)}) / (n_{d(2)} - 1), \text{ где}$$

$r_{d(2)}$ - плотность (кг/м³) рабочего тела в конце расширения в **Ц2**.

2.2.3. Абсолютная сравнительная оценка $\Delta_i = L_{(2)} - L_{(1)} = L_{fd} - L_{zd}$.

Искомая оценка Δ_i далее находится из системы уравнений 2.2.1.-2. и известных уравнений процесса сгорания для смешанного способа подвода теплоты.

Для единицы массы рабочего тела (кг) эти уравнения сгорания имеют вид:

$$\Delta q = \Delta u + \Delta i \quad (\text{МДж/кг рабочего тела}), \text{ где}$$

Δq - удельное количество подведённой теплоты,

$\Delta u = u_z - u_c$ - удельное количество внутренней энергии рабочего тела,

$u_z = (R_z / R) \cdot mcV[T_0, T_z] \cdot (T_z - T_0)$ (количество внутренней энергии в конце процесса),

$u_c = (R_c / R) \cdot mcV[T_0, T_c] \cdot (T_c - T_0)$ (количество внутренней энергии в начале процесса);

$\Delta i = p_z (1/r_z - 1/r_c)$ - удельная работа изобарного расширения рабочего тела в процессе,

T_c , T_z - температура (К), соответственно, р.с., р.т. в конце процесса сгорания (1.0),

$T_0 = 273.15 \text{ K}$, $R = 10^{-3} \cdot 8.3144(3) \text{ МДж/кмоль} \cdot \text{K}$ - универсальная газовая постоянная,

R_c , R_z - удельная газовая постоянная, соответственно, р.с., р.т. (МДж/(кг·К)),

$mcV[T_1, T_2] = (mcV(T_0, T_2) \cdot (T_2 - T_0) - mcV(T_0, T_1) \cdot (T_1 - T_0)) / (T_2 - T_1)$ - теплоёмкость (МДж/(кмоль·К)) р.т. в интервале температур $[T_1, T_2]$.

Для прототипа и проекта, соответственно:

$$\Delta i_{(1)} = p_{z(1)} / r_{z(1)} - p_{z(1)} / r_c = p_{z(1)} / r_{z(1)} - \lambda p_c / r_c = R_z \cdot T_{z(1)} - \lambda R_c \cdot T_{c(1)},$$

$$\Delta i_{(2)} = p_{z(2)} / r_{z(2)} - p_{z(2)} / r_c = p_{z(2)} / r_{z(2)} - \lambda p_c / r_c = R_z \cdot T_{z(2)} - \lambda R_c \cdot T_{c(2)}.$$

При этом (из исходных условий, 2.1.)

$$T_{c(1)} = T_{c(2)} = T_c, \quad mcV[T_0, T_{c(1)}] = mcV[T_0, T_{c(2)}] = mcV[T_0, T_c], \quad u_{c(1)} = u_{c(2)} = u_c$$

Из предыдущего и 2.2.1, 2.2.2 и адиабатности процессов расширения

$n_d = 1 + R / mcV[T_d, T_z]$ следует ("энергетический остаток"):

$$(1) \Delta q - L_{zd} = (R_z / R) \cdot mcV[T_0, T_{d(1)}] \cdot (T_{d(1)} - T_0) - (R_c / R) \cdot mcV[T_0, T_c] \cdot (T_c - T_0),$$

$$(2) \Delta q - L_{fd} = (R_z / R) \cdot mcV[T_0, T_{d(2)}] \cdot (T_{d(2)} - T_0) - (R_c / R) \cdot mcV[T_0, T_c] \cdot (T_c - T_0) - R_c \cdot T_c.$$

Вычитание (1) - (2) даёт

$$\Delta i = (R_z/R) \cdot mcV[T_{d(2)} \cdot T_{d(1)}] \cdot (T_{d(1)} - T_{d(2)}) + R_c \cdot T_c.$$

2.2.4. Относительная сравнительная оценка $\Theta = (I_{(2)} - I_{(1)})/I_{(1)}$.
Из 2.2.1. - 2.2.3.:

$$\Theta = \Delta i / I_{(1)} = ((R_z/R) \cdot mcV[T_{d(2)} \cdot T_{d(1)}] \cdot (T_{d(1)} - T_{d(2)}) + R_c \cdot T_c) / I_{(1)}.$$

На рис. 2 представлен результат компьютерного расчёта Θ по данной формуле в виде индексированного семейства графиков $\Theta(\alpha)_{[\epsilon]}$, где переменная α - коэффициент избытка воздуха, индекс ϵ - степень сжатия воздуха, для типичных значений исходных данных (p_0, T_0, λ).

В актуальной области данных $\epsilon: [8...20]$, $\alpha: [1.2...2.6]$ функции

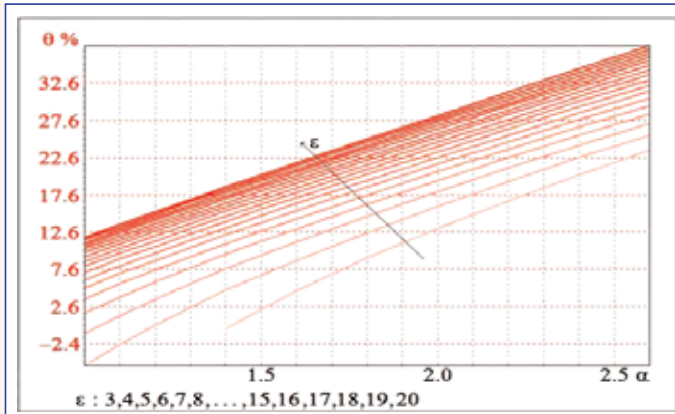


Рис. 2 Относительная сравнительная оценка $\Theta = (I_{(2)} - I_{(1)})/I_{(1)}$

$\Theta(\alpha)_{[\epsilon]}$ почти линейны и, с достаточной точностью, могут быть аппроксимированы линейной интерполяцией между узлами-вершинами, представленными (для данных графиков) в следующей таблице:

ϵ	$\Theta_{\min}$ для $\alpha=1.2$	$\Theta_{\max}$ для $\alpha=2.6$
8	7.55	29.63
20	15.32	37.62

2.2.5. КПД, мощность, удельный расход топлива.

Параметры рабочего цикла ПДВС - КПД η_i , мощность N_i , удельный расход топлива g_i являются функциями удельной работы l_i :

$$\eta_i = l_i / \Delta q = (l_i / H_0) \cdot m_z,$$

$$N_i = l_i \cdot G_z = l_i \cdot G_r \cdot m_z \text{ (МВт)},$$

$$g_i = G_r / N_i = 1 / (l_i \cdot m_z) \text{ (кг/(МВт·с))}, \text{ где}$$

H_0 - низшая теплота сгорания топлива (МДж/кг топлива),

G_r - секундный расход топлива (кг/с),

$m_z = m_0 \cdot \alpha + 1$ - количество рабочей смеси (кг рабочей смеси/кг топлива),

m_0 - теоретически необходимое количество воздуха (кг воздуха/кг топлива).

Отсюда следуют оценки

$$(\eta_{i(2)} - \eta_{i(1)}) / \eta_{i(1)} = \Theta, (N_{i(2)} - N_{i(1)}) / N_{i(1)} = \Theta, (g_{i(2)} - g_{i(1)}) / g_{i(1)} = 1/\Theta.$$

2.2.6. Результаты расчёта параметров рабочего цикла аккумулятивного ПДВС.

На рис. 3-6 представлены результаты компьютерного расчёта параметров рабочего цикла аккумулятивного ПДВС в виде индексированного семейства графиков функций $f(\alpha)_{[\epsilon]}$, где f - соответствующий параметр: N_i, η_i, g_i, p_i .

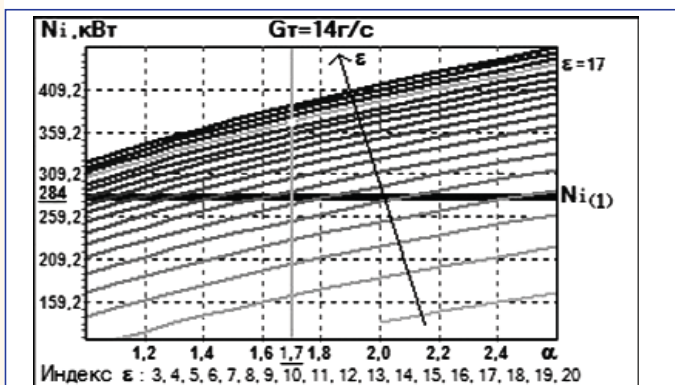


Рис. 3 $f = N_i$ - индикаторная мощность

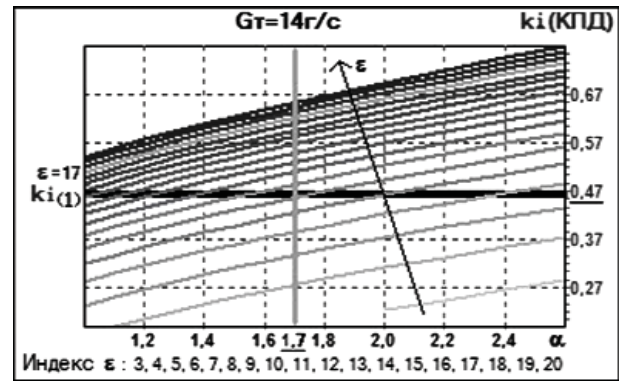


Рис. 4 $f = \eta_i$ - индикаторный КПД

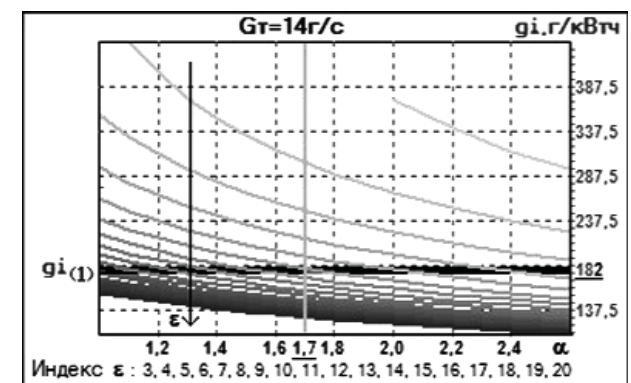


Рис. 5 $f = g_i$ - индикаторный удельный расход топлива,

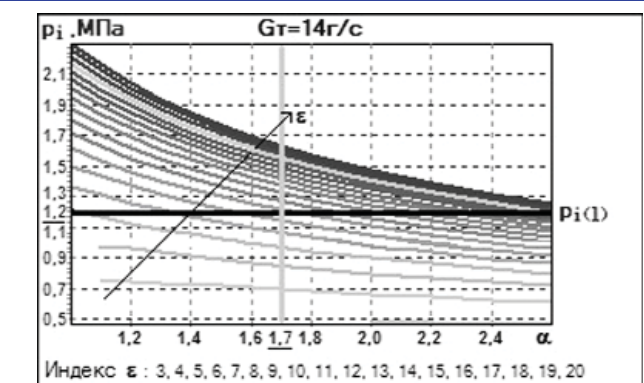


Рис. 6 $f = p_i$ - среднее индикаторное давление.

Двигатель-прототип определён данными [3]: дизель с турбо-наддувом, дизельное топливо, тактность 4, цилиндров 8,

$D=S=0.12$ м, $n=2600$ мин⁻¹, $\epsilon=17$, $\alpha=1.7$, $\lambda=1.5$, $N_i=282.8$ кВт, $\eta_i=0.47$, $g_i=182$ г/кВтч, $p_i=1.2$ МПа, расход топлива $G_r=14$ г/с.

Двигатель-проект определён условиями 3.1. и $r_{d(2)} = r_{d(1)}$.

Данные прототипа отмечены подчеркнутыми значениями на координатных шкалах и соответствующими координатными линиями "уровня".

В ниже следующей таблице сопоставлены численные значения тех же параметров для $\epsilon=17$, $\lambda=1.5$, $G_r=14$ г/с, $G_z=337.73$ г/с, $G_{zs}=4.34$ г за ход поршня $S=0.12$ м

параметр f	прототип (1)	проект (2)	$\Delta f = f(2) - f(1)$	$\theta f = \Delta f / f(1) \%$
α	1.7	1.6	-	-
N_i , кВт	282.8	346.11	63.31	22.4
η_i	0.467	145.62	36.38	20
g_i г/кВтч	182	145.62	36.38	20
p_i МПа	1.2	1.54	0.34	28

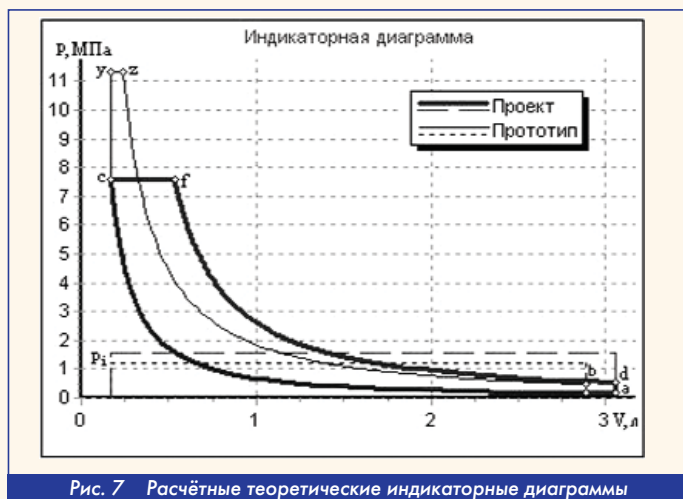


Рис. 7 Расчётные теоретические индикаторные диаграммы

2.2.7. Сравнение рабочих объёмов.

Для предлагаемого ПДВС минимальной конфигурации (2Ц1+2Ц2) сопоставимым по количеству рабочих ходов за синхронный ход поршней будет 8-цилиндровый прототип. При этом в случае одинаковых условий генерации рабочего тела, обозначенных в 2.1, суммарный рабочий объём цилиндров проекта будет существенно меньше рабочего объёма (на $\approx 44\%$ в вышеприведённом расчётном примере) цилиндров прототипа.

2.2.8. Механические потери.

Меньшее число и меньший суммарный объём рабочих цилиндров (2.2.7) означает меньшие механические потери в предлагаемом ПДВС по сравнению с прототипом. При этом эти потери будут ещё меньше вследствие более благоприятной динамики воздействия рабочего тела на поршни, исключающей вредные ударные нагрузки, характерные для прототипа.

ВЫВОДЫ

1. ПДВС с аккумулятивным рабочим циклом теоретически существенно (на 15-30%) превосходит обычный ПДВС, работающий по смешанному термодинамическому циклу Тринклера-Сабате, по основным индикаторным показателям - КПД, мощности и удельному расходу топлива.

2. Равномерная динамика давления рабочего тела в аккумулятивном ПДВС исключает вредные ударные нагрузки на поршни, характерные для обычного ПДВС, и уменьшает механические потери.

3. Осуществление процесса генерации рабочего тела посредством камер сгорания высокого давления вне рабочих цилиндров открывает возможность использования альтернативных видов топлива.

Литература

1. А.Ф.Равич, В.Н.Опрышко, А.С.Кутин. Способ осуществления рабочего цикла и устройство пятитактного двигателя внутреннего сгорания: патент РФ №2326250.

2. М.Г.Шатров, И.В.Алексеев, С.Н.Богданов и др. Автомобильные двигатели: Курсовое проектирование. М.: Издательский центр "Академия", 2011.

3. А.И.Колчин, В.П.Демидов. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высшая школа. 2008.

4. В.А.Коваленко. Тепловая машина, реализующая термодинамический цикл Рейлиса. www.holodilshchik.ru. "Холодильщик.RU". №8(56). 08.2009.

5. А.Ф.Равич. Способ осуществления рабочего цикла и устройство пульсирующего двигателя внутреннего сгорания: патент РФ № 2455507.

6. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика. М.: ВШ. 2005.

Связь с автором: ravichaf@mail.ru



11-й МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ – ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

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

19-21 мая '2015
Москва Павильон
ВДНХ №69

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ
ВЫСТАВКИ

- MetrolExpo
- Control&Diagnostic
- ResMetering
- LabTest
- PromAutomatic

20 мая - Всемирный день метрологии

СИМПОЗИУМ
«ТОЧНОСТЬ. КАЧЕСТВО.
БЕЗОПАСНОСТЬ»

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

129223, Москва, а/я 35. ул. Сельскохозяйственная, д. 35, стр. 182
Тел./Факс: +7 (495) 937-40-23 (многоканальный)
E-mail: metrol@expoprom.ru • www.metrol.expoprom.ru

ОРГАНИЗАТОР

Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России) и Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

СОДЕЙСТВИЕ

Аппарат Правительства Российской Федерации

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПАРТНЕРЫ

The International Bureau of Weight and Measures (BIPM)
International Organization of Legal Metrology (OIML)
The International Committee for Non-Destructive Testing (ICNDT)
Euro-Asian Cooperation of National Metrology Institutions (COOMET)

С ЭКСПОЗИЦИОННЫМ УЧАСТИЕМ

Минпромторг России, Минэнерго России, Минобрнауки России, МВД России, Росстандарт, Ростехнадзор, Роскосмос, ГК «Росатом», ГК «Ростехнологии», ОАО «РОСНАНО», ОАО «РЖД», Фонд «Сколково»

КОНКУРСНАЯ КОМИССИЯ

ФБУ «Ростест-Москва»



УСТРОИТЕЛЬ И ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР

Компания «Вэстстрой Экспо»

ПРОГРАММА ФОРУМА

- 11-я выставка средств измерений и метрологического обеспечения «METROLEXPO-2015»
- 4-я выставка промышленного оборудования и приборов для технической диагностики и экспертизы «CONTROL&DIAGNOSTIC-2015»
- 4-я выставка технологического и коммерческого учета энергоресурсов «RESMETERING-2015»
- 3-я выставка лабораторного, испытательного и тестового оборудования «LABTEST-2015»
- 3-я выставка КИПиА и компонентов для промышленной автоматизации «PROMAUTOMATIC-2015»
- 7-й Всероссийский симпозиум метрологов «ТОЧНОСТЬ. КАЧЕСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ»
- Всероссийская выставочно-конкурсная программа «ЗА ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ»

ЕДИНСТВО ВО МНОЖЕСТВЕ



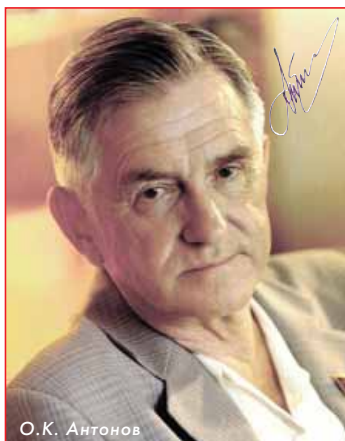
ОАО «Объединенная
двигателестроительная корпорация»
Россия, 105118, г. Москва, пр-кт Буденного, д. 16
www.uecrus.com info@uecrus.com



**Объединенная
двигателестроительная
корпорация**

ЗНАКОМСТВО С АНТОНОВЫМ

Георгий Дорфман



О.К. Антонов

Длинное предисловие, или как все начиналось...

...Сколько себя помню, был неравнодушен к самолетам. Вопрос куда идти после школы не стоял - ясное дело, к самолетам поближе! Но в аэроклубе выяснилось, что никаких самолетов и планеров там давно уже нет и вообще, аэроклуб теперь это - Саратовский учебный авиационный центр и готовит сержантов-вертолетчиков на Ми-2... По моему юношескому мнению? только в память о том, что сам Гагарин учился здесь летать на самолете, самолетную секцию надо было бы оставить хотя бы просто, как дань традиции. Короче говоря, услуги СУАЦ по подготовке армейских радистов, шоферов, телеграфистов никак не приближали меня к самолетам - их в Саратове просто не было. Смириться с таким положением дел было невозможно и я сгоряча написал заметку в местную молодежную газету "Заря молодежи", где описал плачевное состояние нашей малой авиации и сравнил с положением дел на "проклятом Западе". Когда получил свой первый гонорар, символические 3 р. 62 к. (стоимость бутылки водки в то время), в редакции меня попросили срочно явиться ... в Союз писателей. Теряясь в догадках, я пришел на Советскую 20/28. Ни колонн, ни бюстов классиков, ни маститых бородачей я там не нашел - саратовское отделение СП располагалось в обычной квартире первого этажа жилой девятиэтажки. За столом, утопая в клубах сигаретного дыма, сидел остроносый лысоватый человек с пронзительным цепким взглядом. Оглядев меня с головы до ног, он сказал: "Лихо пишешь... Садись, дружить будем". "Ты зачем заметку написал: писанины ради или у тебя за авиацию сердце болит?" Пришлось признаться, что "сердце болит" уже лет с пяти и неизлечимо... Вот так я и познакомился с тогдашним главой саратовской писательской организации, летчиком-испытателем, планеристом, парашютистом, Владимиром Борисовичем Казаковым - человеком, беззаветно влюбленным в авиацию и во всё с нею связанное. Казаков был автором многих книг авиационной тематики. Встреча эта переросла в многолетнюю дружбу старого пилота и мальчишки-студента.

Однажды в разговоре я вскользь упомянул о давнишней мечте - построить маленький бипланчик и полетать на нем. Казаков живо заинтересовался и спросил, когда же будет построен аппарат. Увы, нужных мне материалов в Саратове 1977 года в помине не было. Оговорюсь: для меня не было. Но только не для Казакова! Паравозиков на авиазавод - и на



Планер Голубь. Рисунок Олега Антонова, воспроизведенный на обложке журнала Смена № 8 за 1924 г. и саратовский Техникум, где этот планер строился



свет появляется уникальный по своей абсурдности документ, в котором говорилось, что областная писательская организация просит администрацию САЗ для ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЦЕЛЕЙ отпустить трубы 16х2, фанеру 8 и 1 мм толщиной и т.п. При всей его абсолютной сомнительности, письмо сработало и никто не задался вопросом, зачем мастерам художественного слова авиационные материалы. Через неделю, потратив около 45 рублей, я стал обладателем основных материалов для постройки...

Тем временем наши беседы с Владимиром Борисовичем продолжались, ведь к тому времени я уже недурно знал историю авиации и мог чем-то помочь, чем-то подправить мэтра. Когда однажды зашла речь о теме новой книги, я предложил тему, которая напрашивалась сама: писать об Антонове ("ОКА"). Для меня это было очевидно: юность он провел в Саратове, первые планеры построил и испытал здесь же, первый самолет, который поднял меня в воздух, был Ан-24, да и жил я через дорогу от техникума, где был построен его первый планер "Голубь". Книги о Туpoleве, Ильюшине, Лавочкине, уже были, а об Антонове - только пара его автобиографических книжек "На крыльях из дерева и полотна" и "Десять раз сначала", которые я зачитал до дыр в библиотеке. Казаков же учился летать во время войны на антоновских А-1 и А-2. А потом летал пилотом на десантном планере А-7 в партизанский край. После войны полетал на Ан-2. Короче, почва для новой книги была подготовлена и одобрена... Проблема была одна: как найти Антонова? Каково же было мое потрясение, когда через неделю после разговора о книге, выслушав мои очередные сетования на секретность Главного конструктора, Казаков молча, с хитрющим выражением лица выложил передо мной толстенный справочник Союза писателей СССР, открытый на странице "Антонов Олег Константинович, г. Киев, ул. Огарева, д. 1". Вот и вся секретность!!!

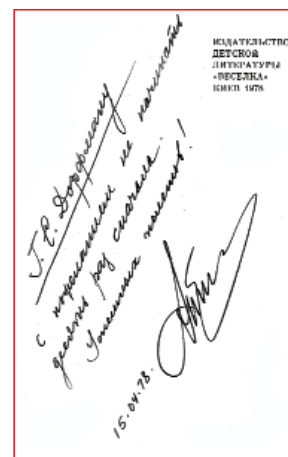


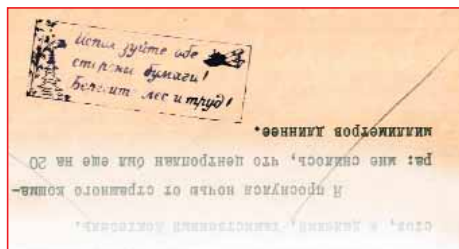
Переписка

Врать не буду, адрес Антонова буквально жег мне карман. В душе боролись боязнь помешать человеку, которого я ставил выше бога с одной стороны и целый ворох вопросов по конструкции самолета - с другой. В Саратове был авиатехникум и авиазавод, но беседы с преподавателями мне ничего не дали, а получить консультацию в КБ САЗа было просто невозможно.

Поэтому приличия быстро рухнули под натиском проблем и я написал письмо Антонову с интересовавшими меня вопросами по конструкции двухлонжеронного крыла биплана и, конечно, спросил, почему он до сих пор не построил авиетку 16 л.с., о которой писал в своих книгах.

Честно говоря, на ответ я не рассчитывал. Однако через две недели я получил большой пакет с ответным письмом и две книжки в подарок - антоновская "Десять раз сначала" с дарственной надписью и, о чудо, редчайшая книжка И.Н. Виноградова "Расчет и конструкция маломощного самолета" 1932 г. издания!





Книжка уже тогда была великой редкостью и очень помогла мне в работе.

Само письмо было написано черной ручкой на обороте какого-то перечеркнутого машинописного текста. В углу фиолетовый штампик:

изображен Ан-2 над лесом и надпись: "Используйте обе стороны бумаги! Берегите лес и труд!". Содержание письма восхитило: коротко, ясно, чувствуется, что все рекомендации дает опытный самодельщик, прочувствовавший суть дела через собственные руки. В конце постскриптум: "P.S. Сообщаю Вам адреса двух любителей, с которыми советую завязать переписку. Они испытывают те же трудности, что и Вы" и ниже адреса: Николая Николаевича Бухарова ("НикНика"), старого планериста и пилота СБ, который знал Олега Константиновича еще по Коктебелю, и Анатолия Агафоновича Балуева ("Балуева"), мастера спорта по высшему пилотажу и уникального самодельщика. Сейчас, по прошествии 35 лет, я могу только поражаться тому, насколько точен был выбор Антонова в его рекомендациях.

НикНик был одним из последних носителей бесценного опыта работы планерных кружков 30-х годов, в которых зеленая молодежь молотком и рубанком создавала чудесные планеры и летала на них. Именно у Бухарова я первый раз задумался о разумной минимализации применяемых материалов и технологий. Он прекрасно обходился минимумом материалов, даже в подкосах крыла и шасси применяя деревянные детали. Железки можно было посчитать по пальцам, а из станочного оборудования - одна дрель.

Балуев, или как его любовно называли ученики, Агафонец, ни много ни мало, научил меня летать на Як-18Т и достаточно уверенно пилотировать даже то, что летать и не должно...!

Вот такими судьбоносными оказались всего 4 строчки из письма Антонова студенту-самодельщику...

Дальше пошла переписка и вовсе удивительная. Инициатором был сам О.К. Антонов. Мне периодически приходили толстые заказные письма с вырезками из недоступных для меня журналов "Aviation magazine", "Flight international", выкопировками из книг. Однажды приходит записочка: "Напомните, не Вам ли я обещал копии статей по винтам?" Я ответил, что не мне, но все равно не откажусь. Копии я получил немедленно, причем по сей день не знаю, из каких изданий они пересняты, хотя, вроде бы, перечитал уже всё. Стоило мне спросить, какие приборы надо обязательно ставить на самолет, как немедленно пришли рекомендации, где наряду с очевидными для меня указателем скорости, вариометром, высотомером, особо фигурировал указатель поворота - скольжения с трубкой Вентури. Обезав всех знакомых, я выяснил, что приборов таких давно нет, а нынешний ЭУП-53 тяжел и автоматически тащит за собой 27-вольтовую систему питания. Поделвшись проблемой, я спросил у ОКА, можно ли заменить ЭУП подсмотренным у одного самодельщика устройством, состоявшим из здоровенной гайки М20, подвешенной на шнурке от ботинка к козырьку кабины. Ответ пришел в виде изящной коробочки из миллиметровой фанеры, в которой лежал новенький немецкий планерный ЭУП, легчайший, работающий от обычной квадратной батарейки КБСЛ. Этот ЭУП прекрасно работал на моем самолете и бережно сохраняется до сих пор.

Тем временем фюзеляж самолета постепенно обростал деталями:

появилась приборная доска, кресло, РУС, сектор газа. По случаю раздобыл у картингистов предельно изношенные "барумовские" покрышки без камер. Не найдя ничего, подходящего по размеру, я поддался на уговоры "бывалых" и заехал в колеса более крупные камеры от огорожденной тачки. За свое глупейшее желание "побыстрее попробовать" голый фюзеляж на ходу, я заплатил немалую цену. Колесо на ходу лопнуло, аппарат опрокинулся и я лишился двух зубов слева от удара об арретир столь "нужного" на бескрылом самолете высотомера и двух зубов справа от удара в ненужную ручку от Ми-1, которую я непонятно зачем воткнул в вал управления перед ездой. Каркас самолета от удара не пострадал, а мозги пилота стали на место...

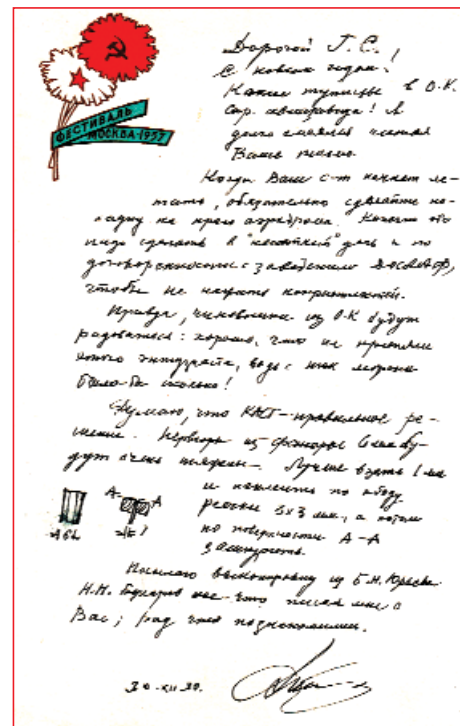
В очередном письме, смеха ради, я описал, с возможным юмором, эту глупейшую ситуацию, в которую загнал себя сам под влиянием юношеских эмоций. Утром 24 ноября 1978 года получаю телеграмму от ОКА: "Сообщите, какого размера колеса нужны". Я ответил, что от 200 до 300мм, но прекрасно обойдусь сам, колесами от мотороллера. Ровно через 20 дней пришла посылка из Киева с двумя новенькими авиационными дутиками ф255х110 от Як-12 с запиской: "Извините за задержку, я теперь требую от снабженцев, чтобы на складе был запас маленьких колес"...

Вспоминая о таких, поистине королевских подарках совершенно незнакомому человеку, я могу только гадать о причинах такого отношения к себе. Ведь для человека, который рисовал перьевой ручкой любые рисунки одним росчерком, мои тогдашние корявенькие эскизы были ужасны. И вопросы, которые я ему задавал, были крайне наивны. Единственное, что могу предположить - что ОКА как-то понял, что из авиации я не уйду и буду делать самолеты всю жизнь, несмотря на препоны. Помню, описал ему случай, как осенью 80-го года попытался устроиться на работу на Саратовский авиазавод. Разговор с кадровиком вышел великодушным.

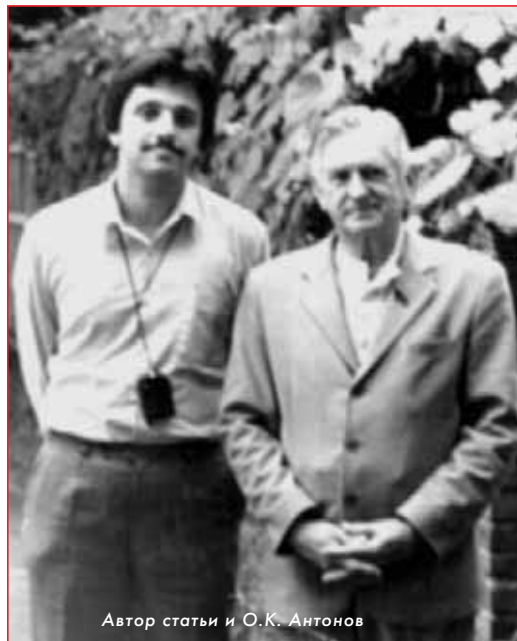
- Возьмите на работу, хочу быть ближе к самолетам...
- У вас непрофильное образование, инженером взять не могу.
- Ничего, возьмите слесарем...
- Вы не учились в ПТУ.
- Но я авиамоделлист, все умею...
- Нет, надо ПТУ.
- Тогда возьмите учеником слесаря, через полгода сдам на разряд...
- Нет. У вас высшее образование.
- Тогда возьмите инженером..."

И так по кругу 3 раза. Когда до меня дошло, что меня просто не хотят брать, я ушел, но сценку эту Антонову описал. Он ответил: "Дорогой Г.С.! ...Какие тупицы в отделе кадров Саратовского авиазавода! Я долго смеялся, читая ваше письмо."

Тем временем, работа над самолетом, хоть и с огромным торможением, очень медленно, но продвигалась. По мере продвижения постепенно до меня начал доходить глубинный смысл дарственной надписи на антоновской книжке "не начинать 10 раз сначала". Отсутствие своего помещения постоянно приводило к простоям и переселениям: из квартиры на 8 этаже - в мастерские строительста - в авиамодельный кружок - затопленный подвал Дворца Пионеров - частный



О.К. Антонов в рабочем кабинете



Автор статьи и О.К. Антонов

гараж - заводской ДОСААФ. Каждый раз потери времени, темпа, средств, материалов... Антонов за свою жизнь не один десяток раз попадал в аналогичные ситуации и именно поэтому прозорливо желал мне избежать всего того, через что прошел сам...

Личное знакомство

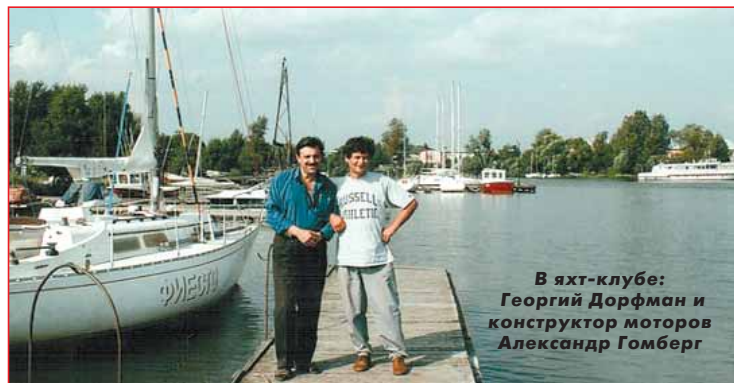
В конце июля 1982 года я женился и моя киевская тетка преподнесла царский подарок: две недели медового месяца в её пустой квартире. Я с радостью полетел туда, но не медовый месяц, а безумная идея ЛИЧНО встретиться с Генеральным влекла меня туда...

Естественно, не использовать такой шанс я не мог, и, потерпев недельку, все-таки набрал заветные цифры домашнего номера 44-12-27. Мне повезло, ОКА был дома. Я представился. Секунда молчания... "А, это вы! Приходите. Семнадцатого можете? Не могу, Олег Константинович, уезжаю на днях домой. Тогда завтра, в 9.00."

Более всего я боялся опоздать - знал, что ОКА не выносит непунктуальности. Поэтому 11 августа проснулся на всякий случай в 5 часов утра. Киевский район Святошино я не знал вообще. Пошел от метро наугад, встречные никакую улицу Огарева не знают. Очередная бабушка тоже пожала плечами и спросила: "Что там за учреждение или еще чего?" "Антонов там..." пробормотал я в отчаянии. "Тю, так бы сразу и сказав, що до Олэгу Константиновичу, а то заладив: "Огарева - Огарева", пишли, ответу, це рядом будь". Так я оказался на тихой улочке Огарева, у забора вокруг причудливой архитектуры особняка с эмблемой в виде крылатого карандаша на фасаде. Позвонил, калитка открылась, я вошел и замер... От дома по тропке на меня шустро надвигался здоровенный сенбернар. Но тут появился хозяин и крикнул: "Не бойтесь, она добрая! Место, Альма!". Мы поднялись по винтовой лесенке на второй этаж и я попал в рабочий кабинет. Огромный стол, на нем эскизы, мольберт с неоконченной картиной, теннисные ракетки, модель крыла. У оригинальной модели хвоста "Антея" я задержался. "Это решение пришло ко мне во сне", - похвалился ОКА, проследив направление моего взгляда. Множество книг, трехтомник "Справочник авиаконструктора" 1938 года, рядом тоненькая книжца, явно самиздат, "Велимир Хлебников". Ока заметил мой интерес к столь необычному соседству. Улыбнулся: "У Хлебникова хорошее изречение есть - "люди делятся на

изобретателей и приобретателей", очень верная мысль". Мы присели у явно самодельного бюро и полтора часа, с 9.00 до 10.30, проговорили и о самолетах, и о Саратове и о творческих планах. ОКА был прост, очень конкретен, но я все время чувствовал исходящую от него ауру утонченного, рафинированного интеллигента, столь редкую в наши времена. Потом ему позвонили с работы, мы вышли из дома на улицу, где уже поджидала весьма потертая Волга, я попросил шофера сфотографировать нас вместе. Жаль, рука водителя дрогнула и снимок получился не очень резким, но он мне очень дорог, как память об этом замечательном, необыкновенном человеке, который был в моей жизни... Уже в машине я набрался храбрости и спросил, какой профессией надо обладать, чтобы сейчас попасть к нему на работу. Ответ был неожиданным. "Сейчас самая для меня нужная специальность - это грамотный программист. Мы делаем сейчас весьма крупный объект и потребность в программистах огромная". Тогда я еще ничего не знал о "Русlane" и оригинальном методе раскроя обшивок, который был разработан специально для него...

Машина в это время подъехала к метро и на том мы распрощались. Я понял, что с моими навыками о Киеве можно не мечтать... Вернувшись из Киева, я с удвоенной энергией взялся за свой недоделанный мотор. Самолет временно был приостановлен из-за отсутствия дюралевых профилей на задние лонжероны крыльев. Восьмого декабря, через 3,5 месяца после моего посещения Киева, придя с работы, я обнаружил у себя гостя, антоновского снабженца, Валентина Петровича Зухара. Первая его фраза была: "Олег Константинович велел при-



В яхт-клубе: Георгий Дорфман и конструктор моторов Александр Гомберг

вести Вам дюралевые профили на крылья..." Профили, которые я искал уже 5 лет.... Выйдя из состояния соляного столба, я ночью помчался в камеру хранения аэропорта и на автобусе приволок огромный сверток домой. Развернул... Завернутые в прозрачный целлофан и перевязанные розовой ленточкой, там лежали два разных комплекта профилей, уже анодированные и загрунтованные. Я знаю, что такое счастье. Я испытал его... Что испытал Зухар, попав в заботливые руки тестя, я не знаю, т.к. в самолет мы погрузили практически бесчувственное тело...

Этот сверток был последним подарком от Антонова. 4 апреля 1984 года, узнав из новостей о его смерти, я первый раз в жизни не смог сдержать слез...

По-моему, Олег Константинович олицетворял собой высший тип человека, интеллигента и руководителя огромного современного производства. Для него всегда на первом месте были отнюдь не самолеты, а человек. И своё высокое служебное положение он использовал не наживы ради, как многие сейчас, а во благо тем, кто по его мнению, нуждался в помощи.



Георгий Дорфман у аэроглиссера своей конструкции



2 - 5 апреля 2015 г. Москва, Россия, КВЦ «Сокольники», павильон №4

XVIII Московский международный Салон
изобретений и инновационных технологий

«АРХИМЕД»



При поддержке
Департамента науки,
промышленной политики
и предпринимательства
города Москвы



Организаторы Салона: Московская городская организация ВОИР, ООО «ИнновЭкспо»



Московский
международный
Салон
изобретений и
инновационных
технологий
«АРХИМЕД»:

- Международная выставка изобретений, полезных моделей, промышленных образцов, инновационных проектов
- Международная выставка товарных знаков «Товарный знак-Лидер»
- Международная научно-практическая конференция по правовой охране результатов интеллектуальной деятельности
- Большая конкурсная программа
- Научный парк развлечений

Заявки на участие в XVIII Московском международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2015» принимаются до 25 февраля 2015 г. по адресу: 105187, г. Москва, ул. Щербаковская, д.53, к.В, ООО «ИнновЭкспо».
www.archimedes.ru, www.innovexpo.ru, e-mail: mail@archimedes.ru, mail@innovexpo.ru
Телефон / факс: +7(495) 366-14-65, +7(495) 366-03-44

ОДНОЦИЛИНДРОВЫЕ ДИЗЕЛИ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ



Одноцилиндровые дизели ТМЗ-450Д и ТМЗ-520Д предназначены для привода различной дорожно-строительной, коммунальной и сельскохозяйственной техники, насосных установок и автономных электроагрегатов. Возможно их применение в качестве стационарных двигателей малотоннажных судов. Дизели могут эксплуатироваться в различных климатических условиях в диапазоне температур окружающей среды от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$, на высокогорье, при повышенной влажности и запыленности. В конструкции дизелей применены высокопрочные материалы, которые гарантируют высокую надежность и позволяют снизить массу. Дизели имеют низкий расход топлива и в любых условиях всегда готовы к пуску. Имеются все необходимые сертификаты соответствия. Дизели ТМЗ-520Д унифицированы с дизелем ТМЗ-450Д на 90%, имеют увеличенный рабочий объем и, соответственно, более высокую мощность, такие же габаритные и присоединительные размеры. Дизели ТМЗ-520Д могут использоваться для привода минитракторов и транспортных средств малой грузоподъемности.

Дизели могут иметь вертикальное и наклонное (30° к горизонтали) расположение оси цилиндра и поставляться в различной комплектации (встроенный генератор, электростартер, фильтр очистки воздуха, глушитель, соединительная полумуфта).

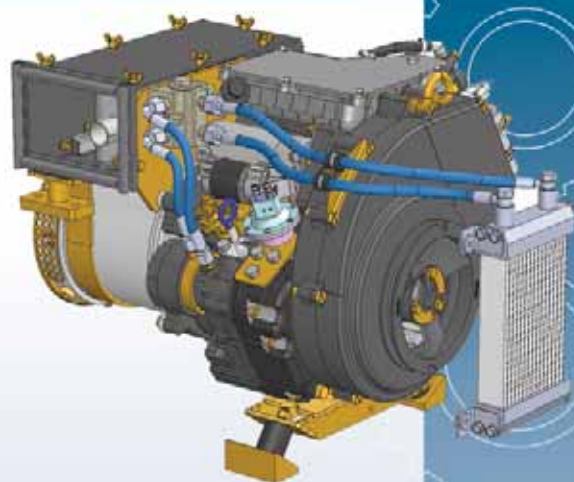
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наименование параметра	Величина параметра	
	ТМЗ-450Д	ТМЗ-520Д
Число цилиндров	1	
Диаметр цилиндра, мм	85	
Рабочий объем, см^3	454	520
Номинальная мощность, кВт при частоте вращения коленчатого вала, мин^{-1} :		
- 3000	7,0 (9,5)	8,5 (12,0)
- 3600	8,0 (11,0)	9,5 (13,0)
Удельный расход топлива $\text{г/кВт} \cdot \text{ч}$, не более, на номинальной мощности при частоте вращения коленчатого вала, мин^{-1} :		
- 3000	285	
- 3600	280	
Максимальный крутящий момент, $\text{Н} \cdot \text{м}$ ($\text{кгс} \cdot \text{м}$), не менее	22 (2,2)	26,5 (2,65)
Масса сухая без навесных агрегатов, кг, не более	59	60



ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДГУ8-П27,5-ВМ2

Дизель-генераторная установка ДГУ8-П27,5-ВМ2 предназначена для обеспечения электроэнергией постоянного тока бортовой сети различных машин при неработающем основном двигателе. Качество напряжения соответствует требованиям ГОСТ В 21999-86. ДГУ обеспечивает работоспособность средств связи, комплекса вооружения, работу фильтровентиляционной установки, прицелов и приборов наблюдения механика-водителя, зарядку аккумуляторных батарей. Дизель-генераторная установка может непрерывно, в течение 24 часов, эксплуатироваться в отсеке ограниченного объема при температуре окружающей среды от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$, влажности 98% и запыленности окружающей среды до 3 г/м^3 . Время пуска ДГУ при температуре окружающей среды -40°C с использованием системы предпускового подогрева топлива и масла в картере дизеля регламентировано и не превышает 20 мин.

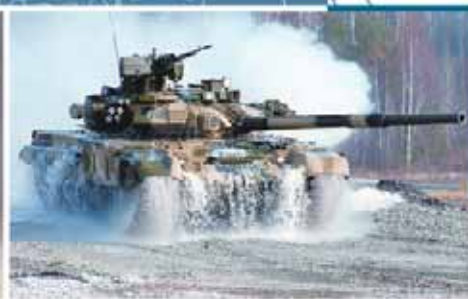


Система охлаждения дизеля: воздушная от центробежного вентилятора; имеется дополнительная система охлаждения масла в картере дизеля с помощью масляного радиатора.

Система пуска: основная – электростартером (24В) от аккумуляторных батарей; резервная – механический ручной запуск с помощью пускового шкива и шнура.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наименование параметра	Величина параметра
Электрическая мощность, кВт, не менее	8
Напряжение, В	$27,5 \pm 1$
Тип генератора	Постоянного тока, бесконтактный, одноопорный
Двигатель	дизель ТМЗ-650Д/30.24У-1 четырехтактный, с воздушным охлаждением, с уравнивающим валом и с непосредственным впрыском топлива
Расход топлива на номинальном режиме, л/ч, не более	3,5
Диапазон рабочих температур окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$	$-40 \dots +50$
Ресурс до капитального ремонта, моточас, не менее	2000
Масса без пульта управления и блока управления, кг, не более	130



К ОЦЕНКЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПАДЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ПЛОЩАДКУ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Андрей Иванович Касьян, к.т.н., доцент, МФПУ "Синергия"
Александр Николаевич Медведь, к.т.н., с.н.с., Московский университет МВД
Игорь Александрович Нестеров, к.т.н., доцент, МФПУ "Синергия"
Виталий Павлович Тандура, заслуженный штурман Российской Федерации

Статья посвящена рассмотрению возможных способов расчета вероятности падения тяжелых летательных аппаратов на площадку атомной электростанции (АЭС). Приведены алгоритм и пример результатов расчета указанной вероятности. Сформулированы нерешенные проблемы при осуществлении расчетов вероятности падения летательных аппаратов на эту площадку.

Article is devoted to the calculation of the probability of falling heavy aircrafts on nuclear power plant (NPP) site. Algorithm and an example of the results of the calculation of this probability are given. Unsolved problems in the implementation of calculations of the probability aircraft crashes to that site are stated.

Ключевые слова: атомная электростанция, вероятность падения летательного аппарата на объект, расчетные алгоритмы.

Keywords: nuclear power plant, the probability of aircraft falling on object, algorithms for calculations.

Над проблемой защиты АЭС от падения самолетов впервые задумались в шестидесятих годах минувшего века, когда началась разработка первых стандартов безопасности для таких объектов. Очевидно, что высокоскоростной удар тяжелого летательного аппарата (ЛА), содержащего к тому же большое количество топлива, относится к числу наиболее неблагоприятных воздействий, и его обязательный учет был предусмотрен российскими и зарубежными нормами проектирования АЭС, а также рекомендациями МАГАТЭ [1, 2].

Согласно российским нормам [3], в проекте АЭС обязательно должны быть приняты меры, исключающие аварию реактора вследствие столкновения со зданием энергоблока легкого самолета, совершающего полеты на внутренних авиалиниях. Аналогичное требование содержится в нормах некоторых других стран. Мероприятия, локализирующие последствия указанного инцидента, как правило, позволяют одновременно обеспечить защиту от летящих тел другой природы с близкими массами и скоростями (например, поднятых в воздух ураганом или торнадо; образовавшихся при обрушении вышерасположенных строительных конструкций и т.п.).

Падение на территорию АЭС и ее энергоблоки тяжелых самолетов, как правило, относится к числу запроектных аварий и требует принятия необходимых организационных мер для того, чтобы вероятность такого события не превышала определенного порогового значения (порядка 10^{-6} ... 10^{-7} год⁻¹). Следует отметить, что анализ опасности такого воздействия до недавнего времени основывался на предположении, что падение самолета является аварийным, т.е. непреднамеренным. Однако после террористической атаки на небоскребы Всемирного торгового центра в Нью-Йорке с применением тяжелых пассажирских самолетов, совершенной 11 сентября 2001 г., стало невозможно пренебрегать возможностью преднамеренного удара самолета в здание АЭС. В связи с этим при разработке проектов новых АЭС заказчиками стали выдвигаться требования к обеспечению стойкости этих объектов по отношению к воздействию, связанному с падением сверхтяжелых летательных аппаратов массой 400 т (Boeing 747-8, Ан-124) при скорости соударения порядка 150 и даже 200 м/с.

В настоящей статье рассматриваются вопросы безопасности АЭС, не связанные с преднамеренными атаками. Так, американский стандарт безопасности [4] для оценки вероятности падения воздушного судна (ВС) на территорию АЭС и ее энергоблоки предлагает использовать так называемую "четырёхэлементную" формулу:

$$F = \sum_{ijk} N_{ijk} \cdot P_{ijk} \cdot f_{ijk}(x, y) \cdot A_{ij},$$

где F - расчетная частота падения воздушных судов на территорию АЭС (или на энергоблоки), число событий/год;

N_{ijk} - число полетов воздушных судов j -той группы на i -том этапе полета по k -му участку маршрута (воздушной трассы);

P_{ijk} - частота аварийных ситуаций для воздушного судна j -той группы на i -том этапе полета по k -му участку маршрута;

$f_{ijk}(x, y)$ - условная плотность вероятности падения воздушного судна j -той группы на i -том этапе полета по k -му участку маршрута в результате возникновения аварийной ситуации на участок площадью в 1 кв. миль, центр которого характеризуется координатами (x, y) ;

A_{ij} - эффективная площадь АЭС (энергоблока АЭС) для воздушных судов j -той группы на i -том этапе полета, кв. миль.

$i = 1, 2, 3$ (номер этапа полета: 1 - взлет, 2 - полет по маршруту, 3 - посадка);

$j = 1, 2, \dots, 11$ (номер, соответствующий группе самолетов определенного класса);

$k = 1, 2, \dots, K$ - условный номер участка маршрута (воздушной трассы).

Данная формула представляется чрезмерно "теоретической", поскольку она предполагает наличие исходных данных, которые на практике получить далеко не всегда возможно. К примеру, затруднен сбор информации о матрице вероятностей P_{ijk} с учетом того, что число участков воздушных трасс в районе АЭС может составить несколько десятков, поэтому с учетом 11 групп самолетов, предусмотренных стандартом, число значений P_{ijk} может измеряться несколькими сотнями. Еще более эфемерной представляется получение достоверных оценок условной плотности вероятности падения воздушного судна в определенном географическом районе (американские специалисты проделали большую работу и статистически оценили соответствующие плотности вероятности для континентальной части США (CONUS), однако при этом данные разных исследователей порой отличаются на два порядка). Далее, в стандарте [4] определены лишь самые общие принципы определения эффективной площади "мишени" A_{ij} . Так, способы учета экранирования зданий АЭС рельефом местности, специальными техническими сооружениями, явления рикошетирувания воздушного судна, соприкоснувшегося с земной поверхностью при небольших углах наклона траектории, не формализованы.

Большим достоинством американской методики, по-видимому, можно считать продуманный алгоритм учета вероятности аварийного воздействия на АЭС со стороны взлетающих (приземляющихся) летательных аппаратов. Этот алгоритм предусматривает использование заранее рассчитанных полей вероятности падения ЛА с учетом типа аппаратов, положения посадочного круга относительно оси ВВП, рекомендованной скорости набора высоты (снижения) в районе аэродрома и т.п. (таблица 1).

Таблица 1 - Вероятности падения малоразмерного военного самолета на определенный участок относительно оси ВПП с отворотом вправо после выполнения взлета

ВПП	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
0,5														
0,6														
0,7														
0,8														
0,9														
1,0														
1,1														
1,2														
1,3														
1,4														
1,5														
1,6														
1,7														
1,8														
1,9														
2,0														
2,1														
2,2														
2,3														
2,4														
2,5														
2,6														
2,7														
2,8														
2,9														
3,0														
3,1														
3,2														
3,3														
3,4														
3,5														
3,6														
3,7														
3,8														
3,9														
4,0														
4,1														
4,2														
4,3														
4,4														
4,5														
4,6														
4,7														
4,8														
4,9														
5,0														
5,1														
5,2														
5,3														
5,4														
5,5														
5,6														
5,7														
5,8														
5,9														
6,0														
6,1														
6,2														
6,3														
6,4														
6,5														
6,6														
6,7														
6,8														
6,9														
7,0														
7,1														
7,2														
7,3														
7,4														
7,5														
7,6														
7,7														
7,8														
7,9														
8,0														
8,1														
8,2														
8,3														
8,4														
8,5														
8,6														
8,7														
8,8														
8,9														
9,0														
9,1														
9,2														
9,3														
9,4														
9,5														
9,6														
9,7														
9,8														
9,9														
10,0														

С другой стороны, в американском стандарте отсутствуют разделы, нормирующие правила учета опасности, создаваемой для АЭС пилотажными зонами военной авиации, а также зонами пусков ракет, стрельб и бомбометаний.

В Российской Федерации в связи с тем, что авиация общего назначения пока не получила сопоставимого по масштабам с США развития (у нас нет десятков тысяч самолетов и вертолетов в личном пользовании и столь же огромного числа частных малых аэродромов), представляется нерациональным воспроизведение "американской" методики учета опасности воздушного движения для АЭС что называется "в лоб". Здесь главная угроза исходит от летательных аппаратов, следующих по воздушным трассам, и в меньшей степени - от активности на местных воздушных линиях, для каждой из которых характерны положение оси трассы (линии), ее ширина, диапазон высот полета ЛА и частота движения в прямом и обратном направлении.

Далее описан подход, реализованный авторами при выполнении расчетов вероятности аварийного воздействия на АЭС летательных аппаратов, осуществляющих полеты по воздушным трассам.

Математическая модель для оценки вероятности падения ЛА на площадку АЭС и ее энергоблоки на этапе полета по воздушным трассам

Принято считать, что непреднамеренное падение ЛА на площадку АЭС может быть обусловлено [5]:

- техническими отказами оборудования летательного аппарата или средств управления воздушным движением;
- ошибками экипажа и группы руководства полетами ("человеческий фактор");
- неблагоприятными метеорологическими условиями.

Надзорные органы государств и ИКАО ведут учет аварий и катастроф и располагают достоверной и представительной статистикой потерь ЛА. Эмпирические частоты катастроф зависят от класса ЛА и этапа его полета. Установлено, что аварийные происшествия чаще всего происходят на этапах взлета и посадки (85...90 % аварий и катастроф). Между тем, продолжительность полета по маршруту, как правило, в несколько раз превышает время, затрачиваемое на взлетно-посадочные операции, набор высоты и снижение.

Летательный аппарат всегда отклоняется в пространстве от расчетной траектории полета. Отклонения по своей природе обусловлены ошибками самолетовождения (ошибки навигационных систем, ошибки экипажей, метеорологические факторы и т.п.). Чем выше качество навигации, тем меньше вероятность падения ЛА на отдельный энергоблок или площадку АЭС, поскольку трассы воздушных линий, зоны пилотирования и т.п., как правило, не проводят непосредственно над опасными объектами.

К числу факторов, которые следует принимать во внимание при расчете вероятности падения ЛА на площадку АЭС, можно отнести:

- номинальные значения высоты полета (эшелон) - H , плановую путевую скорость полета - W , а также минимальное боковое (плановое) отклонение траектории полета (воздушного коридора) от центра площадки АЭС (A_0) и ее энергоблоков (A_i);
- характеристики, отражающие точность навигационных систем

ЛА и параметры пилотирования (среднеквадратичное отклонение (СКО) ошибки выдерживания высоты полета σ_y , СКО боковой ошибки σ_z , ширину воздушного коридора L_{KZ});

- размах крыла ЛА, полетную массу и радиус фюзеляжа;
- размеры и конфигурацию площадки АЭС;
- размеры, ориентацию и место расположения энергоблоков на площадке АЭС;
- число рейсов ЛА, выполняемых ежегодно по каждой из трасс, проходящих в районе площадки АЭС (на рисунке 1 в качестве примера приведена структура воздушного пространства в районе возведения Белорусской АЭС);
- число вылетов ЛА государственной авиации на полигоны (в зоны отработки техники пилотирования);
- распределение числа обломков тяжелых ЛА по массам при летном происшествии и доля случаев, когда ЛА в результате летного происшествия разрушается в воздухе.



Рисунок 1 - Структура воздушных трасс, проходящих над северной частью Белоруссии в районе строительства АЭС

На маршруте (трассе) полета плотности вероятности положения ВС вдоль осей ОХ (продольной), ОУ (вертикальной) и ОZ (боковой) считаются независимыми и задаются следующим образом:

вдоль оси ОХ (направление трассы полета на рассматриваемом участке) - равномерное распределение с плотностью вероятности

$$f(x) = \frac{P_{авар}}{W} k_M, (\text{км}^{-1}),$$

где $P_{авар}$ - вероятность аварии (катастрофы) ЛА при полете по маршруту в течение одного летного часа;

W - средняя скорость самолета на трассе;

k_M - доля числа катастроф, возникающих на этапе полета по воздушной трассе;

вдоль оси ОУ (вертикальная ось в земной системе координат) - нормальное распределение с математическим ожиданием, соответствующим рекомендованной высоте трассы и СКО, которое зависит от точности выдерживания высоты (определяется точностью приборного оборудования ЛА)

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left[-\frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}\right], (\text{км}^{-1}),$$

где m_y - рекомендованная высота полета ЛА (эшелон полета);

σ_y - среднеквадратическое отклонение высоты полета ЛА относительно рекомендованной;

вдоль оси ОZ (дополняющей оси ОХ и ОУ в правой декартовой системе координат) - равномерное распределение внутри рекомендованного коридора с экспоненциальным спадом по его краям

$$f(z) = \begin{cases} \frac{k}{L_{KZ}}, & \text{при } |z| \leq L_{KZ}/2; \\ \frac{1-k}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(z-L_{KZ}/2)^2}{2\sigma_z^2}\right], & \text{при } |z| > L_{KZ}/2, \end{cases} (\text{км}^{-1}),$$

где L_{KZ} - ширина трассы (воздушного коридора);
 σ_z - среднеквадратическое отклонение боковой координаты ЛА

$$k = L_{KZ} / (L_{KZ} + \sqrt{2\pi}\sigma_z).$$

от рекомендованного коридора полета,

Указанные закономерности иллюстрируются рисунком 2.

Считается, что траектория падения ЛА является прямолинейной со следующими законами распределения угловых параметров:

- курсовой угол относительно заданной линии пути (направления трассы) распределен по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением σ_φ при этом курсовой угол по модулю не превосходит 90°

$$f(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} \exp\left[-\frac{\varphi^2}{2\sigma_\varphi^2}\right];$$

- угол снижения ЛА относительно горизонтальной плоскости ε распределен равномерно в диапазоне от 10° до 45° (угол отсчитывается вниз относительно горизонтали). Этот диапазон определен эмпирически при расследовании обстоятельств летных происшествий.

Наибольшая протяженность участка местности, на котором теоретически возможно падение ЛА при возникновении аварийной ситуации в некоторой точке воздушного пространства, приблизительно определяется номинальной высотой трассы и минимальным углом снижения ЛА при аварийном происшествии (по терминологии [5] - "дистанция отбора")

$$L_{KX} = \frac{m_y}{\operatorname{tg} 10^\circ}.$$

Указанные закономерности иллюстрируются рисунком 3.

Вероятность падения на АЭС одиночного ЛА i -го типа при полете на участке трассы длиной L_{KX} можно определить, проинтегрировав выражение

$$P_i^i = \int_0^{L_{KX}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x)f(y)f(z)P_\varphi(x,y,z)P_\varepsilon(x,y,z,\varphi)dx dy dz,$$

где $P_\varphi(x, y, z)$ - вероятность того, что траектория падающего ЛА из точки пространства с координатами (x, y, z) соответствует диапазону курсовых углов, обеспечивающих "прохождение" ЛА через площадку АЭС в горизонтальной плоскости;

$P_\varepsilon(x, y, z, \varphi)$ - вероятность того, что траектория падающего ЛА из точки пространства с координатами (x, y, z) и курсовым углом φ соответствует диапазону углов снижения, обеспечивающих "прохождение" ЛА через площадку АЭС в вертикальной плоскости.

Вероятности $P_\varphi(x, y, z)$ и $P_\varepsilon(x, y, z, \varphi)$ определяются следующим образом:

$$P_\varphi(x, y, z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} \int_{\varphi_{\min}}^{\varphi_{\max}} \exp\left[-\frac{\varphi^2}{2\sigma_\varphi^2}\right] d\varphi;$$

$$P_\varepsilon(x, y, z, \varphi) = \frac{1}{(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min})(\varphi_{\max} - \varphi_{\min})} \int_{\varphi_{\min}}^{\varphi_{\max}} \int_{\varepsilon_{\min}}^{\varepsilon_{\max}} d\varepsilon d\varphi,$$

где φ - угол визирования объекта в горизонтальной плоскости;

$\varepsilon_0(\varphi)$ - величина угла, под которым "виден" объект (площадка АЭС) в вертикальной плоскости, при текущем значении угла φ ;

$\varphi_{\min}$ и $\varphi_{\max}$ - минимальный и максимальный углы визирования площадки АЭС в горизонтальной плоскости;

$\varepsilon_{\min}$ и $\varepsilon_{\max}$ - минимальный и максимальный углы визирования площадки АЭС в вертикальной плоскости.

Если объект попадает в установленный допустимый диапазон углов лишь частично, под φ_0 и ε_0 понимаются ту часть угла, которая входит в допустимый диапазон. Если φ_0 или ε_0 не принадлежат допустимым диапазонам углов, то соответствующую вероятность полагают равной 0.

Положение и размеры энергоблока АЭС (аппроксимированного прямоугольным параллелепипедом) относительно начала системы координат определяются следующими параметрами (рисунок 4):

- координатами центра объекта x_0, z_0 в декартовой системе координат, связанной с трассой полетов;
- длиной, шириной и высотой объекта l_x, l_z, l_y ;
- углом ориентации главной оси объекта ψ относительно оси ОХ декартовой системы координат, связанной с трассой полетов.

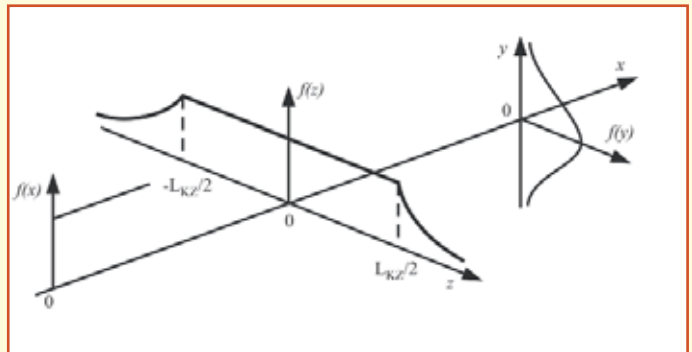


Рисунок 2 - Плотности распределения координат ЛА на трассе

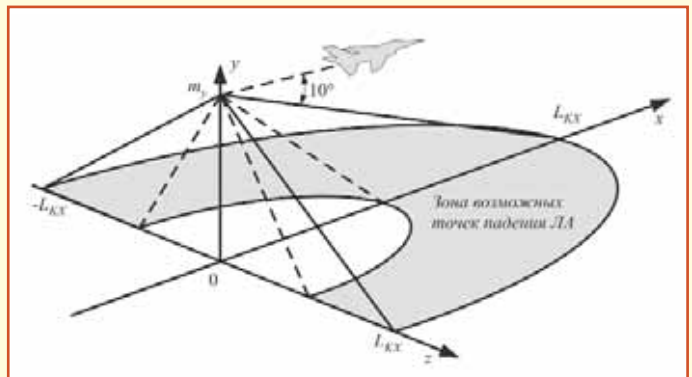


Рисунок 3 - Форма и размеры зоны возможных точек падения ЛА относительно точки, в которой возникает аварийная ситуация

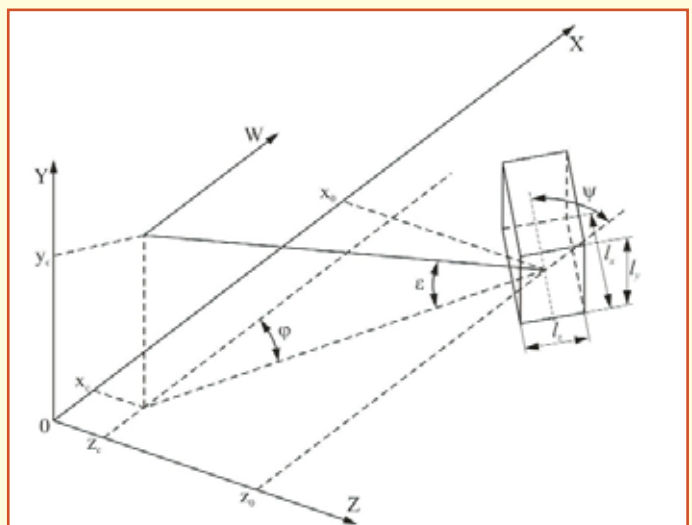


Рисунок 4 - Взаимное расположение ЛА и здания энергоблока в начальный момент перехода ЛА на траекторию падения

Практически важными для проведения расчетов вероятности падения ЛА случаями можно считать:

- наличие участка траектории, на котором высота линейно изменяется (участки набора и потери высоты);
- наличие участка траектории, на котором ЛА осуществляет поворот на некоторый курсовой угол.

В первом случае следует учитывать тот факт, что ширина воздушного коридора, для которого должна рассчитываться ненулевая вероятность падения ЛА, сокращается с уменьшением высоты полета (рисунок 5).

Во втором случае траекторию ЛА (и воздушный коридор) разбивают на три участка: два прямолинейных и участок выполнения разворота (между точками А и В на рисунке 6).

Учет числа полетов ЛА по указанной трассе в течение заданного временного промежутка (обычно один год) может быть выполнен с помощью формулы повторения событий, в соответствии с которой вероятность падения хотя бы одного летательного аппарата

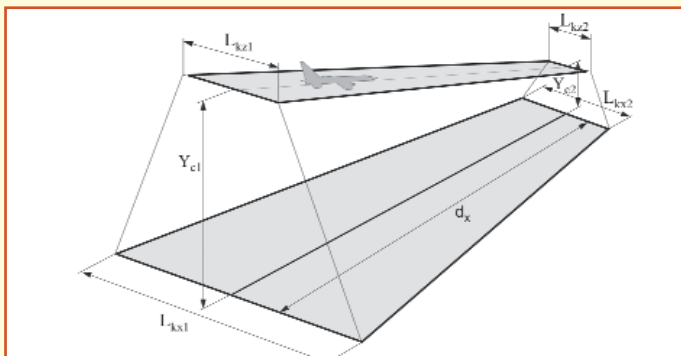


Рисунок 5 - К расчету вероятности падения ЛА на объект при переменной высоте полета

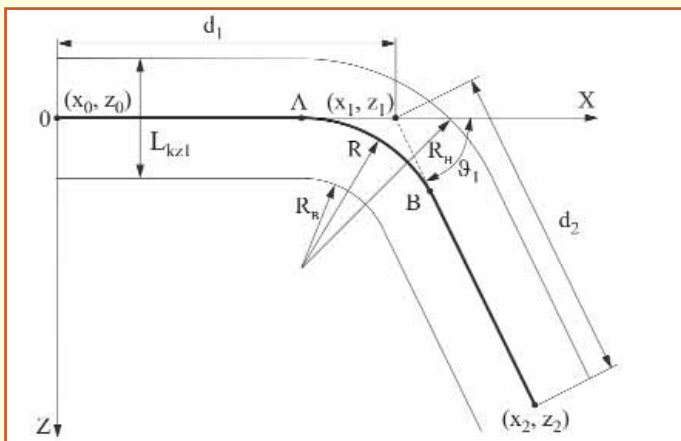


Рисунок 6 - К расчету параметров зоны возможных точек падения при изменении курсового угла ЛА

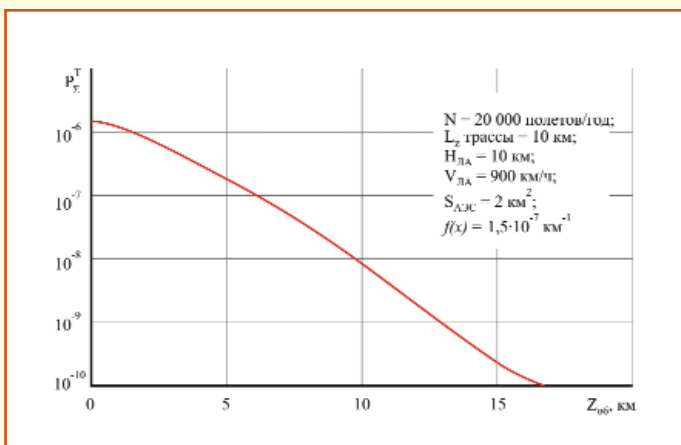


Рисунок 7 - Зависимость вероятности падения ЛА на площадку АЭС от удаления центра площадки от оси воздушной трассы

на объект при полетах по i -той трассе составляет где N_i - число полетов ЛА по i -й трассе на протяжении года. При наличии L трасс в районе объекта суммарную годовую веро-

$$P_{\Sigma}^i = 1 - (1 - P_i^i)^{N_i},$$

ятность падения ЛА на объект при полете по трассам можно определить по формуле:

$$P_{\Sigma}^T = 1 - \prod_{i=1}^L (1 - P_i^i).$$

Далее аналогичным образом определяется "однократная" вероятность падения ЛА на объект при выполнении полета на j -м полигоне (зоне отработки техники пилотирования) из числа имеющих в районе объекта, а затем - вероятность падения множества ЛА на объект при полетах на j -м полигоне на протяжении года и, наконец, вычисляется средняя годовая вероятность падения ЛА на объект из всех зон полигонов.

На следующем этапе устанавливается вероятность падения на объект обломков ЛА, для чего определяется типовой угол падения обломков с определенной высоты при известной начальной скорости ЛА на траектории полета (начальная точка разлета обломков определяется описанным выше способом в процессе имитационного моделирования). С учетом среднего числа возникающих обломков ЛА и доли летных происшествий, сопровождающихся разрушением ЛА в воздухе, определяется средняя годовая вероятность падения обломков ЛА на объект при полетах по всем трассам.

Затем определяется окончательная вероятность падения ЛА или обломков ЛА на площадку АЭС в течение года по выше приведенной формуле.

На рисунке 7 представлены результаты расчета вероятности падения ЛА на площадку АЭС в зависимости от удаления центра площадки

$$P_{\Sigma} = 1 - (1 - P_{\Sigma}^T)(1 - P_{\Sigma}^H)(1 - P_{\Sigma}^{O6}).$$

до оси воздушной трассы, выполненные для следующих условий:

- ширина трассы - 10 км;
- число полетов в год - 20 000;
- средняя высота полета - 10 км,
- средняя скорость ЛА - 900 км/ч;
- размеры площадки АЭС - 1х2 км;
- плотность вероятности аварии с ЛА на трассе - $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ км}^{-1}$.

Отметим некоторые "трудные места" при реализации предложенной методики.

Во-первых, в материалах ICAO имеются статистические данные по количеству авиационных происшествий гражданской авиации по годам (с выделением числа происшествий, относящихся к катастрофам). Также в этих материалах можно найти статистику количества полетов и авиационных происшествий по установленным регионам мира по годам и о числе происшествий с ЛА, приходящихся на 1 миллион вылетов. Но этой информации недостаточно, чтобы надежно определить значение плотности вероятности события $f(x)$ (выраженной в км^{-1}), поскольку неизвестна средняя протяженность маршрута ЛА.

Во-вторых, в материалах Межгосударственного авиационного комитета РФ публикуются данные по годам о количестве авиационных происшествий в гражданской авиации стран СНГ и из них катастроф на 100 тыс. часов налета ЛА массой более 10 т при регулярных и нерегулярных пассажирских перевозках. Чтобы на основании этих данных получить значение плотности вероятности $f(x)$ события, связанного с авиационным происшествием, приходится принимать некоторые средние условия для расчета указанных величин.

В-третьих, ввиду отсутствия надежной статистики приходится прибегать к определенному "волюнтаризму" при задании возможных минимальных и максимальных углов падения ЛА в вертикальной и горизонтальной плоскости, а также к выбору соответствующих законов распределения (в частности, при проведении расчетов считалось, что угол наклона траектории падающего ЛА распределен равномерно в диапазоне от -10° до -45° [1], а угол отклонения падающего ЛА по курсу от оси маршрута - в диапазоне от -90° до $+90^\circ$ в предположении о равномерном или нормальном законе распределения этого угла).

Для устранения указанных "трудных мест" необходимо принятие соответствующих норм или рекомендаций регулирующим органом. **П**

Литература

1. Учет внешних событий, вызванных деятельностью человека, при проектировании атомных электростанций. Руководство по безопасности № 50-SG-D5 (Rev. 1) / МАГАТЭ. Вена, 1997.
2. External Human-Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants. IAEA Safety Standards Series. Safety Guide No.NS-G-3.1 / International Atomic Energy Agency. Vienna, 2002.
3. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии: НП-064-05 / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2006.
4. DOE-STD-3014-2006/ Accident Analysis for Aircraft Crash into Hazardous Facilities. U.S. Department of Energy. Washington, DC 20585.
5. Бирбраер А.Н., Ролендер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. С-Пб., 2009.

Связь с авторами: bearam08@mail.ru

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ.

О П Ы Т Ы К У Р Е Н К О В А И Ф У Н Д А М Е Н Т А Л Ь Н Ы Е У Р А В Н Е Н И Я Д В У Х Ф А З Н О Й Г А З О В О Й Д И Н А М И К И С В Е Р Х З В У К О В Ы Х С О П Е Л

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

Установлен факт насыщения кривой распределения частиц вдоль оси сверхзвукового сопла и показано, что двухфазный сверхзвуковой поток является монодисперсным. Разработаны фундаментальные уравнения для расчета двухфазного потока в сверхзвуковом сопле.

The fact of saturation for curve of particle distribution along supersonic nozzle is detected. It is shown, that two-phase supersonic flow is monodisperse. The fundamental equations for calculation of supersonic two-phase flow are developed.

Ключевые слова: турбулентность, вихрь, волна, двухфазность.

Keywords: turbulence, vortex, wave, two-phase.

Для ракетных двигателей твердого топлива является принципиальным вопрос конденсированной фазы (к-фазы). Это объясняется тем, что почти все современные смесевые твердые топлива содержат в своем составе частицы высокодисперсного алюминия. При сгорании алюминий превращается в оксид Al_2O_3 , который в виде капель, а позже в определенных случаях в виде затвердевших частиц попадает в газообразный поток продуктов сгорания, где образуется двухфазная подвижная среда. Это двухфазный поток и главная его характеристика - дисперсность. Многие годы ученые занимались проблемой дисперсности, изучая при этом её состав и зависимость от различных факторов. Исследовались зависимости от давления, при котором происходит горение, зависимость от состава твердого топлива, зависимость от материала частиц, от соотношения компонентов и т.д. Но самая трудная задача всегда была и остается - исследование размеров (функций распределения по размерам) частиц в зависимости от габаритов установок. Понятно, что можно провести бесчисленное множество отборов на бомбе постоянного давления с зарядами размером с таблетку анальгина. Понятно также, что можно провести достаточно большое количество опытов на модельных двигателях разных размеров. Но опыты на натурных крупногабаритных двигателях провести всегда было практически невозможно. Это зависело, прежде всего, от нескольких причин. Во-первых, эти опыты стоили очень дорого. Во-вторых, проведение этих опытов не входило в непосредственные обязанности отработчиков двигателей, и специального планирования в КБ на них не предусматривалось, так как основной документ РК-98 не содержал чисто научных пунктов, без которых и так хватало различных видов испытаний: КИ, КТИ, МВИ и др. И в-третьих, это самое главное, что никакой Главный конструктор не позволит дырявить свою матчасть. Нужно было приложить титанические усилия, чтобы уговорить, убедить, доказать необходимость данного акта. Поэтому натурных отборов частиц из камер сгорания РДТТ очень мало. Их всего два и провел их замечательный русский ученый, прекрасный изобретательный инженер Анатолий Васильевич Куренков. Автору данной работы, который очень много занимался отборами конденсированной фазы, до сих пор непонятно, как ему (Куренкову) это удалось. После отборов частиц Куренковым из двух разных двигателей появилась возможность переносить результаты, полученные в модельных условиях на натурные, а значит на новые перспективные двигатели. Появилась возможность прогноза различных параметров для этих двигателей: достаточно надежно предсказывались потери удель-



Анатолий Васильевич Куренков

ного импульса тяги, связанные с двухфазностью течения в сопле; рассчитывались возможные разгары сопла из-за воздействия частиц, определялись параметры светимости факела, вылетающего из сопла и т.д.

Конечно, не только эти два эксперимента определяли развитие двухфазной газовой динамики, но они стали той надежной опорой и гарантом уверенности в том, что использование результатов модельных экспериментов тоже правомочно и необходимо для исследований сложнейших процессов двухфазной газовой динамики.

В настоящее время появилась необходимость продвинуть эти достижения дальше. Опираясь на знания, полученные в период до девяностых годов, можно решать уже более сложные задачи. Такие, например, как исследование вязких, нестационарных двухфазных течений в соплах РДТТ. До сегодняшнего момента практически все двухфазные газодинамические программы, за исключением может быть [1], построены на решении задач с использованием уравнений Эйлера. При этом наивно считается, что эти уравнения справедливы для сверхзвуковых течений. Эта ошибочная теория для так называемого "идеального" газа не дает даже возможности поставить правильные граничные условия.

Уважая методологические заслуги в развитии газовой динамики великого русского академика Леонарда Эйлера, следует, тем не менее, еще раз сказать, что его уравнения неприемлемы для сверхзвука. Они, к сожалению, не учитывают, помимо вязкости, основное свойство сверхзвуковой газовой динамики - сжимаемость.

Дальнейшее развитие двухфазной газовой динамики должно идти в тесном контакте с преобразованными для сверхзвуковых условий уравнениями Навье-Стокса. Непременны должны учитываться такие важные для сверхзвуковых условий свойства как вязкость и сжимаемость потока. При этом так же должно быть понятно, что в сверхзвуковом потоке турбулентности нет. Она отсутствует. На смену турбулентному течению в дозвуковой области приходит течение с ударными волнами. Турбулентность не исчезает. Она перерождается. Основным видом течения в сверхзвуке - ламинарный, а турбулентность может проявляться только при благоприятных условиях для ударных волн.

Опыты А.В. Куренкова

В этом и следующем разделе описаны уникальные по своей значимости опыты Анатолия Васильевича Куренкова. Рассмотрим два опыта, проведенных на натурных двигателях, связанных с отбором конденсированных частиц из камер сгорания.

Всегда, когда грамотный специалист приступает к опытам по отбору конденсированной фазы из камеры сгорания, он решает главный вопрос - вопрос изокINETичности. Именно изокINETичность определяет достоверность отбора. От её соблюдения зависит, возьмем ли мы правильную пробу из потока именно с тем реальным спектром распределения частиц или же мы "насосем" больше чем положено "мелочи", либо переберем крупных частиц за счет неправильного подпора.

ИзокINETичность - это равенство скоростей частиц и газа. Если так будет, то из области отбора будет взято без деформации потока адекватное реальности количество частиц в правильном соотношении.

Вопросу изокINETичности Куренков уделял первостепенное значение и прежде чем ставить свой отборник на "натуру", он определил на модельных и воздушных экспериментах необходимую степень геометрического поджатия. Главным элементом в его пробоотборнике была дроссельная шайба на выходе, которая обеспечивала заданный изокINETический режим.

Отборник Куренкова был сконструирован по возможности максимально просто. Принцип отбора состоял в рациональном сочетании элементов сепарирования основной массы частиц и фильтровании остатка. Для сепарации частиц был выбран специально спроектированный циклон, который улавливал до 80 % по массе частиц свыше 5...8 мкм из обозначенной предварительно области отбора в камере сгорания. При этом подход к циклону был организован в виде лабиринтного канала. Остальные частицы улавливались фильтром из пористого нихрома.

Для обеспечения "замораживания" жидких частиц к-фазы, что также определяет достоверность, лишая возможности дробления исходных жидких частиц, использовался специальный кожух для подачи в него жидкого гелия. Гелий был выбран не случайно. Он помимо своих нейтральных химических свойств, обладает еще высокой удельной теплоемкостью, что важно для охлаждения теплоносителя. Внешний вид отборника с циклоном представлен на рис. 1. На рис. 2 показано закрепление этого отборника на одном из крупногабаритных двигателей.

Были взяты отборы из двух двигателей с условным обозначением Г-1 и 5Ж. Их параметры были следующие:

- 1) Г-1 работал на составе 18Д (условное обозначение), при давлении 50 атм. Диаметр камеры составлял приблизительно 800 мм.
- 2) 5Ж работал на составе БК-7 (условное обозначение), при давлении 50 атм. Диаметр камеры - 1600 мм.

После отбора частиц из камеры помимо дисперсного анализа, то есть определения функций распределения частиц по размерам, были проведены химические и рентгено-структурные анализы частиц Al_2O_3 . При этом помимо "ходовой", наиболее часто встречающейся в природе модификации $\alpha-Al_2O_3$ (глинозем), была выявлена достаточно редкая модификация $\gamma-Al_2O_3$, которая, как известно, могла быть получена только искусственным путем при определенных условиях в потоке. Она составляла, как позднее показали специальные анализы, почти одну треть от всей отобранной массы.

Необходимость рентгено-структурного анализа была продик-

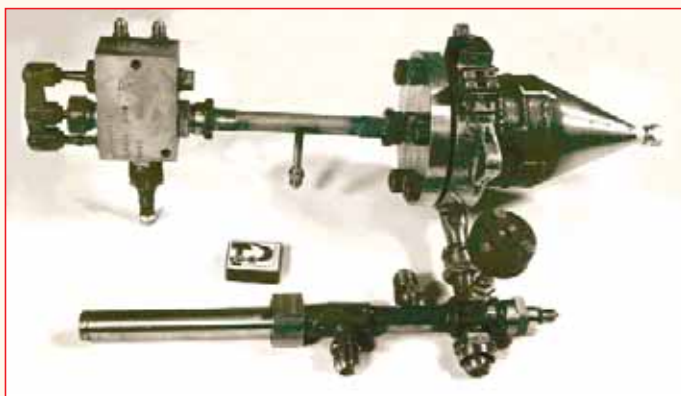


Рис. 1 Фото отборника из камеры сгорания в комплекте с циклоном

тована тем, что обе эти модификации отличаются друг от друга, что может в определенный момент исказить истинную картину при подробных расчетах и прогнозах.

Ведь α -модификация Al_2O_3 имеет тригональную или ромбоэдрическую решетку, а γ -модификация имеет тетрагональную кристаллическую решетку. Это различие приводит к тому, что в расчетах необходимо учитывать факт различия их плотностей. Плотность первой $\rho = 4 \text{ г/см}^3$, а второй (γ -модификации) - $3,3 \text{ г/см}^3$.

Основными для практики, помимо собственно спектров частиц, всегда считались значения среднемассовых размеров d_{43} . Его принимали как основной размер для энергетики. Эти размеры были получены и они составили для Г-1 $d_{43} = 7,13 \text{ мкм}$ и для 5Ж $d_{43} = 4,959 \text{ мкм}$.

В исходных данных для энергетики этот размер всегда играл важную роль также и для анализа стойкости концевой части соплового блока. Вплоть до "девяностых" этот размер был, пожалуй, самым популярным еще и потому, что в расчетных методиках он удобно вписывался в основные константы. При его использовании результаты экспериментов и расчетов часто сходились. Но в своих работах Анатолий Васильевич изучал не только этот "венчонный" размер. Он понимал, что это - очень удачная случайность. Поэтому всегда наряду с последним приводил в таблицах и другие размеры, например, d_{32} . В этом он был безусловно прав и опыт эксплуатации подобных исходных данных это подтверждает. Ведь самым точным является функция распределения частиц по размерам, а любые средние размеры, построенные на ее базе, могут удовлетворить лишь частные интегральные потребности. В тот период времени (1969 и 1970 гг.) опыты Куренкова были поистине кругом спасения. Они на тот момент полностью удовлетворяли потребностям, связанным с отработкой новых, перспективных двигателей и не потеряли своё значение и в настоящее время.

Одновременные отборы к-фазы из камеры и сопла

Полученные при отборе из камеры сгорания спектры распределения к-фазы дают широкую возможность изучать эволюцию частиц. При этом исследуются такие эффекты как коагуляция, дробление, сепарация, которые в двигателях твердого топлива постоянно присутствуют в силу широкой дисперсии функции распределения и многообразия конструктивных решений. Было сочтено целесообразным провести на одном и том же крупногабаритном модельном РДТТ одновременные отборы из камеры и сопла, которые показали бы динамику преобразования частиц и их дисперсность в зависимости от длины координаты вдоль оси двигателя. Специально для этого была разработана и оснащена экспериментальная установка, состоящая из пробоотборника в камере сгорания [2] и пробоотборника (рис. 3) непосредственно

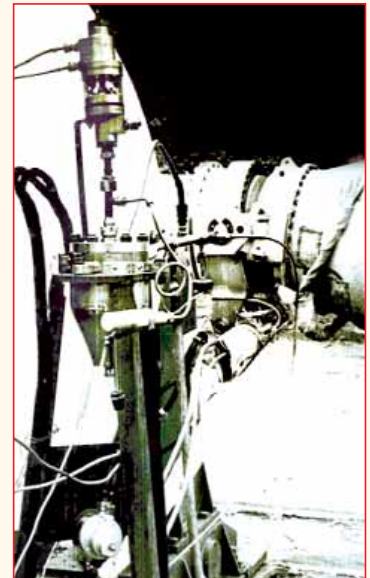


Рис. 2 Двигатель с установленным отборником из камеры сгорания

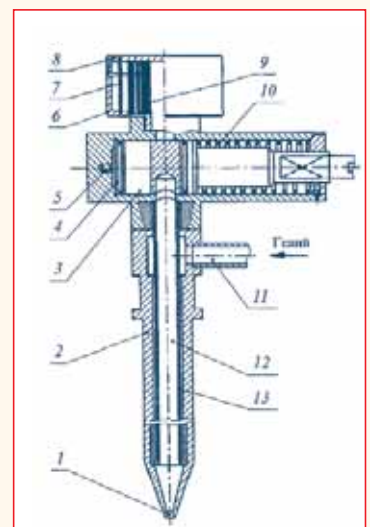


Рис. 3 Схема отборника: 1 - приёмное отверстие, 2 - корпус, 3 - канал, 4 - затвор, 5 - трубка подачи воздуха, 6 - ловушка конденсата, 7 - пористый фильтр, 8 - дроссель, 9 - лабиринт, 10 - пружина, 11 - трубка подвода гелия, 12 - газоход, 13 - рубашка охлаждения

на срезе сопла. Основные элементы пробоотборника со срез сопла были прототипом отборника из камеры сгорания А. В. Куренкова. Оба отборника к моменту проведения экспериментов были хорошо отработаны на небольших модельных двигателях, предназначенных для систематических исследований различных параметров двухфазной среды.

Установка по совместному отбору из камеры и сопла имела следующие основные конструктивные параметры и была рассчитана на следующие режимы: состав БК-8 (условное обозначение), давление 60 атм, диаметр камеры 310 мм.

На этой установке было проведено пять опытов с отбором из камеры и пять опытов со срез сопла. Причем три опыта были проведены с отбором со срез сопла, а два с соплами, полученными после токарной обрезки концевой части. Длина полного сопла от критики составляла $\bar{x} = x/r_{кр} = 13$, а две другие относительные продольные координаты, где производился отбор, были равны 1,5 и 2,5. Обработка экспериментов производилась во всех случаях одинаково. Были обеспечены идентичные условия, как подготовки пробы, так и её дисперсный анализ. Анализ дисперсности проводился по методике ОИХФ АН СССР под электронным и оптическим микроскопами.



Роман Рубенович Акопов

В процессе отборов и последующего дисперсного анализа удалось получить функции распределения частиц по размерам и их средние моменты (размеры). На рис. 4 представлено изменение среднемассового размера d_{43} по длине двигателя. В результате анализа кривой $d_{43}(\bar{x})$ уже стало видно, что начиная с критического сечения размер частиц практически не изменяется. Был обнаружен эффект насыщения. Более того, экспериментальный разброс значений d_{43} в сверхзвуковой части сопла оказался незначителен. Сложилось ощущение, что по всей длине сверхзвукового сопла частицы практически одинаковы. С целью подтверждения этого факта для сравнения были проведены расчетные исследования. Их провел талантливый физик, специалист по проблемам горения и эволюции дисперсной фазы в РДТТ Роман Рубенович Акопов. Его расчеты подтвердили эмпирическую находку.

Из рис. 4 уже последовали новые выводы. Во-первых, было показано, что до определенного момента среднемассовый раз-

мер частиц растет вдоль оси двигателя. Этот факт подтверждает, что основным процессом в камере сгорания является коагуляция. Далее в дозвуковом сопле, после достижения своего максимального значения на кривой распределения вдоль оси двигателя в месте сопряжения камеры и сопла, частицы начинают мельчать. Происходит падение кривой из-за нарастающих процессов дробления. Ведь скорость потока в дозвуковом сопле резко увеличивается и далее, не так далеко от критического сечения этот процесс останавливается. При внимательном рассмотрении этих частиц под оптическим микроскопом можно увидеть, что они сферические (от ~ 0 до 5 мкм). Единичные частицы размером более 5 мкм начинают отличаться от идеально сферических. Они видимо еще могут подробиться, но складывается ощущение, что процесс дробления уже закончился. Действительно, по оценкам, сделанным для этой области, число Вебера $We = d_s \rho V^2 / \sigma$ принимает уже критические значения. Здесь d_s - диаметр жидкой частицы; ρ и V - плотность и скорость газового потока; σ - коэффициент поверхностного натяжения материала частицы. То есть в этой области потока жидкие капли (d_s) за один или несколько раз дробятся до своего критического размера $d_{s,кр} = We_{кр} \cdot \sigma / (\rho \cdot v^2)$. И, по-видимому, в этом месте, чуть дальше от критического сечения, дробление прекращается. Все капли становятся одинаковыми. При этом функция плотности распределения частиц по размерам становится практически δ -функцией Дирака. Это происходит для разных капель по-разному. Здесь важную роль играют свойства материалов капель. И тогда, начиная с некоторого расстояния, находящегося практически у критики, эволюция частиц прекращается. По сверхзвуковому соплу летят частицы практически одного размера. Дробления дальше нет из-за ограничений, наложенных числом Вебера. И коагуляции тоже нет, так как скорости для её осуществления очень велики. Поток становится монодисперсным. Таким образом, для сверхзвуковых сопел появляется возможность существенно упростить расчетные методы по сравнению с дозвуковым соплом.

Фундаментальные уравнения двухфазной сверхзвуковой газовой динамики

Построение двухфазных сверхзвуковых методик и программ на базе уравнения Эйлера влечет за собой несколько недостатков:

- 1 - неучет вязкости потока;
- 2 - неучет его сжимаемости;
- 3 - ненужный расчет дробления частиц;
- 4 - ненужный расчет коагуляции частиц (сверхзвуковые скорости и отсутствие турбулентности в сверхзвуке).

Задача может быть исправлена, если заменить уравнение Эйлера на уравнение, приведенное в работе автора [3]:

$$\rho \frac{d\vec{V}}{d\tau} = -\text{grad}\left(p + \frac{4}{3}v \frac{dp}{d\tau}\right).$$

В отличие от традиционного подхода новая методика будет учитывать и вязкость, и сжимаемость. При этом по аналогии с наиболее продвинутыми в этом плане работами [1, 4, 5], можно считать, что остальные уравнения сохранения практически не изменятся. Да, действительно, уравнения неразрывности останутся, так как для газа и для частиц они идентичны.

Их совокупности (газ + частицы) условно заменяются "газом" частиц:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial \rho_s}{\partial \tau} + \text{div}(\rho_s \vec{V}_s) = 0.$$

Уравнения момента импульса для газа, частиц и уравнение энергии примут вид, аналогичный [4]. В данной работе они рассматриваться не будут, так как требуют особых комментариев. Они будут представлены со специальным анализом в следующей работе. В данной работе ограничимся только уравнением импульса:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial \tau} + \vec{V} \text{grad} \vec{V} + \frac{1}{\rho} \text{grad}\left(p + \frac{4}{3}v \frac{dp}{d\tau}\right) + \frac{\rho_s}{\rho} \vec{f} = 0.$$

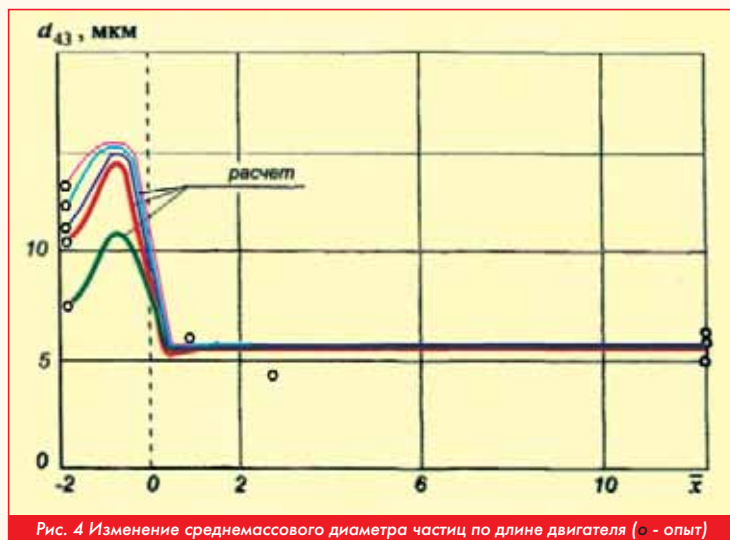


Рис. 4 Изменение среднемассового диаметра частиц по длине двигателя (○ - опыт)

Здесь $\bar{F}$ - функция сопротивления, зависящая в первую очередь от величины отставания частиц от газа, разности скоростей. Кроме того, как известно, эта функция также зависит от свойств материала частиц и газа.

Уравнения записаны для условий двухфазного сверхзвукового потока, при этом учтено, что:

- 1 - турбулентность в сверхзвуковом сопле отсутствует [3];
- 2 - дробление и коагуляция отсутствует, а среда монодисперсная;
- 3 - течение вязкое и сжимаемое.

Конечно, делая такие сильные заявления, автор понимает всю ответственность перед предшественниками, но воздает непомерную им благодарность за то, что с их помощью появилась возможность внести исправления в традиционные уравнения. Автор также понимает, что каждый причастный к данной проблеме ученый, внутренне осознает необходимость сделанных уточнений и искренне надеется на активное участие в дальнейшем разреше-

нии этой очень сложной проблемы - двухфазной сверхзвуковой газодинамики сопел.

Литература

1. И.М. Васенин, В.Г. Бутов, А.А. Глазунов и др. Газовая динамика двухфазных течений в соплах. Изд. Томского Университета. 1986 г.
2. Ю.М. Кочетков. Турбулентность плотных дисперсных потоков. Параксимальный эффект Федотова. // Двигатель № 4, 2007 г.
3. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Фундаментальные уравнения сверхзвуковой газовой динамики и новый метод профилирования сопел ЖРД. // Двигатель № 3, 2013 г.
4. Л.Е. Стернин, А.А. Шрайбер. Многофазные течения газа с частицами. М. Машиностроение. 1994 г.
5. Р.И. Нигматулин. Основы механики гетерогенных сред. М. Наука. 1978 г.

Связь с автором: swgeorgiy@gmail.com

ИНФОРМАЦИЯ



Пресс-служба ФГУП "ЦИАМ имени П.И. Баранова"

Ключевое событие для вооруженных сил и ОПК России - форум "Армия-2015" прошел с 16 по 19 июня в г. Кубинка и стал рекордным по масштабу и насыщенности научно-деловой и демонстрационной программ. Участие в форуме приняли представители 55 городов и 12 стран. Порядка 800 предприятий промышленности выставили свыше 7 тысяч экземпляров вооружения и военной техники.

В рамках форума состоялось более 90 заседаний в формате круглого стола, в которых приняли участие и представители Центрального института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова. Для общего понимания проблемы двигателестроения для малой авиации и беспилотных летательных аппаратов был организован специализированный круглый стол на тему "Силовые установки для малоразмерных самолетов и комплексов с БЛА. Достигнутый уровень возможностей и тенденции развития". Участниками было заслушано 7 докладов, два из которых были представлены специалистами ЦИАМ.

Начальник отдела "Авиационные поршневые двигатели" Л.А. Финкельберг в своем



докладе "Перспективы развития авиационных поршневых двигателей в России" рассказал о текущем состоянии дел в области создания перспективного авиационного поршневого двигателя, а также рассмотрел перспективы развития АПД. Начальник сектора отдела "Малоразмерные ГТД" В.С. Ломазов в докладе "Унифицированный газогенератор малоразмерного газотурбинного двигателя" представил концепцию создания линейки дешевых ГТД различного назначения (ТРД тягой до 120 кгс, ТВД и ТВГТД мощностью до 350 л.с.) на базе единого газогене-

ратора малой размерности ($G_{\text{впрвх}} < 1,5 \text{ кг/с}$).

"Ситуация в малой авиации такова, что даже при сегодняшних государственных дотациях, представленные на рынке импортные двигатели не могут обеспечить экономии. Именно поэтому в создании отечественного двигателя мы ориентированы главным образом на его низкую стоимость, - поясняет Владимир Ломазов. - Это ключевой вопрос для возрождения малой авиации и возможности обладать хорошей современной беспилотной техникой в рамках повышения обороноспособности страны. Этой разработке может найтись и наземное применение, например в малой энергетике, что тоже очень важно". По итогам работы доклад В.С. Ломазова был признан лучшим на заседаниях круглого стола.

Редакция журнала "Двигатель" поздравляет своих постоянных авторов - сотрудников ЦИАМ им. П.И. Баранова с признанием коллег на профессиональном форуме.



К НАТУРФИЛОСОФИИ УДАРНЫХ ВОЛН

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

История споров
о бесспорном
и не только

Визуализация расчётной системы фокусируемых скачков уплотнения в предплавном режиме работы сверхзвукового воздуховозборника. Из календаря ЦИАМ 2013 г.

Пролог

По мнению одного из основных классиков современного естествознания, (то есть самой натурфилософии) - Вернера Гайзенберга (1901-1976) - возможные природные процессы корректно представляются в форме решений математических уравнений. Этот формализм считается (по крайней мере физиками) адекватным описанием перманентной натурфилософской структуры мира - независимой от места и времени.

Особой, замкнутой в себе натурфилософской системой подобного описания мира явилась теория теплоты, формировавшаяся в XIX веке, когда таким учёным как Клаузиус, Рэнкин, Больцман и Гиббс, а также Пуанкаре удалось сочетать результаты развития механики с принципами математической теории вероятности, то есть истолковать теплоту статистически - через специфические понятия удельной теплоты, энтропии, свободной энергии и т.д.

Года за два до присуждения Гайзенбергу (в 1932 г.) Нобелевской премии по физике, в сельской усадьбе "самого" Нильса Бора - у камина дискутировали видные представители так называемой "Копенгагенской Школы". Натурфилософия этой Школы подвергалась анафеме со стороны авторитетных советских физиков (Блохинцев, Александров и др.) как "наиболее реакционная среди идеалистических направлений".

Гайзенберг с особым чувством вспоминал (опубликовал это в 1971 году на английском) такую вечернюю дискуссию с активным участием Бора.

Диссидентство Эйнштейна

Речь зашла об отказе Альберта Эйнштейна признать корректность статистической сущности новой (тогда) квантовой механики.

Оскар Клейн - один из ближайших коллег Нильса Бора - высказался по-своему, что, Эйнштейн неспроста не смог воспринять принципиальную роль случайности в атомных процессах: "Конечно же, Эйнштейн знал о великих достижениях статистической термодинамики лучше заведомого большинства иных физиков и даже по-своему выводил статистический закон планковского излучения. И все-таки эту квантовую механику, в которой случайность трактуется

© 2015 Валентин Анатольевич Белоконов,
Национальный Комитет по теоретической и прикладной механике,
Академия Космонавтики, ИОРАН, Москва

Ударная волна как проблема статистической термодинамики. Применимость температуры (только ли как параметра ансамблей Гиббса) к структуре фронта ударной волны. Фундаментальная роль в этом флуктуаций температуры, энергии и энтропии. Редуцированное описание δ -функцией.

The Shock Wave as a problem in the statistical thermodynamics. The problematic applicability of the temperature (as the Gibbsian ensembles parameter) for the shock structure. The fundamental role of temperature, energy, and entropy fluctuations there. Reduced description by δ -function.

Ключевые слова: Фронт ударной волны, статистическая термодинамика, канонический и микроканонический ансамбли Гиббса, флуктуации, δ -функция.

Keywords: Shock Wave front, statistical thermodynamics, canonical and microcanonical ensembles, fluctuations, energy, entropy, δ -function.

как фундаментальный принцип, он отвергнул."

Таково мнение О. Клейна, верившего в корректность эйнштейновского вывода закона Планка. Кстати, Нильс Бор категоричнее аргументировал в 1961 году позицию Альберта Эйнштейна. В одном из сенсационных выступлений в Москве перед собранием советских физиков и философов, Бор свел суть позиции Эйнштейна к факту, что, мол, этот великий классик релятивистской механики был непрекаемым адептом Баруха Спинозы - проповедника абсолютного детерминизма...

Что касается Вернера Гайзенберга, то он выступает в духе своего тогда новейшего открытия (1927) соотношения неопределенности: "Эйнштейн споткнулся именно на отрицании фундаментальной роли случая в квантовомеханической теории.

Например: в чашке воды безнадежно проследить движение каждой молекулы воды. Поэтому не стоит удивляться применению статистики молекулярных движений, так же, как привычно страховым компаниям воспринимать демографические параметры наподобие статистически ожидаемой продолжительности жизни их клиентов.

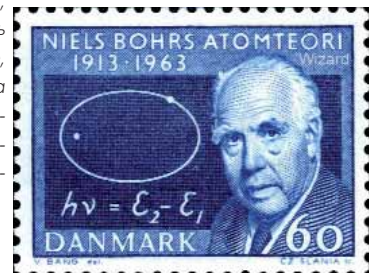
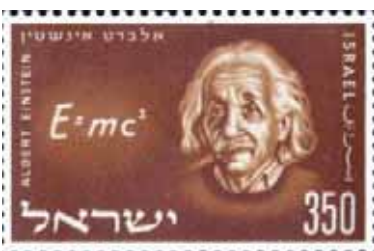
Тем не менее, стало привычным считать, что по крайней мере в принципе было бы возможно описывать движение каждой молекулы по законам ньютоновой механики. Иными словами, считалось, что в Природе соблюдается некое точное механическое состояние объектов, исходя из знания о котором можно предвычислить их состояние в следующий момент времени.

Но в квантовой механике это уже не так. Наблюдение - фиксирование состояния - не может реализоваться без создания помех для наблюдаемого процесса, явления, то есть без навязывания неопределенности в наблюдаемый феномен.

Именно это - продолжает Гайзенберг - отказывается принять Эйнштейн, хотя вполне осведомлен о соответствующих фактах.

Ибо Эйнштейн полагает, что наша интерпретация этих фактов, скорее всего, не может претендовать на полноту. Эйнштейн надеется на открытие каких-то новых данных, которые помогут по его мнению компенсировать пробелы в нашем познании. Но Эйнштейн на это надеется зря".

"Я не вполне согласен с Вами - отвечал Нильс Бор. - Считая разницу между классической термодинамикой и квантовой механикой существенной, хочу подчеркнуть, что Вы, Вернер, переоценили важность такой разницы. Во всяком случае, я нахожу, что утверждение типа "наблюдение привносит неопределенность в наблюдаемый феномен", является неточным и вводящим в заблуждение".



Темпераментно о температуре

Бор продолжал: "Природа учит нас, что само слово "феномен" неприменимо к процессам атомным, пока мы игнорируем, какое именно применено экспериментальное оборудование ... В связи с этим, я не усматриваю какой-либо слишком фундаментальной разницы между квантовой механикой и термодинамикой. При наблюдательной ситуации, подразумевающей регистрацию температуры, принципиально исключается возможность фиксирования координат и скоростей всех тех частиц, совокупность которых подвергнута измерению температур."

В конце концов, сама по себе концепция температуры может быть сформулирована как степень неопределенности некоторой совокупности характеристик того, что после Гиббса называют "каноническим распределением". Иными словами, если система многих частиц перманентно испытывает теплообмен со своим окружением, либо с иными макросистемами, то энергия этой относительно малой системы многих частиц, как и энергия отдельных ее частиц, флуктуирует непрерывно.

Однако, величины, средние и по большому числу частиц, и по достаточно длительным периодам времени, весьма точно соответствуют средним величинам для канонического распределения Гиббса. В итоге температура обусловлена именно указанным энергообменом. Отсюда - точная регистрация температуры несовместима с точной регистрацией положений и скоростей молекул."

"Но разве это не означает, - вопрошал Гайзенберг, - что температура - свойство необъективное? Хотя обычно подразумевается, что утверждение "чай в такой-то чашке имеет температуру 70 градусов" гласит объективный факт, устанавливаемый безотносительно метода измерения температуры."

С другой стороны, если бы температурой определялась только лишь степень чьего-то знания (если угодно - незнания) деталей молекулярных движений, то это бы значило возможность различения температуры разными наблюдателями даже при идентичности реального состояния наблюдаемой системы - чашки чая в данном случае.

Ведь допустимо, что у различных наблюдателей - разный уровень знания, или незнания."

Бор прервал: "Нет-нет, Вы несколько заврались. Ведь сам термин температура подразумевает некую ситуацию наблюдения при наличии энергообмена - между чаем и каким-либо термометром. Совершенно неважно, какими иными свойствами данный термометр характеризуется. Ибо речь идет о термометре как о реальном измерителе - регистраторе определенных закономерностей молекулярных движений в чае, к примеру. Термометр регистрирует с заданной точностью температуру как параметр канонического распределения ансамбля Гиббса. И если в данном случае (здесь - с чаем) используемые термометры покажут одинаковую температуру, то это уже означает объективность температуры."

В итоге этого обсуждения видно, сколь проблематичны концепции объективности и субъективности, которыми мы столь френозно манипулируем."

От этой тирады Нильса Бора стало не по себе Крамерсу, который заметил Бору: "Если Вы сосредоточились на процессах в чашке чая, то, наверное, Вы имеете в виду некоторого рода соотношение неопределенности между температурой и энергией для субстанции внутри этой посуды. Но разве можно применять такие идеи на уровне неклассической физики?"

Нильс возразил: "Да, в некоторой степени я могу себе позволить такое. Давайте попытаемся определить состояние отдельного атома водорода внутри чашки чая. Его температура, если вообще имеет смысл говорить о температуре индивидуализируемого атома, конечно такова же - скажем, 70 градусов - как у остальной субстанции в чашке. Ибо атом этот обменивается теплом с совокупностью других молекул в чае. Его же энергия - при данной температуре - должна, однако, флуктуировать именно в силу актов теплообмена. Следовательно, знание о состоянии этого атома сводится к вероятностному [наподобие максвелловского, В.А.Б.] распределению диапазона значений его энергии. Если же, обратно, энергия такого атома как-то контролируема без точной фиксации тем-

пературы этого чая, то невозможно однозначное определение этой температуры, исходя из однозначного знания энергии отдельного атома. Иными словами, наше знание температуры чая будет теперь сводиться к вероятностному распределению значений температуры чая, совместимых с точным значением энергии отдельного атома в этой чашке чая". [Нильс Бор имел в виду теорию ансамблей Гиббса (1901 г.), согласно которой фиксированное значение энергии объекта соответствует так называемому микроканоническому ансамблю, а фиксированность температуры соответствует ансамблю каноническому, В.А.Б.].

Соотношение флуктуаций термодинамических параметров согласно теории Гиббса (1901 г.):

$$\langle \delta E \cdot \delta \Theta \rangle_N = \langle \delta E \cdot \delta \Theta \rangle_V = \Theta^2 \equiv (kT)^2$$

при $dE = TdS - pdV$, точнее $d\langle E \rangle = TdS - \langle p \rangle dV$
 для канонического ансамбля Гиббса,
 а также $dE = \langle T \rangle dS - \langle p \rangle dV$
 для микроканонического.

Аналогичное соотношение этих флуктуаций выполняется и для "промежуточных" гиббсовых моделей и в определенном смысле аналогично соотношению неопределенностей согласно теории Гайзенберга (1928 г.).

Бор продолжил: "Характерная относительная ширина "горба" кривой вероятностного распределения значений температуры (либо энергии) соответствует неопределенности знания этого параметра. И эта неопределенность весьма велика для столь малого объекта как атом водорода, что следует отметить особо. Для гораздо большего объекта - например, капельки чая - статистический разброс значений температуры (либо энергии) становится значительно меньшим и может считаться пренебрежимым."

Здесь Крамерс решился уточнить: "в старой термодинамике, которую мы преподаем и ныне, энергия и температура приписываются какому-либо объекту одновременно. И ни слова - ни об индетерминизме, ни о неопределенности. Разве этот факт не противоречит Вашим высказываниям?"

Бор отвечал: "Эта старая термодинамика сопоставима с термодинамикой статистической аналогично тому, как классическая механика сопоставима с механикой квантовой. Приписывание определенных значений одновременно и энергии, и температуры для больших объектов не приводит к существенной ошибке. Это то же, что употреблять одновременно определённые значения и координат, и скоростей крупным телам. Дело обстоит совсем иначе для достаточно малых объектов. В термодинамике малых тел мы скажем, к примеру, что таковым свойственна энергия, но не температура. И все-таки здесь кроется мучительная ошибка, поскольку остается невыясненной граница, подразделяющая объекты на "малые" и "большие"."

"Так выяснилось, - резюмировал Вернер Гайзенберг, - почему Нильс Бор, в отличие от Эйнштейна, не так уж упирал на фундаментальность разницы между статистическими закономерностями термодинамики и аналогичными правилами квантовой механики..."

Вернер Гайзенберг затем переходит к изложению тогдашних дискуссий о биофизике, но здесь (для нашей тематики) оказалась подходящей ещё одна натурфилософская цитата из Бора: "Различие между живой и неживой материей - далеко не столь простая проблема."

Что тогда ударная волна...

Итак, согласно еще одному "Принципу Бора", упомянутому Гайзенбергом, в термодинамике малых тел кроется мучительная ошибка, поскольку остается невыясненной граница, подразделяющая объекты на "малые" и "большие".

Что тогда ударная волна? Точнее - фронт ее!

Достаточно слабая ударная волна имеет толщину Δx ударного фронта удивительно обширную при слабом возмущении параметров среды. Но, в отличие от инфразвука, слабая ударная волна не только (локально) стационарна, но и генерирует энтропию по закону

$$\Delta S \sim (M_{\text{shock}}^2 - 1)^3 \Rightarrow 0 \text{ при } M_{\text{shock}}^2 - 1 \ll 1.$$

С усилением ударной волны, если механизм диссипации в структуре ее фронта фиксирован, толщина Δx ударного фронта стремится к минимуму, то есть соблюдается нетривиальная аналогия с квантовым гайзенберговским соотношением неопределенностей:

$$\Delta x \approx h / \Delta p \sim 1 / \Delta u \approx 1 / (u_+ - u_-) \Rightarrow 0 \text{ при } M_{\text{shock}} \Rightarrow \infty$$

где Δp - это скачок импульса среды. $\Rightarrow \infty \text{ при } M_{\text{shock}} \Rightarrow 1$



Забыв о квантовой механике, положим единице число Рейнольдса ударного фронта в качестве осмысленной оценки баланса между вязкостью и инерцией. На таком уровне XIX века для "вязкого скачка" получается закономерность, аналогичная квантовому соотношению неопределенностей:

$$1 \equiv \{Re\}_{shock} \equiv K_n \cdot M_{acoustic} = (\Delta x / \langle \lambda \rangle) (\Delta u / \langle a \rangle).$$

В данной оценке $\langle \lambda \rangle \equiv \langle \lambda \rangle_{\Delta x}$ - это средняя длина свободного пробега молекул среды в структуре скачка, то есть число Кнудсена K_n здесь гласит - сколько средних свободных пробегов уходит на перестройку температуры и иных параметров среды (хотя бы скорости звука a , для которого $\langle a \rangle \equiv \langle a \rangle_{\Delta x}$) от их невозмущенных значений в значения итоговые.

Тогда толщина (иногда звучит "ширина") фронта вязкого скачка получается достаточно наглядной:

$$\Delta x \equiv \langle \lambda \rangle / Mac \gg \langle \lambda \rangle \equiv \lambda, \text{ для слабого: } \Delta u \ll \langle a \rangle \approx a, \text{ то есть } M_{sh} \Rightarrow 1 \gg M_{ac}$$

$$\text{Сильный скачок соответствует акустическому числу Маха } M_{ac} \equiv \Delta u / a_+ \equiv \Delta u / \langle a \rangle_{\Delta x} \approx 1 \Rightarrow \Delta x \equiv \langle \lambda \rangle_{\Delta x}$$

В простом принципиально важном случае центральных сил между молекулами "сплошной среды" перестройка температуры $T \Rightarrow T_+$ требует минимум двух средних свободных пробегов, поскольку необходимо возбуждение минимум трех поступательных степеней свободы таких молекул. Соответственно, минимальная толщина, к которой стремится ударный фронт, может быть оценена как: $\Delta x_{min} (M_{shock} \Rightarrow \phi \approx \lambda_+ \lambda_- \equiv \langle \lambda \rangle_{\Delta x})$

Значит, головной скачок не сформируется на достаточном заострении. Что, вопреки Ландау, принципиально. Если структура слабой ударной волны аналогична классическому инфразвуку, то фронт сильной можно считать малой термодинамической системой, поскольку "малая порция среды" и стиснута узостью этого фронта, который она слишком быстро проскакивает, что соответствует скорее микроканоническому ансамблю Гиббса, нежели каноническому. Иными словами, фронту сильной ударной волны принципиально присуще проявление флуктуация температуры. Здесь правдоподобной характеристикой малости "элемента среды" является её размер, поскольку зафронтная скорость звука оценочно равна скачку скорости во фронте.

Так что кинетика на уровне XIX века в чем-то существенном аналогична квантовой механике: так обстоит дело не только в отношении "старой" термодинамики и термодинамики статистической, о чем спорили у боровского камина создатели физики XX века.

Модернизация Гиббса

Определенная противоречивость между каноническим и микроканоническим ансамблями Гиббса привела к тому, что Толмен счел актуальной идею "essential isolation" при интерпретации процессов, не соответствующих "квазистатике".

Кстати, будучи к 1938 году университетским толкователем Гиббса, Толмен в одночасье (к началу 1943 года - по личной рекомендации Роберта Оппенгеймера) превратился в главного физика-эксперта при генерале Гровсе - начальнике ядерного "Манхэттенского Проекта"... Динамика ядерных взрывов и сопутствующих явлений подтолкнула Толмена к идее радикального обобщения концепции температуры для быстропотекающих процессов, в том числе ядерных взрывов и сопутствующих явлений. Но он не успел это формализовать.

Этому замыслу Толмена попытаемся дать свое толкование.

В статистической термодинамике Максвелла-Больцманна-Гиббса температура хорошо (корректно) соответствует:

- максвелловскому распределению по скоростям (импульсам) молекул;

- квазистатистике, то есть каноническому распределению ансамбля Гиббса - когда температура установилась в подсистеме (капле чая), энергия которой строго не фиксирована, поскольку эта подсистема не теплоизолирована от "тепловой бани" (остального чая).

Однако, является ли это соответствие взаимно однозначным?

Эмпирически (вплоть до лазерного зондирования) возможно удостовериться в существовании "мгновенно" устанавливающейся температуры, пусть с определенной точностью, связанной с дос-

тигаемым "фазовым перемешиванием". А теоретически? Динамика фазового перемешивания удивительно быстра при сжатии в структуре ударного фронта и удивительно отсутствует (с соблюдением теоремы Лиувилля) при резком разрежении - как в простой центрированной волне.

Температура в "тождестве Гиббса": $dE \equiv T dS - p dV$ и $T \equiv (\partial E / \partial S)_V$; соответствует (взаимно однозначно?), скажем, максвелловскому распределению молекул по скоростям, а более общо: каноническому (а в среднем - микроканоническому) распределениям.

Но если при "истинной" равновесности (в том числе квазистатике) указанное соответствие соблюдено, то при локальном равновесии - как при эйлеровом и навяе-стоксовом описании - когда не ожидается соответствия с квазистатикой, приписывание гиббсовской температуры $T \equiv (\partial E / \partial S)_V$ не является лишь удобным формализмом. Это обобщение осмысленно, хотя и нуждается в систематической интерпретации, уточнении области применимости.

Итак, каноническое распределение Гиббса (аналогично максвелловскому) соответствует определенной (локальной) температуре объекта. Но это не означает, что определенная локальная температура объекта должна всегда соответствовать каноническому распределению Гиббса или средней температуре микроканонического распределения.

"Тождество Гиббса" может соблюдаться не только там и тогда, где и когда успевает точно устанавливаться каноническое (теплообменное) статистическое распределение в фазовом пространстве импульсов и координат. Категории классической статистической термодинамики Гиббса сохранились и с пришествием квантовой механики. Трудными (в основном) Бозе, Паули и Толмена статистическая механика Гиббса (с нелишними уточнениями Пуанкаре) была согласована с механикой квантовой...

Напомним, что каноническое распределение соответствует подсистемам с перманентно точным значением температуры T при флуктуирующей внутренней энергии E . Значит, Гиббс имел в виду $d\langle E \rangle \equiv T d\langle S \rangle - p dV$

Здесь усреднительные скобки энтропии $\langle S \rangle$ обусловлены статистической сущностью энтропии:

$$\langle S \rangle \equiv k / \langle p \rangle \ln \langle p \rangle d\mu.$$

где p - это плотность гиббсовского распределения в фазовом μ -пространстве, а усреднительные скобки соответствуют "крупнозернистому" ("coarse-grained") распределению, согласно Пуанкаре [1903-06 гг.].

Если каноническое распределение неадекватно, то может пригодиться распределение микроканоническое, соответствующее максимально точно заданной внутренней энергии E при флуктуирующей температуре, среднее значение которой контролируемо. Тогда:

$$d\langle E \rangle = \langle T \rangle d\langle S \rangle - p dV.$$

"Работа" $p dV$, то этот член соответствует прецизионной операции, выполняемой механически точно (если не иметь в виду гайзенбергову неопределенность).

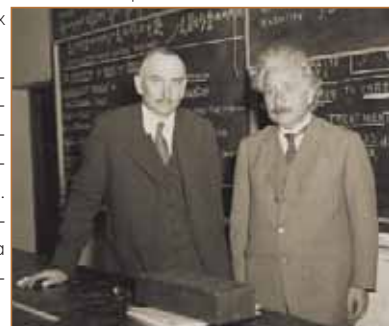
Гиббс, закончивший свои "Принципы" в декабре 1901 года, скончался ранней весной года 1903, не разьяснив: он вводит категорию "флуктуации температуры", не оговариваясь, что при кратковременной флуктуации не самоочевиден факт мгновенной температурной релаксации, хотя необходимо время на перестройку исходного (локально) равновесного распределения в последующее распределение. Например, одного микроканонического в другое микроканоническое. Он фактически отвергает принцип его предшественников: сведение термодинамики к последовательности квазистатистических состояний.

Догиббсова термодинамика напоминает логику некоторых древнегреческих натурфилософов, муссировавших парадокс "Отсутствия Движения". Поскольку, якобы, то, что следовало бы считать движением, "на самом деле" состоит из последовательных состояний покоя.

Позиция Гиббса может



Дж. У. Гиббс 1839-1903 по картине Александра Кривомазова



Р. Толмен и А. Эйнштейн

быть интерпретирована в следующем духе: категория температуры соответствует не только параметру равновесных гиббсовых ансамблей: **температура "существует" и вне "существования" гиббсовых равновесных ансамблей.**

Иными словами, гиббсовы ансамбли в течение (пусть кратких) промежутков времени, когда они (еще или уже) неравновесны, не описываются температурой вообще. Но Гиббс все же успел дать повод для обобщения категории "температура". Это и явилось для автора данной работы стимулом исследовать проблему применимости "температуры" при корректном (и продуктивном) описании заведомо неквазиравновесных процессов сверхзвуковой газодинамики, в том числе - структуры фронта ударной волны.

Стартовав около 1918 года на уровне квазирмостатики, Толмен начал с публикации изящного вывода так называемого закона равнораспределения энергии по молекулярным (классическим) степеням свободы молекул газа. Его теорему почему-то не оценил ни сам Ландау, ни его школа... [В.А.Б.]. Осовременив к 1938 году труд Гиббса, Толмен внезапно оказался в самом центре активных исследований сверхинтенсивных термодинамических процессов (Лос-Аламос 1943-46), безмерно далеких от того, как трактовались свойства капельки в чайной чашке.

Назад в будущее

Теперь уместно вновь вернуться к ударным волнам.

Для обновлённых Толменом ключевых понятий характерна их статическая специфика, напоминающая стенку термоса: то ли она теплопроводна, то ли нет - и т.п.

Правда, уже к 1938 году профессор Толмен не смог уйти от традиционного американского практицизма. Еще не отказавшись от архаической идеологии квазистатики, он постарался - хотя бы ради лекционной университетской наглядности - обобщить больмановски-гиббсовскую модель статистической термодинамики, предложив такое обобщение:

ideal isolation	⇒	essential isolation;
ideal adiabatic	⇒	essential adiabatic;
thermal equalization	⇒	good thermal contact, at given degree of separation between system proper and surroundings.

Между тем, радикально новой актуальности соответствовала динамическая специфика, типичным примером которой служит изоляция такой подсистемы как капелька среды, подвергаемой взрывному процессу - настолько быстротекущему, что её механическая и тепловая изоляция обусловлена именно кратковременностью. Изоляция временными рамками, а не материальными границами. Классический пример того - прохождение среды через ударную волну.

Упрёком в адрес Толмена является доступный ему факт - открытие принципа динамической изоляции Ренкином в 1869 году. Ударная адиабата фронта скачка уплотнения в целом оказалась обеспеченной тем, что и на входе в его структуру, и на выходе - достаточно мал градиент температуры dT/dx при $\partial/\partial t = 0$.

И естественной реакцией Толмена на участие в руководстве LOS ALAMOS явилась идея о таком обобщении концепции температуры, которая допускала бы применимость обобщённой термодинамической температуры для взрывных процессов.

Более того, Толмен не мог не знать, что Гиббс принципиально "узаконил" категорию "флуктуаций температуры", что можно понять и как применимость температуры для своего рода микро-

взрывов. Но то ли дни Толмена были сочтены, когда в 1948 году он успел опубликовать эту идею на декларативном уровне, то ли его разработка была сочтена секретной, но предоставил нам шанс дать свою интерпретацию "обобщенной температуры".

Нечто подобное, наверное, входило в планы Ричарда Толмена - судя по тональности его статьи, опубликованной совместно с Питером Файном в *Reviews of Modern Physics* (1948). Но сработала мистика: Толмен ушел в мир иной в том же году, прожив десять лет, размышляя о модифицировании принципов статистической термодинамики.

Данный раздел завершаем ударно-волновой конкретикой, идейной основой которой здесь является текст главы XIV "Основных принципов..." Гиббса, где без ожидаемых оговорок автора речь идёт о флуктуациях температуры. Это даёт повод для аналогии между флуктуациями вообще и внезапным процессом пересечения фронта ударной волны микрофрагментами сплошной (эйлеровой) среды, то есть своеобразным замораживанием флуктуаций.

Фундаментальная формула Гиббса $dE = TdS$ традиционно интерпретируется как "обоснованная" квазистатикой достаточно медленной эволюции от исходного состояния локального термодинамического равновесия к последующему равновесию (например, от одного максвелловского распределения к очередному). Попытаемся преодолеть эту традицию упрощённо.

Подразумеваемая феноменологически монотонность сжатия и полагаемая нулю температурное время релаксации (для непрерывно "существующей" обобщенной температуры), получаем предельно редуцированную модель структуры (стационарного $\partial/\partial t = 0$ по определению) ударного фронта, имеющего ступенчатый вид (в эйлеровой субстанции) функции Хэвисайда, производная от которой $dV(x)/dx = \Delta V \delta(x)$.

Поскольку ударная адиабата Рэнкина-Гюгонни означает

$$\Delta E = \int TdS - \int pdV \equiv \Delta Q - \langle p \rangle = 0 - (1/2)(p_+ + p_-)\Delta V;$$

то применение δ -функции (оператора Дирака) даёт

$$\int pdV \equiv \int p(x)\{dV/dx\}dx \equiv \int p(x)\Delta V \delta(x)dx \equiv p(0)\Delta V \rightarrow$$

$$\Rightarrow p(0) = \langle p \rangle = (1/2)(p_+ + p_-) \Rightarrow T(0) > T_+$$

в силу $pV = NkT$ и иных уравнений состояния, при соответствующих M_{shock} . Аналогичный температурный пик недавно отмечен эмпирически как "Пик Зельдовича" в экспериментах Ливерморской Национальной Лаборатории им. Лоуренса, США (LLNL).

Вопрос о применении δ -функции к редуцированной структуре ударной волны затрагивался в моих теоретических контактах с Жаном Бюргерсом (Франция), Я.Б. Зельдовичем, Рихардом Курантом (США), О.М. Белоцерковским, А.Н. Колмогоровым и А.Т. Фоменко.

Нестационарность ударного фронта, обусловленная флуктуациями температуры и давления - предмет дальнейшего изложения.

kancelyariya@ocean.ru

Селективная хронология публикаций

- 1902 W. Gibbs: Elementary Principles in Statistical Mechanics, Yale.
- {Гиббс: ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, Москва, 1982, "Наука", под ред. Д.Н. Зубарева.}
- 1928/58 P. A. M. Dirac: Principles of Quantum Mechanics, Oxford.
- 1938 R. Tolman: Principles of Statistical Mechanics
- 1948 R. Tolman, P. Fine: Irreversible Generation of Entropy, Rev. Mod. Physics, vol.20, p.51.
- 1959 Werner Heisenberg: Physik und Philosophie, Stuttgart. {Вернер Гайзенберг: Физика и философия, Москва 1963, для научных библиотек, перевод с немецкого.}
- 1959 A. Münster: Theory of fluctuation, Lago di Como, Italy. FERMI CORSO X
- 1962 В.А. Белоконов: О визите Нильса Бора в СССР, УФН № 1.
- 1962 В.А. Белоконов: Труды МФТИ, Оборонгиз, Москва.
- 1964 В.А. Белоконов: ПМТФ. Обобщенная оценка толщины ударного фронта.
- 1971 Werner Heisenberg: Physics and Beyond, Harper, NY-London
- 1972 В.А. Белоконов: ДАН СССР, т.202, №6. {Изданный в США английский перевод данной статьи страдает нелепостями}.
- 1991 И.А. Квасников: Теория равновесных систем. МГУ.
- 2008 Я.Зельдович, Ю.Райзер: Физика ударных волн..., 3-е изд., М, ФизМат.
- 2011 И. Квасников: Теория неравновесных систем, Москва, УРСС.
- 2011 В.А. Belokogne: 10th WSMFA Proceedings, JHT (OIBT PAH), Moscow. pp.354, 359.
- 2014 John Lindl et al: paps. Physics of Plasmas {on NIF ICF (LLNL) Program}.
- 2014 В.А. Белоконов: "К натурфилософии ударных волн". Научно-технический журнал "Двигатель" № №1, 5
- 2015 В.А. Белоконов: Сборник "Магнитоплазменная аэродинамика", ред. В.А. Битюрин, ФизМат., Москва.
- 2015 В.А. Белоконов: Инженерная физика, № 6.
- 2015 Robert Nigmatulin :Continuum mechanics, in press.



Классик физики XX века Поль Дирак (слева) с автором статьи. Ленинград, 1973 г. Из архива Александра Прокофьевича Кузнецова





ЖИВОПИСЦУ НАУКИ - 80

К ЮБИЛЕЮ А.Н. ПЕТУХОВА

Дмитрий Александрович Боев,
помощник генерального директора ФГУП
"ГНЦ ЦИАМ им. П.И. Баранова"

17 июня 2015 года 80 лет одному из наиболее верных, плодотворных и интересных авторов журнала "Двигатель", доктору технических наук, профессору, действительному члену РАЕН, начальнику сектора отделения прочности ЦИАМ им. П.И. Баранова "Усталость конструкционных материалов и деталей ПТД", Анатолию Николаевичу Петухову. С овершенно естественно, что мы не можем не отметить это событие на наших страницах.

А.Н. Петухов окончил Московский авиационный технологический институт в 1963 г. по специальности инженер-механик по авиационным двигателям. По окончании ВУЗа он был приглашён на работу С.В. Серенсеном в лабораторию прочности ЦИАМ. Где и работает бесперебойно по сию пору. Что само по себе почти рекорд - 52 года. За это время он успел стать виднейшим учёным-прочником с мировой известностью. Гордостью Института. Он непосредственно и весьма активно участвовал в разработке и доводке отечественных авиационных ПТД всех существующих поколений, его работы содержат целый ряд

положений, входящих в научный задел для развития последующих поколений. Все ЖРД, с которыми работали в ЦИАМ, также несут на себе отблеск его таланта.

Труд Анатолия Николаевича отмечен многими орденами и медалями СССР и стран СЭВ, с которыми довелось работать.

Мало того, работы А.Н. Петухова удостоились почти всех высших инженерных и научных наград, принятых в авиационном сообществе. Это свидетельство признания значимости его деятельности среди коллег-двигателистов, инженеров и научных сотрудников. А это, что не могут не отметить все, знакомые с коллективами специалистов, весьма и весьма нечастое явление и дорогого стоит.

Анатолий Николаевич очень много лет преподаёт в наших ведущих московских авиационных ВУЗах - МАИ и МАТИ, а с самого начала 90-х годов он профессор обоих этих вузов. Теперь, поскольку эти технические университеты объединили, его можно будет считать дважды профессором новообъединённого высшего учебного заведения.

Кроме выше отмеченного, наш юбиляр руководит научно-техническим семинаром и осуществляет научное редактирование сборника "Проблемы конструкционной прочности ПТД и ЭУ", где публикуются труды участников семинара. За время работы А.Н. Петуховым подготовлено 11 кандидатов и 6 докторов технических наук. Он - член диссертационных и учёных советов нескольких учебных и научных институтов, программных и организационных комитетов авторитетных российских и международных общественных организаций, конгрессов и симпозиумов.

Всю жизнь Анатолий Николаевич, как учёный, занимающийся проблемами прочности, боролся с усталостью и деформацией изучаемых объектов, стремился понять: насколько опасны исследуемые явления и как противостоять их разрушающему действию. Именно в результате работ Анатолия Николаевича в конце концов стали понимаемы закономерности поведения деталей сложной формы в условиях малоциклового и многоциклового усталости. Это - один из наиболее коварных и опасных видов нагружений, ведущих к самым серьёзным аварийным ситуациям нагрузок, которым подвергаются авиационные двигате-

ли. Сложность таких исследований связана с генезисом нагружаемых деталей, тем, как она была спроектирована и изготовлена, её структурно-технологической наследственностью. Им исследованы особенности распределения знакопеременных деформаций в зоне контакта замковых соединений лопаток авиационных двигателей. Эти контакты инициируют процесс фреттинга, до того совершенно необъяснимый, - и его сумел понять и прогнозировать возможное появление наш юбиляр. А.Н. Петуховым предложен расчётно-экспериментальный метод прогнозирования сопротивления усталости деталей сложной формы (лопаток, дисков, валов ПТД и др.) с учётом конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов. Надо заметить, что почти все исследовательские установки и методы изучения процесса были предложены и разработаны самим же учёным.

Свершенно не удивительно, что общее количество публикаций и изобретений нашего юбиляра превышает 360! В их числе 14 монографий, 18 изобретений и патентов, 15 научно-методических материалов (ГОСТы, ОСТы, руководящие материалы) и 13 учебных пособий. И, кроме того, им и при его активном участии выпущено более 250 научно-технических и технических отчётов по Государственным програм-

мам МАП, ГНТК СССР и РФ, по созданию и разработке всех редакций "Норм прочности ПТД" и приложений к ним.

И ещё: всякий знакомый с Анатолием Николаевичем не может не отметить ещё одну страницу, в которой отпечаталась частица его души. Уже не один год он радуется нас живыми и тёплыми живописными работами.

Работает А.Н. Петухов в масляной живописи и вдохновенность его миниатюр - а пишет он обычно небольшие полотна: пейзажи, натюрморты, реже - портреты - очень хорошо принимается и зрителями, и коллегами по кисти (что, согласитесь, тоже не частое явление), и галереистами. С 1977 года он регулярно участвует в коллективных художественных выставках. За это время более 30 выставок принимали и демонстрировали его работы. С 2001 г. Анатолий Николаевич - член "Творческого Союза Художников России Международной Федерации Художников" и Союза Художников Московской области. Его работы регулярно отмечаются дипломами творческих союзов как в России, так и за рубежом. С 2009 года - участник художественного альманаха "Метрополис" в различных его ипостасях. Сейчас находится в печати альманах "Метрополис" 2015 года. Две работы из него воспроизводим здесь.

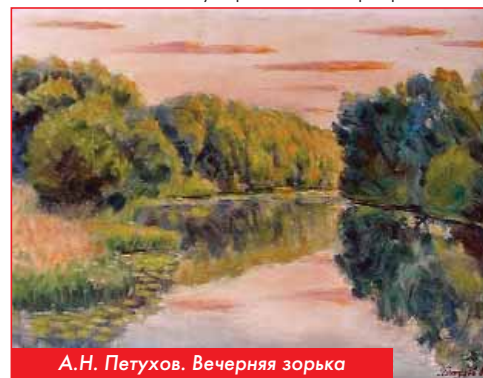
Пожелаем же Анатолию Николаевичу и далее - здоровья и жизненного оптимизма, дающих энергию на столь многообразную и плодотворную деятельность. Пусть в его семье всегда царят любовь и взаимопонимание, а коллеги по работе всегда будут грамотны, понимающие и уважительны.

Многих лет, Анатолий Николаевич! Творческих лет.

... И всегда ждём в журнале.



А.Н. Петухов. Опушка



А.Н. Петухов. Вечерняя зорька





В С Е Г Д А Н А В Ы С О Т Е

MAKS 2015

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЙ
САЛОН**



www.aviasalon.com

МОСКВА • ЖУКОВСКИЙ • 25-30 АВГУСТА

XII ОЛИМПИАДА ПО ИСТОРИИ АВИАЦИИ И ВОЗДУХОПЛАВАНИЯ



Александр Идин

24 апреля 2015 года в 10 часов в Москве в конференц-зале "Ирбис" Маскима-Ирбис-Отеля состоялся Молодежный симпозиум XII Международной олимпиады по истории авиации и воздухоплавания им. А.Ф. Можайского, которая проводится Клубом авиастроителей и Академией наук авиации и воздухоплавания при поддержке Союза машиностроителей России. В этом году олимпиада посвящена 230-летию первого перелета через Ла-Манш.

Главная цель проведения олимпиады - популяризация российской авиастроительной отрасли и привлечение молодежи к работе в авиации и авиастроении. Олимпиада ежегодно привлекает подростков, увлекающихся авиацией, из различных регионов России и многих стран мира.

В течение всего учебного года увлеченные авиацией подростки публиковали свои работы на сайте олимпиады, получали отзывы на

них как от своих сверстников, так и от профессионалов, общались с интересными людьми.

Накануне Молодежного симпозиума участники и их сопровождающие собрались в Москве. В этот день ребята посетили учебный класс и демонстрационный зал ОАО "НПО "Энергомаш" имени академика В.П. Глушко", в котором сохранились первые натурные экспонаты авиационных и ракетных двигателей начиная с конца 40-х годов прошлого века и до сегодняшнего дня, выставлены и макеты современных разработок предприятия. После экскурсии участников ждала серия психологических тренингов и консультаций, направленных на сплочение команды и снятие излишнего эмоционального напряжения. По окончании тренингов ребята встретились со своими консультантами и потренировались в работе с презентационным оборудованием.



Жюри внимательно слушает и живо обсуждает



Ю.С. Елисеев награждает победителей первого тура Олимпиады



Никита Надеждин - первому тяжело, но своя модель должна помочь

24 апреля финалисты представили свои работы на Молодежном симпозиуме. Симпозиум открыл Президент Клуба авиастроителей, д.т.н, профессор, чл.-корр. РИА, исполнительный директор ОАО "Металлист-Самара" Юрий Сергеевич Елисеев.

В работе Жюри олимпиады приняли участие люди, посвятившие всю свою жизнь авиации: президент Академии наук авиации и воздухоплавания, академик РАН, Генеральный конструктор ОКБ им. С.В. Ильюшина, дважды Герой Социалистического Труда Генрих Васильевич Новожилов; заведующий кафедрой "Летательные аппараты" Южного федерального университета, д.т.н., профессор, генеральный конструктор ТАНТК им. Г.М. Бериева Геннадий Сергеевич Панатов; руководитель группы истории авиации Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, к.т.н. Дмитрий Алексеевич Соболев; Заслуженный летчик-испытатель РФ, космонавт-испытатель ЛИИ им. И.М. Громова Урал Назибович Султанов; военный летчик, авиажурналист, Почетный член Авиационного содружества "Свети Илия", Кавалер Почетного Золотого знака пилота ВВС и ПВО Армии Сербии Радмила Дмитриевна Тонкович (Республика Сербия), известные ученые и журналисты.

Молодых людей - будущих авиаторов - приехали послушать почетные гости симпозиума: первый вице-президент НП "Клуб авиастроителей", д.т.н., профессор Виктор Иванович Зазулов; президент



Самый юный участник Олимпиады Илья Щур



Арсений Тарасов



Александр Жирнов



Павел Шипилов



Александр Харебава



Михаил Максимов



Анастасия Бадакова

АССАД, д.т.н., профессор Виктор Михайлович Чуйко, директор центра истории авиационных двигателей Самарского государственного аэрокосмического университета имени А.П. Королева Владимир Андреевич Зрелов; доцент кафедры "Авиационные двигатели" Уфимского государственного авиационного технического университета Сергей Иванович Каменев; президент Фонда М.Л. Миль Надежда Михайловна Миль; заведующий сектором профориентации ОАО "Туполев" Александр Львович Сердобольский; Заслуженный учитель РФ Виктор Михайлович Жияков, другие гости.

Поддержать финалистов приехали победители прошлых олимпиад, члены Клуба авиастроителей: инженер конструктор ОАО "Сухой" Илья Александрович Гришин; студент МАИ Венедикт Владимирович Дорожко, студент МАИ Денис Александрович Сухарев, студент Ульяновского ГТУ Максим Анатольевич Храмов.



Егор Александров

Все финалисты олимпиады получили сертификаты победителей первого тура, сувениры от ООО "Звезда", Союза Машиностроителей России, ОАО "Климов" и приглашения в Летний аэрокосмический лагерь в Республику Башкортостан.

Победителями XII Международ-



Альмир Зиннатуллин



Данил Соколов



Роман Крутов

ной олимпиады по истории авиации и воздухоплавания им. А.Ф. Можайского стали:

- 1 место - Данил Андреевич Соколов, Уфа, Республика Башкортостан, Россия;
- 2 место - Альмир Альбертович Зиннатуллин, Нефтекамск, Республика Башкортостан, Россия;
- 3 место - Анастасия Васильевна Бадакова, г. Гаврилов-Ям, п. Заря, Ярославская область, Россия.



Председатель жюри Н.Г. Багдасарьян вручает приз Егору Александрову

Призы победителям олимпиады (планшетные компьютеры, часы и книги) предоставили Союз Машиностроителей России, часовая компания "Romanoff" и издательство "РусАВИА".

Обладателем специального приза Клуба авиастроителей за первое место в рейтинге популярности на сайте олимпиады стал Илья Андреевич Щур, Москва, Россия.

Призы по номинациям получили: Павел Александрович Шипилов (с. Сергиевск, Самарская область, Россия) в номинации "Надежда олимпиады"; Егор Сергеевич Александров (Сим, Челябинская область, Россия) в номинации "За целеустремленность и актуальность в год 230-летия первого перелета через Ла-Манш"; Арсений Максимович Тарасов (Санкт-Петербург, Россия) в номинации "За неординарность работы"; Никита Владиславович Надежин (Кострома, Россия) в номинации "За увлеченность авиамоделизмом", Илья Андреевич Щур (Москва, Россия) в номинации "За увлеченность авиацией"; Александр Сергеевич Жирнов (д. Караульная гора, Нурлатский район, Республика Татарстан, Россия) в номинации "За уважение к подвигу летчиков, осуществивших таран в горды войны"; Михаил Антонович Максимов (Москва, Россия) в номинации "За глубокий интерес к истории авиации".

В подготовке и проведении симпозиума приняли участие: Администрация Кировского района, Санкт-Петербург, Россия; Академия наук авиации и воздухоплавания, Россия; Департамент образования города Москвы, Россия; Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, Россия; Лицей №1550 города Москвы, Россия; МАТИ - Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского, Россия; Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ), Россия; Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Россия; Московский станкостроительный завод "МСЗ-САЛЮТ", Россия; Министерство образования и науки Республики Татарстан, Россия; Научно-технический журнал "Двигатель", Россия; Некоммерческая организация "Авиакосмофонд", Москва, Россия; ОАО "Агрегат", Сим, Челябинская область, Россия; ОАО "Гаврилов-Ямский машиностроительный завод "АГАТ", Гаврилов-Ям, Ярославская область, Россия; ОАО "Климов", Санкт-Петербург, Россия; ООО "Звезда", Лобня, Московская область, Россия; ООО "АКФ-Консалтинг", Москва, Россия; Отдел образования администрации города Нефтекамск, Республика Башкортостан, Россия; Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; Рекламно-производственная компания "Гарусс", Москва, Россия; Союз машиностроителей России, Уфимский государственный авиационный технический университет, Республика Башкортостан, Россия; Часовая компания "Romanoff", Москва, Россия.

На симпозиуме присутствовали представители средств массовой информации: Журнал "Двигатель", Журнал "Крылья Родины", Телеканал "Flight-TV".

Работа симпозиума транслировалась в сеть Интернет.



Победителей финала приглашают вступить в Клуб Авиастроителей

И как пример для подражания.



Чтобы стать **большим примером для подражания**, крупные размеры не требуются. Наоборот. Концепция нашего нового станка С 12 восхищает своей **компактностью**, чрезвычайной **малогабаритностью** конструкции – причем с наличием **встроенного инструментального магазина**. Он может быть оснащен **71 инструментом**. И все это в сочетании с широко известными **качеством, долговечностью и точностью** оборудования Hermle для самой современной **5-осевой технологии обработки**.

ООО Хермле Восток
ул. Полковная д. 1, стр. 6
127018 Москва, Россия
Тел: +7 495 627 36 34 Факс: +7 495 627 36 35 E-mail: info@hermle-vostok.ru



МОНЕТЫ XXI ВЕКА К СТОЛЕТНИМ ЮБИЛЕЯМ В АВИАЦИИ

Андрей Викторович Барановский

И вновь - о понетах. На начало XXI века пришлось изрядное количество авиационных юбилеев, связанных с вековым периодом времени. Производители юбилейных монет, у которых в большом фаворе и столетние юбилеи и авиация не могли не откликнуться на эту особенность начала тысячелетия.

Редакция

Различные круглые даты монетные дворы мира предпочитают не пропускать и по важнейшим из них чеканят памятные монеты. Таки монеты делают обычно из драгоценных металлов - ведь они рассчитаны в основном на коллекционеров. Авиация в этом отношении не исключение и к настоящему времени более 25 стран посвятили свои памятные монеты различным датам мировой и своей авиации, которым исполнилось столет. Почему не больше - авиация началась в 1903, когда впервые взлетел аппарат тяжелее воздуха. Это был "Флаер-1" братьев Райт.

Естественно, что в 2003 г. это событие отметили в США выпустив две монеты номиналом в половину и один доллар. На реверсе доллара помещены портреты братьев Райт. На аверсе полудоллара - памятник, воздвигнутый на месте, где был совершен этот полет, на реверсе - сам "Флайер-1".

Этому полету посвятила серебряную монету номиналом \$ 10 Либерия, Соломоновы острова (серебряные \$25), Виргинские острова (\$1 из медно-никелевого сплава). Остров Мэн по указанному поводу выпустил серию из 6 монет номиналом в 1 крону из медно-никелевого сплава, серебра и золота. Чеканка украинской монеты в 2 гривны из нейзильбера была приурочена сразу к двум датам - столетию полета

полета, совершенному летчиком этой страны.

На чешских серебряных 200 кронах 2011 г. изображен самолет пионера авиации этой страны - Яна Кошпарка, пролетающим над городом Пардубице 13 мая 1913 г. Маршрут Пардубице-Прага был первым дальним перелетом в тогдашней Чехии.

Словения в 2009 г. выпустила три монеты номиналом 3, 30 и 100 евро, отметивших вековую годовщину первого авиapolета в этой стране. Управлял самолетом Эдвард Русан, портрет которого отчеканен на реверсе монет.

Первый полет самолета в Австралии состоялся в 1910 году. По этому поводу в 2010 г. был выпущен серебряный доллар с эмалевым цветным покрытием, на аверсе которого и размещен тот самый аэроплан.

Бразилия отчеканила 2 серебряных бразильских реала 2006 г. с Альбертом Сантосом Дюмоном, который совершил свой первый полет 12 ноября 1906 г. в Париже. Что прославило и его и Бразилию и часовую фирму "Картье" - выпустившую специально к этому полету первые в мире наручные часы. На аверсе монеты его портрет, на реверсе - этот самый самолет "14 BIS".

Одна из австрийских монет чеканки 2007 г. из серии "Технологии в Австрии" посвящена столетнему юбилею первых полетов в Австро-Венгрии. Она биметаллическая (центральная вставка из ниобия и кольцо из серебра) и имеет номинал 25 евро. На аверсе монеты

братьев Райт и 70-летию Национального авиационного университета. Самая сложная по технологии монета (здесь, увы, не приводится) была отчеканена на монетном дворе Robjoу по заказу Гибралтара. Монета имеет номинал в 1 крону и внутренняя вставка ее изготовлена из платины, среднее кольцо - из золота и внешнее - из серебра.

Несколько стран посвятили монеты юбилеям первого



изображен внутренний интерьер пилотской кабины современного самолета. На реверсе - фигура пионера полетов этой страны Игнаца Этриха (1879-1967). Этот инженер спроектировал и построил летательный аппарат с мотором "Таубе" (Голубь), который и помещён на монете.

Румыния в 2010 г. отчеканила из никелевой латуни монету в 50 бани (по нашему - 50 копеек), посвященную столетнему юбилею полета первого румынского самолета



"Влайку 1" инженера. Аурела Влайку Полет состоялся 17 июня 1910 г. и в этот день в стране празднуется День национальной авиации.

Для Румынии и для всей мировой авиации 1910 год стал годом первого полета самолета Анри Коанда на реактивной тяге (!). По этому поводу была выпущена серебряная монета в 10 лей.

Речь идет о самолете "Coanda-1910", двигатель-компрессор которого нагнетал воздух в две камеры сгорания, расположенные по бокам фюзеляжа.



Создаваемая тяга позволяла подниматься самолету в воз-

дух, что и произошло можно сказать в октябре 1910 г. Но во время взлета пламя от двигателей попало на хвост самолета, который и сгорел. Неуправляемая машина врезалась в амбар.

Сам конструктор уцелел, но получил серьезные увечья. На этом опыты с "Coanda-1910" были прекращены.

В этом же году Хорватия отметила столетие первого моторного полета и выпустила серебряную монету номиналом 150 кун, на аверсе которой поместила самолет, пилотируемый Драгутином Новаком (1892-1978), на реверсе - портрет самого пилота. Драгутин Новак участвовал в Первой мировой войне и за мужество и героизм получил золотую медаль.

Монетный двор Швейцарии в 2013 г. отчеканил памятную серебряную монету, посвященную 100-летию первого трансальпийского перелета, совершенного Оскаром Бидером.



Номинал монеты из серебра 20 франков. На реверсе изображены Альпы, над которым летит моноплан Бидера. В левой части монеты находится факсимиле подписи Оскара Бидера.

Оскар Бидер (1891 - 1919) - пионер швейцарской авиации. Первые годы жизни после окончания школы посвятил себя фермерству, в том числе был гаучо в Аргентине. После возвращения в Швейцарию в 1912 г. поступил в летную школу Блерио и получил лицензию пилота №32. В январе 1913 г. на моноплане Bleriot XI перелетел через Пиренеи и возвра-

тился к себе на родину уже героем. Затем он стал готовиться к перелету через Альпы по маршруту Берн-Милан. Но его моноплан не позволял совершить его без посадки, так как мощности 70-сильного двигателя не хватало, чтобы с полным баком достичь высоты 3600 м, позволяющей перевалить горы в районе вершины Юнгфрауйох. Поэтому в местечке Домодоссала была предусмотрена промежуточная посадка.

Старт в Берне состоялся рано утром 13 июля и в 6.10 утра самолет пролетел в 100 м над вершиной Юнгфрауйох и после дозаправки в тот же день финишировал в Милане. После затянувшейся по условиям погоды 13-дневной остановки в этом городе, Бидер вылетел на родину и приземлился для дозаправки в Листале на севере страны, а затем полетел через Базель в Берн.

Национальный банк Украины в 2013 г. выпустил в обращение памятную монету из нейзильбера номиналом 5 гривен, посвященную 100-летию выполнения фигуры высшего пилотажа - "петли Нестерова". На аверсе её в центре изображен портрет Петра Нестерова. На реверсе - стилизованная композиция выполнения Нестеровым знаменитой "мертвой петли". Внизу показаны зрители, изображения которых взяты с киевских открыток 1913 года.

"Мертвую петлю" Нестеров выполнил 27 августа 1913 года в Киеве на самолете "Ньюпор-4".

А годом ранее - в 2012 г. Национальный банк Украины отметил выпуском монеты из нейзильбера и номиналом 5 гривен столетний юбилей основания поселка Качи. Он знаменит своей школой военных летчиков. На ее основе позднее было создано Качинское высшее военное авиационное училище. Поэтому Кача считается колыбелью отечественной авиации. На реверсе монеты изображена символическая композиция - на фоне звезд человек с крыльями на вытянутых руках держит самолет.

В 2009 г. в Германии отмечался вековой юбилей Международного авиакосмического салона ILA, первый раз проведенного в октябре 1909 года во Франкфурте-на-Майне. Он длился 100 дней и может претендовать на звание самого старого авиашоу в мире.

В честь этого события Банк Германии выпустил серебряную монету достоинством в 10 евро. Еще в довоенное время проведение салоне было перенесено в Берлин и он известен как Международный авиакосмический салон ILA в Берлине.

Аверс монеты разделен на три вертикальных части. Благодаря этому приему художнику удалось показать всю ширину темы "Авиация". Средняя часть показывает динамику полета самолета при посадке на взлетно-посадочную полосу. В обеих боковых частях изображена история освоения воздуха и космоса, начиная от самолетов Отто Лилиентала до Международной космической станции.

Перед Первой мировой войной и в ходе её в мире стали создаваться национальные военно-воздушные силы. В



России - это 1912 год и в связи с юбилеем Банк России выпустил серебряную монету номиналом 3 рубля с мультиколовым покрытием.

Несколько стран Британского содружества наций, все страны его входили перед Первой мировой с состав Британской империи в 2009 г. отчеканили монеты к столетнему юбилею Королевской морской авиации. Виргинские острова выпустили серебряные 10 долларов. На реверсе их изображен один из самых известных в мире самолетов

Королевских ВМС, Fairey Swordfish и корабль-матка HMS Fencer. Для справки. HMS - префикс, используемый в названиях судов Королевского военно-морского флота Великобритании. Он расшифровывается так: Her или His Majesty's Ship - Его (или Ее) Величества Корабль.

Кстати, надо отметить, что те же Виргинские острова отчеканили серебряную монету достоинством в 1 доллар, посвященную 100-летию первого управляемого полета братьев Райт.

Остров Гернси отчеканил серебряную пятифунтовую монету. На реверсе ее изображен авианосец "Арк Ройял" и три самолета, отражающие три основных этапа развития морской авиации Соединенного Королевства: "Свордфиш", истребитель-бомбардировщик "Буканир" и "Харриер".

Австралия в 2014 г. отчеканила две юбилейные монеты. Одна - многогранная медно-никелевая номиналом 50 центов посвящена Австралийскому летному корпусу. Вторая одноунцевая серебряная номиналом 1 австралийский доллар - столетию BBC.

Отмечены памятными монетами и юбилеи авиаконструкторов. Это сделали Россия и Украина по отношению к



Олегу Константиновичу Антонову (1906-1984). Россия выпустила монету из серебра номиналом 2 рубля, на реверсе которой на первом плане бюст Олега Константиновича, а на заднем - наиболее известные его самолеты - Ан-124 "Руслан", Ан-2 "Кукурузник" и Ан-74.

На аверсе укра-

инских 2-х гривен размещен опять же "Руслан" и под крылом его Ан-2.

На реверсе - портрет О.К. Антонова.

Армения в 2005 г. отчеканила из золота монету в 100 драмов, посвященную Артуру Микояну.

На аверсе изображены спроектированные им самолеты - МИГ-25, МИГ-19 и МИГ-3. В центре реверса - портрет Микояна на фоне самолетов.

И в заключение о монете, отчеканенной в честь юбилея летчика. Это Александр Покрышкин. В 2013 г. исполнилось 100 со дня его рождения. По этому поводу Банк России выпустил в обращение памятную серебряную монету номиналом 2 рубля. Она вошла в серию "Выдающиеся личности России".

Александр Покрышкин (1913-1985 гг.) - советский летчик-ас, выдающийся пилот-истребитель, ставший первым Трехжды Героем Советского Союза, маршал авиации.

На реверсе монеты есть рельефные изображения А.И. Покрышкина и истребителя "Аэрокобра", на котором он одержал большинство своих побед.



XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ - 2015 МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

24-27
НОЯБРЯ



ОРГАНИЗАТОР
Международный выставочный центр
ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:
Украинской Национальной Компании
"Укрстанкоинструмент"



Международный выставочный центр
Украина, 02660, Киев
Броварской пр-т, 15
"Левобережная"
(044) 201-11-65, 201-11-56
e-mail: lilia@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua



www.aviaport.ru

АвиаПОРТ

отраслевое агентство



Новости



События



Аналитика



Справочник



Персонал



Рынок



Сообщество

ИСПОЛЬЗОВАТЬ

И

РАБОТАТЬ

ЦИФРЫ

ФАКТЫ

ГЛАВНЫЙ

АНАЛИЗИРОВАТЬ

И ПЛАНИРОВАТЬ

ИСКАТЬ

И

НАХОДИТЬ

ИСТОЧНИК

РАБОТАТЬ

ИНФОРМАЦИИ

ЗНАКОМИТЬСЯ

И

ОБЩАТЬСЯ

НАХОДИТЬ

ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ

ИСКАТЬ

АНАЛИЗИРОВАТЬ

КОММЕНТАРИИ

ЦИФРЫ

ИСКАТЬ

АВИАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ

РАБОТАТЬ

ПЛАНИРОВАТЬ

ФАКТЫ

ИСПОЛЬЗОВАТЬ



ТАНКИ ОТ И ДО

Олег Никитич Брилёв,

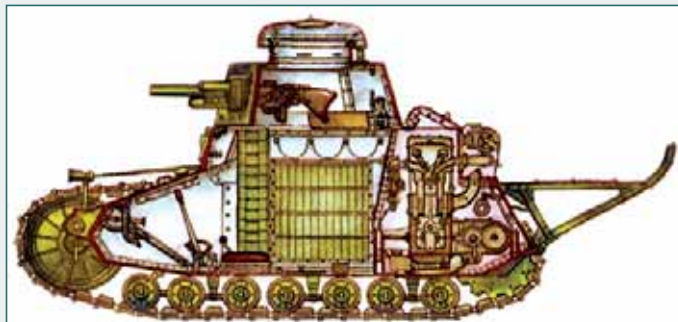
д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ,
начальник кафедры танков ВАБТВ (1975-1987 гг.)

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

В Советском Союзе первые танки были созданы уже после Первой мировой войны. В 1920-1921 годах на Сормовском заводе в Нижнем Новгороде (руководитель разработки - Н.И. Хрулев) с участием Ижорского и Московского заводов была выпущена партия из 15 машин КС - "Красное Сормово". Прототипом послужил трофейный французский легкий танк "Рено". Дальнейшее производство было приостановлено из-за экономических трудностей.

Первым серийным советским танком стал легкий танк МС-1 "Малый сопровождения" (в последующем МС-2, МС-3), разработанный на Ленинградском заводе "Большевик" и принятый на вооружение в 1927 г. На данном образце были применены технические новшества - поперечное расположение двигателя воз-

душного охлаждения в одном блоке с коробкой передач и др. Танк МС-1 применялся в конфликте на КВЖД.



Разрез танка МС-1

В последующем на том же заводе малой серией был выпущен танк Т-24. Он отличался более мощным вооружением с его трехъярусным расположением и планетарной трансмиссией. Из-за сложности и недостаточной надежности этот образец дальнейшего развития не получил.



Т-24. Одновременно с ленинградским заводом "Большевик" Харьковский паровозостроительный завод (ХПЗ) получил заказ на изготовление "маневренного танка" Т-12, также разработанного ГКБАОТ. Боевая масса Т-12 должна была составить 16 т. Скорость - 26 км/ч. Экипаж должен был быть из 4 человек. Танк предполагали вооружить 45-мм пушкой и тремя пулеметами. Улучшенный конструкторским бюро ХПЗ, этот танк был принят РККА под обозначением Т-24, и в 1930 году выпустили 25 машин. На Т-24 было трехъярусное расположение оружия - пулемет в лобовой части корпуса, 45-мм пушка и два пулемета (один в корме) в башне и четвертый в маленькой башенке кругового вращения на крыше главной башни. Машину обслуживали 5 танкистов. При бронировании до 20 мм боевая масса была 18,5 т, и двигатель М-6 (8-цилиндровый, V-образный, мощностью 250 л.с.) обеспечивал скорость до 22 км/ч

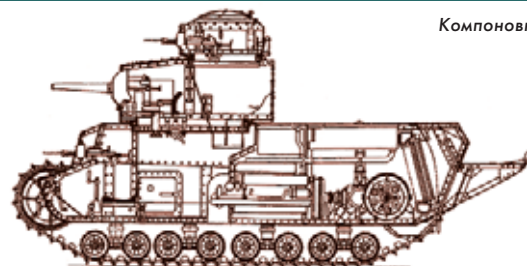
Компоновка Т-24



МС-1. В 1923 году было образовано Главное управление военной промышленности ВСНХ (Высшего совета народного хозяйства). 6 мая 1924 года в ГУВП создано техническое танковое бюро. В 1926 году его преобразовали в Главное конструкторское бюро Орудийно-арсенального треста (ГКБАОТ), в конце года сформировали межведомственную комиссию по танковому строительству, которая выработала первое тактико-техническое задание на 3-тонный танк сопровождения пехоты. Штаб РККА счел нужным увеличить вес будущего танка до 8 т, подчеркнув необходимость оснащения его пушечно-пулеметным вооружением. В 1926 году ГУВН запланировал изготовить в 1927-1929 гг. до 150 танков сопровождения. В июле 1925 года танковое бюро закончило проектировать Т-16 (МС-1), его изготовление поручили ленинградскому заводу "Большевик". Но первые 30 выпустили лишь к маю 1929 года. Двигатель на МС-1 ставился от грузовика АМО - карбюраторный, воздушного охлаждения, мощностью 34 л.с., впоследствии доведенный до 40 л.с.



Танки МС-1 в составе сводного опытного механизированного полка первого танкового соединения СССР 1-й механизированной бригады



Создание танковой промышленности в ходе первых пятилеток позволило наладить регулярное серийное производство танков. В 1931 г. были приняты на вооружение и запущены в серию массовые советские танки легкого типа - танк поддержки пехоты Т-26 и быстроходный крейсерский танк БТ-2 (последней его модификацией был БТ-7М, а наиболее массовой - БТ-5).

Танк Т-26 разрабатывался и выпускался на Ленинградском опытном заводе им. Ворошилова (№ 174 - выделился в самостоятельное предприятие из завода "Большевик") под руководством главного конструктора С.А. Гинзбурга. За прототип был взят английский образец "Виккерс" (6 т). Первоначально этот образец имел 2 пулеметные башни, впоследствии одну башню с 37-мм, а затем и 45-мм пушкой. На небольшой партии машин был установлен гироскопический стабилизатор линии прицеливания по вертикали. Всего было выпущено около 11 тыс. машин.



С появлением в 1932 году 45-мм танковой пушки для Т-26 изготовили цилиндрическую башню, в которую её и установили. Боекомплект пушки состоял из 136 снарядов. Таким образом появился Т-26 образца 1933 года. Его масса составила 9,4 т.

45-мм пушка имела клиновой полуавтоматический затвор и угол наведения в вертикальной плоскости - $5...+22^\circ$. Начальная скорость фугасного снаряда достигала 335 м/с, а бронебойного - 760 м/с, и на дистанции 100 м снаряд пробивал 32-мм броню.

Танки командиров оснащались радиостанцией с поручневой антенной, при этом боекомплект пришлось ограничить 96 снарядами. Опыт боев у озера Хасан показал, что противник обычно сосредоточивает огонь именно на них, поэтому поручневую антенну заменили менее заметной - штыревой. Типичным для этих танков стали две фары-прожектора над пушкой для ведения огня ночью.

С 1935 года бронелисты корпуса и башни стали соединять сваркой, боекомплект пушки уменьшили до 122 выстрелов (82 в танках с радиостанцией), но увеличили емкость бензобаков. Масса возросла до 9,6 т. Танки 1936 года получили пулемет в кормовой нише башни, боекомплект опять сократили, оставив 102 снаряда, незначительные изменения внесли в ходовую часть - танк потяжелел до 9,65 т.

С 1937 года на Т-26 появился зенитный пулемет, размещенный на крыше башни, и внутреннее переговорное устройство ТПУ-3, двигатель форсировали до 95 л. с. Боевая масса достигла 9,75 т



Т-26 1937 года получили конические башни, лучше выдерживающие попадания пули, их стенки начали сваривать из 15-мм бронелистов. Емкость бензобаков возросла с 182 до 290 л, боекомплект составил 107 снарядов, масса - 10,25 т. Начиная с 1938 года на танках начали устанавливать стабилизатор линии прицеливания пушки в вертикальной плоскости.

Танки, выпускавшиеся с февраля 1939 года, имели подбашенную коробку с наклонными бронелистами, задний башенный пулемет убрали и боекомплект пушки довели до 165 снарядов (205 на машинах без рации). Увеличив степень сжатия двигателя, его мощность довели до 97 л.с. С 1940 года подбашенную коробку стали выполнять из 20-мм гомогенной стали вместо цементированной. Наконец, для усиления защиты около сотни танков в ходе советско-финской войны срочно добронировали, навесив на них экраны, при этом толщину нижней лобовой части корпуса и передней стенки довели до 60 мм. Иногда эти машины называют Т-26Э. Однако они явно были перетяжелены.

Выпуск Т-26 прекратили в первой половине 1941 года. Всего Красная Армия получила более 11 тыс. Т-26 различных модификаций, включая огнеметные (тогда называвшиеся "химическими") ХТ-26 и саперные (мостовые) СТ-26



ХТ-26



СТ-26



Первый Т-26 появился в 1931 году под названием ТММ-1. По сравнению с английской машиной "Виккерс-6 т" у него была изменена конструкция корпуса из-за установки двигателя жидкостного охлаждения "Геркулес" мощностью 95 л.с. Два пулемета "Виккерс" с водяным охлаждением стволов находились в двух башнях, а советский ДТ - справа в корпусе. Экипаж состоял из 4 человек. Боевая масса - 8 т, толщина брони до 13 мм, скорость - 30 км/ч. ТММ-1 не удовлетворил военных, и в производство пустили "Виккерс" с некоторыми изменениями: толщина брони была увеличена до 15 мм, двигатель мощностью 90 л.с. воздушного охлаждения. Масса достигала 8,2 т, скорость - 30 км/ч, экипаж - 3 человека. Внешне Т-26 почти не отличался от прототипа, если не считать измененной передней части корпуса и вооружения: в каждой башне устанавливалось по пулемету ДТ-29

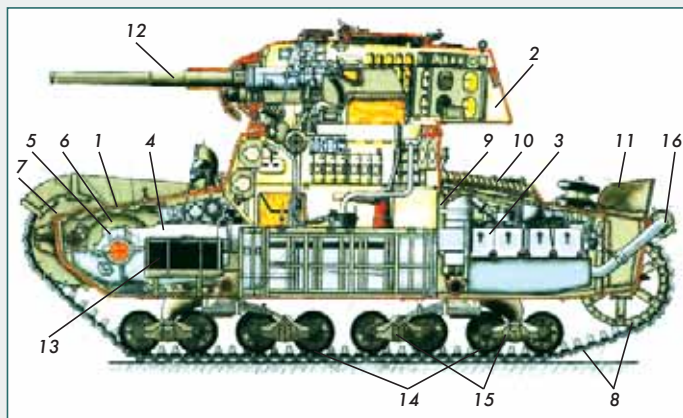


Для вооружения "двухбашенников" Главное артиллерийское управление рекомендовало 37 мм пушку Б-3, созданную на основе немецкого орудия фирмы "Рейнметалл". Б-3 имела небольшой откат и меньший размер казенной части, что позволило установить ее в штатную пулеметную башню Т-26 почти без переделок последней.

Но из-за недостаточного количества выпускаемых пушек Б-3 в окончательном варианте на двухбашенных Т-26 устанавливалась хорошо освоенная промышленностью 37-мм пушка ПС-1 (или "Гочкис-ПС").

В левой башне устанавливался пулемет ДТ калибра 7,62 мм. Из-за роста массы танка мощность двигателя оказалась недостаточной. В результате модернизации удалось поднять её с 90 до 95 л.с., но и этой мощности было мало.

Кроме того, двигатель и до доработок оказался слишком сложным для изготовления - брак при производстве нового танка из-за двигателей на первых этапах производства достигал 65 процентов!



Продольный разрез танка Т-26: 1 - броневой корпус (красный цвет), 2 - башня, 3 - двигатель, 4 - коробка перемены передач, 5 - бортовой фрикцион, 6 - тормоза, 7 - бортовая передача, 8 - ходовая часть, 9 - перегородка между боевым отделением и моторным, 10 - броневые жалюзи над масляным радиатором, 11 - воздушный колпак, 12 - 45-мм пушка 20К, 13 - аккумуляторная батарея, 14 - опорные катки, 15 - тележка подвески, 16 - глушитель

На базе танка Т-26 прорабатывались самоходная артиллерийская установка СУ-5 и зенитная самоходная установка СУ-6.

Танк БТ с колесно-гусеничным двигателем разрабатывался и выпускался на Харьковском паровозостроительном заводе (№ 183) под руководством главного конструктора А.О. Фирсова. За прототип был взят американский образец "Кристи". Первые образцы БТ были вооружены 37-мм пушкой, на последующих модификациях устанавливались 45-мм пушка и 76-мм орудие. Некоторая часть образцов последних модификаций была оснащена гироскопическим стабилизатором (как на Т-26), а также новым танковым дизелем (разработанным для Т-34). Танк БТ обладал исключительно высокой подвижностью. При движении на колесном ходу гусеницы снимались, задние опорные катки были ведущими, а передние - управляемыми. Максимальная скорость движения составляла 73, на гусеницах - 52 км/ч. Всего было выпущено около 8 тыс. машин.

Танки Т-26 и БТ имели противопульное бронирование. Опыт их применения в Испании показал, что такая защита стала совершенно недостаточной. В целом эти машины практически не уступали немецким ТIII и ТIV предвоенного периода. Танки Т-26 и БТ были наиболее массовыми и составляли основу танкового парка Красной Армии. Организационно они использовались в составе танковых бригад, объединявшихся в механизированные корпуса, и в виде отдельных танковых батальонов стрелковых дивизий (только танки Т-26).

На базе танков Т-26 и БТ создавались огнеметные машины и мостоукладчики. Проводились опыты по преодолению водных преград на плаву (с помощью поплавков) и по дну.



Испытание танка Т-26 с оборудованием для преодоления водных преград по дну (1935 г.). Все отверстия и люки машины закрывали деревянными вставками и резиновыми уплотнителями, а в башню устанавливали трубу для подачи воздуха из атмосферы. Максимальная глубина водной преграды 5 м была обусловлена примененным методом герметизации и длиной трубы для подачи воздуха в танк



СУ-5-1. Весной 1934 года был утвержден план перевооружения Красной Армии современной артиллерийской техникой. Наряду с обычными образцами орудий предполагалось разработать и целую гамму самоходных артиллерийских систем.

Одной из задач было создание так называемого "малого триплекса" - трех типов различных артиллерийских орудий, установленных на едином шасси. Эти машины предполагалось использовать для огневой поддержки танковых и кавалерийских частей на поле боя. Первые три машины, получившие обозначение СУ-5-1, СУ-5-2 и СУ-5-3, были изготовлены к осени 1934 года.

Основным оружием СУ-5-1 являлась 76,2-мм дивизионная пушка обр. 1902/30 гг. (длина ствола 30 калибров) с начальной скоростью осколочного снаряда 338 м/с. Вертикальные углы наведения составляли от -5° до +60°, горизонтальные - в секторе 30° без поворота машины. Максимальная дальность стрельбы составляла 8760 м при угле возвышения 40°, скорострельность - 12 выстр./мин. Возимый боекомплект пушки составлял 8 выстрелов



На СУ-5-2 устанавливалась 122-мм гаубица обр. 1910/30 гг. (длина ствола 12,8 калибров) с измененной конструкцией люльки. Начальная скорость осколочного снаряда 335,3 м/с. Скорострельность 5-6 выстр./мин.

Углы наведения по вертикали составляли от 0° до +60°, по горизонтали - в секторе 30° без поворота машины. Максимальная дальность стрельбы 7680 м. В боекомплект гаубицы входили 4 снаряда и 6 зарядов.

На фото самоходные артиллерийские установки СУ-5-2 из состава 2-й механизированной бригады на параде в Хабаровске 7 ноября 1937 года. В 1938 году эти самоходки участвовали в боях с японцами у озера Хасан



СУ-5-3 вооружалась 152,4-мм дивизионной mortирой обр. 1931 г. (длина ствола 9,3 калибра). Начальная скорость снаряда 250 м/с. Углы вертикального наведения составляли от 0° до +72°, углы наведения по горизонтали - в секторе 12° без поворота машины. Максимальная дальность стрельбы составляла 5285 м. Скорострельность 4-5 выстр./мин. на углах возвышения до 30°, свыше 30° - 1 выстр./мин. Боекомплект составлял 4 выстрела



СУ-5-2

Боевая масса СУ-5 составляла 10,2...10,35 т, экипаж состоял из пяти человек. В качестве базы использовалась ходовая часть, двигатель и трансмиссия танка Т-26. Корпус состоял из отделения управления, моторного и боевого. В отделении управления находилась трансмиссия и сиденье водителя. Моторное отделение находилось в средней части корпуса и отделялось от других бронированными перегородками. В нем находился двигатель (с укороченным карданным валом), главный фрикцион, вентилятор, радиатор, масляный и бензиновый баки. Боевое отделение находилось в корме машины. Здесь за 15-мм броневым щитом устанавливалось вооружение и имелись места для расчета.

Заводские испытания СУ-5 прошли с 1 октября по 29 декабря 1935 года. СУ-5-1 преодолела 296 км, СУ-5-2 - 206 км и СУ-5-3 - 189 км. На полигоне СУ-5-1 и СУ-5-2 сделали по 50 выстрелов и СУ-5-3 - 23 выстрела.

Планом на 1936 год предполагалось изготовить партию из 30 машин. Причем военные отдали предпочтение СУ-5-2 со 122-мм гаубицей. Первые десять серийных СУ-5-2 были собраны к лету 1936 года. Две из них тут же направили в 7-й механизированный корпус для прохождения войсковых испытаний, которые длились с 25 июня по 20 июля 1936 года в районе Луги. Пробег машин составил 988 и 1014 км, каждая из них сделала по 100 выстрелов. СУ-5-2 войсковые испытания выдержали



В 1933 году, для замены безнадежно устаревших и снятых с эксплуатации самоходных зенитных орудий на шасси коммерческих грузовиков, созданных ещё в годы Первой мировой войны, было выдано задание на проектирование зенитной САУ на шасси танка Т-26. В мае 1943 года проект САУ, получившей индекс СУ-6, получил одобрение, но задание скорректировали для применения орудия в боевых порядках войск против вражеских танков.

Корпус машины представлял собой коробчатую клепаную конструкцию, усиленную для жесткости тремя поперечными перегородками. Корпус и колея у СУ-6 были шире, чем у Т-26. Расчет боевой машины состоял из 6 человек. 76-мм зенитная пушка ЗК обр. 1931 года с длиной ствола 56 калибров была установлена на тумбе в средней части корпуса. Пушка имела горизонтальный угол обстрела 360°, вертикальный - от -5° до +82°. Высота линии огня составляла 2445 мм. Боекомплект состоял из 48 выстрелов.

Ходовая часть была удлинена путём установки в средней части корпуса с каждой стороны дополнительно по одному опорному катку, подрессоренному спиральной пружиной. Двигатель и трансмиссия были целиком заимствованы от серийного танка Т-26 образца 1933 года.

Заводские испытания СУ-6 были проведены в период с сентября по октябрь 1935 года. При массе 11000 кг самоходка показала максимальную скорость 28 км/ч и имела запас хода порядка 130 км.

Ходовые испытания на 750 км продолжались с 25 июня по 14 сентября 1936 г. В процессе испытаний выявилась недостаточная мощность двигателя Т-26, который плохо "держал" вес потяжелевшей самоходки, малая прочность катков ходовой части и рессор подвески.

Огневые испытания, в процессе которых было сделано 416 выстрелов, тоже не принесли желаемого результата. При стрельбе с ходу при движении по луку со скоростью 7...10 км/ч было выполнено 8 выстрелов с дистанции 400...500 метров по щиту и при этом ни один снаряд в цель не попал. При выстреле СУ-6 подпрыгивала на высоту до 170 мм, а также откатывалась назад до 210 мм. Все эти факторы привели к тому, что СУ-6 признали непригодной для сопровождения мотомеханизированных колонн.

РККА не горело желанием принимать СУ-6 в любом качестве и отправило готовые машины на склады, где они и закончили свою жизнь

БТ-2



Приобретя у Кристи в апреле 1930 года два ТЗ без башен и вооружения советские танкостроители внесли в него ряд изменений: вместо цепной передачи на ведущие колеса при движении на колесах была применена шестеренчатая передача. Для перехода с гусениц на колеса и наоборот подготовленному экипажу требовалось всего полчаса. Боевая масса БТ-2 составила 11 т, экипаж - 3 человека, вооружение - 37-мм пушка Б-3 и пулемет ДТ, независимо размещенные в башне.

Чтобы снабдить первую партию из 100 легких танков БТ, было решено закупить двигатели «Либерти» (400-сильный 12-цилиндровый авиадвигатель жидкостного охлаждения) в Америке. Оставшиеся БТ-2 двигателями должен был обеспечить один из авиационных заводов, на котором планировали восстановить выпуск М-5. Но так как авиационные заводы переходили на выпуск более перспективного лицензионного двигателя М-17, опять было решено дополнительно закупить в США 6/у двигатели. Но, как выяснилось впоследствии, двигатели АСТОРГ купил весьма плохого качества. Нередкими были случаи самовоспламенения, трудно заводились на морозе, постоянно перегревались. Многие двигатели из-за сильного износа поршневой группы отличались повышенным потреблением масла. Со своими функциями не справлялись воздухоочистители.

Тем не менее, этот двигатель позволял развивать по шоссе на гусеницах скорость 52 км/ч, на колесах 72 км/ч, запас хода составлял соответственно 200 и 300 км. Топливо - высокооктановый бензин - хранилось в двух плоских 180-литровых баках, размещенных рядом с двигателем, между стенками бортовой брони.

Первоначально планировали вооружить 37-мм пушкой только первые 300 танков БТ-2, а на все последующие должна была устанавливаться 45-мм танковая пушка образца 1932 г. Но её своевременно не освоили, и поэтому следующие 310 танков должны были получить пушку Б-3.

Но и этих пушек не хватило и часть БТ-2 вооружили спаркой пулеметов ДТ.

Танков БТ-2 в 1932 г. изготовили 396 штук, а в 1933 г. - 224. Танки БТ-2, поступившие в войска, быстро стали рассматриваться скорее как учебные. Процесс их освоения личным составом шел тяжело. Не особенно высокое качество сборки машин, помноженное на низкую квалификацию обслуживающего персонала, давало постоянные поломки. Тем не менее динамические возможности танка впечатляли, особо знамениты были прыжки танка на расстояния до 40 метров, с гордостью демонстрируемые высокому начальству и иностранным гостям



Так БТ-2 прыгает

А так преодолевает подъём





BT-2-ИС. В целях повышения живучести и проходимости машины на пересеченной местности по заданию командующего войсками УВО И.Э. Якира группой энтузиастов, возглавляемой рационализатором Н.Ф. Цыгановым, весной 1934 г. были начаты работы по созданию колесно-гусеничного танка BT-2-ИС.

Для улучшения ходовых качеств танка при движении на колесах, ведущими были сделаны три пары опорных катков. Для подвода мощности к каткам внутри машины вдоль бортов корпуса проходили карданные валы, от которых по вертикальным валам вращение передавалось на опорные катки. Проходимость на колесном ходу по пашне увеличилась в 4...5 раз. Танк способен преодолевать подъемы до 25°. Радиус поворота на колесном ходу уменьшился вдвое (до 5...6 м).

Первая пара опорных катков, как и на серийной машине, была управляемой. Танк BT-2-ИС по сравнению с базовыми танками обладал более высокой маневренностью при движении на колесах и повышенной живучестью на поле боя при повреждениях ходовой части, однако надежность привода к колесам еще была низка. BT-2-ИС был изготовлен в единственном экземпляре



BT-5. Во время производства и эксплуатации в войсках танка BT-2 выявилось немало недоработок. В целях повышения боевой эффективности, улучшения эксплуатационных характеристик в его конструкцию были внесены изменения. Во-первых, был установлен советский 12-цилиндровый двигатель М-5 мощностью 400 л.с., который представлял собой отработавший летный ресурс авиационный мотор. При 127-миллиметровом диаметре цилиндра и 177,8-миллиметровом ходе поршня мотор имел 27,028-литровый рабочий объем и обладал мощностью 400 л.с. при 1650 об/мин. В качестве топлива использовался авиационный бензин. Угол развала цилиндров составлял 45°. Пуск двигателя производился с помощью одного или двух электростартеров (в зависимости от мощности стартера) или вручную с помощью заводной рукоятки. Масса двигателя составляла 410 кг. Системы, обеспечивающие работу двигателя остались такими же, как и на танке BT-2. Емкость топливных баков составляла 360 л. На машинах выпуска 1934-1935 годов запас топлива был увеличен до 530 литров путём установки в кормовой части двух дополнительных баков, побортно. Для облегчения пуска двигателя в холодное время года, между картером двигателя и радиаторами системы охлаждения устанавливались два химических обогревателя. В связи с тем, что выпуск М-5 был прекращен еще в 1930 г., а поступавшие на ремонт двигателя М-5 были недостаточно надежны, да и их количества было недостаточно, ХПЗ получил задание проработать возможность установки на танк BT-5 авиационного двигателя М-17, выпускавшегося в СССР по лицензии немецкой фирмы БМВ и находящегося на тот момент в серийном производстве. Опытные работы велись на протяжении всего 1934 г., и на последние выпущенные BT-5 уже устанавливали М-17. Во-вторых, были увеличены размеры башни, у которой появилась кормовая ниша. В кормовой нише командирских танков BT-5РТ устанавливалась радиостанция. В линейных танках она использовалась для размещения боезапаса. В башне вместо 37-мм пушки была установлена пушка калибром 45 мм и спаренный с ней пулемет ДТ.

Кроме того, была усилена ходовая часть, а в силовом отделении было установлено противопожарное оборудование. Танк был принят на вооружение в 1933 году. Его производство продолжалось до 1934 года, всего было выпущено 1884 танка этого типа



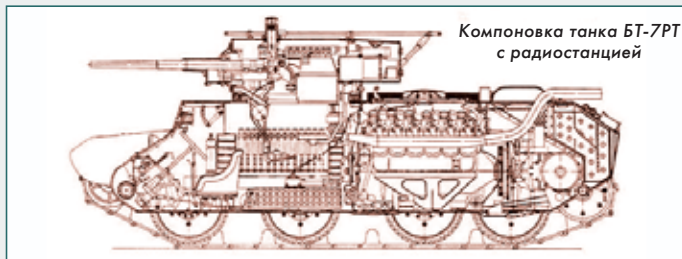
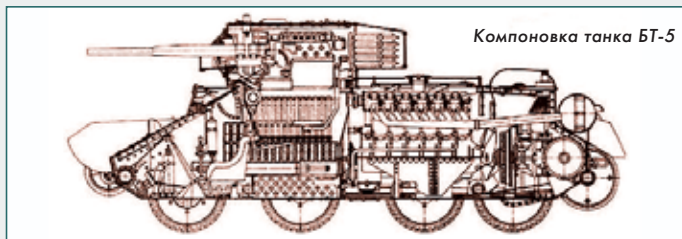
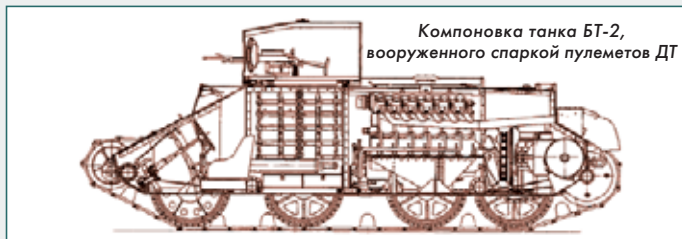
BT-7. Дальнейшее развитие танки BT получили в январе 1933 года, когда было поручено разработать новый танк, в котором предполагалось устранить недостатки предшественников. Тактико-техническими условиями на новую машину предусматривалось: установка карбюраторного V-образного 12-цилиндрового двигателя М-17 мощностью 400 л.с., изготовление полностью сварного корпуса с улучшенной обзорностью для механика-водителя, увеличение емкости топливных баков и, наконец, применение новой башни с 76-мм пушкой.

Первый образец BT-7 изготовили к 1 мая 1934 года, второй — к 7 ноября.

Характерными особенностями первых прототипов BT-7 было наличие курсового пулемета справа от механика-водителя и башни оригинальной конструкции в форме эллипса со скошенной крышей. Причем в проекте была возможность установки в ней без изменений любой из существовавших тогда танковых пушек: 76-мм КТ-28 или ПС-3 и 45-мм образца 1932 года. В нише башни размещалась вращающаяся боеукладка барабанного типа на восемнадцать 76-мм снарядов или радиостанция. Танки прошли обширную программу испытаний летом и осенью 1934 года. В итоге для машины с экипажем из 3 человек курсовой пулемет был признан ненужным, а башню забраковали из-за раздельной установки пушки и пулемета. Поэтому в начале 1935 года в серийное производство был запущен танк с несколько упрощенным бронекорпусом и уже отработанной в производстве башней от танка BT-5. Однако от идеи колесно-гусеничной машины с 76-мм пушкой не отказались, и ГАБТУ поручило заводу разработать проект установки на BT-7 башни от танка Т-26-4.

Корпус серийной «семерки» выпуска 1935 года собирался из броневых и стальных листов и представлял собой жесткую коробчатую конструкцию с двойными бортовыми стенками, продолговатой суженной закругленной носовой частью и трапециевидной кормой. Все неразъемные соединения корпуса выполнялись преимущественно сварными. Ходовая часть состояла из восьми опорных, двух направляющих и двух ведущих колес. При движении на колесном ходу ведущей становилась задняя пара опорных катков, а управляемыми — передняя. На гусеничном ходу руль снимался и укладывался в отделение управления.

В башне цилиндрической формы с развитой кормовой нишей размещалась 45-мм танковая пушка 20К образца 1934 года и спаренный с ней пулемет ДТ

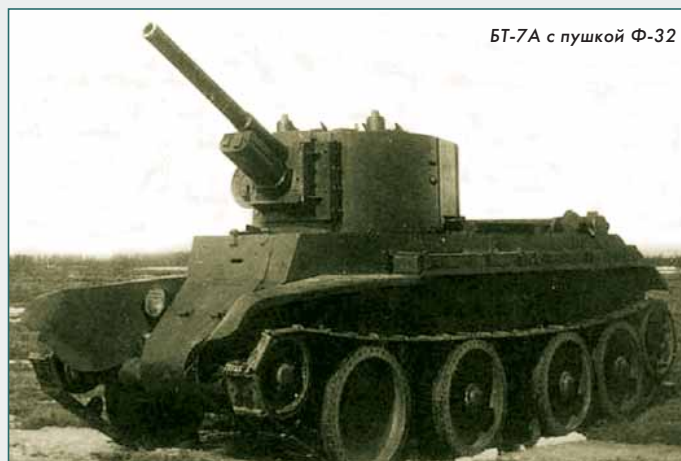




BT-7A с пушкой КТ



BT-7A с пушкой Л-11



BT-7A с пушкой Ф-32

BT-7A - легкий артиллерийский танк - очередная модификация танка BT-7. Артиллерийский танк был предназначен для артиллерийской поддержки наступающей пехоты. Машина была вооружена 76-мм пушкой КТ, которая была установлена в модернизированной башне увеличенных размеров.

BT-7A создавался параллельно с основной модификацией танка. На серийный корпус устанавливались увеличенную в размерах башню, в которую устанавливали 76-мм орудие (КТ) обр. 1927-32 годов, боекомплект пушки состоял из 50 снарядов (радийный вариант танка имел 40 снарядов).

Для подавления вражеской пехоты BT-7A имел 3 пулемета ДТ (один в зенитной турельной установке П-40, другой в дверке ниши, третий справа от пушки в шаровой установке), боекомплект пулеметов состоял из 3339 патронов. В качестве эксперимента на BT-7A устанавливали пушки Ф-32 (обр. 1939, 76-мм), Л-11 (обр. 1937), Л-30 (76-мм). За все время было произведено всего 154 артиллерийских танка BT-7A.

Компоновочная схема танка BT-7A являлась классической. На танк поставили башню Т-26-4 (сварная, цилиндрической формы, сзади овальная ниша). Сварная башня танка BT-7A состояла из 2 полукруглых листов, ниши и крыши. Два полукруглых листа сваривались между собой стык в стык. Сварные швы защищались бронированными элементами. В лобовом листе находилось довольно большое прямоугольное отверстие для размещения в нем 76-мм пушки. В переднем листе были расположены две смотровые щели и два отверстия для ведения огня из личного оружия. С правой стороны от орудия, устанавливалось яблоко для пулемета. В центре крыши башни располагалась большой люк, предназначенный для посадки экипажа. Люк был разделен на две части узкой планкой. Башни, которые имели зенитную установку, вместо правой крышки, устанавливались основание зенитной установки и ее поворотный круг. Спереди крыши башни находилось 4 отверстия: слева сзади - слева для перископического прицела, над казенной частью пушки - для вентилятора; слева сзади - для флажковой сигнализации и справа сзади - для командирской панорамы. Для установки антенны в задней части башни находилось еще одно отверстие. Серийно выпускались два варианта танков: BT-7A и BT-7AP (всего было выпущено 155 машин, из них всего 11 с рацией 71-ТК-3).

Масса танка составляла 14,0 т; Экипаж 3 человека;

На танк устанавливался карбюраторный 12-цилиндровый, V-образный двигатель М-17Т (мощностью 400 л.с.).

Дальность хода составляла 354 км на гусеницах и 460 км на колесах.

Максимальная скорость достигала 30 км/ч

В предыдущем номере было упомянуто, что первой страной, которая применила на танках дизельный двигатель, была Япония. Основных причин две: самовозгорание карбюраторного двигателя на закупленном у Англии танка - первая, а вторая - дефицит жидкого горючего. Напомним, что первым танком с дизелем стал "тип 89" ("Ха-Го"). Второй страной, которая стала ставить дизели на свои танки, стала Польша. Танк 7ТР являлся модернизированным вариантом производившегося в Польше по лицензии английского танка "Виккерс" (6 т). Вместо двигателя воздушного охлаждения, который при высокой температуре воздуха работал плохо, поляки стали устанавливать на этот танк дизели мощностью 100 л.с. У нас в это время шла непростая работа над дизельным двигателем В-2.

И первым танком с дизелем стал BT-5, который проходил испытания по другим программам. Затем дизель установили на BT-7. Кстати, импортный дизель мощностью 40 л.с. был установлен на проходящий испытания плавающий танк Т-37. Попробовать - попробовали, но в серию не запустили, т.к. производить этот дизель в Советском Союзе не предполагалось.

Дизель В-2 предназначался для перспективных танков, но из-за отставания в их разработке, его ставили на устареваю-

щие BT-7, которых изготовили порядка 700 штук. Несмотря на недостатки, в т.ч. очень маленький ресурс, новый двигатель представлялся очень перспективным, и новые танки (прежде всего Т-34 и КВ) проектировались под этот дизель.

На BT-7, дизель, обладающий излишней мощностью, при движении приводил к сильному раскачиванию танка.

В то время над созданием дизелей различного применения работали во КБ, но прототип В-2 был разработан в харьковском ЦНИИ ДВС. Там под руководством Майера создавался новый дизель АД-1, который предназначался не только для танков, но и для самолётов. В этот двигатель впоследствии был внесен ряд изменений: угол развала цилиндров с 45 градусов был доведён до 60, несколько увеличен был ход поршней. Для авиации этот дизель оказался слабоват, а вот для танка - самый раз.

Испытания шли очень тяжело и только в июне 1939 года были завершены все испытания, и В-2 был принят на вооружение сразу в трёх вариантах:

- В-2К, повышенной мощности (600 л.с.). Предназначался для танков КВ;

- обычный вариант двигателя - для среднего танка Т-34;

- дефорсированный до 375 л.с. - для артиллерийского тягача "Ворошиловец".

Но танк Т-34 пока ещё не производился, поэтому В-2 и стали ставить на BT-7, получивший в индекс «М».

(Продолжение следует.)



BT-7M с дизелем мало чем отличался от BT-7. Главное внешнее отличие - отсутствие «лепешки» пылеуловителя



"Н.В. Гоголь" - последний колесный пароход Советского Союза и России

КОЛЕСНЫЕ ПАРОХОДЫ

НА ЗАРЕ ВЕКА ПАРА И ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Виктор Сергеевич Шитарёв,
капитан дальнего плавания

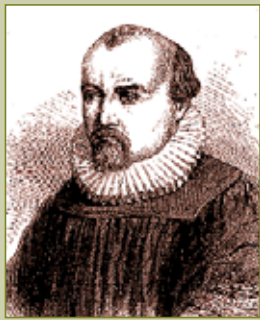
(Продолжение. Начало в 1 - 2015)



Леонардо да Винчи



Джамбаттиста делла Порты



Соломон де Ко



Эванжелиста Торричелли с барометром в руках

Один из примеров колёсного двигателя для поднятия воды из шахты

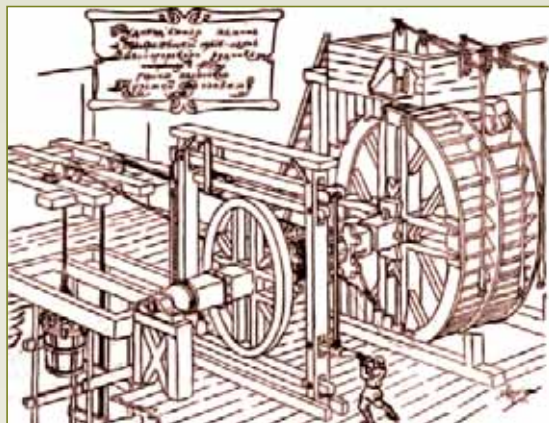
Часть II. Леонардо да Винчи, примерно в 1500 г., в одной из своих работ предполагал возможность движения судов с помощью парового привода.

Затем в истории есть упоминание о Джамбаттисте делле Порты, который в 1601 г. произвёл опыт по определению количества пара, в который переходит определенное количество воды, а в 1606 году описывает опыт поднятия воды с помощью давления пара. За ним выступил с аналогичным предложением француз Соломон де Ко (1576-1630). В его работе, опубликованной в 1615 г., под заголовком "Принципы движущих сил, с различными машинами, как полезными, так и приятными", приводились различные примеры использования паровых механизмов, в том числе, и на судне.

Но от идеи до её осуществления нужно было решить множество технических, а иногда и совсем не технических проблем. Основная проблема заключалась в отсутствии надежных, эффективных и экономичных паровых машин, промышленное производство которых в развитых странах началось значительно позже.

Промышленная революция XVIII века поставила перед изобретателями проблему создания нового двигателя, способного заменить собою хорошо известный и освоенный мастерами водяной колесный двигатель. Этот главный источник механической энергии той поры был тесно привязан к местным условиям водоснабжения. Далеко не на каждой реке можно было установить водяное колесо необходимой мощности. И ещё, дальнейшее наращивание энергетических характеристик двигателя приводило к необходимости непомерно увеличивать размеры водяного колеса, значительно усложняя систему механических передач и приводов.

Вот только один пример, колесный двигатель, вырабатывающий мощность около 125 л.с. откачивавший воду из шахты с глубины 160 м, представлял собой обойму из 14 колес диаметром по 12 м каждое. Конструкция имела 48 цапф, шатунов, кривошипов; 1122 деревянных балансира и 2108 деревянных тяг. И обслуживал этот монстр 221 осушительный насос.



Созданию первых паровых машин предшествовали блестящие открытия итальянского физика и математика Эванжелиста Торричелли (1608-1647) впервые открывшего и математически обосновавшего существование и величину атмосферного давления на Земле. Не буду еще раз говорить о его опытах, они хорошо известны любому школьнику. Важно другое: эффект атмосферного давления использовался первыми изобретателями паровых машин, за что сами машины получили название пареоатмосферных.

Затем последовали опыты немецкого физика О. Герике (1602-1686) доказавшего, что воздух имеет массу, упругость и плотность. Все это наталкивало изобретателей на мысль - силу атмосферного давления можно использовать в механическом двигателе. Итальянец Д. Порты (1535-1615) обратил внимание на то, что если в закупоренном сосуде происходит конденсация пара, то в нем возникает разрежение.

Французский физик и изобретатель, заведовавший кафедрой математики Дени Папен (1647-1712), в Магдебургском университете в 1690 г. опубликовал статью "Новый способ получения дешевой ценой большой движущей силы". В ней он изложил принцип действия пареоатмосферной машины. В цилиндре герметичном с одной стороны ходит поршень со штоком.

Рабочим является пространство между поршнем и герметичным дном цилиндра. Если туда под давлением, превышающим атмосферное, подать пар, то поршень пойдет вверх. Затем если прекратить подачу пара, охла-



Первая пареоатмосферная машина Дени Папина 1690 года



Рисунок второй пареоатмосферной машины Дени Папина 1705 года

Схема второй машины Дени Папина



даясь он начнет конденсироваться понижая давление в цилиндре. Когда оно будет меньше атмосферного, поршень пойдет вниз, завершая рабочий цикл.

Что и говорить, машина получилась весьма тихходная, неудобная в обращении, и Д. Папен вскоре охладел к своим механическим идеям. Но другой изобретатель и крупный английский шахтовладелец Томас Севери (1650-1715) был удачливее и в 1698 г., получил патент гласивший: "...Это новое изобретение для подъема воды и для получения движения всех видов производства при помощи движущей силы огня имеет большое значение для осушки рудников, для водоснабжения городов и для производства движущей силы для фабрик всех видов, которые не могут использовать водяную силу или постоянную работу ветра".

И хотя Т. Севери в 1702 г. пришел к выводу, что "огнедышащая машина могла бы быть весьма полез-

ной на судне", реализовывать эту идею едва ли стоило. Коэффициент полезного действия двигателя не превышал 0,3 %, а расход топлива был слишком большим. Надо ещё учесть, что паровой котел отапливался обычными дровами, цена на которые всегда была высокой.

Узнав об успехе Т. Севери, вновь вернулся к изобретательской деятельности Д. Папен. В 1707 г., вышел в свет его труд "Новое искусство эффективно поднимать воду на высоту при помощи пара". Он же построил и пароход оригинальной конструкции. Паровой насос качал забортную воду на водяное колесо, а оно, в свою очередь, вращало гребные колеса. Свое судно Д. Папен испытал на реке Фульда, на нем же он решил переехать в Лондон. Погрузив багаж и семью на борт, изобретатель отправился в свой вояж.

Но выйти по реке Безер в Северное море он не смог, так как не имел от местных властей разрешение на плавание по ее фарватеру. К тому же местные судовладельцы, опасаясь столь необычного конкурента, разрушили судно. Кое-как добравшись до Лондона, Д. Папен больше пароходостроением не занимался, его дальнейшая судьба неизвестна. Только через много лет о Д. Папене вспомнили благодарные соотечественники и к столетию его смерти, на родине изобретателя в старинном французском городе Блуа установили ему памятник.

Учел опыт своих предшественников английский кузнец Томас Ньюкомен (1663-1729), заимствовав все лучшее и прогрессивное. Его пароатмосферная машина предлагалась в качестве привода для осушительных насосов в шахтах. В цилиндр машины подавался пар из парового котла под давлением, превышающим атмосферное. Под действием давления этого пара поршень поднимался вверх. Шток поршня воздействовал на балансира, с балансира был привод к насосу. Когда рабочий ход поршня заканчивался, в цилиндр впрыскивалась вода, пар конденсировался, под действием атмосферного давления поршень шел вниз, и затем цикл повторялся.

КПД новой машины достиг 1 %, снизился и удельный расход топлива, он составил 25 кг/л.с.·ч. В общем, и теперь экономичность оставляла желать лучшего. На каждую машину Т. Ньюкомена работало по 50 лошадей, еле успевавших подвозить дрова. Тем не менее, на эту машину обратил внимание в 1736 г., англичанин Джонатан Халлз. Но главное, он сумел получить патент на изобретение парохода с кормовым гребным колесом. В патенте, выданном Д. Халлзу, в частности, говорилось, что его изобретение служит "для способствования судам входить в гавань и выходить из них при противном ветре, течении и штиле". На пароходе предполагалось устанавливать либо машину Т. Ньюкомена, либо машину Джона Коули, изобретенную последним в 1705 г.

В 1720 году Якоб Леопольд описал двухцилиндровую паровую машину. Изобретение было опубликовано в его главной работе "Theatri Machinarum Hydraulicarum". Эта рукопись была первым систематическим анализом машиностроения.

Предполагалось что поршни сделанные из свинца, будут подниматься давлением пара, а опускаться под собственным весом. Любопытна идея крана (между цилиндрами), с его помощью пар впускался в один цилиндр и одновременно выпускался из другого. Заметим, что в цилиндр с паром вода не подавалась, а пар просто выбрасывался в атмосферу.



Отто фон Герике



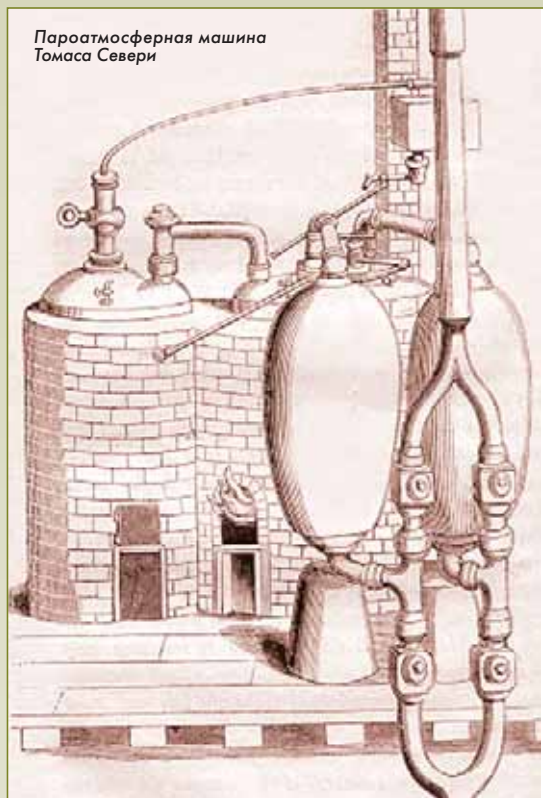
Дени Папен с чертежом своей первой пароатмосферной машины



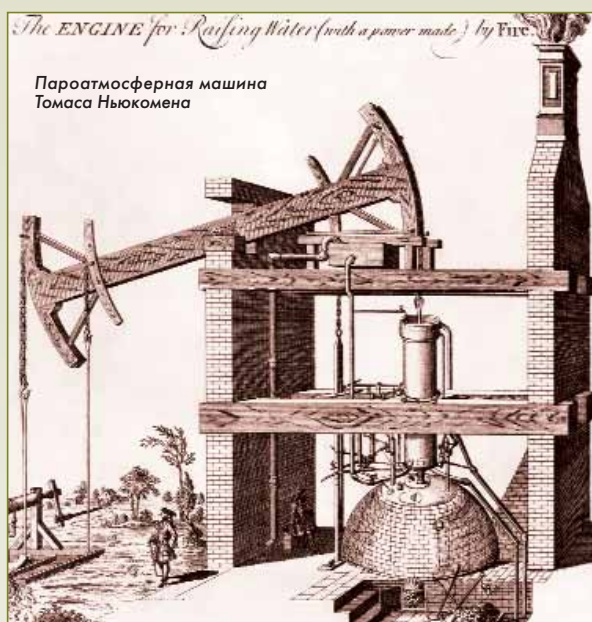
Томас Севери



Томас Ньюкомен



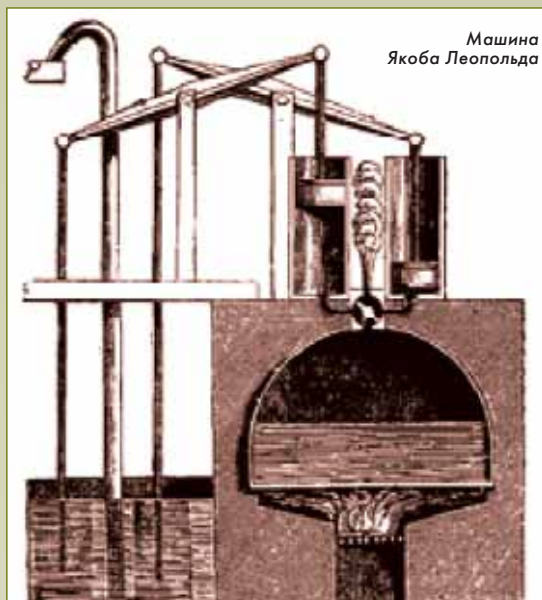
Пароатмосферная машина Томаса Севери



Пароатмосферная машина Томаса Ньюкомена



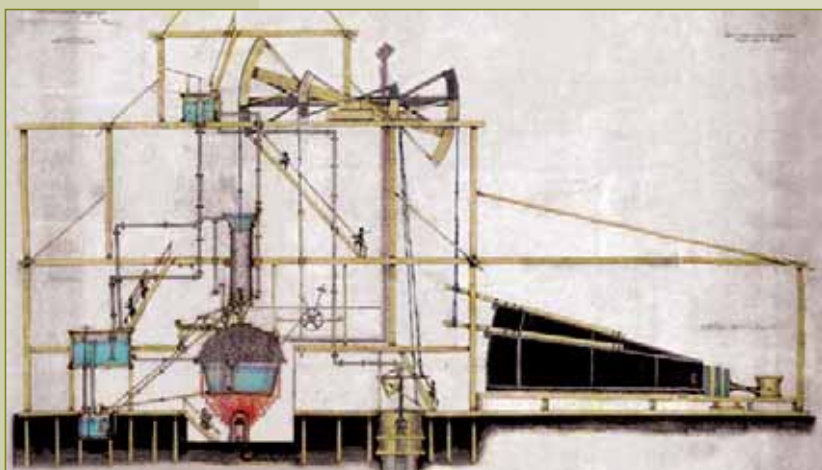
Якоб Леопольд



Машина
Якоба Леопольда

Эта машина так и не была построена.

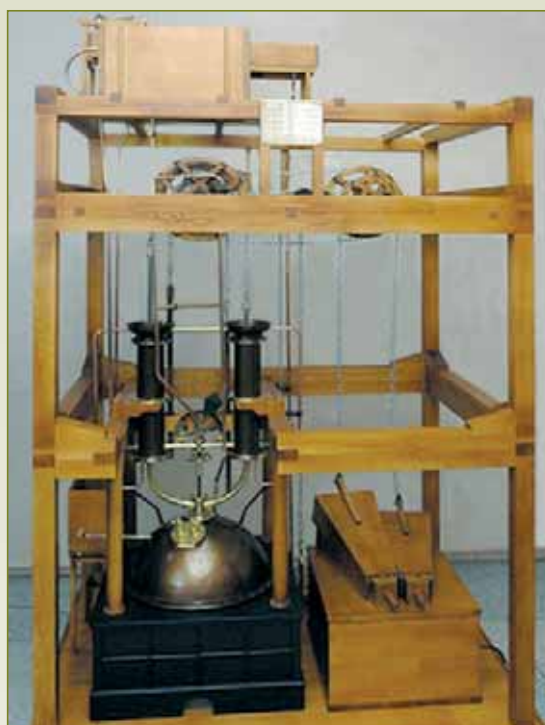
Заслуживает внимания паровая машина Ивана Ивановича Ползунова (1729-1766). Этот пароатмосферный двигатель был двухцилиндровым, имел мощность около 30 л.с. Машину запустили в работу



Размещение машины
Ивана Ползунова
на заводе



Иван Иванович Ползунов



Модель машины
Ивана Ползунова

после смерти Ивана Ивановича, скончавшегося в мае 1766 г. от скоротечной чахотки. После запуска на Барнаульском сереброплавильном заводе до первого ремонта машина непрерывно проработала 43 дня. Она работала устойчиво и дальше, пока не вышел из строя паровой котел.

В 1802 г. англичанин Вильям Саймингтон (1764-1831) построил буксирный катер "Charlotte Dundas" ("Шарлотта Дандас") с машиной Уатта мощностью 10 л.с. Машина вращала два шкива большого диаметра, со шкивов на обод гребного колеса, расположенного в корме, была сделана тросовая передача. Испытания прошли успешно. За 6 ч при сильном встречном ветре "Charlotte Dundas" отбуксировала по каналу на 18 миль две баржи. Однако судно поставили на прикол, опасаясь, что волны от гребного колеса размочут берега канала.



Буксирный катер
"Шарлотта Дандас"

Но массовое строительство пароходов не началось из-за несовершенства паровых машин и их неэкономичности. Это подтвердил и организованный Парижской Академией наук в 1753 г. конкурс на устройство, способное заменить на судах весла и паруса. На конкурсе фигурировали и машины уже известных нам механиков. Приняли в нём участие известные ученые, в их числе Леонард Эйлер. Но первый приз был присуждён русскому ученому Даниилу Бернулли (Петербургская Академия наук), который убедительно доказал, что существующие двигатели не могут обеспечить эффективное движение судов. Разговоры о постройке пароходов на время затихли.

Итак, Парижская Академия наук знала, что имеющиеся пароатмосферные двигатели не пригодны для судов. Но, по-видимому, об этом не знали изобретатели. Так, в 1763 г. американский механик и оружейник Вильям Генри из г. Ланкастера, штат Пенсильвания, построил и испытал паровой катер с гребными колесами и паровой машиной. К сожалению, судно затонуло в результате аварии.

Это не обескуражило изобретателя, и он строит второй катер с учетом конструктивных недостатков первого. Паровую машину для катеров он спроектировал самостоятельно, хотя в то время уже существовала машина Джозефа Хорнблоуера, его соотечественника, спроектировавшего и построившего ее в 1753 г. Затем в пароходостроении наступает небольшой перерыв. Можно предположить, что он был вызван низкими эксплуатационными характеристиками машин.

Но вот на мировую арену выходит гениальный англичанин Джеймс Уатт (1736-1819), у которого интерес к паровым двигателям возник при ремонте машины Т. Ньюкомена. Но и до этого Д. Уатт изучал свойства пара и был достаточно хорошо подготовлен в области машиностроения. Инженерные решения, найденные Д. Уаттом, в различной интерпретации применялись потом многими изобретателями, пока паровые машины не утратили ведущей роли в мировом двигателестроении.

Во-первых, он пришел к выводу, что охлаждать рабочий цилиндр для конденсации пара нецелесообразно. Отработанный пар должен конденсироваться отдельно, в специальном резервуаре-конденсаторе, позже его назвали просто "холодильник". Во-вторых, экономичность машины заметно повышается, если пар подавать в цилиндр, разогретый уже до температуры пара. В третьих, появилась возможность создать машину, работающую при давлении пара, значительно превышающем атмосферное - ощутимый резерв для повышения мощности двигателя.

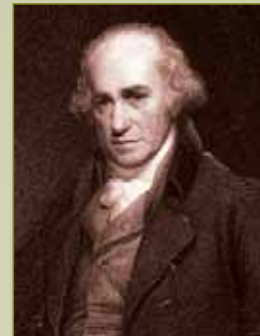
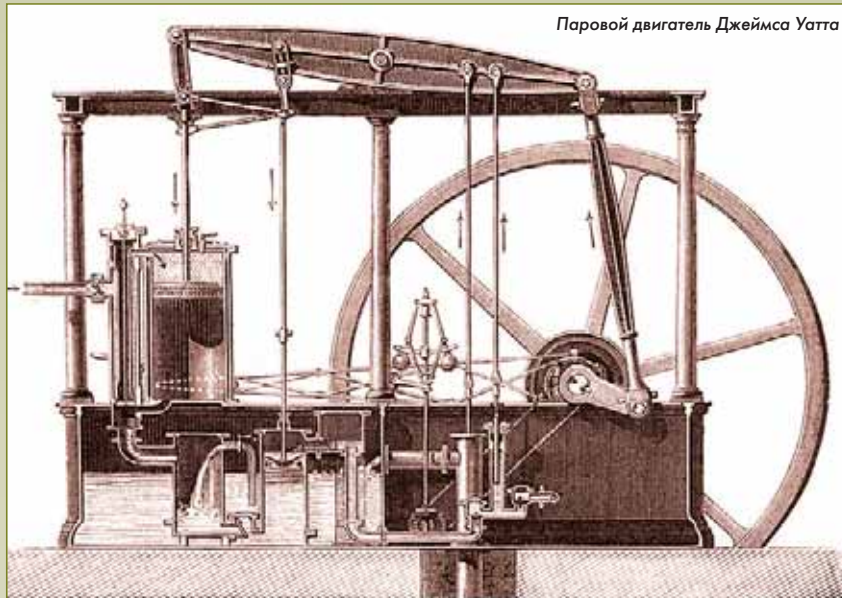
В 1765 - 1769 гг. Д. Уатт построил две машины, провел их всестороннее испытание и в январе 1769 г. получил патент на изобретение.

А главное, это была уже не пароатмосферная, а паровая машина. По сравнению с машиной Томаса Ньюкомена она расходовала топлива в два раза меньше, хотя и относилась к машинам низкого давления. Д. Уатту удалось наладить серийное производство паровых машин, тем более что спрос на них был велик. В 1774 г. он стал компаньоном крупного английского промышленника М. Болтона, владевшего прекрасно оборудованным машиностроительным заводом.

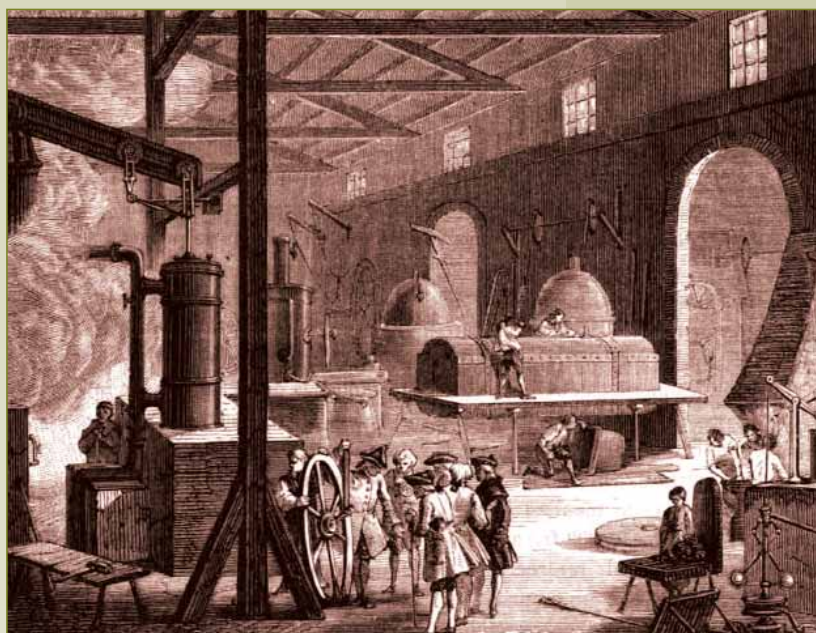
Для определения мощности своих машин Уатт ввел понятие "лошадиная сила" (л.с.). Рассказывают, что один пивовар, купив одну из первых машин Д. Уатта, решил сравнить ее с работой лошади, которая в течение 8 часов приводила в работу насос, качавший воду. Лошадь отобрали посильнее и гоняли до изнеможения. Получилось, что в каждую секунду насос подавал 75 кг воды на высоту 1 м. Так появилась единица мощности равная 1 л.с. С той поры все двигатели были прочно "привязаны" к лошадям и лошадиным силам. Появились номинальные, эффективные и индикаторные лошадиные силы.

Успехи Д. Уатта подвигли изобретателей на новые свершения. В этом отношении очень активны были французы и американцы. Американец Чарлз Коллз строит в Филадельфии в 1773 г. паровой катер. Годом позже перед самыми испытаниями на реке Сена потерпел аварию паровой бот французского артиллерийского офицера Ж. д'Оксирона. Паровую машину для него построили английские механики Джукс и Коулсон.

Паровой двигатель Джеймса Уатта



Джеймс Уатт



Болтон и Уатт обсуждают производство паровых машин на заводе в Сохо

"Гонка" началась. В 1775 г. французы строят сразу два парохода. Один построен инженером и предпринимателем Жаном-Константемом Перье. Это был стимбот с пароатмосферной машиной и приводом на гребные колеса. Испытания прошли успешно на реке Сена, затем изобретатель продолжил эксперименты с другими движителями. Второй изобретатель, Готье, также на Сене испытал свой пароход с машиной мощностью в 1 л.с.

В 1778 г., опять же во Франции, маркиз Клод де Жоффруа д'Аббан (1751-1832) испытывает на реке Ду паровой катер длиной 13,1 м с двухцилиндровой пароатмосферной машиной, приводившей в движе-

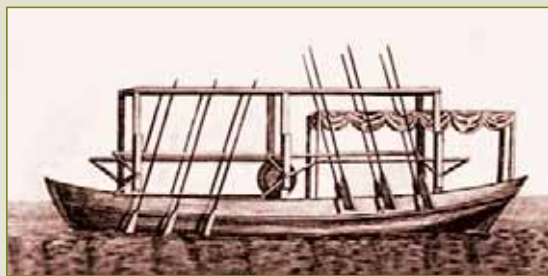
"Пироскаф" и его модель, хранящаяся в Парижском музее



ние гребки типа "утиная лапка". Видимо, результаты испытания его не удовлетворили, и в 1780 г. по реке Сена в Лионе пошёл "Пироскаф" - баржеподобное судно длиной 45,3 м. На нем была установлена двухцилиндровая пароатмосферная машина, приводящая через двойной храповой механизм и шкивы бортовые гребные колеса диаметром по 4 м. Почтеннейшей публике судно было показано в 1783 г. Собравшиеся по берегам Сены лионцы наблюдали, как в течении 15 минут судно шло против течения реки, хотя и с незначительной скоростью, после чего из-за открывшейся в корпусе течи, испытания пришлось прекратить.

Американцы "не дремали", в 1784 г. строит паровой катер инженер-механик Джеймс Рамсей (1743-1792). В качестве движителя он применил шести, установленные с одного борта. Вначале предполагалось, что катер будет двухкорпусным. Сам конструктор на испытаниях не присутствовал, они начались в 1786 г, после окончания постройки судна. Дело было на реке Потомак близ города Шеперстоуна. На пароход погрузили 3 тонны балласта, им были обычные булыжники, и всех желающих прокатиться, в результате нагрузка увеличилась еще на 1 тонну. Упираясь шестью в дно реки, приводимыми в действие паровой машиной, судно длиной 13,7 м прошло вверх по течению 200 м со скоростью 4,8 км/ч. Шесть не только двигали пароход вперед, но еще и сильно его раскачивали, поэтому, надо полагать, пассажиры не получали ожидаемого удовольствия, скорее - сильно перепугались. А потом и сами шести начали ломаться.

В 1766 г. американец Джон Фитч (1743-1798) из города Уорминстера в Филадельфии на реке Делавэр построил паровой катер с необычным движителем в виде ленты с гребками - по 8 гребков на каждой ленте с правого и левого бортов. Судно длиной 7,6 м имело машину аналогичную машине Д. Уатта. Убедившись в неэффективности избранного им движителя, Д. Фитч строит новое судно длиной 13,7 м, теперь паровая машина движет по 6 вёсел с каждого борта. С помощью тяг и рычагов справа и слева поочередно входили в воду по 3 весла длиной по 1,6 м, длина гребка равнялась 3,6 м. Испытания в 1787 г. проходили там же и были успешными, но скорость была только 4,8 узла. Судно получило название "эксперимент".



Пароход Фитча 1787 года



Пароход Фитча 1788 года

Джон Фитч оказался упорным американцем, в 1788 г. он строит третье судно. Название то же - "Эксперимент". Движитель - весла, теперь их всего три и расположены они в корме. Паровая машина с диаметром цилиндра 550 мм снята с предыдущего судна. Пароход имел длину 18,3 м. Первый свой рейс по реке Делавэр из Филадельфии вверх по течению до города Берлингтона протяженностью 32 км он совершил за 3 часа 10 минут, показав среднюю скорость около 10 км/ч.

Предполагая коммерческую эксплуатацию судна в качестве пассажирского, на нем сделали надстройку, внутри ее было хорошо отделанное помещение для пассажиров, эксперимент начал совершать регулярные рейсы между Уилмингтоном и Трентоном. Без каких-либо осложнений он, в общей сложности, прошел около 4500 км. В публикации одной из газет Филадельфии, за 1790 г. сообщалось: "Теперь стимбот готов для приема пассажиров и будет отправляться от пристани Арчстрит в Филадельфии каждый понедельник, среду и пятницу до Берлингтона, Бристоля, Бординтауна и Трентона и возвращаться во вторник, четверг и субботу. Стоимость проезда одного пассажира до Берлингтона и Бристоля 2/6, до Рордентауна 3/9 и 5 шиллингов до Трентона". В данном случае, Америку надо считать родиной линейного судоходства в пароходном сообщении. Оно было надежным, расписание выдерживалось четко.

Прибыль за один рейс достигала 30 шиллингов. Чтобы привлечь пассажиров, на борту судна им предлагалось пиво и другие напитки. Каждый пассажир мог себе позволить "расслабиться" спокойно потягивая из бокала свой любимый напиток. Но все же доходы были не столь ощутимы, расширить дело не удалось, и компания прекратила свое существование. В 1794 г. Д. Фитч записал в дневнике: "Настает день, когда громкую славу и богатство станут погашать благодаря моему открытию. Теперь же никто не хочет верить, чтобы бедный Джон Фитч оказался в силах сделать что-либо достойное внимания". Через 100 лет после его смерти, на родине изобретателя в городе Уормингстоне был поставлен памятник, надпись на котором гласила: "Джон Фитч, человек первым осуществивший идею парового судна".

Уже известный нам, Джеймс Рамсей, потерпев неудачу с шестовым пароходом, продолжил свои изыскания, но выбрал свой, совсем в то время неизведанный путь. Он спроектировал судно с водометным движителем и в 1787 г. провел его испытания. Пароатмосферная машина-насос имела очень простую и остроумную конструкцию. Вдоль киля по всей длине судна тянулся коробчатый водопровод, закрытый в носовой части. Он невозвратным клапаном через патрубок сообщался с нижней полостью силового цилиндра машины. Таким образом, снизу поршень соприкасался с забортной водой.

Рабочей была верхняя полость цилиндра, туда подавался пар, под его давлением поршень шел вниз и выталкивал воду, которая реактивной струей выходила за корму. Так завершался рабочий ход поршня. Когда он находился в нижней точке, подача пара прекращалась, пар конденсировался и происходило разрежение. Под действием атмосферного давления поршень шел вверх и засасывал в цилиндр забортную воду, когда он достигал верхней точки, в рабочую полость цилиндра снова подавали пар, и цикл повторялся.



(Продолжение следует.)



ЮБИЛЕЙ КАПИТАНА "БЕССТРАШНОГО"

Дмитрий Александрович Боев, генеральный директор журнала "Двигатель"

На самом деле, он - фигура эпическая. Такие люди исключительны и по характеру и по стилю поведения, особенно в трудных ситуациях. Но именно они, чаще всего, та надёжная опора, которую каждому хотелось бы чувствовать рядом в жизненных перипетиях. Просто, обычно, мы находимся слишком близко и больше замечаем самого человека, чем понимаем то, что он значит для окружающих его людей. Для тех, кто давно и долго его знает или успел познакомиться лишь в краткий миг критического перелома своей жизни, чтобы потом всю жизнь хранить в сердце благодарность за ту роль, что успел сыграть в его судьбе этот человек и те, кто действовали вместе с ним.

В общем, капитану дальнего плавания Виктору Сергеевичу Шитарёву в эту весну исполняется 80.

Он ходил по морям на многих судах: с 1959 г. - старшим помощником на судне "Тунец", долгое время - капитаном спасательного буксира "Бесстрашный", по многим широтам - капитаном плавбазы "Воркута" и других. В северных широтах его "Бесстрашному" больше 35 раз приходилось спасать попавшие в беду корабли. Приятно представить, какое количество моря-

ков благодаря команде Шитарёва смогли вернуться домой живыми и невредимыми.

С середины 70-х Виктор Сергеевич - начальник отдела в министерстве рыбного хозяйства. Он как никто другой знал все северные моря и проливы и наш рыболовный флот времён его могущества, в 70-80-е годы. И потому, когда в

Главной Государственной рыболовной инспекции расследовались какие-то сложные прецеденты флотской жизни, особенно в работе аварийно-спасательной службы, последнее слово эксперта было всегда за капитаном Шитарёвым. И все капитаны "спасателей" рыболовного флота Страны Советов наших северных морей как к последней надежде обращались к нему. Иногда даже ночью приходилось вызывать на радиосвязь. Работа у него была в то время такая: всё знать и понимать.

В море и у капитана свободного времени бывает достаточно. Каждый использует его по-своему. Капитан Шитарёв постоянно самообразовывался, и вот результат: стал одним из крупнейших в России специалистов по морскому праву - нашему и международному. Виктор Сергеевич преподавал его вначале подрастающему поколению судоводителей в Мурманской мореходке, а после длительное время делился этими знаниями на юрфаке МГУ. Конспекты его лекций в интернете очень и очень популярны. И сейчас ещё звонят его бывшие ученики, достигшие больших постов с просьбой растолковать сложные юридические случаи.

Совершенно закономерно решилось как-то свести свои знания в статьи, которые могут быть интересны тем, кто не обла-

дает такими обширными знаниями и глубокой памятью. Оказалось, что у Виктора Сергеевича лёгкий слог и ёмкое слово, что делало написанное им весьма интересным для читателя. И проявилась ещё одна ипостась деятельности капитана Шитарёва: он стал писателем, автором книг и статей, журналистом.

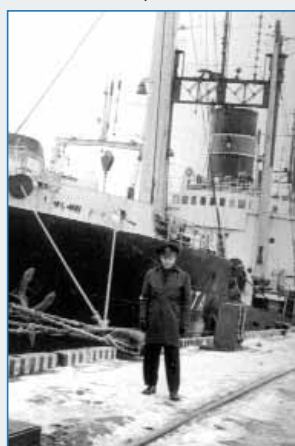
Длительная дружба с редакцией "Техники-молодёжи" времён редакторства В.Д. Захарченко многим сделала прививку морской романтики: не самое вредное приобретение для молодого человека. Знаем по себе: вся наша редакция по молодости лет зачитывались его статьями по морской тематике. С самой первой его статьи в журнале 80-го "Олимпийского" года.

Как результат сотрудничества с "Т-М", вышедшая в 1996 году его книга "Паруса над океаном", практически сразу же сделалась библиографической редкостью. Эта, по сути дела, энциклопедического полноты охвата монография, посвящена истории судостроения и мореплавания с древнейших времен до наших дней. В ней нашлось место парусным судам древнего Египта, Этрусского, Критского, Римского, Византийского, Московского царств, Древней Греции и Рима. Уникальный и весьма подробный обзор посвящён судам Древней Руси - новгородской лодье, бесстрашному покорителю северных морей - кочу поморов, беломорском карбасе и чайках донских и запорожских казаков. Много интересного рассказывает автор о судах более позднего периода - кораблях купцов, викингов и пиратов, каравеллах, и "новоманерных" судах эпохи Петра I и их наследниках, о чайных клиперах и винджамерах. Много конкритики о конструкции судов, парусного вооружения и такелажа.

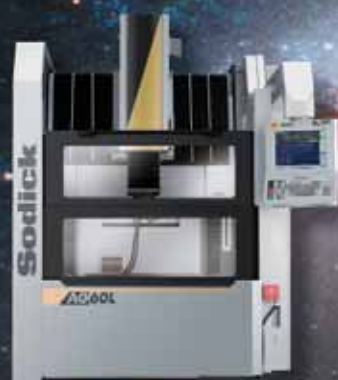
Книга (как и все его статьи) читается как Авантюрный роман, хотя и совершенно технически конкретна. Это именно то качество, которое не могло не привлечь нашу редакцию. Насколько могли, мы просили Виктора Сергеевича расширить и продолжить эту линию. С 2006 года, почти в каждом номере "Двигателя" появляется новая его статья, делающая наш журнал совершенно неповторимым. Мы собрали их все отдельно. Скоро вы сможете полностью увидеть эту подборку на нашем сайте.

Желаем Виктору Сергеевичу долгой ещё творческой жизни и крепкого здоровья, чтобы осилить те планы, которые у него, мы знаем, есть.

Продолжение следует всегда!



Sodick



37000 линейных электроискровых станков в эксплуатации

(свыше **700** в России, Украине и др. государствах
бывшего СССР; на 12.2014 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!

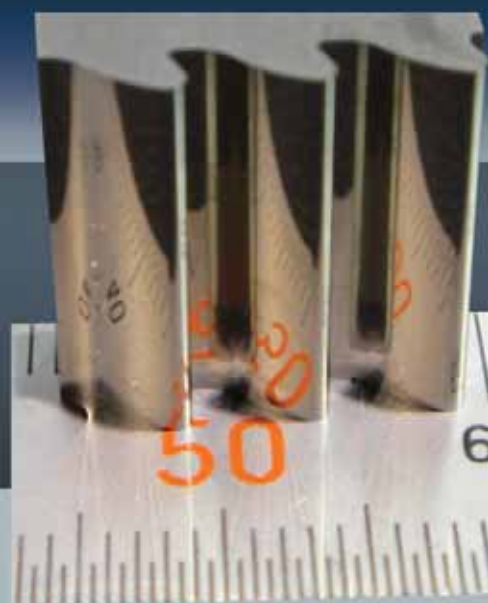
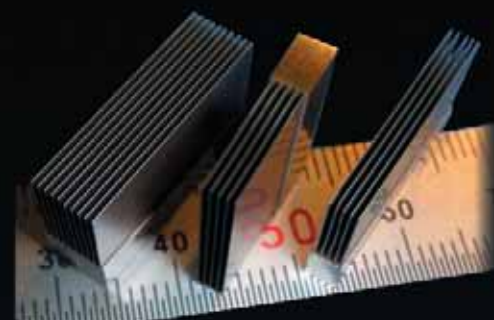
60 лет опыта производства ЭИ станков!

НАНОШЕРОХОВАТОСТЬ

**Шероховатость $Ra=0,006$ мкм
($Rz=50$ нано = 14-й класс!)
на серийном линейном
вырезном станке в масле!**

Sodick

www.sodick.ru



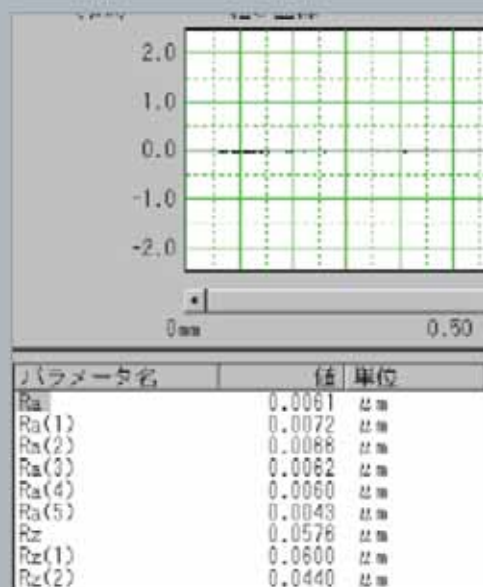
AP250L

**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**

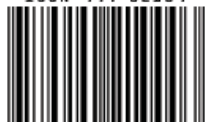


Рекорд отрасли!

ВИДЕОЭНДОСКОП **VUCAM XO**

ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ АВИАДВИГАТЕЛЯ

ISSN 999-02109



**Артикуляция 130°
в любом
направлении**

**Возможность
производить
стереоскопические
измерения
геометрических
параметров
дефектов**

Визуально-оптическая диагностика с применением видеоэндоскопа **VUCAM XO** позволяет выявить забоины, трещины, эрозионный износ, прогары, деформации, нарушение покрытий на деталях компрессора, турбины, камеры сгорания, реактивного сопла и других узлов без разборки двигателя.

Современный
сенсорный дисплей

Документирование
результатов контроля

Фотоснимки во время
записи видео

Удобный файл
менеджер

Ретроспектива записи
видео изображения

Поддержка карт
памяти SD

Горячие клавиши

Прочная и легкая
конструкция

Источник света
с пожизненной
гарантией

Возможность
регулировки уровня
наклона монитора



Официальное представительство
viZaar industrial imaging AG
в России и странах СНГ

197022, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Профессора Попова 37В
+7 (812) 748-28-47

info@vizaar.ru
www.vizaar.ru