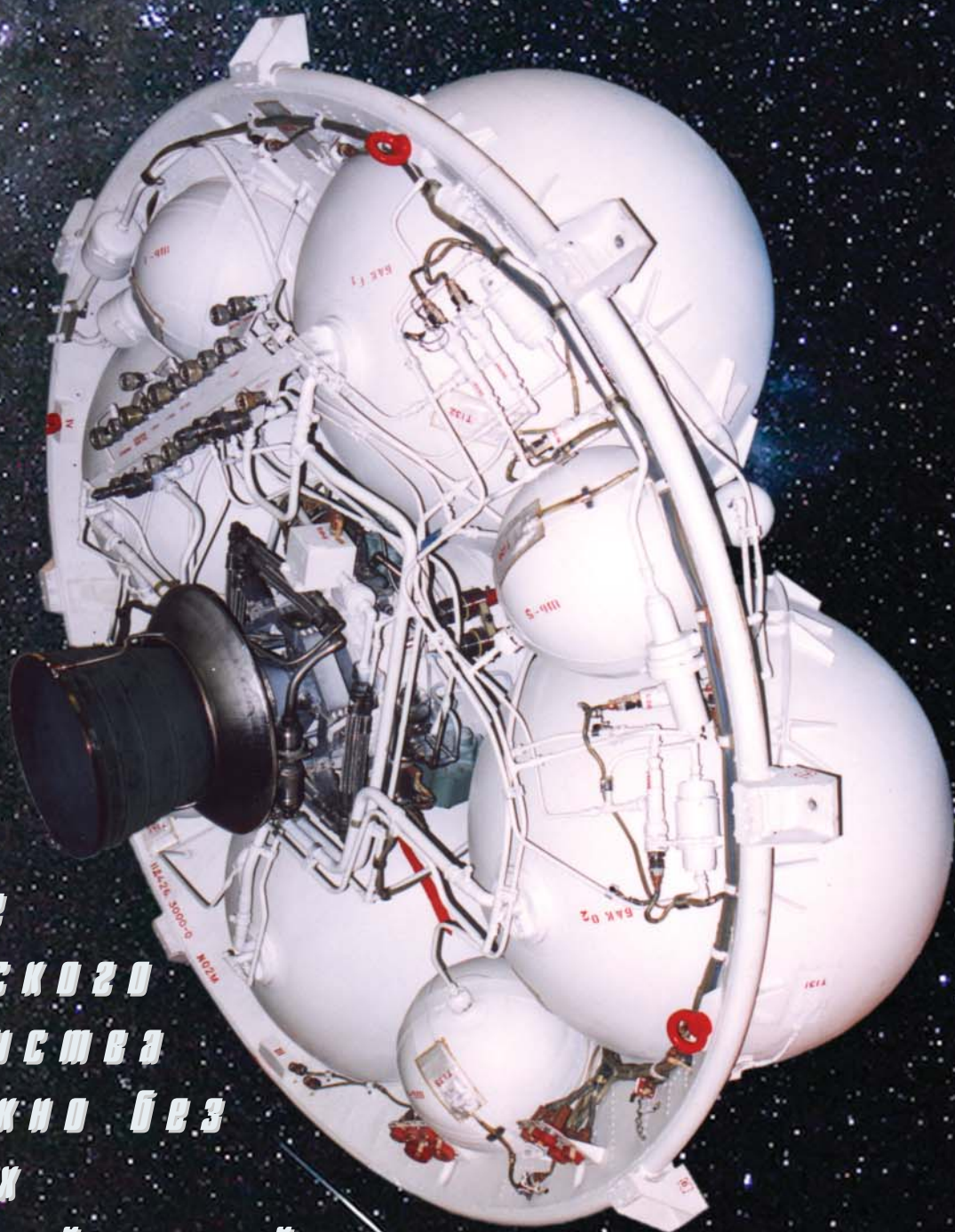


Двигатель

Научно-технический журнал № 5 (101 + 244) 2015



*Освоение
космического
пространства
невозможно без
ракетных
двигателей малой
тяги стр. 12*



Научно-техническое издание по освещению проблем в промышленности

2010



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 Истории науки РГГУ

Григорян Г.Г., д.т.н.,
vice-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"

Зрелов В.А., д.т.н.,
профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей ЛА СГАУ им. С.П. Королёва

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

Каторгин Б.И., академик РАН

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

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"

Ланшин А.И., д.т.н.,
научный руководитель - заместитель
Генерального директора ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"

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.,
советник генерального директора ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова" по науке

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

Соколов В.П., д.т.н.,
Директор Российского учебно-научно-инновационного комплекса авиакосмической промышленности

Троицкий Н.И., к.т.н.,
доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана

Фаворский О.Н., академик РАН,
член президиума РАН

Чуйко В.М., д.т.н.,
президент Ассоциации "Союз
авиационного двигателестроения"

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор

Александр Иванович Бажанов
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 Намсарев

Художественные редакторы:

Александр Николаевич Медведь
Владимир Николаевич Романов

Техническая поддержка

Ольга Владимировна Лысенкова, к.пед.н.

В номере использованы фотографии, эскизы и рисунки:

А.И. Бажанова, Д.А. Боева, А.В. Ефимова,
А.Н. Медведя, В.Н. Романова и др.

Адрес редакции журнала "Двигатель":

111116, Россия, Москва,
ул. Авиамоторная, 2.

Тел./Факс: (495) 362-3925.

dvigatell@yandex.ru

boeff@yandex.ru

aib50@yandex.ru

www.dvigately.ru

Электронная версия журнала (2006-2014 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 информации и наличие в материалах фактов, не подлежащих разглашению в открытой печати, лежит на авторах публикаций.
Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов.

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

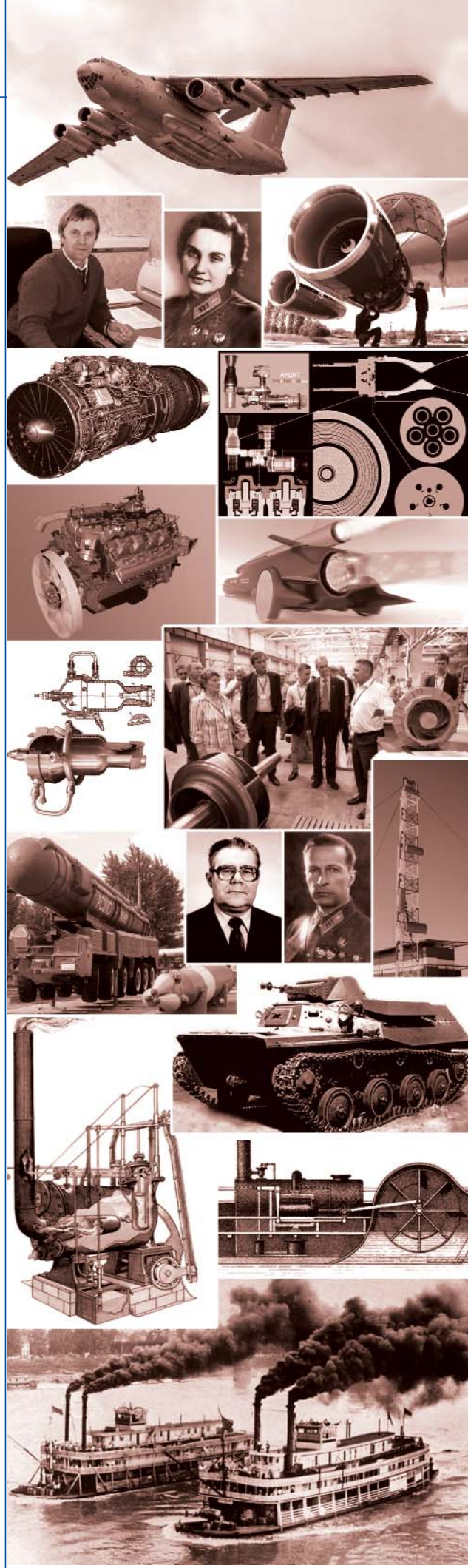
Журнал "Двигатель", рекомендован экспертными советами ВАК по техническим наукам, механике, машиностроению и машиноведению, энергетическому, металлургическому, транспортному, химическому, транспортному, горному и строительному машиностроению, авиационной и ракетно-космической технике в числе журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Индекс 1630 в общероссийском Перечне 2015 г.

Научно-технический журнал "Двигатель" ©
зарегистрирован в ГК РФ по печати.
Рег. № 018414 от 11.01.1999 г.
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 "Программа фундаментальных исследований Центрального Института Авиационного моторостроения (ЦИАМ) имени П.И. Баранова I**
А.Б. Ватажин, В.А. Скибин
- 4 Наука не терпит суесть**
В.И. Гуров
- 6 Рабочие лопатки вентиляторов большой степени двухконтурности для перспективных ТРДД**
А.С. Новиков, Т.Д. Каримбаев
- 12 Высокэнергетическая томография ракетных двигателей малой тяги**
И.А. Вайнберг, Э.И. Вайнберг, И.Н. Боровик
- 16 Лётные испытания двигателя ПД-14**
- 16 Новый материал для хранения природного газа для автомобилей**
- 18 Дело жизни - аэронавигация!**
Е.Г. Попова
- 20 Тенденции развития бензинов для авиатехники с поршневыми двигателями**
И.М. Попов, П.В. Бородако, М.Н. Пасина, Е.П. Федоров, Н.И. Варламова, Л.С. Яновский
- 24 Исследование и решение проблемы неравномерной подачи топлива в цилиндры газодизеля**
А.Ф. Равич, С.Н. Богданов, Н.В. Осовин, Б.П. Загородских
- 27 И.С. ПЯТОВ**
- 28 Многосвязная плоская имплозия "Обобщённый Гюгонио"**
В.А. Белоконь
- 30 Турбулентность. Фундаментальное граничное условие сопровождения и новая постановка краевой задачи вязкой газовой динамики**
Ю.М. Кочетков
- 33 Павел Сергеевич Курсков - родоначальник современных РДТТ**
- 34 Новые горизонты теплоэнергетики с позиций низкоэнергетических ядерных реакций: теория, эксперимент, перспективы**
М.Я. Иванов, В.К. Мамаев
- 42 К 50-летию факультета "Аэромеханики и летательной техники" (ФАЛТ) Московского физико-технического института (МФТИ)**
В.А. Скибин, А.Н. Крайко
- 48 Взгляд на историю с точки зрения Третьего ГУ Минавиапрома СССР**
В.М. Толоконников
- 52 Тридцать три года в ракетной технике: успехи, разногласия, конфликты**
В.Ф. Рахманин
- 62 Танки от и до**
О.Н. Брилёв
- 66 Колесные пароходы. На заре века пара и электричества**
В.С. Шитарёв





ПРОГРАММА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Центрального Института Авиационного Моторостроения (ЦИАМ) имени П.И. Баранова

ГНЦ РФ ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова":

Александр Бенцианович Ватажин, д.т.н., начальник сектора

Владимир Алексеевич Скибин, д.т.н., советник генерального директора по научной работе

Многие из проводимых в ЦИАМ теоретических и прикладных исследований имеют фундаментальный характер и вносят существенный вклад в развитие общей механики и авиационной науки и техники. Здесь были созданы известные научные школы, которые возглавляли выдающиеся отечественные ученые мирового уровня. В Институте был создан Фонд Фундаментальных Исследований (теперь – Программа фундаментальных исследований), с помощью которого стало осуществляться дополнительное финансирование наиболее успешных научных коллективов, которые способны работать на высоком творческом уровне.

Many of held in CIAM theoretical and applied research are fundamental in nature and make a significant contribution to the development of General mechanics and aeronautical science and technology. Here were created famous scientific schools headed by prominent Russian scientists of world level. The Institute was created by the Foundation for Fundamental Research (now the Program of fundamental research), which began to provide additional funding for the most successful research teams that are capable of operating at a high creative level.

Ключевые слова: фундаментальные исследования, наука, газовая динамика, авиадвигателестроение

Keywords: fundamental research, science, gas dynamics, aircraft engine

Яркой особенностью Института во все время его существования было умелое сочетание проводимых в нем теоретических и прикладных исследований. Многие из этих исследований имеют фундаментальный характер и вносят существенный вклад в развитие общей механики и авиационной науки и техники. В ЦИАМ были созданы известные научные школы, которые возглавляли выдающиеся отечественные ученые мирового уровня. Научная работа высокого уровня продолжается и в настоящее время.

Развитие фундаментальных исследований в конце восьмидесятых - начале девяностых годов стало наталкиваться (и продолжает наталкиваться в настоящее время) на значительные трудности. В основном это было связано с происшедшими в стране неблагоприятными социальными и экономическими изменениями. Они нанесли серьезный удар развитию отечественной науки и техники. В Институте наметилась тенденция уменьшения числа и качества фундаментальных исследований.

Руководством Института и его ведущими специалистами было оказано решительное противодействие этой ситуации. В конце 1989 года в Институте был создан (функционирующий до настоящего времени) Фонд Фундаментальных Исследований (называемый теперь Программой фундаментальных исследований), с помощью которого стало осуществляться дополнительное финансирование наиболее успешных научных коллективов, которые способны работать на высоком творческом уровне. Руководством института было сформировано Жюри фонда, состоящее из передовых научных сотрудников института, которое на конкурсной основе отбирало лучшие трудовые коллективы (в соответствии с представленными ими на жюри проектами). Результаты работы жюри регулярно обсуждались на научно-технических советах, где председатель жюри делал обстоятельные научные доклады, и утверждались руководством института. Состав Жюри регулярно обновлялся.

Дополнительное материальное стимулирование сотрудников института, участвующих в работе Фонда, во многом способствовало сохранению в институте в девяностых годах сильных научных кадров, что благотворно повлияло на дальнейшую судьбу института.

Фонд (Программа) фундаментальных исследований функционирует в институте вплоть до настоящего времени, и его работа во многом определяет получение новых научных и прикладных результатов в области авиационных приложений.

Фундаментальные исследования в рамках Фонда проводятся в областях механики жидкости и газа, механики твердого деформируемого тела, физической газовой динамики и в области совершенствования численных методов. Укажем ряд значимых полученных результатов.

1. Одним из важнейших направлений работы Фонда являются исследования пространственных стационарных и нестационарных, внутренних и внешних, ламинарных и турбулентных газодинамических

течений, и анализ приложений этих исследований к течениям в элементах ПТД. Для успеха в этом направлении необходимо непрерывное совершенствование и создание новых численных методов.

ЦИАМ всегда отличался успешным внедрением в практику его работы передовых численных технологий. Учеными в рамках Фонда успешно используются и творчески развиваются следующие численные методы: метод RANS (Reynolds averaged Navier-Stokes) - численное моделирование осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса с использованием аппроксимации компонентов тензора напряжений Рейнольдса различными моделями турбулентности; метод URANS - обобщение метода RANS на случай нестационарных течений; метод LES (large eddy simulation) - численное моделирование нестационарных уравнений Навье-Стокса на предельно малом шаге расчетной сетки.

2. В рамках Фонда на основе созданных физико-математических моделей и указанных выше численных методов созданы программные комплексы для решения прикладных проблем ВРД. Были изучены отрывные течения в трехмерных диффузорных каналах, газодинамическое взаимодействие элементов турбины с затурбинными устройствами, вопросы газодинамических потерь и теплообмен в лопаточных элементах.

Развиты методы прямой оптимизации формы элементов ВРД с учетом сложного характера их обтекания и напряженно-деформированного состояния. В оптимизационном процессе, в котором использованы генетические алгоритмы, осуществлено одновременное решение пространственных уравнений обтекания тел и уравнений, описывающих их изменяющуюся деформационную структуру. Созданная методология позволила при решении задач оптимизации (например, оптимизации формы лопатки вентилятора) на порядок сократить продолжительность расчета.

3. Большое внимание в работе Фонда уделялось вопросам, связанным с проблемой турбулентности и ее влиянием на характеристики течения в элементах ПТД. Были разработаны новые дифференциальные модели турбулентности, и рассмотрена проблема их отбора для различных приложений. Сделан важный вывод, что с помощью только одной (специально отобранной) модели турбулентности невозможно описать не только различные течения (что общеизвестно), но и в ряде случаев структуру даже того течения, для которого выбрана модель. Получены новые данные об особенностях струйных турбулентных течений (влияние на развитие турбулентности в струе начальных (на срезе сопла) динамических и тепловых условий и внешних условий, появление крупномасштабных вращательных структур в закрученных струях).

4. Проведен анализ двухфазных течений, которые играют важную роль в различных авиационных приложениях. Рассмотрены теоретические вопросы - обоснование и применимость модели взаимно проникающих континуумов и траекторной модели для дисперсной

фазы в различных гидродинамических и газодинамических условиях. Выполнены расчетные исследования и проведены эксперименты по возникновению и развитию жидко-капельной дисперсной фазы в паровоздушных струях. Изучена проблема попадания частиц твердой дисперсной фазы на вход двигателя в условиях полета и в аэродромных условиях, когда частицы отрываются от поверхности аэродрома и попадают на вход двигателя при операции реверса тяги.

5. Проведены исследования особенностей акустических полей во входных и выходных устройствах ГТД. Созданы методы расчета газодинамических и акустических полей в этих устройствах при заданном распределении импеданса звукопоглощающей конструкции (ЗПК) вдоль стенок устройств, обеспечивающем существенное снижение шума. Разработана физико-математическая модель ЗПК, позволяющая создавать эти устройства с требуемыми характеристиками.

Большую роль при определении акустических характеристик двигательных элементов сыграло использование специально созданных методов одновременного расчета газодинамических и ближних и дальних акустических полей. Для получения высокочастотных характеристик течения успешно использовался метод LES.

6. Проблема горения топлива в камерах сгорания двигательных и энергетических устройств является одной из важнейших в работе Фонда. Укажем ряд полученных в этом направлении результатов.

Проведено подробное исследование структуры фронта горения, что позволило с достаточной надежностью определять возникающие по длине переходной (через фронт) зоны концентрации эмиссионных составляющих.

На основе новых физических моделей и новых моделей турбулентности создан программный комплекс, с помощью которого проведены расчеты горения и эмиссионных характеристик в ряде камер сгорания. Выполнены расчеты гомогенной малоэмиссионной камеры сгорания, основные результаты которых совпали с результатами одновременно проводимых в рамках Фонда натурных экспериментов.

Проведен анализ связанных с проблемой горения процессов в форсуночных и смесительных устройствах, в переходных каналах, соплах, струях.

Выполнен комплекс исследований горения водородных и углеводородных топлив и режимов детонации в высокоскоростных ВРД. В исследованиях используются созданные в рамках Фонда физико-математические модели процессов в сверхзвуковых камерах сгорания, учитывается пространственный характер течения и его турбулентность в элементах ВРД, анализируются различные режимы торможения сверхзвукового потока.

Рассмотрена возможность благоприятного воздействия магнитного поля на характеристики работающего на водороде ВРД, интегрированного с летательным аппаратом, путем установки магнитогазодинамического генератора в воздухозаборнике двигателя для увеличения давления торможения на входе в высокоскоростную камеру сгорания или путем его установки на выходе из камеры для генерации электроэнергии.

7. Одним из новых направлений в работе Фонда является разработка теории энергетически разветвленных цепных реакций и ее использование в различных приложениях. Созданы новые кинетические модели неравновесных физико-химических процессов с участием возбужденных атомов и молекул в реагирующих многокомпонентных средах. Рассмотрена и реализована методология улучшения горения (сокращения времени воспламенения топливной смеси) путем предварительного возбуждения внутренних степеней свободы молекулярного кислорода с помощью воздействия на него электрического или лазерного разряда и введения в топливную смесь полученного возбужденного кислорода.

Указаны способы повышения эффективности сжигания органических и неорганических топлив. Построены новые модели кластерной пылевой и аэрозольной плазмы для анализа воздействия выбросов из двигателя в атмосферу.

8. Выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований в области электрогазодинамики - важного направления механики сплошной среды, имеющего разнообразные технические приложения. Были рассмотрены актуальные авиационные пробле-

мы: электризация летательных аппаратов вследствие их обтекания заряженным потоком, содержащим дисперсную фазу, и вследствие протекания физико-химических и электрокинетических процессов в тракте двигателей; компенсация заряда летательных объектов при использовании новых, "активных", методов управления их зарядом. Были созданы новые, электростатические, методы диагностики авиационных двигателей и энергетических устройств с протоком через них воздуха. Разработаны способы улучшения характеристик внешних и внутренних газодинамических течений в авиационных объектах с помощью электрических разрядных устройств.

9. Большое внимание в работе Фонда уделяется исследованиям в области авиационных приложений механики твердого деформируемого тела. В этом направлении на протяжении всего времени функционирования Фонда выполнялись важные работы по теоретическому и экспериментальному нахождению уравнения состояния (зависимости напряжение-деформация) для перспективных материалов, по разработке новых механических моделей и совершенствованию вычислительных методов, по учету сложной совокупности материаловедческих, прочностных, гидродинамических и газодинамических условий в элементах ГТД.

В проведенных исследованиях созданы модели пластичности и ползучести для новых конструкционных материалов, разработана методология оптимального проектирования конструктивных элементов ГТД с учетом их взаимодействия с газом и жидкостью, что требует одновременного решения уравнений для напряженно-деформируемого твердого тела и газодинамических и гидродинамических уравнений.

В указанной постановке проведено математическое моделирование несущей способности и ресурса деталей турбомашин при нестационарном неадиабатическом нагружении, разработаны и уточнены методы расчета динамики роторов ГТД на нелинейных опорах с осевыми и радиальными подшипниками скольжения.

Развиты вероятностные модели деформирования и разрушения неоднородных тел и рассмотрены их приложения в контактных задачах механики анизотропных сред.

Разработаны физико-математические модели и методы численного моделирования развития дефектов в упругих и упруго-пластических телах при малоцикловой и многоцикловой усталости в локальной и стохастической постановке. Доказана универсальность механизма устойчивого роста усталостных трещин.

Большинство рассмотренных выше научных направлений Фонда непосредственно относится к авиационным приложениям. Однако фундаментальный характер работы Фонда стимулировал проведение исследований и более общего характера. Так, на стыке аэродинамики и астрофизики создана новая простая модель Большого взрыва и расширения Вселенной.

Выше был указан ряд результатов, полученных в работах Фонда, в основном, в течение последнего десятилетия. На протяжении своей двадцатипятилетней истории в рамках Фонда на высоком научном уровне выполнялись и другие, значимые для своего времени, работы фундаментального характера.

Исследования, выполненные сотрудниками Фонда, продолжались в тематических работах института, использовались при выполнении хозяйственных и контрактных (с отечественными и зарубежными заказчиками) работ, докладывались, получая высокую научную оценку, на многочисленных отечественных и международных конференциях.

Гарантами высокого научного качества проводимых в работах Фонда исследований являются руководители творческих коллективов - ученые высокого уровня: А.А. Баскаков, А.Б. Ватажин, И.И. Вигдорович, И.И. Ганелин, В.Ф. Гольцев, М.Я. Иванов, А.П. Кадетов, Т.Д. Каримбаев, А.Н. Крайко, С.Ю. Крашенинников, В.И. Копченков, А.А. Луппов, Д.А. Любимов, Е.В. Мышенков, Р.З. Нигматуллин, Ю.Н. Никитин, А.А. Осипов, А.Д. Рекин, В.Э. Сарен, Е.Д. Свердлов, А.Н. Секундов, Р.И. Сериков, В.В. Смирнов, А.М. Старик, Ю.М. Темис, Л.В. Терентьева, Н.В. Туманов, С.В. Харьковский, Б.Ф. Шорр, В.И. Ягодкин (выше указаны руководители ряда коллективов в последние десять лет).

Председателем жюри Фонда является А.Б. Ватажин.

Работа Фонда всегда поддерживалась руководителями института: Д.А. Огородниковым, В.А. Скибиным и В.И. Бабкиным.



НАУКА НЕ ТЕРПИТ СУЕТЫ

ГНЦ РФ ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова":

Валерий Игнатьевич Гуров, д.т.н., нач. сектора, член Программного комитета Воронежской международной конференции

21 - 25 сентября 2015 года в Воронеже состоялась очередная 8-ая Международная конференция СИНТ-15 "Разработка, производство и эксплуатация турбо-, электронасосных агрегатов и систем на их основе". Более ста участников представляли 80 предприятий из 12 стран мира. По масштабности и глубине заслушанных материалов (43 доклада) эта конференция превзошла все предыдущие конференции, начиная с 2001 года. Повышение ресурса и импортозамещение - ключевые составляющие представленных разработок, причем, порою, вполне сопоставимых с мировым уровнем. Мотивацией такого результата стали вызовы сегодняшнего дня. Характерной особенностью 8-ой конференции явилось тесное сопряжение результатов академической и прикладной науки с опытом производства и эксплуатации, в основном, насосного оборудования в разных сферах промышленности.

Трибология - наука о безызносности



Рис. 1. Пресс-секретарь ВМК Валерия Измайлова

Наука, как поэзия: не терпит суеты. Озарение требует бережного вынашивания, сроки которого могут быть самыми разными. Нельзя планировать открытие, изобретение, новое слово в технике: всему свое время. Когда напряженность работы машин достигла высокого уровня, стремительно появилось новое направление в науке (применительно, прежде всего, к авиационным и ракетным двигателям) - трибология. Очень молодая - и академическая и прикладная наука, которая придала мощный импульс триботехнике, реализующей на практике повышение износостойкости материалов в узлах трения машин: подшипниках качения и скольжения, колесах редукторов, динамических уплотнениях и прочих. Отсчет зарождения триботехники можно вести с зарегистрированного в Государственном реестре СССР

научного открытия № 41 за 1964 год "Эффект избирательного переноса при трении (эффект безызносности)", авторы Д.Н. Гаркунов и И.В. Крагельский. Накопленный опыт конструирования, изготовления и эксплуатации пар трения из различных материалов в разного рода машинах отражен в фундаментальной монографии Д.Н. Гаркунова "Трибология". С 1980-х годов до нашего времени она выдержала восемь изданий.

Яркой иллюстрацией успешного применения опыта отечественной школы создания и применения высокоскоростных подшипников скольжения из антифрикционных углепластиков стал доклад коллектива авторов под руководством академика РАН И.Г. Горячевой из ФГУП "Прометей" (Санкт-Петербург). Ирина Георгиевна является председателем Межведомственного совета по трибологии, созданного под эгидой РАН и Минобрнауки. Членом этого совета состоит сотрудник ГНЦ РФ ЦИАМ Л.А. Шабалинская, что позволяет специалистам ЦИАМ успешно сотрудничать в вопросах триботехники, применительно к авиационным двигателям.



Рис. 2. Приветствие директора ВМК С.А. Повеквечного

Иной опыт успешного решения проблемы износостойкости подшипников скольжения нового поколения с использованием эластичной металлопластики представлен в работе под руководством А.И. Белоусова - профессора Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П.Королева. К двум обозначенным ключевым докладам вполне естественно примыкают результаты исследований термомпластичных углепласти-

ков XXI века под руководством Изабеллы Рашкович (ООО "Увиком", г. Королев Моск.обл.). Вывод докладчика звучал вполне убедительно: "Отечественные материалы нового поколения по своим свойствам не уступают зарубежным аналогам".

Относительно разработок новых материалов, правда, применительно не к динамическим уплотнениям, а к разъемным соединениям вызвал интерес участников конференции доклад фирмы "Силур" (г. Пермь) совместно с ОАО "Научно-исследовательский институт лопастных насосов" (г. Воронеж). Ошеломляет приведенная таблица сравнения технических показателей прокладочных материалов на основе безасбестового паронита и инновационного терморасширительного графита (ТРГ). Для ТРГ, например, допустимый срок эксплуатации неограничен, а для паронита - составляет 2 года.

Анализ достижений отечественной трибологии показывает, что они соответствуют мировым стандартам. Такой вывод придает уверенность в решении проблем импортозамещения.

Ключ к импортозамещению на рынке России

Обобщение опыта эксплуатации сложного импортного оборудования и тенденций импортозамещения на рынке России позволили сотрудникам кафедры нефтегазового оборудования и транспортировки Воронежского государственного технического университета (ВГТУ) и ОАО "Турбонасос" (г. Воронеж) совместно разработать методику, позволяющую создавать для предприятий программу импортозамещения. Без такой ключевой программы трудно системно представить этапы целенаправленного внедрения отечественного оборудования взамен зарубежного.



Рис. 3. В зале заседаний

Обширное поле деятельности для производителей российского оборудования продемонстрировал С.А. Базаров на примере компании "Алроса" (г. Мирный, Якутия). На этом предприятии 65% оборудования является зарубежным, из него только насосов несколько десятков экземпляров. Компания "Алроса" является мощной организацией по добыче и обработке алмазов. В 2009 году "Алроса" заняла первое место в мире по добыче алмазов, запасы которых в России оцениваются в \$100 млрд. Финансовые возможности предприятия настолько велики, что она ежегодно субсидирует на социальные нужды восьми регионов России 600 млн.рублей.

Рынок инновационных предложений в России достаточно широк и разнообразен, что и продемонстрировали многие участники конференции. Интересным оказалось предложение наших белорусских коллег (А.С. Каштанов, С.П. Субботин) по возможности замены зарубежного оборудования в нефтехимической отрасли в классе герметичных насосных агрегатов с магнитной муфтой мощностью до 600 кВт. Обратил на себя внимание доклад П.Г. Павлова (ОАО "НПО ЦКТИ", Санкт-

Петербург) о разработке и внедрении впервые в мире гидротурбонасоса применительно к тепловым схемам АЭС. В этом случае энергия на привод насоса расходуется не извне, а за счет использования внутренних тепловых ресурсов. В результате повышается не только эффективность тепловой схемы, но и на порядок снижается удельная металлоемкость конструкции по сравнению с прототипом. Множество вопросов вызвала конструкция 3-х каскадного кислородного насоса нового поколения - совместная разработка специалистов ЦИАМ и ОАО "НПО Энергомаш им. акад. В.П.Глушко". [См. журнал "Двигатель" № 5 2014] Техническое решение позволяет заметно снизить массу насоса и повысить его надежность. Важным показателем предложения является высокий конверсионный потенциал насоса. Отключением из работы двух первых каскадов и понижением втрое частоты вращения третьего каскада можно перекачивать сжиженный природный газ с давлением 2,0-2,2 МПа и при мощности не более 400 кВт. Это важно для криогенной заправки автомобильных баллонов высокого давления.



Рис. 4. С.Г. Валухов представляет производственную базу ОАО "Турбонасос"

и сама гайка, со смещением по шагу. Это препятствует свободному проворачиванию гайки по сопряженной резьбе и обеспечивает двойную фиксацию в радиальном и осевом направлениях. Данное конструктивное решение в течение многих лет зарекомендовало себя как эталон надежности и безопасности в железнодорожной, автомобильной промышленности, машиностроении, производстве спецтехники и строительной индустрии. Патентообладателем уникального резьбового соединения является с 1989 года германская фирма "Флайт+Хоммель". Без преувеличения: представленная инновация может служить примером гениально простого решения сложной проблемы.

Представленный материал показывает, что интерес к приобретению отечественного оборудования взамен импортного будет тем сильнее, чем насыщенной будет инновационное наполнение предлагаемой продукции и установление тесных связей между потребителями и производителями по заранее разработанным взаимовыгодным программам. Такой подход принят за основу во многих предприятиях России и в первую очередь в ОАО "Турбонасос", что представлено далее.

Повышение эффективности - традиционное направление совершенствования оборудования

Совершенствованию оборудования посвящено наибольшее количество докладов, причем как совершенству вновь создаваемого, так и совершенствованию находящегося в эксплуатации оборудования. Тон этому направлению задает основательный доклад представителей ВГТУ (кафедра математического моделирования) и ОАО "Турбонасос" по оптимизации гидродинамических процессов в центробежных насосов с использованием современного программного обеспечения. Оно наряду с гидродинамикой учитывает и нормы прочности, и кавитационные запасы насоса при его работе на различных жидкостях, и условия динамической устойчивости ротора, и вибрационное состояние агрегата. Результаты представленной работы предусматривают достижение максимальной эффективности насоса. К сожалению, в данной работе не рассмотрены нестационарные процессы, что учтено, в частности, в программном продукте, предложенном в докладе Я. Неверил (Чехия). В целом, представлено пять докладов по вопросам программного обес-

печения при проведении расчетов эффективности лопастных насосов.

Еще больше работ освещают проблемы модернизации действующего оборудования, как за счет совершенствования проточной части эксплуатируемых насосов (доклады Марко Ломбарди из Италии и В.И. Жушмана из Челябинска), так и применением поэтапного усовершенствования всего агрегата, в том числе и электродвигателей (ЗАО "ВЭЗ", г.Воронеж). Наиболее ярким примером

такого подхода явилась модернизация насосов для атомной промышленности на фирме АО "ОКБМ Африкантов" (г. Нижний Новгород). Планомерная реализация поэтапной модернизации позволила достичь нового качества с рекомендацией герметичных насосов нового поколения для неядерного рынка.

Особое место в программе конференции занимает исследование Мартина Рихтера (Германия) по сравнению гидродинамического и частотно-регулируемого приводов. Сравнение проводилось комплексно: по эффективности, ресурсу работы и оптимальности компоновочных решений. Неожиданный вывод в пользу применения гидродинамического регулирования приводов прозвучал вполне убедительно.

Несомненный интерес представляли докладчики с презентацией своих предприятий и производимой продукции. Важно при этом то, что все презентации проходили в одной аудитории, объединившей всех участников конференции. Польза для всех разная, но несомненная.

Заключение

Общее впечатление от конференции сугубо положительное. За 15 лет Воронежская международная конференция (ВМК) обрела новое качество и по количеству участников, и по охвату и глубине представленных материалов, и по достигнутой высоте осмысления особенностей импортозамещения в современной России.

Базовой основой ВМК является ОАО "Турбонасос" - современное научно-производственное предприятие, входящее в состав Федерального космического агентства. За предприятием закреплены разработка, изготовление, испытание и сервис насосов, турбин и энергетических систем для ракетно-космической отрасли, а также для таких важных отраслей национальной экономики РФ, как добыча, транспорт и переработка нефти и газа, энергетика, черная и цветная металлургия, производство минеральных удобрений. Генеральным директором и генеральным конструктором ОАО "Турбонасос" является д.т.н., профессор Сергей Георгиевич Валухов - воспитанник КБХА. В 32 года он стал начальником отдела турбонасосных агрегатов - ключевых агрегатов мощных жидкостных ракетных двигателей. Возможность тесного слияния ракетно-космической тематики с интересами в общепромышленных отраслях промышленности позволил предприятию под руководством С.Г. Валухова стать динамично развивающейся организацией с повышенной восприимчивостью к инновационным направлениям науки, техники и экономики. Важным достижением ОАО "Турбонасос" является активное вовлечение в хозяйственный оборот объектов интеллектуальной собственности (ОИС) в виде патентов на изобретения, полезные модели, а также в виде "ноу-хау". Постановка ОИС на баланс предприятия повышает его капитализацию и приносит дополнительный доход. Впечатляет пример с постановкой ОИС на баланс в виде "ноу-хау" давно освоенного технологического процесса: через год этот "ноу-хау" принес ОАО "Турбонасос" доход в один млн рублей.

К недостатку ВМК могу отнести перенасыщенность программы конференции, что не позволило включить в повестку дня актуальные вопросы успешного хозяйственного освоения ОИС. А это огромный неосвоенный резерв наших возможностей. Надеюсь все впереди - ведь 9-ая ВМК не за горами!



Рис. 5. Марко Ломбардо (Италия) впервые вступил на Воронежскую землю



РАБОЧИЕ ЛОПАТКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ БОЛЬШОЙ СТЕПЕНИ ДВУХКОНТУРНОСТИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТРДД

ФГУП ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова":

Александр Сергеевич Новиков, д.т.н., заместитель генерального директора института,
Тельман Джамалдинович Каримбаев, д.т.н., начальник отдела

Рост грузопотоков, увеличение пассажирских перевозок стимулируют развитие двигателестроительной отрасли. Наиболее совместимый с природой ГТД способ повышения их эффективности заключается в освоении высоких температур. Однако этот способ сегодня ограничен предельными температурами работоспособности существующих и перспективных металлических материалов. В этих условиях, по-видимому, наибольший вклад в решение проблемы повышения эффективности ГТД для ГА вносит разработка и использование ТРДД большой степени двухконтурности. Главной проблемой для таких крупногабаритных вентиляторов является обеспечение безопасности полетов, особенно, в нештатных ситуациях.

The increase in freight traffic, the increase in passenger traffic stimulated the development of engine industry. The most compatible with the essence of the GTD method to improve their effectiveness lies in developing high temperatures. However, this method is now limited to a limit temperature operability of existing and promising metallic materials. In these conditions, apparently, the greatest contribution to the solution of problems of increase of efficiency of GTE to the CA introduces the development and use of turbofan high bypass ratio. The main problem for these large fans is to ensure safety, especially in emergency situations.

Ключевые слова: турбореактивный двигатель, лопасти вентиляторов, полимерные композиционные материалы.
Keywords: turbofan engines, fan blades, polymeric composite materials.

Введение

Рост грузопотоков, увеличение пассажирских перевозок стимулируют развитие двигателестроительной отрасли. Борьба за высокие прибыли в условиях повышенных цен на топливо и суровой конкуренции ведущих двигателестроительных фирм за рынки сбыта (см, например, [1]) предопределяет разработки ГТД повышенной эффективности. Наиболее совместимый с природой ГТД способ повышения их эффективности заключается в освоении высоких температур. Однако этот способ сегодня ограничен предельными температурами работоспособности существующих и перспективных металлических материалов. Высокотемпературные композиционные материалы только начинают созреть. В этих условиях, по-видимому, наибольший вклад в решение проблемы повышения эффективности ГТД для ГА вносит разработка и использование ТРДД большой степени двухконтурности. Однако и это направление сталкивается с определенными ограничениями. Вентиляторы ТРДД большой степени двухконтурности отличаются крупными габаритами, большой массой, что приводит к ряду серьезных проблем. Главной проблемой для таких крупногабаритных вентиляторов является обеспечение безопасности полетов, особенно, в нештатных ситуациях:

- при обрыве рабочей лопасти вентилятора,
- при попадании в тракт двигателя посторонних предметов, в том числе крупных птиц,
- при автоколебаниях различной природы и других.

Очевидно, что с увеличением размеров вентиляторов вероятность появления таких нештатных событий, а также трудности обеспечения прочности основных деталей в условиях эксплуатации и проблемы снижения массы только возрастают.

Сегодня по оценкам всех ведущих двигателестроительных фирм мира при создании ТРДД большой степени двухконтурности решение проблем обеспечения безопасности полетов, повышения конкурентоспособности двигателя невозможно без применения безбандажных широкохордных рабочих лопаток вентиляторов из полимерных композиционных материалов (ПКМ).

1. Рабочие лопасти из углепластика.

Работы по применению композиционных материалов в двигателях начались в 60-х годах прошлого столетия на этапе создания двигателей IV поколения. С того времени было проведено огромное число расчетных, технологических, экспериментальных исследований. Как удачные, так и неудачные результаты этих исследований заметно обогатили опыт обращения с ПКМ. Уже тогда в двигателях Д-18Т появились вставное внутреннее бронезащитное кольцо (бронешилет) из органоластика, лопасти спрямляющего аппарата из ПКМ и др. новшества [2]. В ЦиАМ

разработаны использующийся до настоящего времени энергетический метод расчета непробиваемости корпусов, в том числе, из ПКМ, двухкомпонентная теория деформирования композиционных материалов, оригинальные методы расчета и испытаний, как самих композиционных материалов, так и деталей двигателей из них [3-6]. В ВИАМ создана база по разработке композиционных материалов - нового направления в материаловедении (см, например, [7]). Технологические проблемы использования ПКМ решались в рамках вновь созданного тогда НИИД (см, например, [8]).

Накопленный опыт позволил фирме Дженерал Электрик впервые в 1995 г сертифицировать двигатель GE-90 с рабочими лопатками вентилятора, выполненными из углепластика. Опыт эксплуатации двигателя GE-90 позволил фирме бесповоротно заняться внедрением ПКМ в последующие двигатели [9]. В настоящее время фирмой разрабатывается 4-ое поколение лопаток вентилятора для двигателя GE-9X [10]. Вслед за фирмой Дженерал Электрик потянулись все основные двигателестроительные фирмы, каждая из которых вносит свою лепту в развитие как самих ПКМ, так и способов их применения в двигателях. Так применительно к двигателю LEAP-X фирма Снекма совместно с Дженерал Электрик ориентируется на тканую 3D структуру рабочей лопасти вентилятора и RTM-технологии [11]. Фирма Роллс-Ройс развивает роботизированную технологию выкладки при создании рабочей лопасти вентилятора [12].

Такое развитие инновационных событий в двигателестроении обусловлено, прежде всего, тем, что ПКМ имеют малую массу, повышенную удельную прочность. Непосредственный эффект массы легко считается. Такие оценки проведены. Например, для ПД-14 в сравнении с облегченными полыми лопатками из титанового сплава применение

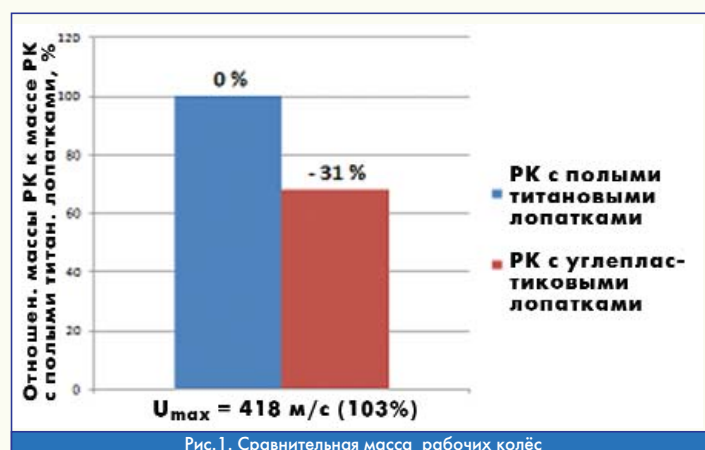


Рис.1. Сравнительная масса рабочих колёс

углепластика позволяет снизить массу лопатки более чем на 30%.

Известно, что центробежная сила пропорциональна массе и ма-

лый удельный вес углепластиков (1650 т/м^3 ; для сравнения у титановых

сплавов - 4500 т/м^3) приводит к относительно низкому уровню рабочих напряжений. Пределы прочности конструкционных углепластиков и титановых сплавов практически сопоставимы. Это означает, что при применении углепластиков запасы прочности по главным напряжениям увеличатся, практически, пропорционально отношению масс лопаток (вес металлической лопатки/вес лопатки из углепластика).

Малая масса лопаток позволяет использовать облегченный диск. Экспертные оценки показали, что снижение массы рабочего колеса в двигателе ПД-14 составит не менее 31%, если вместо рабочего колеса с полыми титановыми лопатками использовать рабочее колесо с лопатками из углепластика (см. рис.1). Если с самого начала двигатель проектируется с лопатками из углепластика, то облегченное рабочее колесо позволяет использовать ТНД меньшей мощности, вал и опоры с более низкой массой. А простая замена штатного рабочего колеса с полыми титановыми лопатками на рабочее колесо с легкими лопатками из углепластика, очевидно, приведет к повышению долговечности ответных металлических узлов в соответствии со сниженным уровнем рабочих напряжений в них.

Наибольший эффект от применения углепластиков малой массы получается при решении проблемы локализации рабочей лопатки вентилятора в случае её обрыва. На рис.2 приведены сравнительные оценки массы различных корпусов при использовании различных рабочих колес. Расчеты выполнены инж. Чернышовым А.А на основе упомянутого выше энергетического подхода применительно к вентилятору ПД-14.

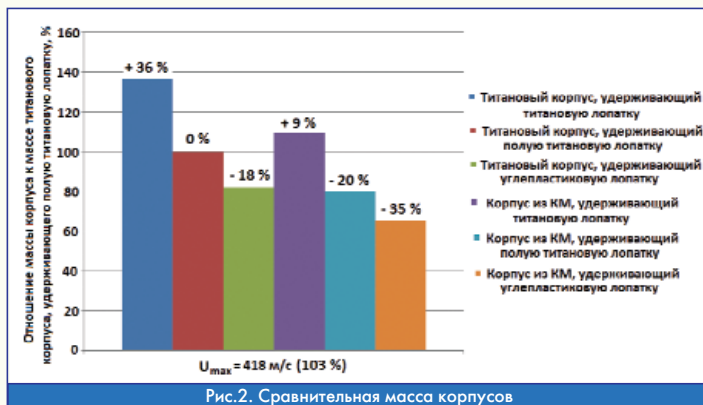


Рис.2. Сравнительная масса корпусов

Аналогичные результаты получены и за рубежом. Так, например, в ТРДД LEAP используется корпус вентилятора из КМ, который на 30% легче его алюминиевого аналога [13]. Фирма Роллс-Ройс [14] разработала вентилятор для двигателей Advance и UltraFan с лопатками и корпусом из композиционного материала, что позволило снизить массу двигателя на 680 кг, что эквивалентно перевозке 7 дополнительных пассажиров.

Общеизвестно, что ПКМ отличаются повышенным сопротивлением усталости [15], что обеспечивает повышенную долговечность лопаткам. Так, например, Стадниковым А.Н. были проведены испытания первых экспериментальных полноразмерных лопаток из углепластика на усталость при колебаниях по первой изгибной форме. Им показано (см. [16.]), что при деформациях $1.75 \cdot 10^{-3}$ лопатка из углепластика не имела никаких усталостных повреждений на базе $2 \cdot 10^7$ циклов нагружения.

ПКМ, в том числе, углепластиком свойственно повышенное внутреннее сопротивление. Декременты колебаний углепластиковой лопатки, экспериментальные значения которых приведены в [16], оказались на порядок выше, чем у монолитной титановой лопатки. Это обстоятельство обеспечивает повышенное сопротивление лопаток из углепластика динамическому, в том числе, аэродинамическому возбуждению. Несмотря на малую массу такие характеристики углепластиков как высокое демпфирование и слабая динамическая возбуждаемость, безусловно, способствуют повышенному сопротивлению лопаток аэродинамическому возбуждению [17].

2. Специфика лопаток из углепластика.

Несмотря на описанные очевидные достоинства лопаток из углепластика ряд её специфических особенностей требуют разработки отдельных подходов, которые существенно отличаются от привычных подходов при создании лопаток из металлических материалов.

Прежде всего, углепластик является анизотропным материалом. Это означает, что в разы увеличивается число параметров, использующихся при проектировании лопатки в качестве независимых расчетных характеристик материала. Следовательно, в разы возрастает объем обязательных экспериментальных исследований при формировании значений расчетных характеристик и объем испытаний конструктивно-подобных элементов. Например, в [18] подчеркивается, что использование композиционных материалов для снижения массы самолёта "Боинг-787" на 50% привело к тому, что число испытаний для определения свойств материала возросло до 100 000 вместо 5000, а число испытаний конструктивно-подобных элементов до 10 000 вместо 500.

Кроме того, анизотропия свойств исключает возможность применения таких широко используемых ранее одномерных подходов при проектировании лопаток и анализе их работоспособности, которые приведены, например, в руководствах [19]. При применении композиционных материалов должны быть использованы новые адекватные анизотропным конструкциям подходы (см., например, [20]).

Структура как материала (углеродные нити и полимерное связующее), так и внутреннее строение материала лопатки (слоистость материала, различная схема укладки армирующего элемента в слоях) представляют собой неоднородное тело. Одним из типичных проявлений неоднородности структуры материала является появление множества различных типов несовершенств, повреждений, видов и форм разрушения [21]. Примерами являются инородные включения в материале матрицы, несовершенства на границе раздела компонент композиционного материала, разрывы волокна, пористость материала матрицы и другие. Неоднородность материала требует при проектировании лопатки из углепластика использовать математические модели деформирования и разрушения различного иерархического уровня, такие как модели однородного анизотропного тела [20] (макро уровень), механика многокомпонентной среды [4]-[6] (мезо уровень), модели сплошной неоднородной среды (микро уровень; см., например, в [22]).

Для инженеров, имеющих дело с металлическими изделиями (материалами с изотропными свойствами), наиболее непривычным и новым этапом является проектирование материала детали (в частности, материала рабочей лопатки вентилятора) с определенными свойствами, согласующимися с действующими нагрузками. Как, правило, при проектировании композиционный материал изделия формируется так, чтобы направления главных осей жесткости анизотропного материала совпали с направлениями главных напряжений. Решение этой задачи представляет, как правило, большие трудности. Они связаны с тем, что главные напряжения на жизненном цикле изделия меняются не только по величине, но и по направлениям. В качестве примера можно привести учет нестационарного давления газа на широкохордную лопатку вентилятора, находящуюся в поле центробежных нагрузок. При нештатных ситуациях расчетные поля напряжений могут коренным образом отличаться от "стационарных" случаев. Примером служит та же лопатка, при проектировании которой должна быть обеспечена её стойкость удару посторонними предметами, в частности, удару крупной птицей. В этих случаях руководствуются определенными допустимыми подходами, иногда чисто волюнтаристического типа.

Очевидно, принятая технология производства должна быть способной изготовить конструкцию, иногда, весьма сложной геометрической формы (например, рабочая лопатка вентилятора) со свойствами спроектированного материала, не испортив аналитически построенное внутреннее строение материала. Как известно, в настоящее время проповедуются две технологии: автоклавная (прессовая) технология и технология принудительной пропитки вязкого полимерного связующего под давлением. Независимо от используемой технологии результатом изготовления должна быть конструкция с механическими свойствами, соответствующими проекту.

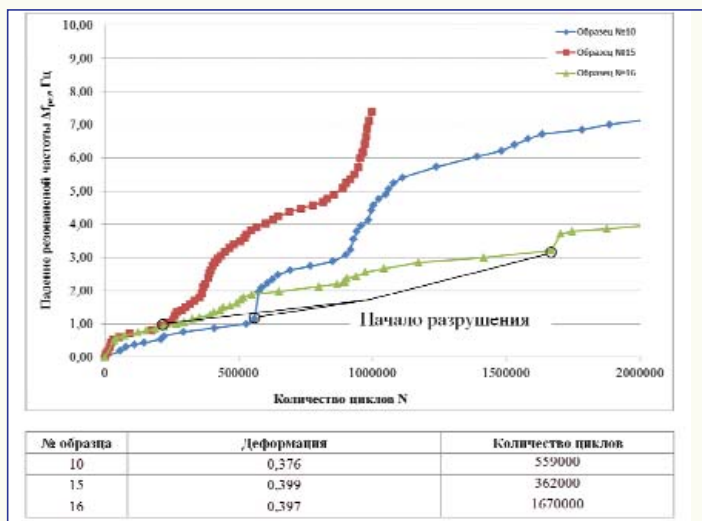


Рис. 3. Зависимость падения резонансной частоты от количества пройденных циклов образцов, испытанных в диапазоне деформаций от 0,37% до 0,40%

Испытаниями должно быть показано, что принятая технология изготовления действительно позволила создать конструкцию со свойствами спроектированного материала. Для экспериментального подтверждения соответствия материала требованиям проекта проводится комплекс специальных испытаний по отдельной программе.

Таким образом, в отличие от металлов, где этапы создания материала, проектирования и изготовления в разработках являются отдельными независимыми этапами, при создании детали, в том числе, и рабочей лопатки вентилятора из композиционного материала все указанные три этапа являются органически неразрывными [23] технологиями. Только одновременное проведение проектных работ, разработок по производству и подтверждение испытаниями может обеспечить получение соответствующей техническим требованиям конструкции в короткие сроки.

Одной из важных специфических особенностей полимерного композиционного материала, в том числе, материала лопаточной структуры армирования являются относительно низкая величина предельных деформаций. Так, например, односторонне армированный углепластик IM7/8551-7, являющийся базовым материалом для лопаток двигателя GE-90, имеет предельную деформацию в направлении волокон около 2% (см., например, [24]). Известно, что при использовании металлов погрешности проекта или неточности в свойствах зачастую нивелируются тем, что металл в силу своей податливости может приспособиться к действующей нагрузке и, в некоторой мере, исправить недостатки проекта. При применении ПКМ, отличающихся относительно низкими предельными деформациями, рассчитывать на такой эффект не приходится. Оценки напряженно-деформированного состояния изделия должны быть проведены с повышенной точностью. Это достигается

- более строгой постановкой задачи, формулированием граничных и начальных условий, близких к условиям эксплуатации;
- путём использования при проектировании статистически обоснованных экспериментальными исследованиями значений расчетных характеристик;
- применением математических моделей деформирования и разрушения различного иерархического уровня.

Соответствие решаемой задачи условиям, в том числе, граничным, при которых находится деталь, например, лопатка, является одним из основных критериев при формировании постановки задачи. Исследователь должен показать, что расчетная модель при принятых условиях характеризует исследуемый параметр (жесткость, прочность, состояние и т.д.) адекватно реальному случаю или, по крайней мере, с некоторой степенью (желательно оцененной) консервативности.

Совокупность расчетных характеристик разработанного материала детали, в том числе, рабочей лопатки с "лопаточной" структурой армирования определяется в соответствии с требованиями руководств [25], [26]. Следует иметь в виду, что рабочие лопатки вентиляторов не относятся к основным деталям двигателя, которые проектируются в соответствии с требованиями А-базиса (допустимая вероятность разрушения

1 % при 95 % доверительном уровне). Поэтому при экспериментальном определении расчетных характеристик полимерного композиционного материала лопатки ЦИАМ следует требованиям В-базиса [26] (допустимая вероятность разрушения 10 % при 95 % доверительном уровне).

При применении ПКМ для создания, например, рабочих лопаток вентиляторов используются математические модели высокого уровня. Многие математические модели высокого уровня находятся ещё на стадии развития, например, модели оценки циклической долговечности [21]. Важно иметь в виду, что акт истощения несущей способности деталей из композиционных материалов является только последним этапом процесса зарождения повреждения и его развития. Это можно видеть, например, из результатов испытаний образцов "лопаточной" структуры армирования на усталость. Падение собственной частоты является функцией развития повреждения. На рис. 3 можно видеть, что зарождение повреждения, его рост, взаимодействие с другими типами повреждений происходит с увеличением числа циклов нагружения при каждом уровне амплитуды циклических деформаций. В связи с этим, математические модели должны предоставить возможность описать длительный процесс развития зародившихся и/или технологических повреждений в деталях из композиционных материалов до полного истощения их несущей способности. Некоторые аспекты таких подходов можно найти в [22], [27]. Такие подходы важны при анализе работоспособности лопаток при ударе посторонними предметами, например, птицей крупных размеров, или при проектировании корпусов в случае обрыва лопатки. В таких кратковременных событиях, происходящих при высоких скоростях деформаций, относительная хрупкость ПКМ проявляется в наибольшей мере [28], а создание математических моделей наталкивается на множество трудностей.

Многочисленные исследования обнаруживают, что характер разрушения деталей из ПКМ существенно отличается от традиционных видов разрушения металлических изделий. Особенно это проявляется при усталостных испытаниях, где первые повреждения появляются в материале связующего в слоях, ортогональных направлению действия главного напряжения. От момента зарождения трещины в связующем до полного истощения несущей способности изделия при увеличивающейся нагрузке, или продолжительности действия нагрузки или росте числа циклов нагружения протекает длительный сложный процесс развития повреждения [22]. Некоторые этапы такого развития можно видеть, например, на рис.4, где показано как наличие армирующего элемента может изменить привычный для металлов характер развития трещины.

Детали слоистой структуры отличаются относительно низкой межслоевой прочностью [24]. Это обстоятельство в условиях эксплуатации может привести к преждевременному зарождению межслоевых повреждений из-за не обнаруживаемых современными средствами контроля несовершенств и технологических микродефектов. Оценки и предсказания зарождения повреждений, которые обусловлены достижением предельных значений деформаций в материале матрицы, возможны только на основе расчетных моделей высокого уровня [22]. Развитие таких повреждений до полного истощения несущей способности детали из композиционного материала при различных условиях нагружения является предметом многих современных исследований [21]. Один из возможных аналитических подходов, описывающих медленный рост пор в матрице композиционного материала, описан в [28].

3. Особенности изготовления лопаток из углепластика.

Фирма GE, добившаяся наибольших достижений в создании и эксплуатации рабочих лопаток вентиляторов из углепластика, для их изготовления использует автоклавную (прессовую) технологию. Даже теперь, когда появилась альтернативная RTM-технология фирма GE в новых разработках (двигатель GE-9X) продолжает ориентироваться на автоклавную технологию [29]. RTM-технология обладает рядом общепризнанных преимуществ [30], среди которых

- низкие капитальные затраты за счет меньшего количества необходимой технологической оснастки,
- низкая стоимость оборудования (нет необходимости в автоклавах, прессах, машинах для пропитки связующего - подготовки препрегов),

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

Одним из новых направлений при создании рабочих лопаток вентиляторов является применение перспективной RTM-технологии с предварительной подготовкой сухой 3D заготовки в виде полноразмерного изделия тканой структуры армирования [31]. Рабочая лопатка из ПКМ с тканой структурой армирования, безусловно, обладает рядом достоинств.

Прежде всего, повышается изотропия свойств материала. По крайней мере, характеристики межслоевой жесткости и прочности приближаются к таким характеристикам в слое. Таким образом, наличие повышение межслоевой сдвиговой прочности, которая относительно низка для слоистых материалов. Всё это делает материал более привычным для большинства специалистов, работающих в настоящее время в отрасли [32] с изотропными материалами.

При применении изделий с тканой 3D структурой армирования ожидают повышение ударной вязкости, приводящей к повышению стойкости удару посторонними предметами. Однако не все испытания подтверждают этот факт. В отдельных испытаниях по определению остаточной прочности на сжатие после удара, выполненных в соответствии с требованиями ASTM, получены относительно низкие результаты.

К несомненным достоинствам отработанной технологии производства полноразмерных изделий с тканой 3D структурой армирования является возможность получения изделий с повышенной идентичностью. В этом случае влияние человеческого фактора на качество продукции ничтожно.

В то же время рабочая лопатка вентилятора из ПКМ с тканой структурой армирования имеет определенные недостатки, к которым, прежде всего, относятся

- снижение жесткости и прочности до двух раз в главных направлениях,
- усложнение отстройки от опасных частот в полноразмерной лопатке,
- повышение стоимости сухой 3D заготовки,
- усложнение ремонтных работ.

Увеличение податливости материала лопатки, работающей в условиях растяжения центробежными силами, приводит к проблеме радиальных зазоров. При повышенной податливости требуемый уровень радиального зазора возрастает с увеличением размеров лопатки. Так как допустимые пределы радиальных зазоров ограничены аэродинамическим расчетом, то с увеличением длины лопаток снижается возможность использования данной технологии. Такая лопатка эффективна для лопаток малой длины. Короткая лопатка, полученная по автоклавной технологии, слишком жесткая и из-за хрупкости материала стойкость её удару посторонними предметами (птицей) низка [33]. Этот аргумент фирмы Snesta для относительно коротких лопаток является бесспорным.

Большая податливость материала вязаной структуры приводит к снижению уровня собственных частот лопатки и повышению её чувствительности к аэродинамическим возмущениям. То обстоятельство, что материал становится более однородным (с меньшей анизотропией свойств) приводит к тому, что значения собственных частот по изгибным и крутильным формам колебаний сближаются и становятся менее управляемыми. Это вызывает определенные трудности обеспечения стойкости лопаток к автоколебаниям при использовании вязаной конструкции материала.

Стоимость 3D заготовки лопатки вязаной конструкции намного выше стоимости заготовки слоистой структуры. Стоимость определяется не только сложностью технологии изготовления, но и стоимостью, как используемого технологического оборудования, так и стоимостью его обслуживания.

Если для слоистых конструкций из ПКМ известны технологические приёмы ремонта, то для вязаных структур перспектива ремонта предс-

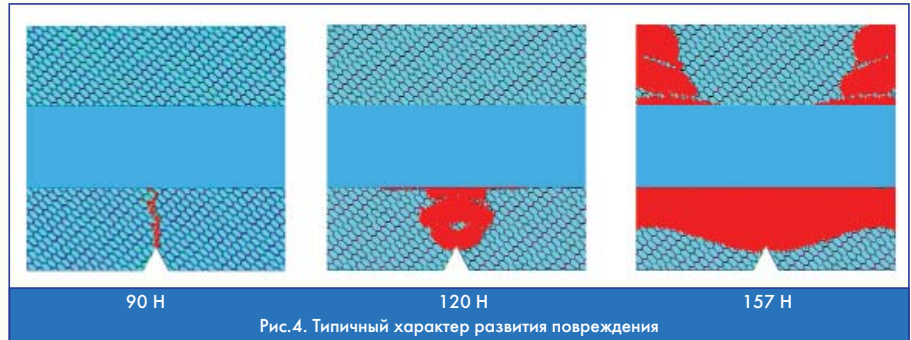


Рис. 4. Типичный характер развития повреждения

тавляется, практически, не реализуемой технологической операцией (по крайней мере, по представлениям настоящего времени).

В связи с проведенным анализом технологий в ЦИАМ для изготовления рабочих лопаток вентиляторов используется модифицированная RTM-технология, в определенной мере впитавшая в себя лучшие стороны различных технологий. Ниже описаны мероприятия, обеспечивающие на базе RTM-технологии получение лопаток с требуемыми качествами.

Известно, что с увеличением длины лопатки практически пропорционально длине растут и сдвиговые напряжения. Поэтому с ростом двухконтурности двигателя опасность получения преждевременных повреждений от межслоевого расслоения повышается. Однако участки лопатки, где действительно сдвиговые напряжения могут достигать критических значений, весьма ограничены. Они имеют место в областях с резким изменением формы, в участках повышенной кривизны. Сохранить жесткость и прочность лопатки в главном направлении и одновременно уйти от опасности получения межслоевых повреждений удается применением технологии локального 3D армирования только в критических зонах. В ЦИАМ совместно с ОАО "Ниагара" разработана технология локального армирования в третьем направлении, позволяющая в 1.5-1.8 раза повысить в этих областях прочность на межслоевой сдвиг. По последним публикациям видно, что такого мнения придерживаются и на фирме GE [34].

Наряду с методом локального армирования материала лопатки принимаются меры по повышению межслоевой сдвиговой прочности путём модификации полимерного связующего при сохранении возможности его применения в RTM-технологии. Одним из таких путей является специализированная технология применения термопластичного полимера. Результаты выполненных испытаний образцов свидетельствуют об эффективности принятых мер.

Дополнительными мерами повышения стойкости лопаток вентиляторов большой размерности удару посторонних предметов (птицы) являются конструктивные меры, заключающиеся

- в усилении передней кромки металлическими накладками и обеспечения совместного сопротивления металлической кромки и углепластика,
- в применении упругого элемента, позволяющего лопатке демпфировать ударные колебания и отклоняться в направлении удара в виде пружинчатого подпирающего клина в пазу диска.

Одним из наиболее важных аспектов, обеспечивающих конкурентоспособность лопаток из углепластика, является стоимость их изготовления, которая при промышленном производстве на базе модифицированной RTM-технологии, отличающейся повышенной экономичностью, ожидается на уровне 50-70% стоимости изготовления полых титановых лопаток.

4. Специфика испытаний лопаток из углепластика.

Для проектирования металлической рабочей лопатки достаточны данные общей квалификации материала, представленные его разработчиком. При применении КМ сведения, представленные разработчиком материала, используются конструктором детали (например, рабочей лопатки вентилятора) для проектирования его материала. Специальные квалификационные испытания спроектированного материала детали с индивидуальной для неё схемой армирования являются новым этапом в пирамиде обязательных испытаний, присущим только деталям

из КМ. Специальные квалификационные испытания материала рабочей лопасти предусматривают испытания образцов "лопаточной" структуры армирования по разработанной, утвержденной конструктором и согласованной с АРМАК программе типов, объемов и условий испытаний. Испытания проводятся в соответствии с требованиями В-базиса. Выше указывалось, что при применении КМ кратно увеличивается число испытаний (см, например, [18]). Необходимо отметить, что не только объем испытаний, но и из-за анизотропии материала для получения расчетных характеристик материала лопасти проводятся новые типы испытаний, используются новые формы образцов.

Наиболее важными элементами прочностной доводки рабочей лопасти из КМ, выполняемых в рамках упомянутой пирамиды испытаний, являются испытания

- конструктивно-подобных элементов и образцов, вырезанных из лопасти,
- двухзамковых образцов с хвостовиками, адекватными хвостовикам рабочей лопасти,
- моделей лопаток и их прототипов,
- стендовые испытания полноразмерной лопасти в условиях, приближенных к эксплуатационным условиям.

4.а. Конструктивно-подобные элементы и образцы из лопасти.

При использовании отдельных математических моделей проектирование лопасти осуществляется с учетом распределения механических свойств материала по всей её поверхности. Из-за того, что толщина лопасти является переменной, а толщина моносола конечна, то свойства материала являются функцией толщины. В связи с этим расчетные значения локальных характеристик материала лопасти должны быть получены экспериментально испытаниями специально изготовленных образцов с местной схемой армирования и/или образцов, вырезанных из лопасти. Обычно выбираются отдельные реперные точки поверхности лопасти, для которых испытаниями соответствующих образцов находятся свойства материала.

Наиболее репрезентативным является предсказание несущей способности и циклической долговечности рабочих лопаток кратковременными испытаниями и испытаниями на малоцикловую усталость разработанных в ЦИАМ двухзамковых образцов с хвостовиками полноразмерной лопасти. Недостатком является то, что двухзамковый образец моделирует не весь хвостовик лопасти, а только отдельную часть.

Методические проблемы, связанные с проблемой обеспечения стойкости лопаток удару посторонними предметами, отрабатываются

- на образцах с покрытиями (пылевая и дождевая эрозия) и
- на предварительно растянутых (имитация центробежных нагрузок на лопасть) и подверженных удару конструктивно-подобных образцах с кромками, защищенными металлическими накладками.

4.б. Модели лопаток и их прототипы.

В отличие от металлов, где широко используются методы подобия (масштабирования) для исследования свойств лопасти на моделях, при применении КМ необходимо позаботиться о том, чтобы материалы лопасти и её модели были подобными. Это не всегда удается из-за того, что толщина моносола является конечной величиной. Если всё же удастся создать модель лопасти, то она или её прототип используются при установлении характеристик, связанных с наиболее длительными и дорогостоящими испытаниями. К последним относятся циклическая долговечность при многоциклового усталости, стойкость удару посторонними предметами, прежде, всего птицей. Кроме того, на моделях лопаток или прототипах проверяется остаточная прочность лопасти с повреждениями, полученными при испытаниях на много и малоцикловую усталость, на удар посторонними предметами, в том числе, птицей. Чрезвычайно важно на модельных лопатках или её прототипах проверить их стойкость автоколебанию. Наконец, на моделях и их повреждениях должны быть отработаны приёмы ремонта лопаток.

4 в. Стендовые испытания полноразмерной лопасти.

Важнейшим этапом доводки рабочей лопасти вентилятора до VI уровня технологической готовности является подтверждение стендовыми

ми прочностными испытаниями годности разработанной лопасти для постановки на двигатель. Для решения этой проблемы в ЦИАМ создана необходимая инфраструктура.

Испытаниями полноразмерной широкохордной рабочей лопасти вентилятора на установке Instron 8805 по разработанной в ЦИАМ технологии на малоцикловую усталость:

- устанавливаются опережающие данные о её циклической долговечности,
- подтверждается репрезентативность результатов испытаний двухзамковых образцов.

Разработанная технология испытаний полноразмерной широкохордной рабочей лопасти вентилятора на многоцикловую усталость на вибростендах УВЭ 10/5, LDS V875-440В позволяет определить циклическую долговечность.

Разработанная технология испытаний полноразмерной широкохордной рабочей лопасти вентилятора с использованием пневмо-пушек ПУН 40/100 (калибр 40 мм) и ПУН 80/50 (калибр 80 мм) позволяет установить их стойкость на удар, в том числе на удар птицей массой до 500 г.

Испытания полноразмерной широкохордной рабочей лопасти вентилятора на разгонном стенде Т14-01 позволяет установить несущую способность лопаток как только что изготовленных, так и с различными повреждениями, полученными при испытаниях на многоцикловую усталость, на удар, в том числе на удар птицы.

Выводы

Проблема внедрения рабочей лопасти вентилятора из углепластика в отечественные двигатели большой степени двухконтурности, в том числе, в новые версии ПД-14 является актуальной. Для решения этой проблемы в ЦИАМ создана необходимая инфраструктура, включающая в себя

- комплекс современных методов проектирования,
- необходимые технологические разработки и оборудование для мелкосерийного производства рабочих лопаток вентиляторов,
- лабораторное и стендовое оборудование для прочностной доводки рабочих лопаток вентиляторов и выполнения квалификационных испытаний (испытательная лаборатория аттестована АРМАК) как композиционного материала, так и лопасти из него.

Литература

1. Flug Revue, 2014, III, N3, p. 26-27. Дуэль Lear против GTF - Обзорение №25, VI, 2014
2. Г.П. Пейчев, С.В. Николаевский - В XXI век с двигателями ЗМКБ "Прогресс". Опыт внедрения полимерных композиционных материалов - Новые технологические процессы и надежность ПД. Научно-технический сборник. Вып.3. Композиционные и керамические материалы в ПД. Москва. 2003, стр.83-96
3. Каримбаев Т.Д. - Конструкционные композиционные материалы для создания деталей и узлов авиационных двигателей - Новые технологические процессы и надежность ПД. Научно-технический сборник. Вып.3. Композиционные и керамические материалы в ПД. Москва. 2003, стр.3-55
4. Каримбаев Т.Д. - Структурная теория прочности композиционных материалов - Известия АН СССР, Механика твердого тела, 1977, №2
5. Каримбаев Т.Д. Вариант теории армированных сред. Изв. АН Каз. ССР, серия физико-математическая, 1974, №3
6. Каримбаев Т.Д. Основные соотношения механики двухкомпонентной среды и способы определения их параметров. Труды ЦИАМ, 1985, № 1119, 23 с.
7. Н.М. Скляров - Путь длиной в 70 лет Москва, "МИСИС", "ВИАМ", 2002, 485 стр
8. Преснухин В.А., Кшнякин А.М., Щербинин В.В., Каримбаев Т.Д. - К вопросу создания рациональной конструкции замкового соединения лопаток ПД из металлических композиционных материалов - Новые технологические процессы и надежность ПД. Научно-технический сборник. Вып.3. Композиционные и керамические материалы в ПД. Москва. 2003, стр.139-149
9. Aviation Week, 30/XII-2013-6/1-2014, v.175, N45, p.75-77 - Положение на рынке гражданских и военных авиадвигателей в Европе и США - Обзорение № 26, VI, 2014, стр.3-7

10. Flightglobal. Com.26.08.2024. GE планирует оснастить двигатели самолетов B.777.X вентилятором с новыми лопатками из композитных материалов. - Обзорение. № 46. Ноябрь. 2014, стр. 8-9
11. Aviation Week, 2013, 1/VII, v.175,N22,p.18-20 - Сравнение ТРДД LEAP-1A и PW1100G - Обзорение №48, Ноябрь, 2013, стр.6-10
12. Aviation Week, 2014, 25/VIII, v.176,N29,p.36-38. Стратегия разработки двигателей Rolls-Royce до 2025г. - Обзорение №5, Январь, 2015
13. Flight 2013,14-20/V,v.183, 5390, p. 14. Ход работ по программе Leap - Обзорение № 42, Октябрь, 2013
14. Aviation News. 03.09.2014. Rolls-Royce проводит стендовые испытания узлов вентилятора из КМ- Обзорение № 46, Ноябрь, 2014
15. J.R. Shaff - Fatigue and Life Prediction - ASM Handbook. Vol.21. Composites. ASM International. The Materials Information Company 2001
16. Каримбаев Т.Д., Луппов А.А. и др. - Разработка легких широкохордных лопаток вентиляторов с применением композиционных материалов для перспективных турбовентиляторных двухконтурных двигателей - В Сборнике "Современные методы обеспечения прочностной надежности деталей авиационных двигателей", Труды ЦИАМ №1344, Москва, Торус-Пресс, 2010, стр.415-435
- 17.. Scott C. Morris and Thomas C. Corke - Aero-Mechanical Coupling in a High-Speed Compressor - Final Technical Report by the University of Notre Dame Notre Dame, Indiana for the Air Force Office of Scientific Research Contract No. FA9550-07-1-0166 UND-SM10-0338 February 2010
18. NASA-Led Consortium Will Bring Science To Art Of Composites. Qualifying Carbon - Aviation Week & Space Technology.14.05.2015, Mon.2015-04-27
19. Руководство для конструкторов по расчету на прочность газотурбинного двигателя. Расчет лопаток на прочность, вып.2, Гос. изд-во оборонной промышленности, 1956г, 150 стр.
20. С.Г. Лехницкий -Теория упругости анизотропного тела -Изд-во "Наука", Москва, 1977, 416 стр.
21. Composite Materials. Handbook 17 2F. Vol. 2,3. Polymer Matrix Composites. Properties. June 17,2002
22. Каримбаев Т.Д. - Подходы при моделировании деформаций композиционных материалов - Журнал "Космонавтика и ракетостроение"

№1(54), г. Королев, 2009 г., стр. 91-102

- 23 А.С. Новиков, Т.Д. Каримбаев, А.А.Луппов, Д.В.Афанасьев, М.А.Мезенцев - Инновации при применении композиционных материалов в авиационных двигателях - Журнал "Двигатель", №2(98) 2015,стр. 2-5
24. Каримбаев Т.Д., Луппов А.А., Афанасьев Д.В., Пальчиков Д.С. - О формировании технических требований к полимерному материалу перспективной рабочей лопатки вентилятора ТРДД - НТЖ "Двигатель", №1 (97+244), 2015, стр. 2-8.
25. Трунин Ю.П., Коновалов В.В., Сеник В.Я., Дзюба А.С., Хватан А.М. - Методические рекомендации к п.613 АП 23 (25,27,29). Прочностные характеристики полимерных композиционных материалов и их расчётные значения - 2006г
26. Composite Materials, Military Handbook 17, Materials Usage Design and Analysis, Vol 3, Department of Defense, Philadelphia, PA
27. Каримбаев Т.Д., Мыктыбеков Б., Панова И.М. - Математические модели нелинейного деформирования однонаправленно-армированных композиционных материалов - Труды ЦИАМ №1334, Москва, 2005, 160 стр.
28. Каримбаев Т.Д., Мамаев Ш - Параметры материалов, чувствительные к скоростям деформации - Новые технологические процессы и надежность ГТД. Научно-технический сборник. Вып.8. Предотвращение опасных отказов при разрушении рабочих лопаток турбокомпрессора. Москва. 2008,стр.7-37
29. Air & Cosmos. 2014, 4/IV, N2400 ,p3 - Использование композитных лопаток трехмерного плетения - Обзорение № 44, Октябрь, 2014, стр. 6
30. Aviation Week. 2014, 21/IV, v.176, N13, p36,37 - Развитие партнерства США-Франция по программе LEAP - Обзорение № 33, Август, 2014, стр. 8-10.
31. <http://www.jeccomposites.com/news/composites-news/composite-and-prof-stephen-t...>29.05.2015
32. Aero engines lose weight thanks to composites - Reinforced plastics, November-December,2012, p32-35
33. GE Aviation reveals new hybrid composites in GE9X - <http://www.flightglobal.com/news/articles/ge-aviation-reveals-new-hybrid-composites>.29.03.2015

10-12 августа, 2016 Казань

8-я международная специализированная выставка

АВИА
КОСМИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ, СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И
ОБОРУДОВАНИЕ



Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8,
Выставочный центр "Казанская ярмарка"
Тел/факс: (843) 570-51-26, 570-51-11, 570-51-23
E-mail: d9@expokazan.ru, www.aktokazan.ru

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ ТЯГИ

ООО "Промышленная интроскопия":

Ирина Алексеевна Вайнберг, старший научный сотрудник, к.т.н.
Эдуард Ильич Вайнберг, президент, д.т.н.

МАИ (Национальный исследовательский университет):

Игорь Николаевич Боровик, доцент, к.т.н.

Представлены примеры цифровых томограмм и рентгенограмм разнообразных ракетных двигателей малой тяги и их смесительных головок, полученные с помощью высокоэнергетического компьютерного томографа ВТ-600ХА ООО "ПРОМИНТРО". Показано, что высокоэнергетическая компьютерная томография может стать важным фактором повышения уровня технологии, надежности и долговечности двигателей малой тяги и использующих их космических аппаратов.

Ставшее будничным широкое практическое использование разнообразных космических аппаратов (КА) предполагает наличие на их борту управляемых многорежимных ракетных двигателей малой тяги (РДМТ). Эти маленькие труженики космоса используются для пространственной ориентации КА, стабилизации и коррекции их орбит, выполнения маневров при стыковке и расстыковке КА, управления разгонными блоками и спускаемыми КА.

В силу высокой стоимости и длительного срока службы ответственных КА технические требования, предъявляемые к современным РДМТ, разнообразны и непрерывно ужесточаются. Прежде всего, по надежности - до 15 лет при числе включений более миллиона раз, суммарному времени работы в десятки часов при минимальной длительности импульса ~30 мс и тяге от 10 до 500 Н [1]

на фоне характерного перепада температур и в отсутствии возможности ремонта и техобслуживания.

Указанные технические требования удается обеспечить с помощью жидкостных ракетных двигателей малой тяги (ЖРДМТ). Традиционная конструкция ЖРДМТ обычно содержит сопло с усиленной теплозащитой зоны критического сечения, камеру сгорания, смесительную головку с системой каналов подачи компонентов топлива, форсуночными элементами и несущим фланцем, а также электрически управляемые клапаны подачи компонентов топлива. Камера сгорания и сопло обычно изготавливаются из жаропрочных сплавов (часто ниобиевых) или углеродных композиционных материалов. Большинство смесительных головок ЖРДМТ изготавливается из коррозионностойких стальных деталей, объе-

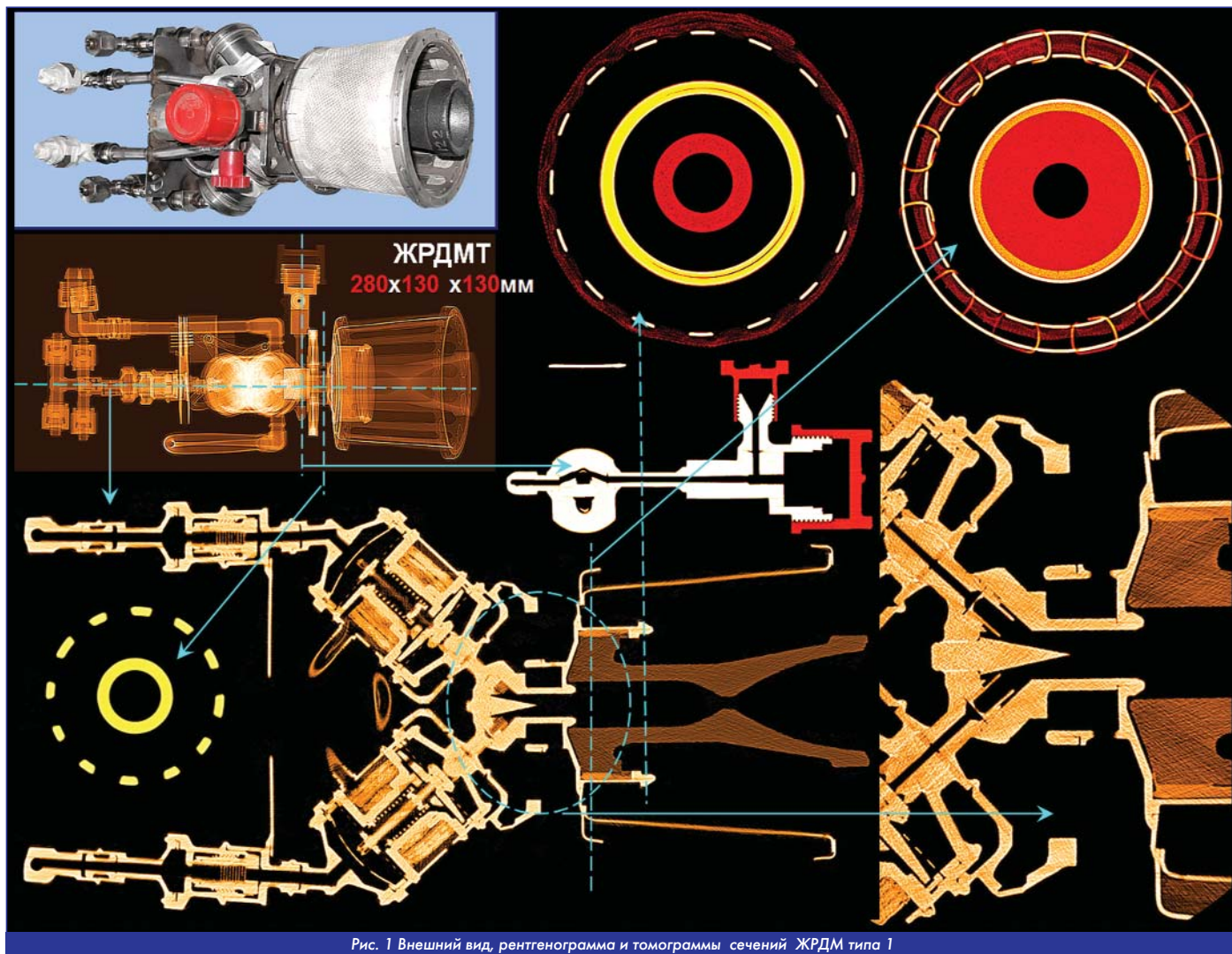


Рис. 1 Внешний вид, рентгенограмма и томограммы сечений ЖРДМ типа 1

диненных с помощью вакуумно-плотных сварных и паяных соединений. Типичные габариты ЖРДМТ составляют около 250x150x100 мм при массе до 3 кг и толщине стальных узлов от 50 до 200 мм. В силу высокой сложности внутренней структуры смесительных головок в последние годы предпринимаются попытки их изготовления с помощью новейших аддитивных технологий.

Обеспечение высокой надежности и конкурентоспособности производимых ЖРДМТ требует адекватных средств и методик неразрушающего контроля внутренней структуры важнейших элементов конструкции, правильности сборки и взаимного расположения узлов, а также дефектоскопию многочисленных сварных и паяных соединений. Для толстостенного стального объекта контроля со сложной геометрией, каким является типичный ЖРДМТ, это не простая задача, неразрешимая в рамках традиционных методов неразрушающего контроля.

В этой связи целью проведенных нами экспериментальных исследований была практическая оценка эффективности универсальных высокоэнергетических компьютерных томографов ООО "ПРОМИНТРО" [2] с проникающей способностью до 150 мм стали при неразрушающем контроле качества технологии и конструкции разнообразных ЖРДМТ. Для испытаний использовался компьютерный томограф ВТ-600ХА.

Примеры полученных томограмм ЖРДМТ различных конструкций и экспериментальных смесительных головок приведены на рис.1-6. Там же указаны габаритные размеры объектов контроля.

Рамки статьи ограничивают нас в количестве представленных примеров.

Видно, что томограммы достоверно воспроизводят мельчайшие особенности внутренней структуры каждого неразборного узла ЖРДМТ, позволяют оценить уровень технологии и выявить

дефекты исходных деталей или возникшие при сборке, пайке, сварке и опытной эксплуатации. Внимательно рассмотрев приведенные иллюстрации, Вы сами имеете возможность провести подробный анализ конструкции и технологии внутренней структуры этих двигателей.

При анализе представленных изображений томограмм следует помнить, что каждая двумерная томограмма содержит от 1 до 4-х миллионов 16-разрядных цифровых значений, отражающих пространственное распределение плотности материалов в исследуемом сечении или выбранной оператором локальной зоне такого сечения. Результаты томографического контроля, помимо изображений, представляются в виде графиков распределения плотности внутри контролируемого изделия, позволяющих обнаружить дефекты в виде разнотенностей, пор, трещин, включений и бесконтактно количественно измерить плотность и геометрические размеры внутренних конструктивных элементов и зазоров. Правда, делается это не по картинкам, а по цифровым файлам томограмм с помощью специального программного обеспечения томографа.

Приведенные примеры подтверждают, что высокоэнергетические компьютерные томографы ООО "ПРОМИНТРО" по допустимым массогабаритным характеристикам объектов контроля, проникающей способности излучения и пространственному разрешению позволяют контролировать широкую номенклатуру современных ЖРДМТ и целенаправленно отрабатывать техпроцесс с оперативным контролем его влияния на внутреннюю структуру с целью минимизации дефектов и повышения надежности ответственных космических комплексов.

Благодаря компьютерной томографии у разработчиков, технологов и потребителей ЖРДМТ появляется возможность детально сравнить особенности конструкции и технологии внутренней

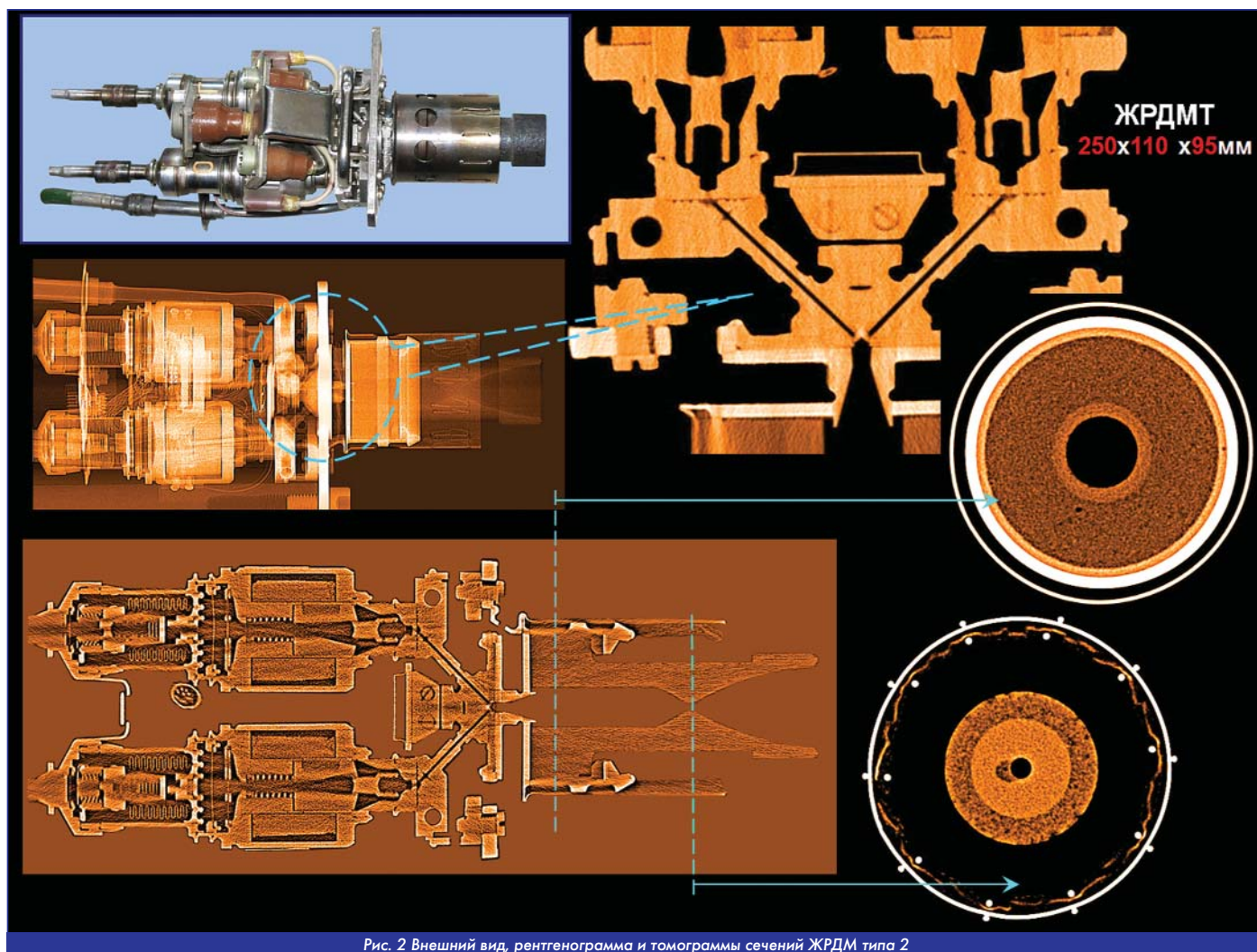


Рис. 2 Внешний вид, рентгенограмма и томограммы сечений ЖРДМ типа 2

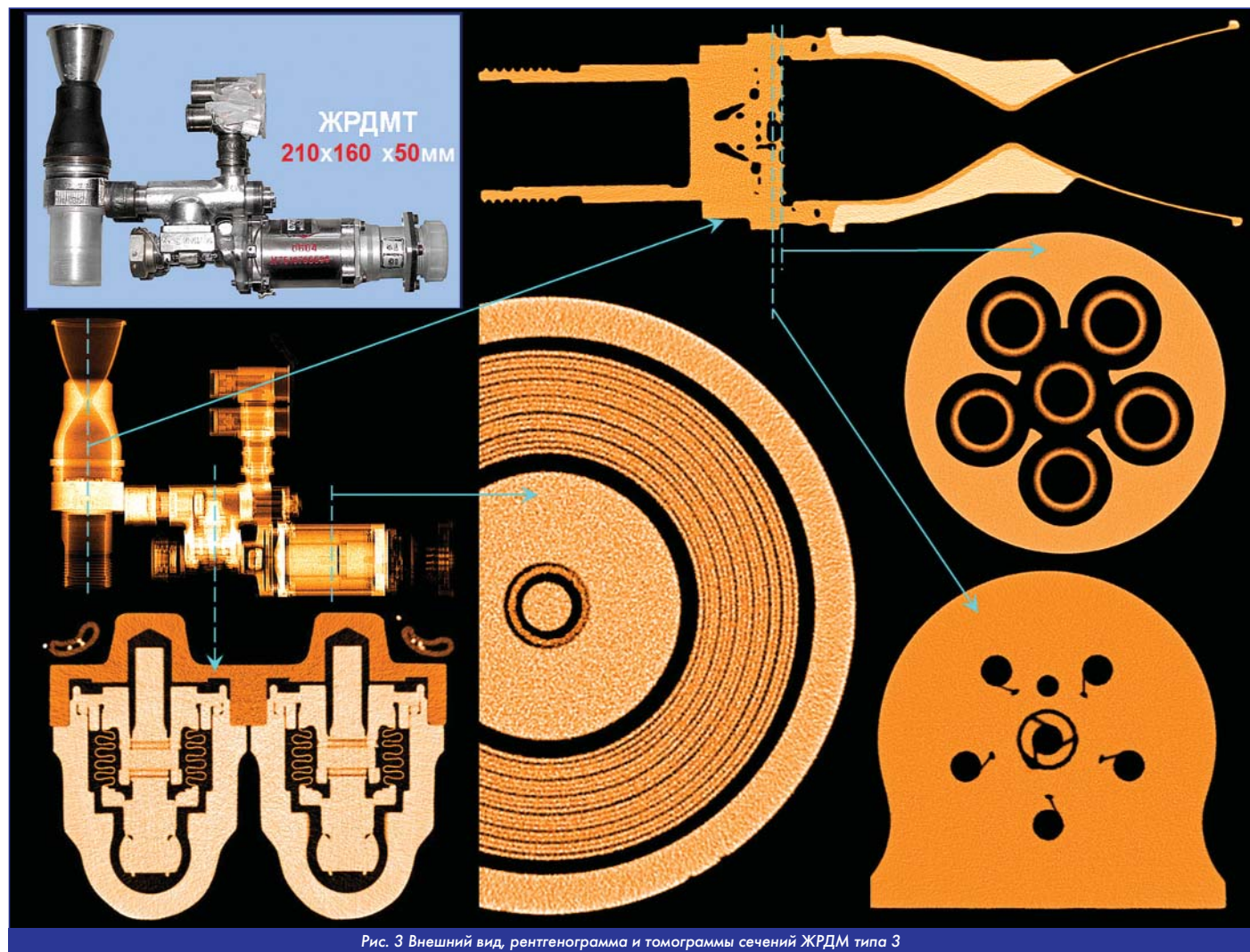


Рис. 3 Внешний вид, рентгенограмма и томограммы сечений ЖРДМ типа 3

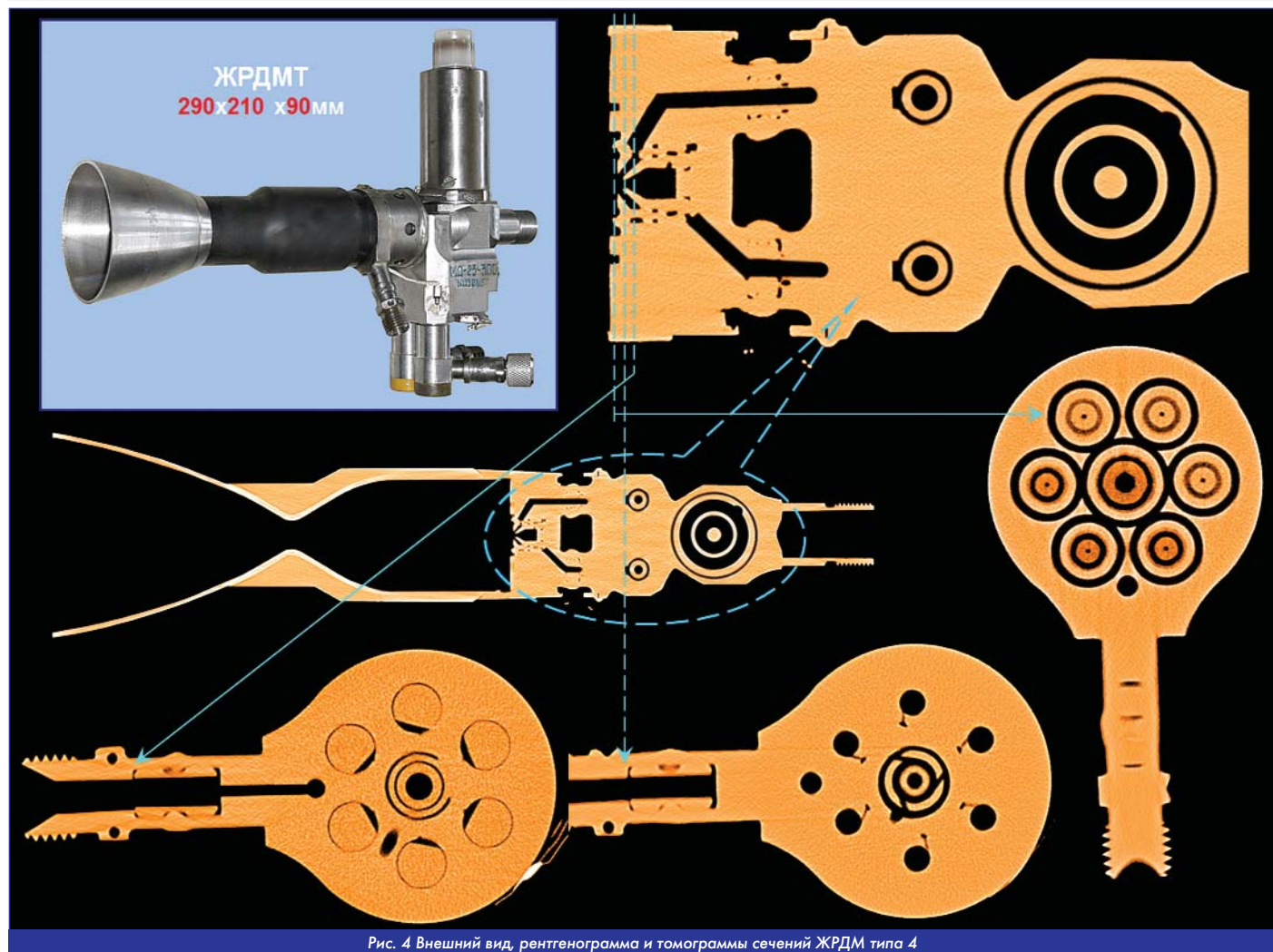


Рис. 4 Внешний вид, рентгенограмма и томограммы сечений ЖРДМ типа 4

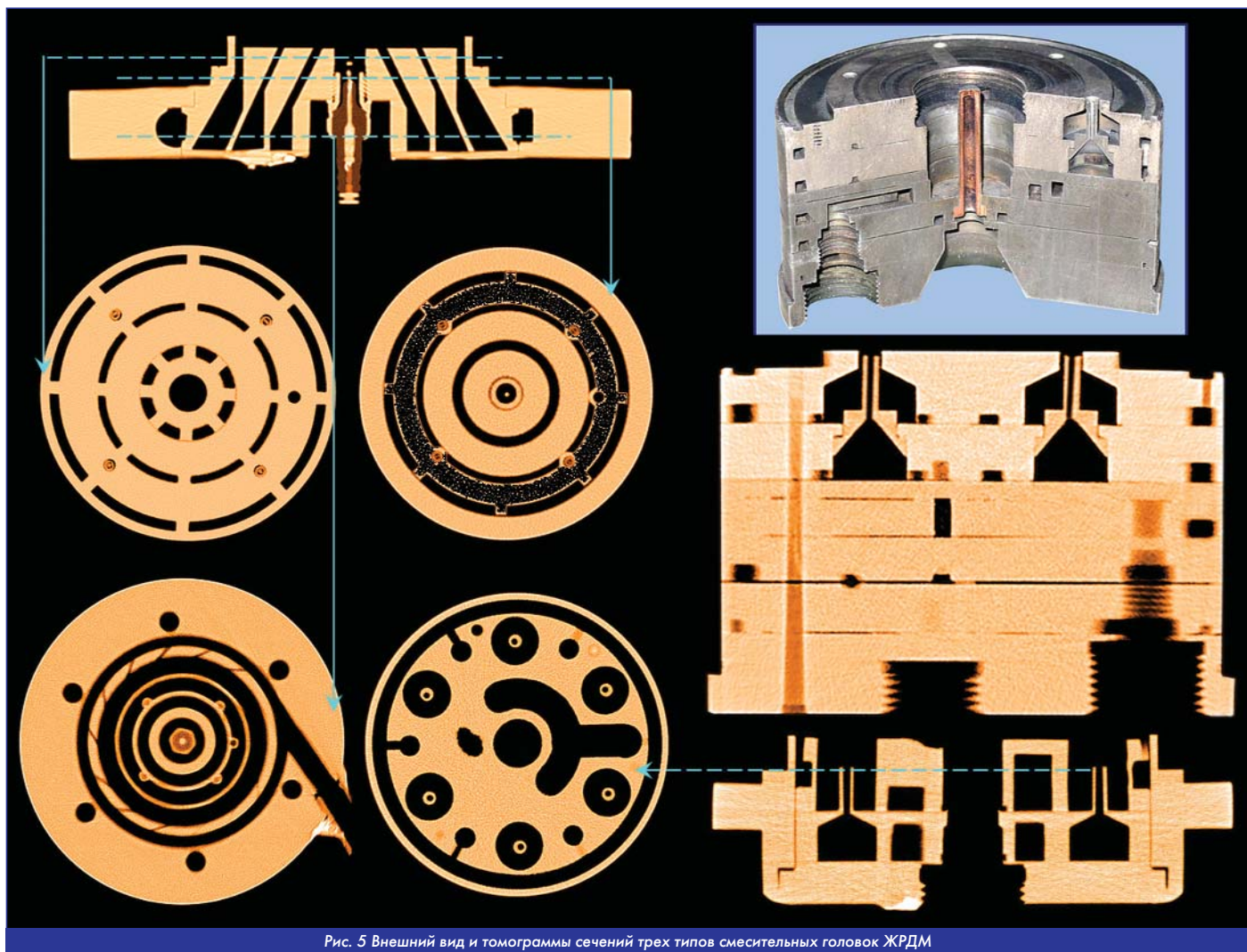


Рис. 5 Внешний вид и томограммы сечений трех типов смесительных головок ЖРДМ

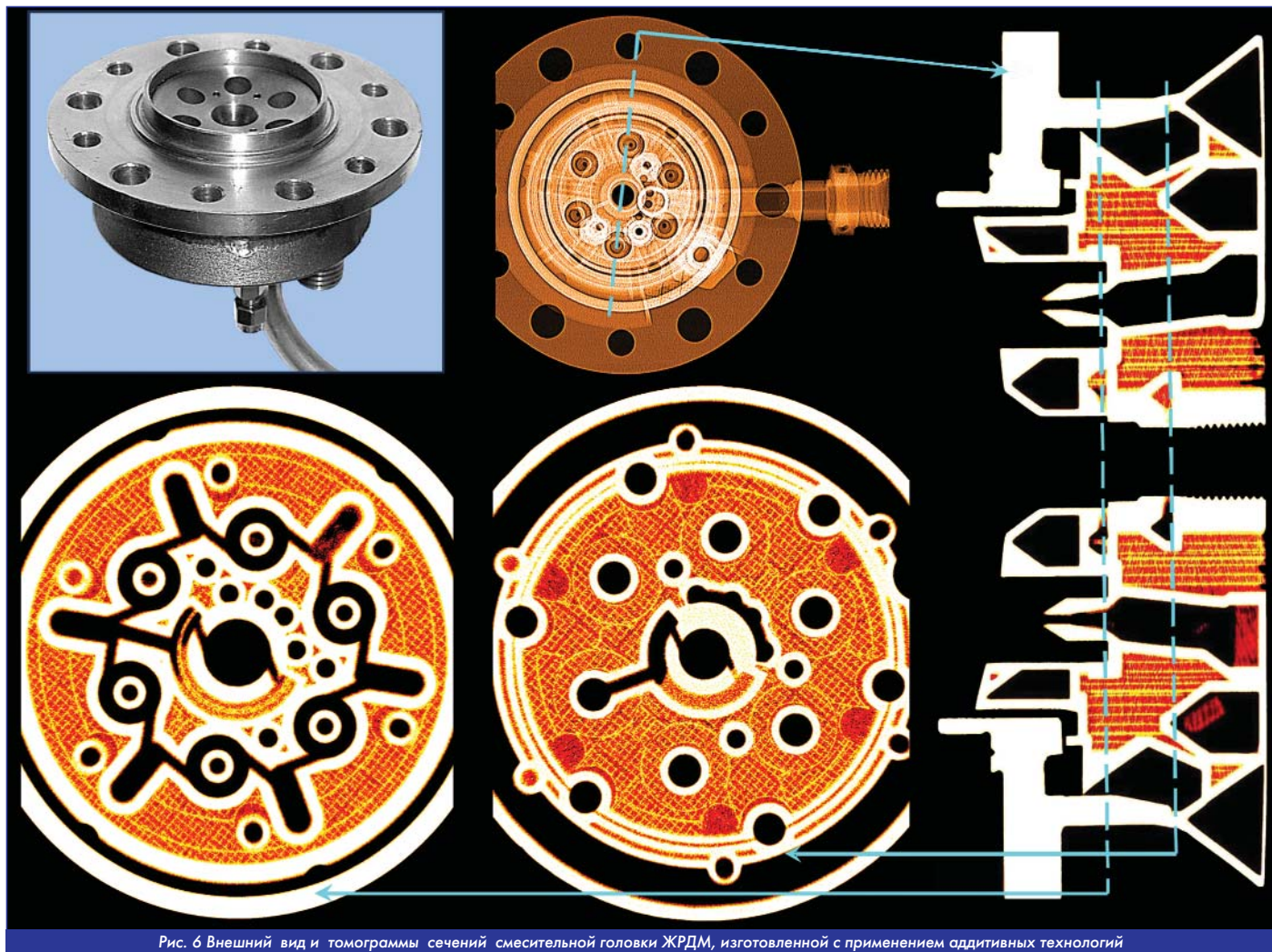


Рис. 6 Внешний вид и томограммы сечений смесительной головки ЖРДМ, изготовленной с применением аддитивных технологий

структуры однотипных двигателей разных производителей, чтобы осознанно выбрать наилучшее решение.

Таким образом, мы видим, что ЖРДМТ, начавшие свое развитие еще в 30-е годы прошлого столетия, достигли зрелого технического состояния и благодаря разительному развитию космической техники приобрели массовую востребованность в ответственных гражданских и оборонных применениях, а высокоэнергетическая компьютерная томография может стать важным фактором повышения уровня их технологии, надежности и долговечности. **А**

Литература

1. Агеев Ю.И., Панин И.Н., Пегин И.В., Смирнов И.А. Основные достижения в ракетных двигателях малой тяги разработки КБ Химмаш им. А.М. Исаева. // Двигатель. 2014. № 2. С.24-27.
2. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г., Сидорин В.Б. Российские высокоэнергетические томографы для отработки технологии и сертификации ответственных изделий авиационной промышленности. // Двигатель. 2012. № 4. С.20-26.

ЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПД-14



В конце октября в ЛИИ им. М.М. Громова на заседании Президиума Методического Совета экспериментальной авиации по летным испытаниям принято решение о готовности летающей лаборатории Ил-76ЛЛ к первому испытательному полету с опытной двигательной установкой ПД-14.

Первый полет двигателя ПД-14 состоялся 3 ноября 2015 года. Полет продолжительностью 40 минут прошел в точном соответствии с летной программой. Во время испытаний контролировались параметры всех узлов и систем двигателя. Замечаний к их работе не возникло. Впервые была применена уникальная телеметрическая система, которая позволила находящимся в Перми инженерам-испытателям в режиме реального времени следить за параметрами работы двигателя на крыле. Начавшиеся летные испытания являются итогом цикла на-

земных испытаний полноразмерных двигателей и узлов, проводившихся на различных стендах "Авиадвигателя", ЦИАМа, ЦАГИ.

В настоящее время летные испытания ПД-14 продолжаются, двигатель подтверждает заявленные характеристики и работоспособность в ожидаемых условиях эксплуатации. По результатам летных испытаний будет выдано разрешение на первый полет самолета МС-21 с двигателем ПД-14.

ПД-14 - самый грандиозный проект России за последние 30 лет в области авиационного двигателестроения. Главным разработчиком двигателя нового поколения является пермское конструкторское бюро "Авиадвигатель", головным изготовителем - "Пермский моторный завод". Впервые за всю историю отечественного двигателестроения для разработки и производства ПД-14 создана широкая кооперация веду-

щих отраслевых предприятий и НИИ.

Бизнес-идея проекта - создание семейства двигателей различных мощностей для разных видов летательных аппаратов и наземных установок на базе унифицированного газогенератора высокой степени технического совершенства. Унификация газогенератора позволит обеспечить его массовое производство для двигателей разного применения, что значительно сократит себестоимость изготовления будущих модификаций двигателя.

Правительство России активно содействует реализации проекта, так как для страны это реальный шанс вернуть отечественные самолеты на рынок авиаперевозок, самый большой сегмент которого - средне-ближнемагистральные самолеты типа МС-21, для которых и предназначен базовый ПД-14. **А**

Новый материал для хранения природного газа для автомобилей

Автомобили на природном газе выбрасывают в атмосферу на 6...10 % меньше вредных веществ, чем бензиновые. Кроме того, газ дешевле нефтяного топлива, меньше изнашивает двигатель и катализатор выхлопной системы. Однако не все водители ходят возить в своей машине хрупкие баллоны со сжиженным газом, которые могут потерять герметичность и даже взорваться, особенно в случае ДТП. Профессор химии и биомолекулярной инженерии Джеффри Лонг (Jeffrey Long) и его коллеги нашли способ безопасного хранения природного газа.

Одна из основных проблем газового топлива - способ хранения. При нормаль-

ном атмосферном давлении и комнатной температуре бак с газом содержит намного меньше энергии, чем аналогичный бензиновый. Приходится сжимать и сжижать газ, что требует больших затрат энергии и применения прочных громоздких баллонов, которые занимают в автомобиле слишком много места.

Новый класс пористых материалов решает эту проблему. Синтетические металлоорганические структуры (MOFs) позволяют хранить тот же объем газа при гораздо меньшем давлении. Новый адсорбционный бак представляет собой пористый материал с очень большой площадью поверхности. Молекулы газа "цепляются" за поверхность

материала, что позволяет в несколько раз снизить давление в баке. Так, в современных баллонах со сжиженным газом давление составляет 250 атмосфер, а с помощью MOFs можно снизить его до 35...65 атмосфер. Возможность хранения газа при 35 атмосферах означает, что автомобиль можно будет заправлять от обычной бытовой газовой трубы. Понадобится лишь небольшой компрессор. Также, топливный бак MOFs намного безопаснее, поскольку находится под небольшим давлением и отдает газ медленнее, чем обычный баллон, что, впрочем, пока является недостатком новой системы. Но, как показывают новые эксперименты, и эту проблему можно решить. **А**

Организатор: Ассоциация «Союз авиационного двигателестроения»

Устроитель: 000 «АССАД-М»

Россия, 105118, г. Москва, проспект Буденного, 19

тел.: (495) 366-18-94, 366-85-22, 366-79-38

тел./факс (495) 366-45-88

e-mail: forum@assad.ru

www.assad.ru



Авиационные и космические двигатели

Двигатели для энергетических установок

Двигатели для энергетических установок

Электродвигатели, ветродвигатели

Топливо, масла, смазки

Микродвигатели для спортивного моделизма

Двигатели для автомобилей, тракторов, судов, подвижного состава

Двигатели для газо- и нефтеперекачивающих агрегатов

Перспективные научные и инвестиционные проекты

Двойные технологии компьютерные разработки станкостроение металлургия

Ремонт и сервисное обслуживание

Подшипники

Оборудование для неразрушающего контроля



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

2016

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНГРЕСС

19–21 АПРЕЛЯ | МОСКВА | ВДНХ | ПАВИЛЬОН 69

ДЕЛО ЖИЗНИ - АЭРОНАВИГАЦИЯ!



*Наша техника – это наше призвание.
Наши технологии – это безопасность
организации воздушного движения.
Наши достижения – это ваш успех!*
Пирогов Г.Н.

Елена Георгиевна Попова,

исполнительный директор Фонда развития Аэронавигации им. Г.Н. Пирогова

Аэронавигация – одна из тех областей деятельности, присутствие которых обычно не замечают, когда их составляющие срабатывают штатно. Но при сбое систем посадки продолжение работы аэропортов становится невозможным. Аэронавигационные системы – это как раз то, что всегда должно работать "как часы", и от чего напрямую зависит безопасность полетов, а, значит, жизни и здоровье людей.

Имя Геннадия Николаевича Пирогова не так широко известно в России, как имена первых космонавтов, но все специалисты, работающие в области аэронавигации, говорят об этом человеке с особым уважением: "Человек безграничной преданности своему делу, уникальный специалист. Лучшей наградой для него была надежность и безотказность созданной авиационной техники".

По одному звонку аэронавигационных служб страны команда Пирогова вылетала на ремонт любой, в том числе и устаревшей техники, осуществляла ее текущее обслуживание, дарила вторую жизнь. Технические специалисты аэропортов Перми, Ижевска, Екатеринбурга, Оренбурга, Омска, Тюмени, Ханты-Мансийска, Магадана, Якутии и всего Тюменского севера (Нижневартовска, Салехарда, Уренгоя, Надыма), с искренней благодарностью отзываются о работе Геннадия Николаевича. Пирогов пользовался огромным авторитетом среди коллег, к нему лично

обращались за помощью специалисты бывших союзных республик, звонили получить консультации из Латвии, Литвы, Киргизии, Таджикистана, Молдовы, Казахстана. За последние 10 лет не было ни одного дня отпуска, ни одного дня больничного! Ни одной минуты без любимого дела!

Геннадий Николаевич родился 5 февраля 1949 года в селе Осалодка Челябинской области. В 1972 году он закончил Казанский авиационный институт и получил специальность "Инженер-конструктор-технолог радиоаппаратуры".

Всю свою жизнь Г.Н. Пирогов занимался исследованиями, разработкой, внедрением в серийное производство инструментальных систем посадки самолетов с форматом международной системы ILS. С его участием и под его руководством были спроектированы и созданы системы посадки гражданских самолетов для аэродромов I, II, III категории.

Опыт и полученные знания позволили главному инженеру



Г.Н. Пирогову создать целый ряд разработок, повышающих безопасность полетов: азимутальный радиомаяк РМА-90 (VOR) и приводной радиомаяк с маркерным радиомаяком РМП-200, МРМ-95; контрольно-проверочная аппаратура для систем посадки типа КСП-80, Analyzer ILS, VOR (АСПН-1) и генератор сигналов навигации и посадки ГСПН-1, новый азимутальный маяк типа VOR 734 и дальномерный радиомаяк DME 734.

Он руководил разработками принципиально нового пеленгатора типа RDF 734, обеспечивающего повышенную точность пеленгования по сравнению со всеми существующими аналогами. А новая система посадки с форматом сигнала ILS 734 была создана Геннадием Николаевичем на уровне изобретения.

Кроме этого Г.Н. Пирогов являлся идеологом и руководителем разработки анализатора сигналов ДМЕ типа ГСПН-2, под его руководством был создан первый образец.

В конце жизни Геннадий Николаевич задумал создать единый унифицированный комплекс аппаратуры навигации и посадки "Комплекс 734" с уровнем унификации в комплексе до 65%, что намного опережа-



ет все существующие аналоги. По мнению специалистов, обслуживающих оборудование, разработанное "уральским Кулибиным", всё им созданное отличает значительная энергоэкономичность, простота в обслуживании, новизна (на уровне открытий) технических решений, комплексный подход к разработке, высокая степень унификации оборудования.

НО: при таком весомом послужном списке - ни одной публикации в прессе о его изобретениях и разработках! Можно сказать, что порой преобладает потребительская точка зрения: "Что говорить о том, что работает? Вот если оно не будет работать - тогда и поговорим". А сам Геннадий Николаевич считал, что выполняя свой профессиональный долг, не время заниматься внешней стороной профессии.

К сожалению, в российской авиации за прошедшие 20 лет в системах посадки почти не внедряются новые технологии, а существующая техника неумолимо продолжает терять свои возможности. Авторские разработки Пирогова, созданные для повышения безопасности полетов, так до сих пор и не востребованы в России в полном объеме, но, однако, вызывают профессиональный интерес специалистов навигационной сферы за рубежом.

В 1999 году Указом президента РФ от 10.09.1999 №1203 Г.Н.Пирогов награжден орденом "За заслуги перед отечеством" 2 степени "за большой вклад в развитие машиностроительного комплекса страны и многолетний добросовестный труд".

В 2015 году, сохраняя память об этом удивительном человеке, в России был создан первый и на сегодняшний день единственный в аэронавигационной отрасли Фонд развития Аэронавигации. При поддержке ведущих предприятий аэронавигационной отрасли страны Фонд планирует поощрять лучших специалистов, работающих в сфере аэронавигации. По итогам 2015 года "Фонд развития Аэронавигации им. Пирогова Г.Н." на-

мерен вручить три профессиональные премии в размере 1 000 000 р. и три студенческие премии в размере 250 000 р. Условия участия в номинациях можно узнать на сайте Фонда:

www.fondaero.ru.

Вручение премий запланировано на Национальной выставке инфраструктуры аэропортов и гражданской авиации NAIS г. Москва в феврале 2016 г.



Фонд развития Аэронавигации им. Пирогова Г.Н.
Некоммерческая организация

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БЕНЗИНОВ ДЛЯ АВИАТЕХНИКИ С ПОРШНЕВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ



ГНЦ РФ ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова":

Иван Михайлович Попов, инженер-химик 1ой категории
Павел Валентинович Бородако, инженер-химик 1ой категории
Марина Николаевна Пачина, инженер-химик
Евгений Петрович Федоров, к.т.н., ведущий научный сотрудник
Наталья Ивановна Варламова, начальник сектора
Леонид Самойлович Яновский, д.т.н, начальник отдела

В настоящее время авиационный бензин в России не производится. За рубежом наблюдается постепенный отказ от использования этилированного авиабензина и переход к неэтилированному. Обоснована актуальность проведения исследований по разработке отечественного неэтилированного авиабензина. Приведены результаты отечественных НИР по разработке отвечающих заданным техническим требованиям опытных образцов неэтилированных авиабензинов.

Currently aviation gasoline in Russia is not manufactured. Abroad, there is phasing out the use of leaded aviation gasoline and the transition to unleaded. The urgency of carrying out research on the development of national unleaded aviation gasoline. Results of domestic research for the development of corresponding technical requirements specified prototypes unleaded aviation gasoline

Ключевые слова: авиабензин, поршневые двигатели, октановое число, тетраэтилсвинец

Keywords: aviation gasoline, piston engines, tetraethyl lead, octane level

К авиационным поршневым двигателям (ПД), работающим на бензинах, предъявляются повышенные требования к удельному весу, экономичности, надежной работе в широком диапазоне климатических и высотных условий. Типичными представителем авиатехники в России, оснащенной ПД, использующей в качестве топлива авиационный бензин, является авиатехника как отечественного производства (самолеты Ан-2, Як-18Т, вертолет Ка-26), так и зарубежного производства (самолеты Cessna и вертолеты Robinson). По разным оценкам [1] суммарный парк малой поршневой авиации с ПД в России составляет от 1500 до 3000 единиц.

Авиабензины, по сравнению с автомобильными бензинами, обладают меньшей испаряемостью, более узким фракционным составом, большей детонационной стойкостью на бедных и богатых смесях, обеспечивающей лучшие мощностные характеристики двигателя. В отличие от автомобильных бензинов, авиабензины должны отвечать требованиям по большему числу показателей физико-химических и эксплуатационных свойств (таблица 1).

В Российской Федерации приняты два стандарта на этилированный авиационный бензин: ГОСТ 1012-2013 для марок бензина Б-91/115 и Б-92 и ГОСТ Р 55493-2013 для марки 100LL. В настоящее время промышленное производство в нашей стране авиационного бензина отсутствует, главной причиной чего является запрет производства на территории России этиловой жидкости (тетраэтилсвинца ТЭС), значительно увеличивающей октановое число (ОЧ), но в то же время являющейся высокоядовитым соединением.

Потребление бензина для нужд малой авиации в России оценивается в 25000 т/год, из которых 15000 т/год приходится на госзакупки [2]. Оставшееся количество приходится на частные закупки, а также на использование автомобильного бензина АИ-95 из-за высокой цены импортного авиабензина (рис. 1). Для нужд малой авиации импортируется этилированный авиационный бензин двух марок: Б-91/115 по требованиям WT-06/OBR PR/PD/60 производства OBR PR (Польша) и 100LL по требованиям ASTM D 910-15 производства Shell или ConocoPhillips.

Таблица 1

Характеристики авиационного бензина	Нормы для авиабензина			АИ-95 (ГОСТ Р 51866-2002)
	Согласно ГРП	Б-91/115 (ГОСТ 1012-2013)	100LL (ASTM D 910-15)	
Октановое число по моторному методу, не менее	91	91	99,6	85
Сортность (богатая смесь), не менее	115	115	130	-
Содержание тетраэтилсвинца (ТЭС), не более	-	2,5 г/кг бензина	0,53 мл/л бензина	отсутствие
Удельная теплота сгорания низшая, МДж/кг, не менее	-	42,947	43,5	не норм.
Давление насыщенных паров, кПа	29,3-49	29,3-48,0	38,0-49,0	45-100
Фракционный состав: температура начала перегонки, °С, не ниже:	-	40	не норм. определение обязательно	не норм.
10 % отгоняется при температуре, °С, не выше	82	82	75	-
50 % отгоняется при температуре, °С, не выше	105	105	105	~70-110
температура конца перегонки, °С, не выше	-	180 (97,5%)	170	210
Содержание фактических смол, мг/100 см ³ , не более	3	3	-	5
Температура начала кристаллизации, °С, не выше	-60	-60	-60	не норм.



Рис. 1. Потребление авиабензина в России (А.П. Иванов, ЦИАМ)

За рубежом действуют стандарты ASTM D 910-15 и DEF STAN 91-90 на этилированный бензин. В настоящее время основной маркой этилированного авиабензина является 100LL. В США действуют стандарты на неэтилированные авиабензины марок 82UL и 87UL (ASTM D 6227) и 91UL (ASTM D 7547) и ведется работа по снижению содержания свинца в авиационном бензине. Одним из последних результатов этой работы стало введение в стандарт ASTM D 910 новой марки бензина 100VLL, в котором максимальное содержание ТЭС снижено на 19%, по

сравнению с маркой 100LL.

Помимо разработки малоэтилированных марок авиационных бензинов, в США разработаны стандарты на тестовые неэтилированные авиабензины марок 94UL (ASTM D 7592) и 102 UL (ASTM D 7719) [3]. Однако создать неэтилированный бензин, эквивалентный марке 100LL, пока не удалось.

На сегодняшний день создание высокооктанового неэтилированного авиабензина является основной общей тенденцией развития авиационных бензинов.

В настоящее время в России начата работа по возобновлению производства этилированного авиабензина Б-91/115 по ГОСТ 1012. Ведется работа и по созданию неэтилированного авиабензина: ВНИИ НП по заказу ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ разработал технические требования (ТТ) к неэтилированному бензину Б-92/115 с октановым числом (ОЧ) 92 по моторному методу. На основе компонентов, предоставленных ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ, созданы опытные образцы неэтилированного авиабензина, и в ВНИИ НП и ЦИАМ были проведены исследования их качества на соответствие нормам ТТ. Установлено, что предоставленные образцы полностью соответствуют нормам ТТ, и полученный бензин может рассматриваться как аналог этилированного бензина марки Б-91/115 (рис.2 и 3).

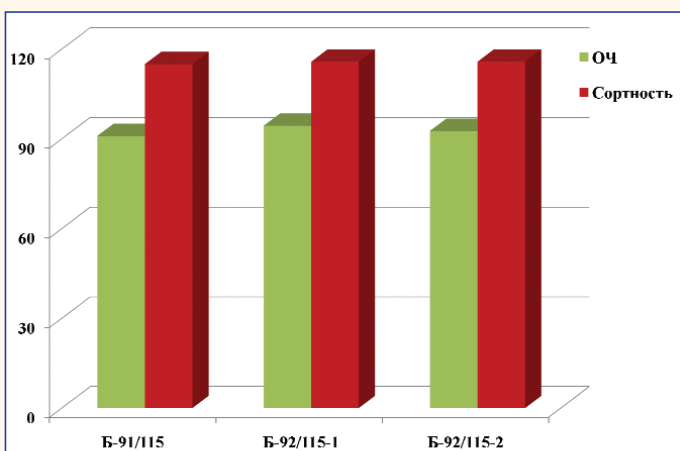


Рис.2. Октановое число по моторному методу и сортность опытных образцов неэтилированного бензина Б-92/115.

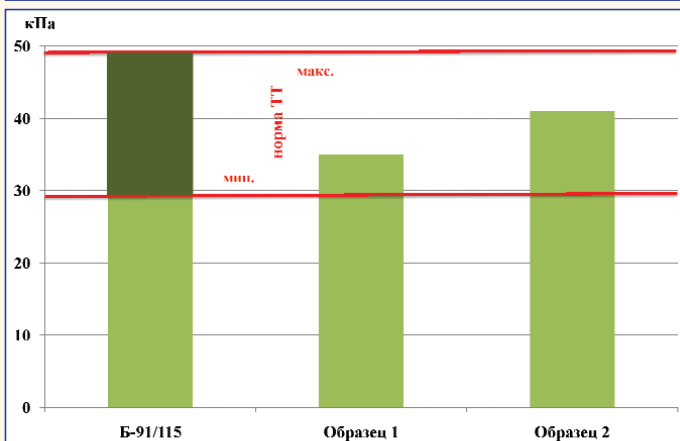


Рис.3. Давление насыщенных паров опытных образцов неэтилированного бензина Б-92/115.

На основе результатов проведенных исследований и на базе технических требований создан проект СТО "Бензины авиационные неэтилированные Б-92, Б92/115. Технические условия", который прошел согласование в ЦИАМ и ГосНИИ ГА. Работа вышла на этап создания опытно-промышленного образца для проведения стендовых приемочных испытаний.

Кроме того, ЦИАМ созданы технические требования к неэтилированному авиабензину с ОЧ 100 по моторному методу, который является эквивалентом этилированного бензина 100LL. По этим требованиям в ВНИИ НП были созданы лабораторные образцы бензина (рис.4) и испытаны в ЦИАМ.

На основе результатов проведенных исследований и на базе технических требований создан проект СТО "Бензины авиационные неэтилированные Б-92, Б92/115. Технические условия", который прошел согласование в ЦИАМ и ГосНИИ ГА. Работа вышла на этап создания опытно-промышленного образца для проведения стендовых приемочных испытаний.

Кроме того, ЦИАМ созданы технические требования к неэтилированному авиабензину с ОЧ 100 по моторному методу, который является эквивалентом этилированного бензина 100LL. По этим требованиям в ВНИИ НП были созданы лабораторные образцы бензина (рис.4) и испытаны в ЦИАМ.

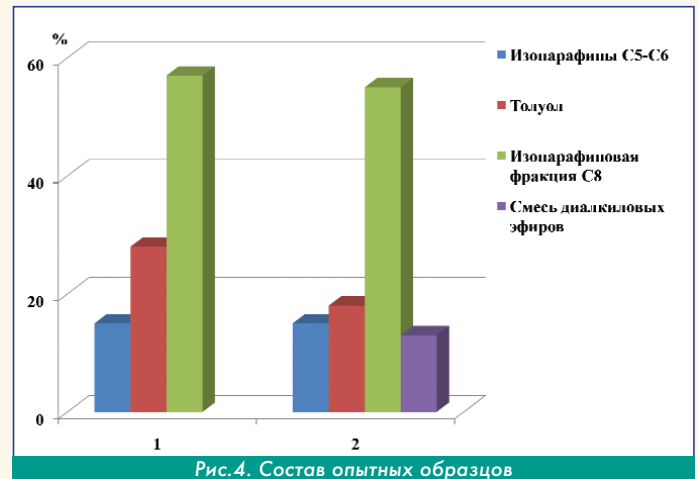


Рис.4. Состав опытных образцов

Установлено (рис.5), что образец № 1 соответствовал нормам ТТ, за исключением показателя ОЧ по моторному методу.

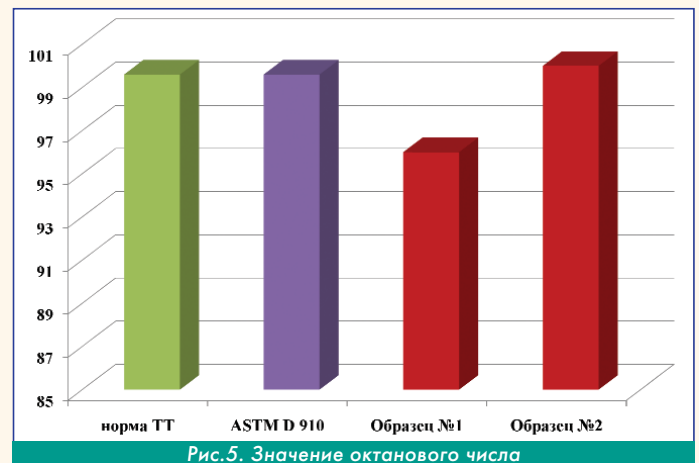


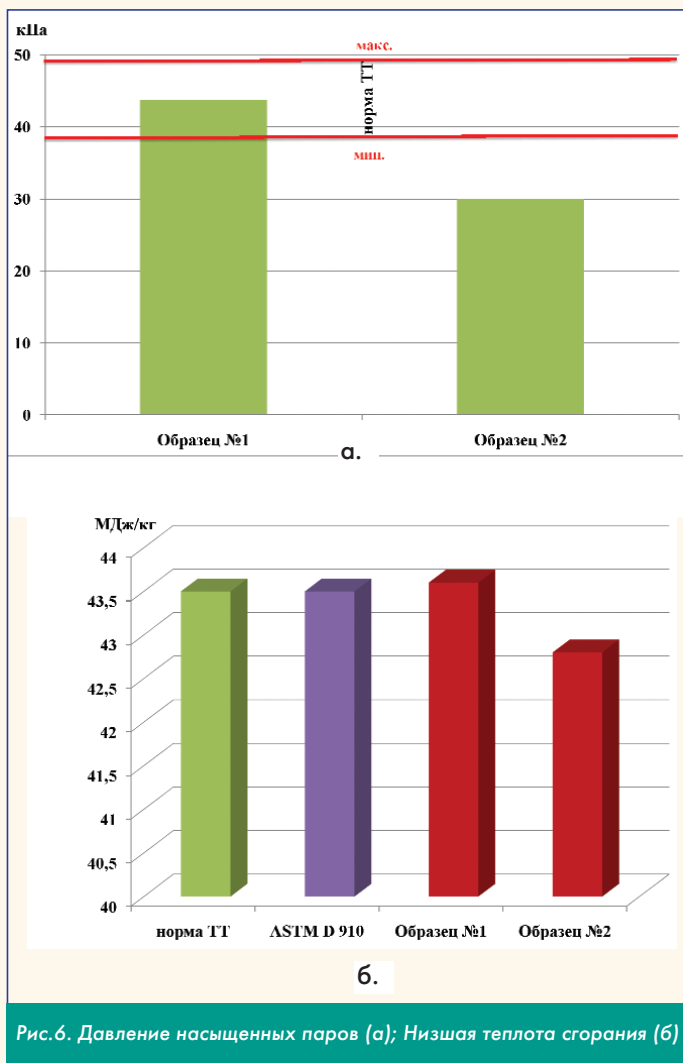
Рис.5. Значение октанового числа

Образец № 2 соответствовал нормам ТТ, за исключением показателей "давление насыщенных паров" и "низшая теплота сгорания" (рис.6).

Из исследованных образцов неэтилированных бензинов особый интерес представляет образец № 1. Получение значения ОЧ 96 по моторному методу можно признать достижением, и образец № 1 имеет запас качества по показателю "давление насыщенных паров". Это позволяет путем изменения состава углеводородных компонентов улучшить его антидетонационные свойства. ЦИАМ рекомендовано изменить норму ТТ "октановое число" по моторному методу с "не менее 99,6" на "не менее 95".

С учетом увеличения парка самолетов и вертолетов зарубежного производства с ПД, для нормальной работы которых необходим дорогостоящий высокооктановый бензин 100LL, необходимо продолжать исследования по созданию российского неэтилированного высокооктанового бензина, эквивалентного бензину 100LL.

Таким образом, чтобы исключить зависимость от импорта и оперативно обеспечить парк отечественной малой авиации с ПД авиабензином российского производства, необходимо возобно-



Необходимо провести в требуемом объеме [5] Государственные приемочные испытания по допуску к производству и применению разработанного неэтилированного бензина Б-92/115 взамен авиабензина Б-91/115 (ГОСТ 1012-2013). Омский нефтеперерабатывающий завод планирует выпуск неэтилированного авиационного бензина Б-92/115. В ближайшее время, "Газпром-нефть" станет первой компанией в России, производящей неэтилированный авиационный бензин. Предполагается выпуск 40 тыс. тонн в год [6].

Литература

1. Виталий Сальник, "Малая авиация в зоне турбулентности"//Pravda.ru. 12.03.2013.URL:<http://www.pravda.ru/economics/industry/aviation/12-03-2013/1148002-malaviazhio-0/>(дата обращения 20.09.2015)
2. Сергей Колобков, "Золотой" бензин для доступной авиации"//РБК Ежедневная деловая газета, 11.04.2013. URL: <http://www.rbcdaily.ru/industry/562949986542463/> (дата обращения 14.09.2015)
3. Jonathon David Zulkowski. Collective Knowledge on Aviation Gasolines. In partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Technology. 7.10.2011
4. Официальный сайт городского округа Иваново. URL: <http://ivgoradm.ru/news/?nid=21529/> (дата обращения 15.09.2015)
5. Типовая программа государственных приемочных испытаний опытных авиационных бензинов на поршневых авиадвигателях (2 этап)/ЦИАМ. Москва: Изд-во ЦИАМ, 1987.-14с.
6. Коммерческие вести, интернет издание. URL: <http://kvnews.ru/news-feed/vomske-pervymi-v-rossii-nachnut-vypuskat-aviatsionnyy-benzin/> (дата обращения 15.09.2015)

Связь с авторами: **pim@ciam.ru,**
borra@ciam.ru,
patsina@ciam.ru,
fep@ciam.ru,
varlamova@ciam.ru,
yanovskiy@ciam.ru

**XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2015**

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

**24 - 27
НОЯБРЯ**



Генеральный
информационный партнер:

Технический партнер:

RentMedia

**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

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. Полковая 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



ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕРАВНОМЕРНОЙ ПОДАЧИ ТОПЛИВА В ЦИЛИНДРЫ ГАЗОДИЗЕЛЯ

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, (МАДИ):

Александр Фроимович Равич, к. ф.-м. н.,
Сергей Николаевич Богданов, профессор, д. т. н.,
Николай Валерьевич Осовин, к. т. н.,
Борис Павлович Загородских, профессор, д.т.н

Изложение результатов исследования по проблеме неравномерности процесса подачи газ-топлива в цилиндры газодизеля, возникающей при использовании стандартного газораспределительного коллектора. Представлена газодинамическая модель этого процесса, обеспечивающая построение полной картины динамики массового расхода газ-топлива в данном коллекторе. Приведены описание альтернативной конструкции газораспределительного коллектора, решающей проблему, а также расчётные и экспериментальные данные.

The presentation of results of research concerning the problem of non-uniformity of the process of gas-fuel supply to the cylinder of gas diesel, arising, when using the standard gas distribution manifold. The gas-dynamic model of the process, providing a complete picture of the dynamics of the construction of the mass flow rate of gas-fuel in the manifold is submitted. The description of an alternative construction of the gas distribution manifold, problem-solving, as well as the calculated and experimental data are represented.

Ключевые слова: газораспределительный коллектор, газовая динамика.

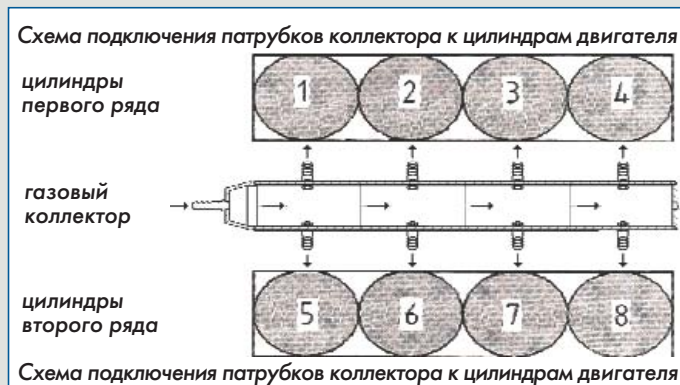
Keywords: gas-fuel, gas distribution manifold, gas dynamics.

Необходимым условием эффективной работы ДВС является равномерность подачи горючей составляющей и воздуха во все цилиндры двигателя. Это значит, что формируемые в процессах впуска заряды рабочей смеси должны содержать одинаковые количества данных компонентов. Неравномерная подача горючей составляющей или воздуха существенно влияет на работу двигателя, вызывая падение мощности и ухудшение топливной экономичности, сокращение срока службы деталей в отдельных цилиндрах (прогар поршней и клапанов, износ стенок цилиндра и т.д.) [2, 3, 4].

Проблема "равномеризации" рабочей смеси на впуске в цилиндрах ДВС особенно актуальна в связи с переоборудованием двигателей под газ-топливо. Задача решения этой проблемы возникла в ходе экспериментов с переоборудованием под газ-топливо двигателей ЯМЗ-238 тракторов К700. Было установлено, что используемый в газодизельных системах стандартный цилиндрический газораспределительный коллектор с выпускными патрубками, расположенными линейно-последовательно по образующим цилиндра канала коллектора, является источником неравномерной подачи газ-топлива в цилиндры двигателя.

Далее, в разделе 1. представлена полная газодинамическая картина массового расхода (в единицу времени) газ-топлива в стандартном газораспределительном коллекторе, объясняющая, почему в данном конструктивном исполнении возникает неравномерность подачи рабочей газовой смеси в цилиндры двигателя и как эта неравномерность проявляется количественно и по каким цилиндрам. При этом применяется методология, исходящая из известных законов газовой динамики [1].

В разделе 2. приведены описание альтернативной конструкции газораспределительного коллектора, решающей проблему, а также расчётные и экспериментальные данные.



Ниже приведена таблица-диаграмма чередования тактов в цилиндрах такого двигателя, нумерация цилиндров соответствует вышеприведенной схеме.

№ такта	№ 1/2 такта	№ цилиндра							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие
	2	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие
2	1	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие
	2	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие
3	1	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие
	2	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие
4	1	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие
	2	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие	расширение	впуск	сжатие

Обозначения: впуск сжатие расширение впуск конфигурация 1

о конфигурациях ниже (1.1.4., 1.1.5.).

Далее полагаем № патрубка = № соответствующего цилиндра

Обозначим:

$i (=1, \dots, 8)$ - номер цилиндра (патрубка),
 $j (=1, \dots, 4)$ - номер такта (хода поршня в полном рабочем цикле двигателя),
 $n (=1, 2)$ - номер 1/2 такта,
 (i, j, n) - позиция-процесс с "координатами" i, j, n на диаграмме;
 g_{ijn} - расход газ-топлива в процессе впуска, т.е. в (i, j, n) цилиндре с номером i в процессе 1/2 такта с номером n такта с номером j .

1.1. Расчёт g_{ijn} .

Все 8 строк диаграммы включают точно по два синхронных такта впуска. Это означает, что в процессе каждого (из 8) $1/2$ такта рабочего цикла осуществляют подачу газ-топлива в соответствующие цилиндры двигателя (активные) одновременно только и точно два (из 8) патрубка коллектора.

Отметим пары синхронных процессов $(i, n) = ((i_1, i, n), (i_2, i, n)), i_1 < i_2$ впуска в порядке следования $1/2$ тактов:

$(1, 1) = ((1, 1, 1), (8, 1, 1)), (1, 2) = ((1, 1, 2), (5, 1, 2)), (2, 1) = ((4, 2, 1), (5, 2, 1)), (2, 2) = ((2, 2, 2), (4, 2, 2)),$
 $(3, 1) = ((2, 3, 1), (6, 3, 1)), (3, 2) = ((3, 3, 2), (6, 3, 2)), (4, 1) = ((3, 4, 1), (7, 4, 1)), (4, 2) = ((7, 4, 2), (8, 4, 2)).$

Ниже каждая пара синхронных процессов впуска рассматривается как процесс в контрольном объёме [1] с одним входом-впускным штуцером, через который газ втекает, и двумя выходами-выпускными патрубками, через которые газ вытекает; искомые $g_{i1, jn}$ и $g_{i2, jn}$ в общем случае находятся из уравнений баланса энергии и расхода газа для газового потока в контрольном объёме [1].

1.1.0. Далее, в порядке постановки задачи вычисления искомых $g_{i1, jn}$ и $g_{i2, jn}$ обозначим условия, упрощающие последующие вычисления:

- 1) рассматриваем установившееся ламинарное движение газа;
- 2) предполагаем адиабатность процесса движения газа в коллекторе;
- 3) предполагаем также, что в плоских сечениях канала и выпускных патрубков параметры газа распределены равномерно, и векторы скорости движения

направлены перпендикулярно плоскостям соответствующих сечений.

1.1.1. Применительно к анализируемому контрольному объёму, с учетом 3) из 1.1.0., уравнение баланса энергии газового потока в данном контрольном объёме имеет вид:

$$A_{\phi_1} = Z_{\sigma_1} + Z_{\sigma_2} + W' + Q, \text{ где}$$

$\phi_1, \sigma_1, \sigma_2$ - рабочие сечения, соответственно, канала цилиндра коллектора;

A_{ϕ_1} - импульс энергии газа, втекающего через впускной штуцер;

$Z_{\sigma_1}, Z_{\sigma_2}$ - импульсы энергии газа, вытекающего через соответствующие выпускные патрубки;

W' - работа внешних сил над газом (сжатие, $W' > 0$) или работа газа (расширение, $W' < 0$), иначе $W' = 0$,

Q - приток теплоты (извне, подогрев, $Q > 0$) или отток теплоты (вовне, охлаждение, $Q < 0$), иначе $Q = 0$.

1.1.2. Уравнение баланса массового расхода газа в анализируемом контрольном объёме:

$$g_{\phi_1} = g_{\sigma_1} + g_{\sigma_2}, \text{ где:}$$

g_{ϕ_1}, g_{σ_1} и g_{σ_2} - расход газа через соответствующие рабочие сечения $\phi_1, \sigma_1, \sigma_2$

1.1.3. Из исходных условий 1) и 2) (1.1.1.) непосредственно следует:

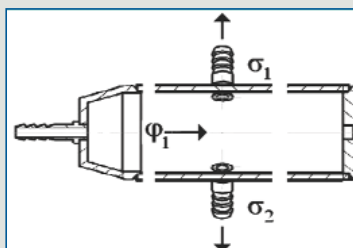
- 1) $W' = 0$,
- 2) $Q = 0$.

Таким образом, искомые неизвестные g_{σ_1} и g_{σ_2} определяются системой уравнений:

$$\begin{cases} A_{\phi_1} = Z_{\sigma_1} + Z_{\sigma_2} \\ g_{\phi_1} = g_{\sigma_1} + g_{\sigma_2} \end{cases} \quad g_{\phi_1} \text{ (считается известным - заданным) (1).}$$

Решение данной системы уравнений зависит от взаимного расположения выпускных патрубков σ_1, σ_2 . Возможны два варианта конфигурации этих патрубков.

1.1.4. Конфигурация №1 - патрубки σ_1, σ_2 расположены в одной плоскости, перпендикулярной оси цилиндра канала коллектора, рисунке справа; та-



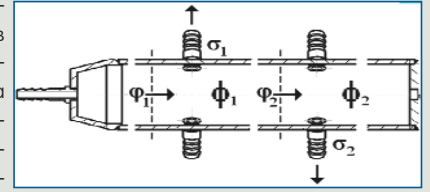
кая конфигурация наблюдается в трёх (из указанных выше 8) парах синхронных процессов впуска (1.1.) - (1,2), (3,1), (4,1) (соответствующие строки на диаграмме чередования тактов выше отмечены зелёным цветом);

искомое решение в этом случае:

$$g_{\sigma_1} = g_{\sigma_2} = g_{\phi_1} / 2$$

1.1.5. Конфигурация №2 -

патрубки σ_1, σ_2 находятся в разных рабочих сечениях цилиндра канала коллектора (схема на рисунке справа); эта конфигурация наблюдается в остальных 5 парах синхронных процессов впуска (1.1.) - (1,1), (2,1), (2,2), (3,2), (4,2);



Конкретизируем и уточним для этого случая обозначенную выше систему уравнений.

Уточнение требуется в связи с тем, что данная запись системы не отображает изменение динамики газового потока в канале коллектора после прохождения через рабочую плоскость канала, в которой находится первый по порядку следования выпускной патрубок.

Для того, чтобы учесть это изменение, представим исследуемый контрольный объём ϕ в виде последовательности двух элементарных контрольных объёмов ϕ_1 и ϕ_2 , разделённых секущей рабочей плоскостью ϕ_2 цилиндра канала коллектора так, что ϕ_1 включает один вход ϕ_1 , два выхода σ_1, σ_2 , а ϕ_2 - один вход ϕ_2 , один выход σ_2 . При этом, очевидно, $A_{\phi_2} = Z_{\phi_2} = Z_{\sigma_2}$,

Из предыдущего следует, что соответствующая система уравнений, определяющая искомые g_{σ_1} и g_{σ_2} будет иметь вид:

$$\begin{cases} A_{\phi_1} = Z_{\sigma_1} + Z_{\phi_2}, & Z_{\phi_2} = Z_{\sigma_2} \\ g_{\phi_1} = g_{\sigma_1} + g_{\phi_2}, & g_{\phi_2} = g_{\sigma_2} \end{cases} \quad (2)$$

Детализируем [1] полученную систему уравнений с учётом исходных условий 1.1.0:

$$A_{\phi_1} = h_{\phi_1} \cdot V_{\phi_1} \cdot \rho_{\phi_1} \cdot \phi = h_{\phi_1} \cdot g_{\phi_1}$$

$$Z_{\sigma_1} = h_{\sigma_1} \cdot V_{\sigma_1} \cdot \rho_{\sigma_1} \cdot \sigma = h_{\sigma_1} \cdot g_{\sigma_1}$$

$$Z_{\phi_2} = h_{\phi_2} \cdot V_{\phi_2} \cdot \rho_{\phi_2} \cdot \phi = h_{\phi_2} \cdot g_{\phi_2}$$

где ρ, V, h_0 - локальные параметры газового потока в рабочем сечении, соответственно, ρ - плотность, $V = g / (\rho \cdot s)$ - скорость, g - расход, s - площадь рабочего сечения газового потока, $h_0 = V^2/2 + h = V^2/2 + e + p/\rho$ - удельное полное теплосодержание (единицы массы),

$V^2/2$ - кинетическая энергия,

$h = e + p/\rho$ - ("классическое") удельное теплосодержание (энтальпия),

e - удельная внутренняя энергия, p - давление; ϕ, σ - площади рабочих сечений, соответственно, канала цилиндра коллектора, выпускных патрубков.

При этом из 1.1.0., 1), 2) следует:

1) $\rho = \text{const}, p = \text{const}$ (в коллекторе);

$$2) \quad e = \frac{1}{k-1} \cdot \frac{p}{\rho} \quad h = e + \frac{p}{\rho} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p}{\rho}$$

Здесь k - показатель адиабаты.

Подстановка вышеуказанных выражений в систему уравнений (2) и последующее преобразование приводит к системе уравнений

$$\begin{cases} \Psi^2 \cdot g_{\sigma_1}^3 + g_{\varphi_2}^3 = g_{\varphi_1}^3 \\ g_{\sigma_1} + g_{\varphi_2} = g_{\varphi_1} \end{cases} \quad \text{здесь } \Psi = \varphi / \sigma$$

Решение этого:

где $g_{\sigma_1} = q_1 \cdot g_{\varphi_1}$ $g_{\varphi_2} = g_{\sigma_2} = q_2 \cdot g_{\varphi_1}$

$$q_1 = \frac{6}{\sqrt{3(4\Psi^2 - 1)} + 3} \quad q_2 = \frac{\sqrt{3(4\Psi^2 - 1)} - 3}{\sqrt{3(4\Psi^2 - 1)} + 3}$$

образом, в общем случае, для пары синхронных процессов впуска (1.1.)

а) в случае конфигурации №1 (1.1.4) $g_{i_1, in} = g_{i_2, in} = g_{\varphi_1} / 2$

б) в случае конфигурации №2 (1.1.5) $g_{i_1, in} = q_1 \cdot g_{\varphi_1}$ $g_{i_2, in} = q_2 \cdot g_{\varphi_1}$

Результирующая схема поцилиндрового расчёта расхода газ-топлива приведена в таблице ниже, g_{im} - расход газ-топлива в цилиндре с номером i, m - № 1/2 такта (такта впуска).

№ цилиндра	№ 1/2 такта впуска	
	1	2
1	$g_{11} = q_1 \cdot g_{\varphi_1}$	$g_{11} = q_1 \cdot g_{\varphi_1}$
2	$g_{21} = q_1 \cdot g_{\varphi_1}$	$g_{22} = g_{\varphi_1}$
3	$g_{31} = q_1 \cdot g_{\varphi_1}$	$g_{32} = g_{\varphi_1}$
4	$g_{41} = q_1 \cdot g_{\varphi_1}$	$g_{42} = q_2 \cdot g_{\varphi_1}$
5	$g_{51} = g_{\varphi_1} / 2$	$g_{52} = q_2 \cdot g_{\varphi_1}$
6	$g_{61} = g_{\varphi_1} / 2$	$g_{62} = q_2 \cdot g_{\varphi_1}$
7	$g_{71} = g_{\varphi_1}$	$g_{72} = q_1 \cdot g_{\varphi_1}$
8	$g_{81} = q_2 \cdot g_{\varphi_1}$	$g_{82} = q_2 \cdot g_{\varphi_1}$

Из вышеприведенной таблицы видно, что штатный газораспределительный коллектор не обеспечивает равномерный расход газ-топлива не только по цилиндрам, но и в процессе тактов впуска; на рисунке справа в графическом виде представлен результат расчёта поцилиндровой динамики среднего расхода газ-топлива для конкретного штатного коллектора с $g_{\varphi_1} = 10.8$ г/сек, $\varphi = 0.0022$ и $\sigma = 0.000028$ (м²).



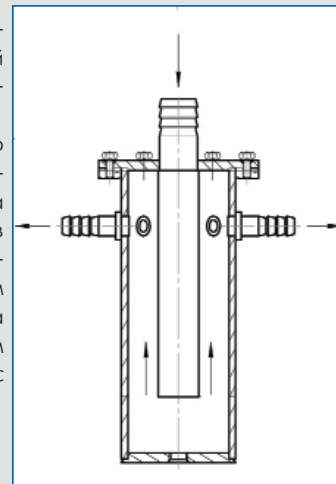
Следует отметить, что полученный график вполне коррелируется с полученной экспериментальным путём гистограммой температур выпускных газов.

2. Решение проблемы.

Альтернативой рассмотренному выше штатному газораспределительному коллектору, полностью решающей проблему равномерной подачи газ-топлива в цилиндры ДВС, является разработанная в СГАУ им. Н.И. Вавилова конструкция газораспре-

делительного коллектора с радиально расположенными в одной плоскости выпускными патрубками [5], рисунок справа.

Используя вышеизложенную методику анализа, легко установить, что, независимо от способа подключения выпускных патрубков предложенного газораспределительного коллектора к цилиндрам двигателя, расход газ-топлива на впуске в цилиндре с номером $i(=1,...,8)$, в процессе 1/2 такта с номером $m(=1,2)$ $g_{im} = g_{\varphi} / 2$.



ВЫВОДЫ.

1. Доказано и экспериментально подтверждено, что используемый в газодизельных системах традиционный газораспределительный коллектор с выпускными патрубками, расположенными линейно-последовательно по нормали вогне боковой поверхности цилиндра канала, не обеспечивает равномерную подачу газ-топлива в цилиндры двигателя.

2. Разработанная в СГАУ им. Н.И. Вавилова конструкция газораспределительного коллектора с радиально расположенными в одной плоскости выпускными патрубками обеспечивает равномерную подачу газ-топлива в цилиндры двигателя, независимо от способа подключения выпускных патрубков к цилиндрам.

Литература

1. Чёрный Г.Г. Газовая динамика. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.
2. Генкин К.И. Газовые двигатели. - М.: Машиностроение., 1977.
3. Марков В.А., Козлов С.И. Топлива и топливоподача многоцилиндровых и газодизельных двигателей. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. - 296 с.
4. Гайворонский А. И., Богославцев Р. В. Теплонапряженность деталей дизеля, конвертируемого в газовый двигатель - М: Газовая промышленность., 2009, № 2.
5. Н.В.Осовин, В.В.Володин, Б.П.Загородских. Газовый коллектор: патент РФ № 123847, 2011.

Связь с автором: ravichaf@mail.ru



ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ И.С. ПЯТОВА: К 70-ЛЕТИЮ

Ровно 10 лет назад наш журнал подводил итог сделанному за годы, предшествующие 60-летию юбилею Ивана Соломоновича Пятова. Среди многих добрых слов, сказанных тогда, и которые мы повторим и сейчас, было отмечено одно из направлений деятельности Группы компаний с брендом "РЕАМ", созданной Иваном Соломоновичем, - импортозамещение производства высококачественных резинотехнических изделий (РТИ) для отечественной промышленности.

Можно только восхищаться той прозорливостью, которая тогда легла в основу при создании новой компании, а сегодня является одним из стратегических направлений деятельности государства. Сегодня, как тогда, продукция научно-производственного предприятия ООО "РЕАМ-РТИ", входящего в Группу компаний, востребована в автомобилестроении, нефтегазовом машиностроении, судостроении, авиационной и космической отраслях. К услугам предприятия прибегают зарубежные компании нефтяного комплекса - качество изделий соответствует высоким мировым стандартам и менеджмент качества прошел сертификацию ISO 9001.

Собственные оригинальные разработки обеспечивают группе компаний "РЕАМ" устойчивость на рынке РТИ и делают ее продукцию конкурентоспособной не только в России, но и за рубежом.

Так, ООО "РЕАМ-РТИ" одной из первых российских компаний освоила производство ответственных изделий из фторэластомеров "AFLAS", работав на их основе свои оригинальные рецептуры резиновой смеси, позволяющая производить ответственные изделия работоспособные в температурном диапазоне -50...+250 °С в агрессивных средах, которые востребованы в изменившихся и ужесточившихся условиях нефтедобычи.

Инициативно разработаны инновационные технологии, в частности:

- технологии производства изделий из "скользких" резин, способные к сухому трению, с коэффициентом трения по стали менее 0,2. Они применяются в подшипниках для нефтяного машиностроения, в насосах для подачи воды, т.е. там, где требуется герметичность при низких энергетических затратах, низкое трение покоя, повышенная абразивная стойкость, озоностойкость;

- технологии многослойных изделий, совмещающих требования высокой электрической прочности и поверхностной электропроводимости.

Принцип работы - "от узла", который заложен Иваном Соломоновичем, основа работы компании. Этот принцип позволил накопить опыт и развить инжиниринговое направление. В данный момент "РЕАМ-РТИ" разрабатывает и поставляет изделия из провололочных проницаемых материалов (ППМ), уникальные свойства которых позволяют применять его в различных направлениях: для систем фильтрующих газы и жидкости, демпфирующих устройствах.

Профессиональные устремления Ивана Соломоновича как инженера и ученого в период работы в головном институте Министерства автомобильной промышленности СССР - НАМИ были связаны с исследованиями и созданием отечественных роторно-поршневых двигателей. Знания и опыт в этой области позволили разработать основы для создания уникальных насосов и компрессоров героторного типа, конструкции которых не имеют аналогов в разрезе соотношения габаритов и эффективности работы.

Образцы насосной техники прошли опытно-промышленные испытания.

Результатом защиты технических решений является поддержание более 35 патентов на изобретения.

ООО "РЕАМ-РТИ" - постоянный участник международных выставок и конференций по профилю своей научно-производственной деятельности: как проводимых в Москве и других городах РФ различными отраслями промышленности, так и за рубежом, при поддержке прави-

тельства РФ и Минпромторга РФ.

За достижения в области технологий и новых материалов группа компаний "РЕАМ" награждалась на этих выставках медалями высшего достоинства, отмечалась дипломами Российского и Московского фондов защиты прав потребителей за активное участие в формировании цивилизованного потребительского рынка в России.

Руководство группы компаний РЕАМ отмечено наградами Всероссийской организации качества (ВОК).

Иван Соломонович Пятов - один из основателей компании, был её генеральным директором - сейчас председатель Совета директоров.

На своем опыте Иван Соломонович знает, как создается новая техника, что требуется от рабочего, инженера, ученого, руководителя, чтобы желаемое стало реальностью. Начав трудовую деятельность рабочим-станочником, он рос как инженер и ученый в области двигателестроения, новых материалов и технологий. Этот опыт ему пригодился в качестве управленца.

Будучи заместителем начальника Главного научно-технического управления Министерства автомобильной промышленности СССР (позднее - Минавтосельхозмаш СССР) Иван Соломонович курировал двигателестроение, экологические проблемы отрасли, материаловедение. Он знает, какие усилия требуются от человека, возглавляющего важное направление работы целой отрасли, особенно во времена отечественных экономических бурь. Но что бы ни происходило, самым значимым он считает высокое звание инженера.

Его опыт в области энергомашиностроения и двигателестроения востребован. Ему довелось исследовать (а впоследствии и разрабатывать) в научном центре НАМИ экзотические для России роторно-поршневые двигатели различного назначения. Часть разработок в этом направлении Иван Соломонович безвозмездно передал НИЦ ЦИАМ с одной-единственной целью - скорейшего промышленного освоения этих двигателей и оснащения ими летательных аппаратов различного назначения.

Родился Иван Соломонович в Москве в 1945 г.

В сентябре 2015 года у него состоялся 70-летний юбилей.

Инженеру Пятову с его опытом работы, организаторскими способностями и знанием дела удалось в условиях хронического отставания отечественного производства от современных стандартов создать организацию, работающую не только на уровне мировых стандартов, но и во многом опережающую передовые достижения мировой резинотехнической промышленности.

Специалисты руководимой им группы компаний "РЕАМ" разрабатывают и производят высокотехнологичные резинотехнические изделия. Они не дешевы, в них высокая добавленная стоимость, и применяются они в тех случаях, когда появляется необходимость использования РТИ с особыми свойствами для ответственных узлов.

ООО "РЕАМ-РТИ" - единственный в России производитель такого рода изделий, потому недостатка в заказах не испытывает ни в нашей стране, ни за рубежом.

Развивается новое технологическое и материаловедческое направление - создание углеродных керамоподобных материалов "Карбул" с особыми свойствами и изделий на их основе. Надеемся рассказать об этом в будущих номерах журнала.

Совсем недавно, буквально в предыдущем номере журнала мы рассказывали о новой разработке компании Ивана Соломоновича - промышленных инфракрасных обогревателях с применением проницаемых провололочных материалов, в результате чего была многократно повышена их эффективность и долговечность.

Внедряя разработки в производство, созданная Иваном Соломоновичем фирма, по его мнению, не боится конкуренции и в обозримом будущем.

Редакция журнала "Двигатель" присоединяется к поздравлениям Ивана Соломоновича Пятова с юбилеем и очень желает ещё неоднократно видеть его на страницах своего издания.



МНОГОСВЯЗНАЯ ПЛОСКАЯ ИМПЛОЗИЯ "ОБОБЩЁННЫЙ ГЮГОНИО"



© Валентин Анатольевич Белоконь, Москва, 2015

член Нац. Комитета теоретич. и прикл. механике, академик Академии Космонавтики, ИОРАН

Рассмотрено сжатие в результате одновременного тормозящего соударения в вакууме N идентичных слоёв в процессе реверберации $2(N-1)$ ударных волн. Эффект пространственного барьера предельного сжатия проявляется в непреодолимой минимальной толщине самосжатого пакета слоёв, которая точно равна начальной толщине одного слоя ($\gamma=3$). Considered compression as a result of simultaneous braking at collision of N layers in a vacuum by the reverberation process of $2(N-1)$ shock waves. The spatial barrier of compression implied irresistible minimum thickness of total pack exactly equal to the starting thickness of one layer ($\gamma=3$).

Ключевые слова: имплозия, сжатие, инварианты Риманна, ударная волна, энтропия.

Keywords: implosion, compression, Riemann invariants, shock wave, entropy.



Георг Фридрих Бернгард Риманн
Riemann
(17.09.1826-20.07.1866)

В таких течениях ударного сжатия строго соблюдаются обобщённые неизэнтропические аналоги инвариантов Риманна:

$$U \pm 2D/(\gamma - 1) \equiv U \pm fD = \text{const} (\pm)$$

вдоль ударных волн, а не характеристик.

Одновременное соударение в вакууме N слоёв, скорости которых распределены линейно, даёт реверберацию $2(N-1)$ ударных волн. Вслед за **первичным сильным скачком** генерируется среда с неизменным далее уравнением состояния совершенного газа:

$$E = \text{const} \quad PV \equiv (f/2)PV \equiv PV/(\gamma - 1)$$

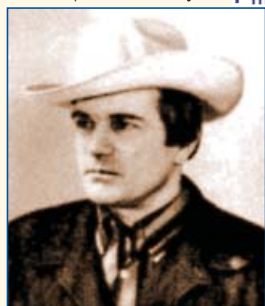
Уравнением состояния слоёв до встречного касания можно пренебречь [Автор: 1968/70 ПМТФ № 4] в силу дезинформационного свойства сильного первичного скачка (как здесь).

Итоговое сжатие [Докл. АН СССР 1975 + изд. Am. Phys. Soc.]:

$$\rho_{\text{max}}/\rho_0 = (N-1+f)/(N-1)! \quad f! > N^f/f! \sim N^f \Rightarrow \infty$$

Если $f > 1$ ($\gamma < 3$) пакет истончается к нулю.

При $f=1$ или $\gamma=3$ $\rho_{\text{max}}/\rho_0 = N/(N-1)! \equiv N$ Здесь $N=7$



Валентин Анатольевич
Белоконь, 1973 г.

В последнем случае (который здесь изображён) эффект пространственного барьера предельного сжатия проявляется в непреодолимой минимальной толщине самосжатого пакета слоёв. Барьер этот точно равен начальной толщине одного слоя. Это повторяется вплоть до бесконечного количества слоёв любой начальной толщины - до $U = \infty \Delta u$.

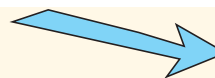
Внимание: произвол доударного уравнения состояния среды **ограничен условием**

нерасплывания сближающихся слоёв в вакууме (уточнение Адольфа Буземана).

Принципиальным отличием такой "плоской имплозии" от сферической и цилиндрической [Guderley, 1942] является ослабление ударных волн по мере достижения максимального сжатия.

В итоге ослабляется и ударное производство энтропии. Наши неизэнтропические аналоги инвариантов Риманна стремятся к изэнтропическим классическим римановским инвариантам и далее при разлёте:

$$\{Bel\} \quad U \pm fD \equiv U \pm 2D/(\gamma - 1)$$



$$U \pm 2a/(\gamma - 1) \equiv U \pm fa \quad \{Riem\}$$

Таков "парадокс захлопнутой книги".

Краткая хронология публикаций

1859 B. Riemann: Dissertation. Римановские инварианты.

1887/89: P.-H. Hugoniot: J. Ecole Polytech. Рассмотренная здесь задача в варианте одного изолированного слоя "между молотом и наковальней"

1933 A. Eddington: Protoimploding Universe (in Cambridge lecture)

1956 C. Evans, and E. Evans (S.Ulam LASL group): J. of Fluid Mechanics. n.1.

Задаче Гюгоньо придано особое изящество.

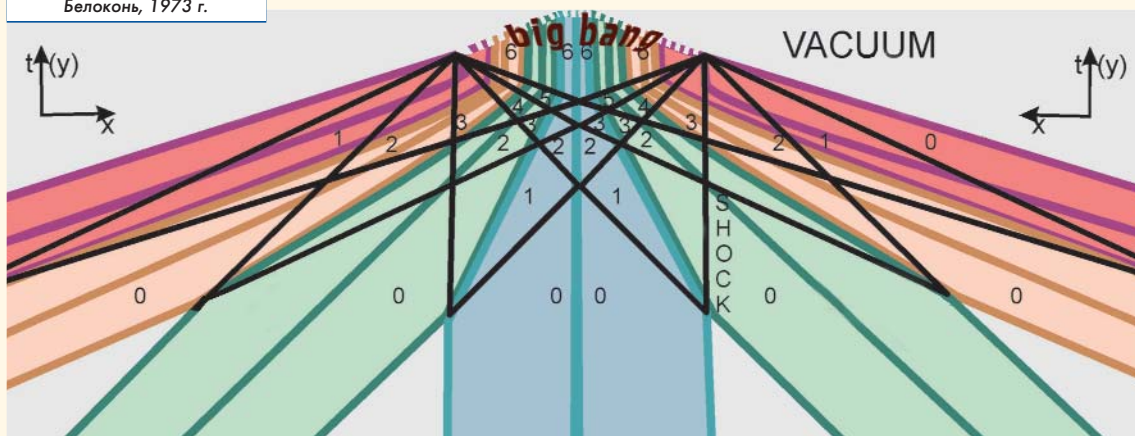
1973 Доклад автора на семинаре НИИЯФ МГУ. "Каждый из N слоёв эволюционирует по Гюгоньо, будучи стиснут идентичными соседями" Представлено в ДАН Рояльдом Сагдеевым ("пространственный барьер" не упомянут).

1983 В.А. Белоконь: ДАН СССР №1 О реализуемости плоской имплозии.

Сердечно благодарен Адольфу Буземану за совет [1975 г.] по уточнению задачи. С приведённым здесь "красивым решением" он поздравил автора. Признателен Жану Бюргеру за указание на возможность интересных и новых приложений этой задачи, а также Михаилу Баско и Вере Барышевой за расчёты с реальным уравнением состояния; Валентину Битюрину, Дмитрию Боеву, Владимиру Лунёву, Роберту Нигматулину, Анатолию Фоменко и Виктору Чепкину за стимулирующий интерес.



Связь с автором:
kancelaryariya@ocean.ru



	$U=3\Delta u$
	$U=2\Delta u$
	$U=\Delta u$
	$U=0$



РЕКЛАМА

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**

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ.

ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ ГРАНИЧНОЕ УСЛОВИЕ СОПРОВОЖДЕНИЯ И НОВАЯ ПОСТАНОВКА КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ВЯЗКОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

Впервые сформулировано новое граничное условие "сопровождения" на оси вязкого сжимаемого потока для внутренних течений в камерах сгорания и соплах. Дана математическая формулировка краевой задачи для вязкого сжимаемого ламинарного течения жидкостей и газов в камерах сгорания, соплах РД и каналах с внутренними течениями.

The new boundary conditions of "the following" on the axis of the viscous compressible flow were first stated for internal flows in the combustion chambers and nozzles. The mathematical formulation of the boundary-value problem for the viscous compressible laminar flow of fluids and gases in the combustion chambers and nozzles of rocket engines and internal-flow channels was given.

Ключевые слова: турбулентность, краевая задача, граничные условия, вязкость, сжимаемость.

Keywords: turbulence, boundary-value problem, boundary conditions, viscosity, compressibility.

В предыдущей работе [1] были получены новые уравнения пограничного слоя, принципиально отличающиеся от уравнений, используемых в настоящее время при расчетах внутренних и внешних пристенных течений вблизи криволинейных шероховатых стенок. Основная идея новых уравнений при их выводе заключалась в том, что первоначально было использовано векторное уравнение Навье-Стокса без каких-либо упрощений, если они не были связаны со строгими математическими правилами. Математические преобразования делались на базе теорем и доказанных утверждений. Это дало возможность получить векторное уравнение для пристенного вязкого потока вблизи внутренних поверхностей стенок ракетных двигателей и в принципе любых других каналов.

Как уже говорилось, предшествующий подход к решению таких задач, где поток разделялся, является неправильным в силу многочисленных некорректных допущений. Полученные новые вязкие уравнения для непрерывных полей, описывающие, в том числе подробно пристенные течения, позволяют теперь правильно сформулировать постановку задачи.

Итак, ранее автором было показано, что вблизи стенок камеры, а также на всем пространстве сверхзвуковой области сопла двигателя, начиная от критического сечения, да и в общем случае, начиная с сечения, где параметры потока принимают критические значения и далее их превышают, поток всегда ламинарный. Этот поток описывается векторным уравнением Навье-Стокса для ламинарного течения [2]. После преобразования для стационарного случая математически он может быть описан более простым векторным уравнением:

$$\bar{V} \text{grad} \bar{V} + \frac{1}{\rho} \text{grad} P + \frac{4}{3} \frac{\nu}{\rho a^2} \text{grad}(\bar{V} \text{grad} P) = 0.$$

Координаты S и η внутри этого уравнения, привязанные к внутренней поверхности стенки двигателя, по-прежнему остаются теми же и справедливы для описания осесимметричной пристенной области. Для постановки задачи записанному уравнению не хватает граничных условий. Очевидно, что кроме этих условий, наложенных в данном случае на скорость, необходимо также привести в соответствие количество уравнений и количество неизвестных. Действительно, например, для осесимметричного случая, требуется, применительно к двигательным задачам, по крайней мере, четыре уравнения, так как четыре неизвестных. Это две проекции скорости V_s и V_η , а также давление P и плотность ρ . Поэтому для замыкания системы добавляем уравнение энергии, нап-

пример, по аналогии с потенциальным случаем в соответствии с теоремой Крокко, в виде постоянства энтропии ($dS = 0$) и дифференциальное уравнение неразрывности Даламбера [3]. Вот теперь, если каким-то образом получить аналитически неявную зависи-

мость для системы из двух уравнений относительно скоростей, допустим, что это можно сделать, а численно - это точно можно, то получим два уравнения в частных производных второго порядка относительно V_s и V_η или одно векторное уравнение, подобное уже написанному выше.

Теперь можно ставить граничные условия. Понятно, что их должно быть четыре, так как уравнений два и порядок - второй (четыре). Но прежде, чем перейти к их написанию, процитируем двух классиков.

У.Г. Пирумов: "Нетривиальным является задание граничных условий при течении газа в соплах". Ю.Д. Шевелев: "Одна из основных трудностей при решении... системы уравнений заключается в... граничных условиях...". Эти фразы говорят о неблагополучии в разрешении систем газодинамических уравнений. Каждый раз нужно последовательно решать очень трудную противоречивую задачу - находить адекватные математические представления физическому явлению. Трудность заключается еще и в том, что, к сожалению, иногда из-за недостатка знаний физических процессов ставятся абсолютно нефизические условия на неправильные уравнения. Например, условие непротекания на уравнение Эйлера в решении задачи о сопле. Это условие поставлено не из-за хорошей жизни. Это досадная необходимость.

Краевая задача. Условие на стенке

Известно, что при изучении течений в двигателе решаются практически все типы задач математической физики: задачи Коши, краевые и смешанные задачи. Задача, в которой определяется поле течений, сводится в общем случае к краевой задаче. При этом на границе исследуемой области решения, ставятся граничные условия как на жесткой стенке, так и на границах, через которые поток втекает и вытекает. Как правило, на жесткой стенке, в



Даламбер

области сильных воздействий вязкости, где градиенты очень большие, традиционно ставятся граничные условия Прандтля. Это условия прилипания. Гипотеза Прандтля о том, что поток прилипает к стенке, строго говоря, не доказана теоретически, но практически экспериментальные доказательства делают эту гипотезу весьма убедительной.

Доказательства, построенные с помощью молекулярно-кинетической теории также строятся на предположениях, и, в общем случае, могут только подтверждать правомочность использования полученных результатов при практических расчетах. Крупный ученый, специалист в области тепломассообмена, профессор, доктор технических наук, лауреат Ленинской премии Валентин Яковлевич Лихушин в своей замечательной монографии [4] весьма убедительно показывает правильность



В.Я. Лихушин

рассуждений Л. Прандтля. Располагая знаниями характеристик взаимодействия молекул газа со стенкой, связанных с изменением момента количества движения и энергии каждой молекулы, Лихушин вводит осредненные параметры отражения частиц и коэффициенты аккомодации. На основании анализа классических опытов он показывает, что диффузно отраженные молекулы не сразу отскакивают от стенки, а сначала внедряются в нее и остаются там на некоторое время, за которое происходит обмен энергиями и количествами движения. При этом молекула приспосабливается к условиям стенки, аккомодирует. На этом эффекте построена теория прилипания. Действительно, рассматривая детально скорости молекул между двумя стенками с учетом диффузного отражения, путем преобразования показывается, что на стенке возникает скачок скорости, представляющий собой разность между скоростью на стенке u_s и скоростью движения самой стенки u_0 , который будет пропорционален поперечному градиенту:

$$u_{\text{ск}} = u_s - u_0 \sim \frac{du}{dy}.$$

Для разреженных газов этот скачок может оказаться достаточно ощутимым. Но в обычной газовой динамике характерная длина свободного пробега l достаточно мала в сравнении с характерными линейными размерами задачи L , поэтому скачком скорости газа на стенке можно пренебречь, считая его равным нулю. В этом - смысл теории прилипания. Весь имеющийся опыт физического и численного экспериментов убеждает в правильности такого вывода.

Граничные условия прилипания, выдвинутые Прандтлем, являются на сегодняшний день самым понятным условием для вязких краевых задач. Но это условие предполагает не только равенство нулю тангенциальной, параллельной стенке скорости течения. Это условие также означает и равенство нулю всех других составляющих абсолютной скорости:

$$\eta = 0; \vec{V} = 0.$$

Следует отметить, что условие $\eta = 0$; $V_\eta = 0$ также удовлетворяет условию прилипания. Последнее условие по инерции, а скорее в силу невозможности поставить другое, ставится при решении невязкой задачи. Понятно, что это только совпадение. В последнем случае эффект прилипания совпадает с так называемым искусственно введенным условием непротекания.

Что касается условия прилипания, то в феноменологической постановке они могут быть заменены некоторыми условиями проскальзывания, но повторимся, что физический эксперимент, относящийся к обычным условиям течения, определенно говорит в пользу условия прилипания. Исключения составляют только весьма разреженные газы.

Задание граничных условий на оси симметрии

При решении уравнений, описывающих течение внутри ракетного двигателя (камеры и сопла) требуется помимо условий на твердой стенке задать граничные условия для всей остальной области решения, в том числе на свободных границах. К ним относятся поверхности втекания и вытекания потока из рассматриваемой области. Так называемые открытые границы. Задание граничных условий на этих поверхностях можно считать дополнительными условиями. Как правило, поперек этих поверхностей задаются расходы или эпюры скоростей на входе. Часто для этих областей в практических задачах задаются условия по температурам, концентрациям, давлениям. При необходимости на поверхности можно задать шероховатость, но строго говоря, в математическом понимании постановки задачи, эти условия не являются граничными, они скорее описывают свойства области или поверхности обтекаемой стенки.

Часто в литературе встречаются условия, претендуемые на граничные в этих областях, построенные при использовании не точных, а асимптотических приемов. Такие условия называют "мягкими". При этом, искусственно задают на краях области нулевые производные вместо конечных реальных. Например, при решении задачи пограничного слоя считается, что вязкий поток у стенки без излома переходит в основной, центральный. Или также считается, что значение скоростей вдоль границы пограничного слоя в точности совпадает со значениями, полученными при невязкой постановке.

Часто так называемые "мягкие" условия используются при задании граничных условий на входе в сопло [5]. Изначально рассматриваются нестационарные течения. Эти условия в данном случае представляются в виде некоторых дифференциальных связей, наложенных на продольное и поперечное распределения скоростей или задаются в виде неких газодинамических параметров. При этом решение ведется опять же по неким выстроенным итерационным слоям. При этом предполагается, что представленные таким образом граничные условия будут эволюционизировать к своему стационарному значению.

Существует несколько вариантов постановок краевых задач, в том числе, когда граничные условия задаются на характеристиках. Такие задачи в честь великого французского математика Эдуарда Жана-Батиста Гурса, называются задачами Гурса. Часто в качестве граничных условий на входе эта задача решается для сверхзвуковых сопел. Кроме того, на базе этой задачи построен метод решения обратной задачи теории сопла.

Традиционная задача, которая в настоящее время решается на базе уравнения Эйлера, помимо первого граничного слоя (на стенке) предполагает и второе граничное условие на оси сверхзвукового сопла. Это второе граничное условие называется условием симметрии. В данной постановке еще в качестве начальных условий распределения параметров потока задаются результаты расчета по одномерной теории. При этом считается, что радиальная скорость на оси сопла равна нулю, а далее поперек сопла она задается линейной. Эта традиционная постановка задачи по-прежнему страдает серьезными упрощениями как по части используемого в расчетах "невязкого" и "несжимаемого" уравнения Эйлера, так и по части граничных условий, которые не приспособлены для описания этих фундаментальных свойств течений (вязкость, сжимаемость). Поэтому при внимательном анализе данная постановка кажется искусственной. Совершенно очевидно, что она имеет только методологическую ценность и требует дальнейшего внимательного рассмотрения на предмет корректности.



Э.Ж.-Б. Гурса

Постановка краевой задачи о течении вязкого сжимаемого газа в камерах сгорания и соплах ракетных двигателей

Анализ литературы показывает, что в настоящее время отсутствует четкая постановка краевой задачи о течении вязкой сжимаемой подвижной среды в условиях проточного тракта РД. Все известные постановки базируются на уравнении Эйлера с использованием "невязких" граничных условий. Задачи на базе уравнений Рейнольдса не являются корректными. Но! Если взять за основу известные наработки по так называемому идеальному, совершенному, ... газу, то можно, используя свойства реального газа, поставить новую краевую задачу, учитывающую перечисленные свойства.

Для ламинарного случая воспользуемся уравнением, записанным в вводящей части. Умышленно не будем затрагивать область турбулентного течения внутри камеры сгорания, так как при постановке граничных условий для этого случая (турбулентного) они будут, безусловно, несколько скорректированы. Это дальнейшая работа и она потребует своих специальных объяснений физических процессов.

Итак, считаем, что реализуется для всего ракетного двигателя только ламинарное течение и в камере и, тем более, в сверхзвуковом сопле. При этом расчетная область остается прежней. Она ограничена стенками камеры и сопла, осью камеры и входным и выходным сечениями. Не забывая о дополнительных условиях, описанных несколько раньше, и "мягких" граничных условиях на входе запишем основные четыре условия на границах. Первое - это условие прилипания у стенки: $y = r_w; V_{||} = 0$. Второе условие, как условие на оси, запишется с использованием особенностей вязкого потока. Очевидно, что вязкое воздействие двух соседних линий тока, расположенных вдоль оси, и касающихся ее, не приведет к появлению разности их продольных скоростей. Вдоль линий тока у оси скорости будут одинаковы. И совершенно очевидно, что трение линий тока друг о друга будет равно нулю. Вот - главная идея постановки второго граничного условия: трение между соседними линиями тока равно нулю. Частицы газа на линиях тока как бы сопровождают друг друга. И тогда можно записать: $y = 0; dV_0/dy = 0$. То есть производная продольной скорости по нормальной координате на оси равна нулю.

Третьим условием будет условие равенства нулю нормальной к стенке скорости (аналог условия непротекания). Четвертым условием - условие симметрии на оси. Оно такое же, как условие для "идеальной" жидкости: перпендикулярная оси скорость на самой оси равна нулю.

Таким образом, краевая задача поставлена. Векторное уравнение для ламинарного случая записано и граничные условия прилипания (для стенки) и сопровождения (для оси) определены. Теперь расчет для ламинарного случая можно проводить. Но! Поскольку ламинарный случай течения в двигателе реализуется не везде и не всегда, следует ограничить его от возможных областей появления турбулентного течения. Сразу оговоримся, не того традиционного рейнольдсовского турбулентного течения с непонятными пульсациями, а турбулентного течения, отражающего физический смысл и связанный с детерминированным взглядом на природу вещей. А это значит, что турбулентность это не просто "буль-буль", а последовательность усложняющихся регулярных когерентных структур. Не загромождая текст ссылками на работы автора, еще раз зафиксируем последовательность этих усложняющихся конфигураций турбулентного течения, представляющих из себя каждый раз очень стабильную, устойчивую конструкцию потока в зависимости от возрастания числа Рейнольдса. Все начинается с ламинарности ($Re \sim 0$). Далее при $Re \uparrow$ появляются последовательно друг за другом волны Толмина-Шлихтинга, градиентные волны Кельвина-Гельмгольца, вихри Тейлора-Гертлера, торсионные жгуты и, наконец, после долгого "матия" газа, когда скорость достигает скорости звука при критических условиях, то есть тепловой скорости, вновь приходим к ламинарному течению. И уже далее в сверхзвуке реализуется только (!) ламинарное течение, а вся турбулентность в сверхзвуке проявляется через ударные волны. Да-

лее для анализа выделим момент, когда может возникнуть турбулентность. Первые предпосылки - это волны Толмина-Шлихтинга. Поэтому будем считать их начало границей ламинарного слоя в соответствии с сформулированной выше задачей. То есть отсечем этой границей область турбулентного течения. Саму границу - место начала течения Толмина-Шлихтинга, рассчитаем в соответствии с работой [6], где представлена зависимость.

$$Y = \frac{1}{\kappa} \sin \kappa x + c,$$

где Y и x - координаты разделительной линии; κ и c - постоянные величины.

Воспользуемся также решением Толмина, дающем зависимость для скорости потока на этой границе, которая отделяет ламинарный слой [7]. При этом пока не будем менять оригинальное обозначение параметров:

$$\left(\frac{u_\infty \delta_1}{\nu} \right)_{кр} = 950.$$

Далее, если появится необходимость в расчете пограничного слоя, возможно будет единообразно, в одних обозначениях, представить данное соотношение. В настоящем случае это не является главной задачей, а лишь иллюстрацией возможностей. И еще. Если при расчетах не требуется самого газового поля внутри пристенного слоя, а необходимо знать только производную на стенке

$$\left(\frac{du}{dy} \right)_w,$$

например расчета трения и теплообмена, то решение задачи на этом можно остановить. 

Литература

1. Ю.М. Кочетков. Турбулентность на шероховатых стенках и новые фундаментальные уравнения пограничного слоя // Двигатель № 3, 2015 г.
2. Ю.М. Кочетков. Турбулентность сверхзвуковых течений. Памяти Гилевича // Двигатель № 1, 2013 г.
3. К. Кузов. Мир без форм // М. Мир, 1976 г.
4. В.Я. Лихушин. Теория теплообмена // М. Центр Келдыша, 1998 г.
5. А.М. Губертов, В.В. Миронов, Р.Г. Голлендер и др. Процессы в гибридных ракетных двигателях // М. Наука, 2008 г.
6. Ю.М. Кочетков, Н.Ю. Кочетков. Турбулентность. Волны Толмина-Шлихтинга // Двигатель № 1, 2014 г.
7. Г. Шлихтинг. Теория пограничного слоя // М. Наука. 1974 г.

Связь с автором: swgeorgy@gmail.com



ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ КУРСКОВ

РОДОНАЧАЛЬНИК СОВРЕМЕННЫХ РДТТ

22 сентября в возрасте 85 лет скоропостижно скончался один из родоначальников создания современных двигателей на твердом топливе для боевых стратегических ракет Павел Сергеевич Курсков. С самого начала своей яркой творческой деятельности, сначала конструктором, инженером-экспериментатором, а потом на руководящих должностях, вплоть до заместителя главного конструктора, Павел Сергеевич принимал непосредственное участие в проектировании и отработке двигательных установок для ряда боевых ракет, в том числе "Темп-С", "Темп-2С", "Пионер" и др. При его непосредственном участии был отработан и внедрен ряд принципиально новых конструкций: прочноскрепленные заряды из смесевых твердых топлив, корпуса из композиционных материалов, включая "кокон", сопловые блоки с использованием эрозионностойких материалов на основе угле- и стеклопластиков, новые органы управления вектором тяги, в том числе поворотное управляющее сопло.

Павла Сергеевича как пытливого исследователя и государственного человека, прежде всего, интересовали вопросы надежности двигателей, ответы на которые он находил на полигонах, в лесах и болотах, куда садились поисковые вертолеты в надежде обнаружить бесценные обломки изделий, дающие самую правдивую информацию.

В 1978 г. Павел Сергеевич Курсков был назначен заместителем директора НИИ тепловых процессов (Центра Келдыша). В это время оборонная твердотопливная тематика переживала нелегкие времена. Участились неудачи при отработке двигательных установок ракет "65", "44" и др. Высокий профессионализм, трудолюбие, организаторские способности, умение мобилизовать людей, целеустремленность позволили в короткий срок сплотить коллектив на решение этих проблем. Руководя коллективом, одновременно вместе с ним принимал самое активное участие в проектировании, отработке и анализе рабочих процессов, экспериментальных и расчетных исследованиях, обеспечивающих создание двигательных установок ракет "65", "44", "60", "61" и "91".

Павел Сергеевич не был кабинетным руководителем, он зачастую выезжал на полигоны для непосредственного участия в анализе результатов испытаний. Для него не было незначительных вопросов в технике. Знание изделия до мельчайших его деталей позволяло вовремя и в нужном направлении корректировать дальнейшую работу. Все это при ограниченном числе наземных испытаний в сжатые сроки позволяло сдавать в серийное производство двигательные установки ракетных комплексов.



Павел Сергеевич работал в тесном контакте с такими видными деятелями науки и техники, как Виктор Петрович Макеев, Владимир Федорович Уткин, Лев Николаевич Лавров и другими, и пользовался их заслуженным авторитетом. Так, Виктор Петрович Макеев всегда прислушивался к мнению Павла Сергеевича, относился к нему с доверием и большим уважением. Знание и эрудиция, честность и объективность, прямота и смелость суждений Павла Сергеевича снискали ему уважение и признание в отрасли. Он всегда руководствовался интересами дела, болел за него, был его патриотом. Он из числа тех, кто внес заметный вклад в становление ракетной техники. Целый ряд технических решений, внедренных им в маршевые РДТТ до настоящего времени применяются и в перспективных разработках. Большое внимание он уделял подготовке научных и инженерных кадров.

За плодотворную работу Павел Сергеевич был удостоен государственных наград: ордена Трудового Красного Знамени, медалей "За трудовое отличие" и "За доблестный труд". За комплекс научных разработок и внедрение рекомендаций в практику КБ отрасли Павлу Сергеевичу в 1984 г. присуждено звание Лауреата Государственной премии, а позднее, в 1992 г. - звание Заслуженного Машиностроителя Российской Федерации.

В последние годы Павел Сергеевич работал в Центре Келдыша, обобщая материалы по уже разработанным и перспективным ракетным двигателям на твердом топливе (закон уноса ТЗП "корень из тау", ГОСТ по надежности и др.). Обеспечивал работу Совета по РДТТ, созданного по его инициативе Министерством общего машиностроения. Этот Совет по сей день объединяет специалистов по двигателестроению всей страны и является местом формирования новых направлений по совершенствованию ракетной техники.

Огромная невозвратная потеря в связи с его кончиной заставляет с горечью склонить свои головы перед этим замечательным человеком, сохраняя память о нем. Коллеги, друзья и единомышленники скорбят и выражают глубокие соболезнования его родным и близким.



НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ С ПОЗИЦИЙ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ: ТЕОРИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ, ПЕРСПЕКТИВЫ

ГНЦ ФГУП "Центральный Институт Авиационного Моторостроения им. П.И. Баранова (ЦИАМ)"

Михаил Яковлевич Иванов, главный научный сотрудник, д. ф.-м. н.,
Вадим Константинович Мамаев, старший научный сотрудник, к. ф.-м. н.,

Первая часть настоящей статьи посвящена изложению ключевых положений теории низкоэнергетических ядерных реакций (НЭЯР). Предложена и обоснована интегральная полуэмпирическая модель НЭЯР, построенная на анализе дефекта массы исходных и конечных продуктов сгорания. Наряду с интегральной рассмотрена дифференциальная теория НЭЯР, основанная на законе Авогадро и уравнениях сохранения массы, импульса и энергии. Наша интегро-дифференциальная теория всецело опирается на основы классической ядерной физики, законы термодинамики и экспериментальные факты. Важным преимуществом предложенной теории является возможность рассчитывать количество выделяемой тепловой энергии и рекомендовать новые составы исходных компонент для НЭЯР со сравнительными оценками их термической эффективности. С целью подтверждения теории дан обзор и анализ экспериментальных результатов, полученных к настоящему времени по НЭЯР. Во второй части статьи представлено мнение специалистов и экспертов по открывающимся широким возможностям практического применения НЭЯР в перспективной теплоэнергетике и на транспорте.

The first part of this article outlines the key provisions of the theory of low-energy nuclear reactions (LENR). Proposed and validated semi-empirical integral model LENR based on analysis of the defect of mass of the initial and final products of combustion. Along with considered integral differential theory LENR based on Avogadro's conception and the equations of conservation of mass, momentum and energy. Our integro-differential theory is fully based on the base parts of classical nuclear physics, the laws of thermodynamics and experimental facts. An important advantage of the proposed theory is able to count the amount of generated heat and to recommend new compositions for component LENR with comparative estimates of their thermal efficiency. To confirm theory a review and analysis of the experimental results obtained to date LENR. In the second part of the article presents the opinion of specialists and experts by opening wide possibilities of practical application of promising LENR for used at power and transport.

Ключевые слова: низкоэнергетические ядерные реакции, теория, эксперимент, перспективы.

Keywords: low-energy nuclear reactions, theory, experiment and prospects

Низкоэнергетические ядерные реакции (НЭЯР) - разновидность ядерных реакций, связанных с процессом изменения изотопного состава исходных компонентов топлив. Изменение изотопного состава начинается при достижении температур 1200...1400 К и может контролироваться поддержанием соответствующего теплового режима. Процессы НЭЯР существенно отличаются от традиционного ядерного синтеза элементов, так как происходят при достаточно низких (по термоядерным меркам) значениях температуры и энергии протекающих реакций. Специально подчеркнем, что анализируемые нами процессы НЭЯР связаны, в основном, с изменением изотопного состава исходных компонент без синтеза новых элементов. Система НЭЯР потенциально в 4000 раз превосходит энергетическую плотность химических источников энергии. При этом отсутствуют как эмиссия вредных веществ, так и радиоактивное излучение, что делает применение НЭЯР исключительно многообещающим.

Возможность протекания подобных реакций со значительным выделением тепла была продемонстрирована И.С. Филимоновым в 50-х годах прошлого столетия. На созданной под его руководством опытной термоэмиссионной гидролизной установке при использовании металлического катода, содержащего палладий, происходил электролиз тяжелой воды. Установка генерировала избыточное тепло, причем было подтверждено отсутствие при ее работе вредного радиоактивного излучения. Аналогичная термоэмиссионная гидролизная установка была разработана Флешманом и Понсом [1]. Американские специалисты историю начала развития НЭЯР относят к этой работе, опубликованной в 1989 году. С тех пор проведен значительный объем исследований по развитию теории и созданию рабочего реактора [2]. В плане теоретических изысканий отметим теорию Видома - Ларсена [3], основанную на стандартной модели и обычной физике.

Достаточно полный обзор (с 1989 г.) работ по тематике НЭЯР, называемой также в отечественной литературе холодной трансмутацией ядер, можно найти в статье А.Г. Пархомова [4] и на сайте

<http://lenr.seplm.ru>. Здесь мы только подчеркнем выдающиеся последние достижения в этом направлении - экспериментальный теплогенератор А. Росси [5,6] и его аналог, созданный А.Г. Пархомовым [7]. Оба упомянутых теплогенератора НЭЯР используют в качестве топлива порошок никеля Ni (порядка 1 г), смешанный с порошком алюмогидрида лития LiAlH₄ (порядка 0,1 г). Следует особо отметить, что работоспособность теплогенератора А. Росси была подтверждена в 2014 г. специальной комиссией, подготовившей и опубликовавшей в октябре прошлого года соответствующий отчет [8,9]. В плане теоретических объяснений мы считаем полезным упомянуть также физическую модель процесса, предложенную в статье Н.Д. Кука и А. Росси [6]. Суть данной модели состоит в захвате изотопом лития ⁷Li протона (т.е. в синтезе бериллия ⁸Be) и последующим распадом синтезированного бериллия на две альфа частицы с высокой кинетической энергией (без наличия гамма радиации). Однако реализация такого процесса должна быть существенно затруднена необходимостью преодоления кулоновского барьера протоном. В последнее время эксперименты, повторяющие результаты Росси-Пархомова, были неоднократно успешно повторены и в России [10,11] и за рубежом [12]. Дополнительно с обсуждением вопросов НЭЯР в научной и научно-популярной литературе можно ознакомиться, в частности, по публикациям [13-15].

$E=mc^2$, закон Авогадро и дефект массы

Давайте исходить из основ физики начала XX века: из плодотворных идей М. Планка, А. Эйнштейна и Л. Де Бройля. Запишем известное фундаментальное соотношение для энергии

$$E = mc^2 = h\nu \approx kT, \quad (1)$$

связывающее её с массой m , частотой ν и температурой T через скорость света в вакууме c , постоянные Планка h и Больцмана k . Последнее приближенное равенство в (1) выполняется в окрестности максимума распределения Планка для плотности излучения абсолютно черного тела и представляет собой фактически закон смещения Вина.

Основополагающим экспериментальным фактом для нас будет регистрация температуры Космического Микроволнового Фонового Излучения (КМФИ), равная $T_0=2.73$ К [16-19]. До момента открытия конечной величины температуры КМФИ предполагалось, что значение температуры в вакууме открытого космоса равно нулю и из соотношения (1) следовало естественное значение нулевой массы фотона. Однако аккуратно зарегистрированное значение $T_0=2.73$ К позволяет определить конечную массу m при условии термодинамического равновесия между КМФИ и материальной субстанцией, а именно,

$$m \approx [kT_0/c^2 = 4.25 \cdot 10^{-40} \text{ кг}] \quad (2)$$

Умножим (1) на величину концентрации n материальной субстанции

$$n \cdot mc^2 \approx n \cdot kT$$

и приходим к уравнению состояния совершенного газа

$$p \approx \rho c^2 \approx nkT. \quad (3)$$

Здесь $\rho = n \cdot m$ - плотность, p - давление. Соотношение (3) суть математическая форма известного закона Авогадро. Таким образом, мы продемонстрировали, что при конечной (ненулевой) температуре рекомендации М. Планка, А. Эйнштейна и Л. Де Бройля, выраженные с помощью соотношений (1), приводят к закону Авогадро (3) и дают "нижнюю" оценку энергии E при температуре $T_0 = 2.73$ К. При этом определяется также масса частицы материальной субстанции (ранее данная материальная субстанция называлась эфиром, в настоящее время используют словосочетание "физический вакуум"). Таким образом, мы фактически отождествляем виртуальные излучающие резонаторы Планка в его знаменитой формуле излучения абсолютно черного тела реальными частицами с конечной массой (2), оставляя за ними свойства излучения. Рассматривая эти частицы-резонаторы в форме классических диполей Герца и используя для них распределение Максвелла-Больцмана по скоростям, приходим к описанию распределения плотности их излучения по известной формуле Планка.

Подчеркнем еще раз, что в приближенных соотношениях (1-3) величина $c=2.998 \cdot 10^8$ м/с представляет собой скорость света в свободном пространстве, которую можно отождествлять со скоростью распространения слабых возмущений в космосе. Перепишем (2) в форме

$$c^2 \approx k/m \cdot T_0 = RT_0, \quad (4)$$

которая демонстрирует приближенное выражение для квадрата скорости распространения возмущений c в газообразной среде с массой частиц m , газовой постоянной $R=k/m$ и температурой T_0 . В частности, аналогичная (4) формула предложена была И. Ньютоном (в виде $c^2=p/\rho$, где p - давление и ρ - плотность) для расчета скорости звука в воздухе [20]. Затем эта формула была уточнена Лапласом и записана в виде $c^2=\gamma p/\rho$, где γ - показатель адиабаты, для скорости звука [20]. Сказанное показывает важную аналогию соотношения (1) с выражениями для скорости распространения возмущений в газообразных средах.

Ключевым вопросом при изложении теории будет также величина дефекта массы Δm , определяемая как разность между суммой масс нуклонов, составляющих ядро данного нуклида, и массой атомного ядра этого нуклида

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A-Z) \cdot m_n - m_{\text{я}}$$

где Z - зарядовое число, A - массовое число ядра, m_p - масса протона, m_n - масса нейтрона, $m_{\text{я}}$ - масса ядра. С дефектом массы неразрывно связана величина энергии связи ядра $E=\Delta m \cdot c^2$. На рис. 1 приведена кривая зависимости удельной энергии связи E_u от массового числа A , характеризующая различную прочность связей нуклонов в ядрах разных химических элементов. Удельной энергией связи ядра E_u называется энергия связи, приходящаяся на один нуклон. Ядра элементов в средней части периодической системы наиболее прочны. В этих ядрах удельная энергия связи близка к 8,7 МэВ/нуклон. По мере увеличения числа нуклонов в ядре удельная энергия связи убывает.

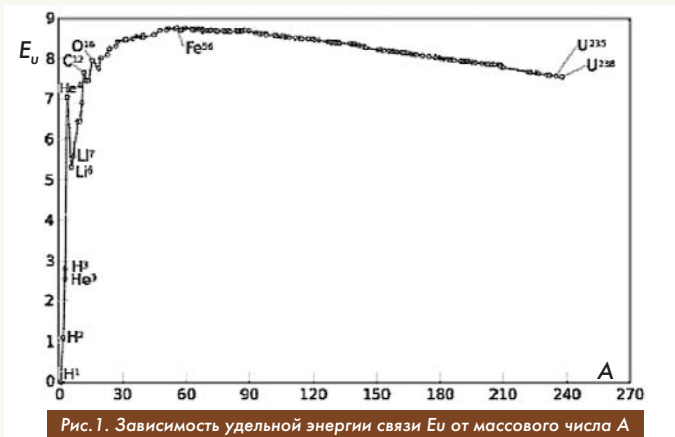


Рис. 1. Зависимость удельной энергии связи E_u от массового числа A

При практическом вычислении Δm массы всех частиц и атомов выражаются в атомных единицах массы (а.е.м.). Одной атомной единице массы соответствует атомная единица энергии (а.е.э.): 1 а.е.э. = 931,5016 МэВ. На рис. 1 выделены изотопы водорода и лития, атомные массы которых фигурируют далее в нашей интегральной полуэмпирической модели НЭЯР.

Интегральная полуэмпирическая модель НЭЯР

Рассматриваемая в настоящей работе физическая модель НЭЯР следует непосредственно из анализа дефекта массы исходных и конечных компонент протекающей реакции. Продемонстрируем её основные особенности, исходя из аккуратно замеренного состава изотопов лития и никеля, использованного в качестве топлива в экспериментах Росси - Пархомова [5-7]. При этом анализируем Таблицу 1, цитируемую из публикаций [8,9].

Таблица 1. Изотопный состав лития и никеля в исходном и отработавшем топливе (%), измеренный методами ToF-SIMS и ICP-MS, а также природное соотношение изотопов в этих элементах.

	Исходное топливо		Отработавшее топливо		Природа
	ToF-SIMS	ICP-MS	ToF-SIMS	ICP-MS	
${}^6\text{Li}$	8,6	5,9	92,1	57,5	7,5
${}^7\text{Li}$	91,4	94,1	7,9	42,5	92,5
${}^{58}\text{Ni}$	67	65,9	0,8	0,3	68,1
${}^{60}\text{Ni}$	26,3	27,6	0,5	0,3	26,2
${}^{61}\text{Ni}$	1,9	1,3	0,0	0,0	1,8
${}^{62}\text{Ni}$	3,9	4,2	98,7	99,3	3,6
${}^{64}\text{Ni}$	1		0		0,9

В конечном составе отработавшего топлива имеем изотоп ${}^6\text{Li}$ в количестве 92,1% (либо 57,5% при измерении другим методом). В исходном топливе он имел 8,6% (в природе 7,5%). Изотоп никеля ${}^{62}\text{Ni}$ в отработавшем топливе составляет около 99% (в природе 3,6%). Отмеченный состав изменения компонент показывает "выгорание" изотопа ${}^7\text{Li}$ и преобразование изотопов никеля ${}^{58}\text{Ni}$, ${}^{59}\text{Ni}$, ${}^{60}\text{Ni}$ и ${}^{61}\text{Ni}$ в изотоп ${}^{62}\text{Ni}$. Процесс выгорания изотопа лития ${}^7\text{Li}$ характеризуется потерей одного нейтрона, который захватывается никелем. При этом в процессе своего перехода нейтрон "испаряет" часть массы в форме частиц теплового излучения (с массой (2)), кинетическая энергия которых представляет собой выделяемое тепло.

Подсчитаем изменение величины массы (в атомных единицах массы) одного нейтрона, "переходящего" от ${}^7\text{Li}$ к никелю. Разница атомных масс у ${}^6\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}$ есть масса освобождающегося нейтрона $m_n^0 = 7.0161 - 6.0151 = 1.001$ а.е.м., которая имеет величину, большую 1. Подсчитаем массу связанного нейтрона m_n^k в изотопе никеля ${}^{62}\text{Ni}$, масса которого на 4 связанных нейтрона больше массы изотопа ${}^{58}\text{Ni}$. Имеем:

$$m_n^k = (61,92834 - 57,93534) : 4 = 0,9982 \text{ а.е.м.} < 1.$$

В этом процессе получаем величину испаряемого "дефекта массы" на один нейтрон перехода

$$\Delta m = m_n^0 - m_n^k \text{ а.е.м.}$$

и высвобождающуюся "энергию связи"

$$\Delta E = \Delta m c^2 = 0.0028 \cdot 931 = 2.6068 \text{ МэВ.}$$

Выполненный элементарный интегральный расчет дефекта массы показывает, что при переходе одного нейтрона от ${}^7\text{Li}$ к ${}^{62}\text{Ni}$ может выделиться энергия связи в количестве 2.6068 МэВ.

Представим также проведенную оценку выделяемой энергии в несколько иной форме - с использованием представлений "капельных" моделей участвующих в процессе ядер. Запишем процесс в виде суммы масс ядер исходных и конечных продуктов протекающей реакции

$$4\cdot{}^7\text{Li} + {}^{58}\text{Ni} = 4\cdot{}^6\text{Li} + {}^{62}\text{Ni} + 0.0112 \text{ а.е.м.}$$

Выделяемая при этом энергия составляет 10.4272 МэВ.

Дополнительные подтверждения регистрируемого изменения изотопного состава никеля и лития в аналогичных экспериментах можно найти в [21].

Проанализируем теперь, исходя из тех же соображений, работу теплогенераторов НЭЯР типа И.С. Филимонок, реализующих гидролиз тяжелой воды при использовании металлического катода, содержащего палладий. Определим изменение величины массы одного нейтрона, "отрывающегося" от дейтерия. Разница атомных масс дейтерия ${}^2\text{H}$ и протия ${}^1\text{H}$ составляет

$$m_n^0 = 2.14102 - 1.00782 = 1.00623 \text{ а.е.м.}$$

Разность атомных масс соседних изотопов палладия ${}^{106}\text{Pd}$ и ${}^{105}\text{Pd}$ составляет

$$m_n^k = 105.90348 - 104.9508 = 0.9984 \text{ а.е.м.}$$

В данном случае величина "дефекта массы" на один нейтрон перехода равна

$$\Delta m = m_n^0 - m_n^k = 1.00623 - 0.9984 = 0.0079 \text{ а.е.м.}$$

и высвобождающаяся "энергия связи"

$$\Delta E = \Delta mc^2 = 0.0079 \cdot 931 = 7.355 \text{ МэВ.}$$

Суммарный процесс изменения масс участвующих ядер в этом случае может быть представлен также в виде

$${}^2\text{H} + {}^{105}\text{Pd} = {}^1\text{H} + {}^{106}\text{Pd} + 0.0079 \text{ а.е.м.}$$

с выделением энергии в объеме 7.355 МэВ.

Легко заключить из таблицы атомных масс других стабильных изотопов палладия, что реакция "захвата" нейтрона с атомной массой < 1 в этих случаях не реализуется (исключение составляет изотоп палладия ${}^{103}\text{Pd}$, имеющий период полураспада 17 суток).

Вышеизложенные два примера наглядно демонстрируют возможность объяснения эффекта тепловыделения в генераторах типа Филимонок и Росси - Пархомова, рассматривая только изменение атомной массы нейтронов (или участвующих ядер). Освобождающиеся нейтроны с эффективной атомной массой > 1 и захваченные нейтроны с эффективной атомной массой < 1 в принципе объясняют процесс выделения тепла в традиционных терминах высвобождающейся энергии связи. При этом следует допустить возможность уменьшения массы у свободного нейтрона ("испарение" нейтрона) и построить соответствующую модель его структуры. Прежде, чем перейти к подробному "дифференциальному" анализу этого вопроса, изложим с тех же позиций "дефекта массы" возможность применения других составов топлив для теплогенераторов типа Росси - Пархомова.

Рекомендации по возможным другим составам топлив

Приведем два примера возможной замены порошка никеля в теплогенераторах типа Росси - Пархомова. Анализируя атомные массы изотопов других элементов, можно сделать заключение о возможности применения вместо никеля, в частности, железа, а именно изотопов ${}^{56}\text{Fe}$ с атомной массой 55,93493 и ${}^{54}\text{Fe}$ с атомной массой 53,93961. Здесь легко получаем при применении того же лития величину "дефекта массы" на один нейтрон перехода

$$\Delta m = 1.001 - 0.9976 = 0.0037 \text{ а.е.м.}$$

Энергия связи и, следовательно, выделившаяся энергия должна получиться примерно на 20% выше, чем в случае лития и никеля у Росси - Пархомова.

Аналогично, при применении в паре с литием изотопов кремния ${}^{30}\text{Si}$ с атомной массой 29,9737 и ${}^{29}\text{Si}$ с атомной массой 28,9764 величина "дефекта массы" на один нейтрон перехода составит

$$\Delta m = 1.001 - 0.9973 = 0.0037 \text{ а.е.м.}$$

Величина выделяемой энергии примерно на 30% превысит величину в экспериментах Росси - Пархомова.

Приведем примеры возможной замены изотопов лития на изотопы бериллия и магния. Для ${}^9\text{Be}$ и ${}^8\text{Be}$ имеем атомные массы 9,012182 и 8,005305 соответственно. Здесь стабильный изотоп ${}^9\text{Be}$ переходит в нестабильный изотоп ${}^8\text{Be}$ с величиной массы освобождающегося нейтрона $m_n^0 = 1,0069$. Далее следует учитывать нестабильность изотопа ${}^8\text{Be}$ и почти мгновенное его деление на два ядра ${}^4\text{He}$.

На наш взгляд наиболее перспективным "чистым" топливом (при справедливости используемой модели) будет магний, присутствующий на Земле в количестве примерно 2%. Магний имеет три подходящих стабильных изотопа ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{25}\text{Mg}$ и ${}^{26}\text{Mg}$ с соответствующими атомными массами 23,98504; 24,98587 и 25,98259. Теоретически возможно выгорание изотопа ${}^{25}\text{Mg}$ с образованием одновременно изотопов ${}^{24}\text{Mg}$ и ${}^{26}\text{Mg}$. Рассчитываемый при этом "дефект массы" на один нейтрон

$$\Delta m = 1.0008 - 0.9968 = 0.0040 \text{ а.е.м.}$$

Изменение суммарной массы исходных и конечных продуктов запишем также в форме реакции

$$2\text{ }{}^{25}\text{Mg} = {}^{24}\text{Mg} + {}^{26}\text{Mg} + 0.004 \text{ а.е.м.} \quad (3.724 \text{ МэВ}).$$

Процентный состав указанных изотопов магния на Земле известен и составляет соответственно примерно 79%, 10% и 11%. Таким образом, запас изотопа магния ${}^{25}\text{Mg}$ на Земле (около 0,2%) делает его использование весьма перспективным топливом. Естественно, что последнее заключение и рекомендация магния в качестве наиболее подходящего топлива для теплогенераторов типа Росси - Пархомова требуют тщательного подтверждения путем испытаний, аналогичных [5-7]. Нами с целью подтверждения изложенного теоретического подхода и возможности изменения массы нейтрона выполнено специальное экспериментальное подтверждение закона Авогадро и существенной интенсификации теплообмена в условиях технического вакуума [22].

Экспериментальное подтверждение закона Авогадро в условиях технического вакуума

Для дополнительного подтверждения справедливости соотношения (3) и основанного на нем теоретического подхода нами выполнено специальное экспериментальное исследование изменения давления в герметичном металлическом сосуде в условиях технического вакуума (0.02 - 10 миллибар) при изменении температуры в диапазоне от 290 К до 1530 К. Условия вакуума выбраны с желанием исключить влияние различных нежелательных для нас факторов (диссоциации, рекомбинации и др.).

В данном исследовании показано наличие трех характерных областей изменения давления: увеличения давления в соответствии с законом Авогадро в диапазоне роста температуры от 290 К до ~ 700-800 К; падения давления в диапазоне роста температуры от ~ 800 К до ~ 1300 К и вновь интенсивного увеличения давления в диапазоне роста температуры от ~ 1300 К до 1530 К. Ниже также проанализированы возможные причины зарегистрированного характера изменения давления в сосуде с ростом температуры и последующим охлаждением сосуда до начального состояния. При охлаждении сосуда характер изменения давления повторяется.

Нами реализована следующая методология установления достоверности закона Авогадро в условиях низкого и среднего (технического) вакуума. Регистрируется изменение суммарного давления среды в герметичном предварительно тщательно вакуумированном металлическом сосуде при достаточно медленном его нагреве и дальнейшем охлаждении в широком диапазоне изменения температуры (от 290 К до 1530 К). При этом обеспечивается отсутствие нежелательных эффектов внутри сосуда (диссоциации, ионизации и др.). Тепловое излучение рассматривается в приближении совершенного газа [23,24]. Давление p внутри сосуда моделируется как сумма двух парциальных давлений - давления оставшейся воздушной среды p_g и давления теплового излучения p_r . При обеспечении равенства температур этих компонент можно записать для любого значения температуры смеси двух совершенных газов

$$p = p_g + p_r = (n_g + n_r) kT.$$

Вакуумирование сосуда выполнялось двухступенчатым вакуумным насосом VE225N до максимально низкого значения остаточного

го давления (менее 5 Па). Для замера величины давления использованы два типа датчиков: емкостной вакуумный датчик серии VCC200 для точного измерения абсолютного давления в диапазоне от 200 до 0.1 мбар (150-0.1 мм.рт.ст.) и вакуумный манометр Setra Systems (the Model 730, 0-10 torr, со стандартной точностью 0.5% измеряемой величины). В процессе нагрева аккуратно регистрировались давление и температура внутри сосуда.

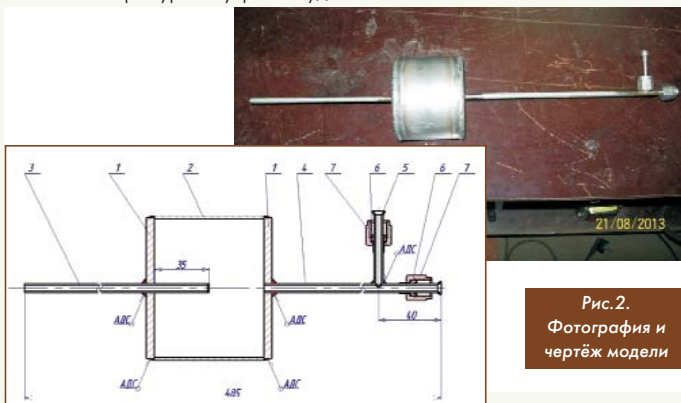


Рис.2.

Фотография и чертёж модели

Исследуемая модель имеет форму цилиндра (рис.2). Боковая поверхность (элемент 2) изготовлена из материала ВЖ-98 толщиной 2мм, торцевые поверхности (элемент 1) - из ВЖ-98 толщиной 5мм. К торцевым поверхностям модели были вварены корпус воздушной термопары (элемент 3) и трубка отбора давления (элемент 4), совмещенная через тройник с трубкой для отбора воздуха (элемент 5). Отношение "холодного" и "горячего" объемов модели составляло 0.4%. В процессе проведения эксперимента измерялись температура наружной стенки модели в 5 точках (3 - на цилиндрической поверхности и по одной на каждом из торцов) и температура среды внутри модели.

На рис. 3, 4 представлены характерные результаты выполненного эксперимента и на рис.5 фотография раскаленной модели при 1530 К.

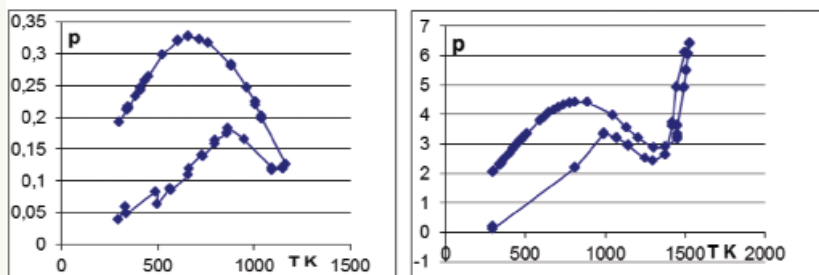


Рис.3. Изменение давления от температуры при $p_0=0.03$ мбар и $p_0=0.11$ мбар (манометр Setra 730)

Следует прежде всего отметить наличие трех характерных участков изменения давления с ростом температуры. Первый участок в диапазоне температур от 290 К до ~ 700 К с хорошей точностью демонстрирует справедливость закона Авогадро. Затем следует участок с существенным уменьшением концентрации находящейся в сосуде среды в диапазоне нагрева от ~700К до 1300К. Третий характерный участок показывает интенсивное увеличение концентрации среды внутри сосуда (при $T > 1300$ К). При охлаждении модели вновь регистрируется последовательное изменение давления и фактическое повторение картины изменения, которая фиксировалась при нагреве.

С помощью дополнительного вакуумирования нагретого сосуда мы рассчитывали свести влияние оставшейся обычной (барионной) газообразной материи до несущественных величин. При справедливости этого обстоятельства результаты экспериментов подтверждают выполнение закона Авогадро для теплового излучения в том же диапазоне температур (от 290 К до ~ 800 К). При дальнейшем нагреве находящейся в сосуде среды наблюдается интенсивное уменьшение концентрации среды, что может быть объяснено адсорбцией среды металлическими стенками сосуда. Явление адсорбции в случае

доминирования излучения имеет место и для фотонов теплового излучения. Заключительный третий из зарегистрированных диапазонов интенсивного роста концентрации может быть объяснен частичным "испарением" вещества с поверхности металлических стенок (в том числе испарением частиц теплового излучения с поверхности нейтронов). В этом случае мы имеем аналог эффекта повышенной теплогенерации Росси-Пархомова.

Элементы дифференциальной модели НЭЯР

Для построения дифференциальной модели НЭЯР приведем более аккуратную оценку массы m_0 носителя теплового излучения (2) с показателем адиабаты $\kappa=4/3$ [25-29]

$$m = \kappa(kT/c^2) = 5.6 \cdot 10^{-40} \text{ кг} \sim 3 \cdot 10^{-4} \text{ эВ.}$$

Термогазодинамическая модель теплового излучения в форме газообразной сжимаемой среды имеет при этом легко определяемую газовую постоянную $R = k/m = 0.25 \cdot 10^{17} \text{ Дж/Ккг}$ и удельные теплоемкости при постоянном объеме C_v и постоянном давлении C_p

$$C_v = 0.75 \cdot 10^{17} \text{ Дж/Ккг}, \quad C_p = 1.0 \cdot 10^{17} \text{ Дж/Ккг}.$$

Записываем также традиционное уравнение состояния газообразной среды $p = \rho RT$ или $p = (\kappa - 1)pe$, где $e = C_v T$ - удельная внутренняя энергия.

Следующим принципиальным моментом нашего анализа будет определение характерного электрического заряда рассматриваемых в форме классического диполя частиц теплового излучения. При наличии такого заряда появляется возможность перейти от виртуальной поляризации физического вакуума [30] к реальной поляризации пространства. Анализ размерности с необходимостью приводит к характерному линейному размеру поляризованного пространства (дебаевскому радиусу экранирования) и характерной частоте (аналогу плазменной ленгмювской частоты). Дополнительными обоснованиями для нашего рассмотрения могут служить известные экспериментальные факты поляризации вакуума, наличия тока смещения, вектора потока энергии (вектора Умова-Пойнтинга), явлений электромагнитной индукции и самоиндукции. Структура частиц в форме

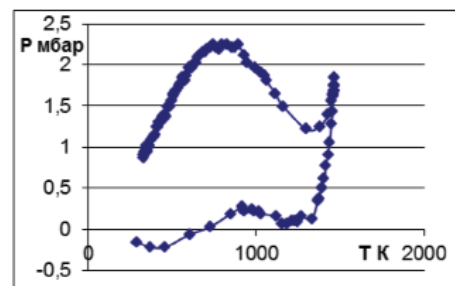


Рис.4. Изменение давления при $p_0 \sim 0$ (датчик VCC200)

диполя с суммарным нулевым электрическим зарядом естественным образом допускает поляризацию пространства. К тому же, предельный случай поляризации физического вакуума выражается как рождение из "пустоты" электрон-позитронной пары (например, при столкновении двух фотонов с достаточно большой энергией). Элементарный заряд диполя определяется из известных данных по массе и заряду электрона [25-29] и составляет $q = 10^{-28} \text{ Кл}$.

Элементарный заряд $q = 10^{-28} \text{ Кл}$ и диэлектри-

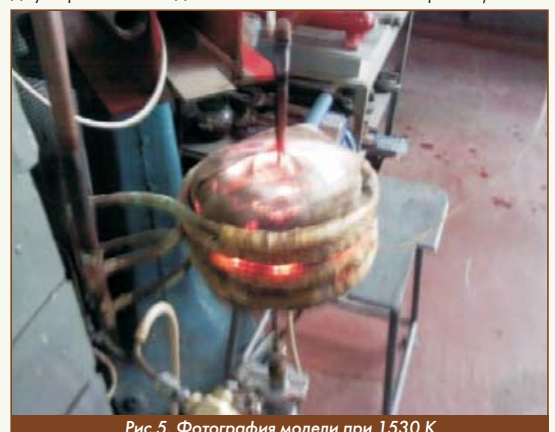


Рис.5. Фотография модели при 1530 К

ческая проницаемость вакуума $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ Кл²/(Нм²) определяют характерный линейный размер - дебаевский радиус экранирования

$$D \approx \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T}{n q^2}}$$

и характерную ленгмюровскую частоту

$$\omega \approx \sqrt{\frac{n q^2}{\epsilon_0 m}}$$

В качестве простейшей наглядной демонстрации применимости дебаевского радиуса D укажем, что в изобарических условиях ($p = nkT = \text{const}$) дебаевский радиус линейно увеличивается с ростом характерной температуры $D \sim T$ (в частности, данное обстоятельство является наглядным объяснением линейного расширения металлов с ростом температуры).

Принципиальным для нас моментом является дебаевское экранирование электрона и протона. "Электрон, поляризуя вакуум, как бы притягивает к себе виртуальные позитроны и отталкивает виртуальные электроны". Так описывается, в частности, явление поляризации вакуума в монографии [30]. В полном соответствии с подобной экспериментально подтвержденной поляризацией около электронного пространства находится излагаемая ниже математическая модель структуры электрона, протона и нейтрона. Здесь только под "виртуальными" электронами, позитронами и фотонами поляризованного пространства подразумеваем реальную поляризованную газообразную структуру дипольных частиц теплового излучения.

Проведенная оценка дебаевского радиуса экранирования электрона и протона в среде дипольных частиц при температуре $T_0 = 2.73$ дает [29]

$$D_{\epsilon} \approx \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T}{q^2 n_e}} = 0.5 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Нами получена важная величина, характеризующая размер поляризованного пространства около электрона (размер так называемой "шубы" электрона). При этом поляризованное пространство состоит не из виртуального электрон-позитрон-фотонного облака, а из реальных массовых диполей, формирующих в силу своей структуры (классических электрических диполей) распределение электрического потенциала в поляризованном пространстве.

В рамках рассматриваемого приближения можно вывести конкретные уравнения, описывающие распределение потенциала и концентрации частиц в поляризованных пространствах электрона, позитрона, протона и нейтрона [27-29]. Уравнение электрического потенциала ϕ для поляризованного пространства в безразмерной форме записывается в достаточно простом виде

$$D^2 \Delta \phi = 2sh\phi, \quad (5)$$

где потенциал ϕ отнесен к своей характерной величине $\phi_0 = T/e$, $D^2 = T/4\pi n_0 e^2$ - дебаевский радиус, T - температура, e - величина электрического заряда, n_0 - характерная концентрация частиц. Для концентрации зарядовой составляющей частиц в поляризованном пространстве имеем распределение Больцмана

$$n_{\pm} = n_0 \exp(\pm e\phi/T).$$

В сферически симметричном случае с одной пространственной координатой приходим к соотношению

$$\frac{D^2}{r} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d\phi}{dr} \right) = 2sh\phi.$$

Приведем характерные решения последнего уравнения для поляризованного пространства электрона (рис.6). Принципиально важной особенностью представленного распределения является наличие потенциальной ямы и барьера на внешней границе поляризованного пространства с изломом распределения $\phi(r)$. При этом на внешней границе сосредотачивается наведенный электрический заряд отрицательной величины, индуцированный заряженным ядром электрона при поляризации его "шубы". Представленные результаты в силу зарядовой симметрии справедливы также для описания структуры поляризованного пространства позитрона (при изменении знака потенциала на противоположный).

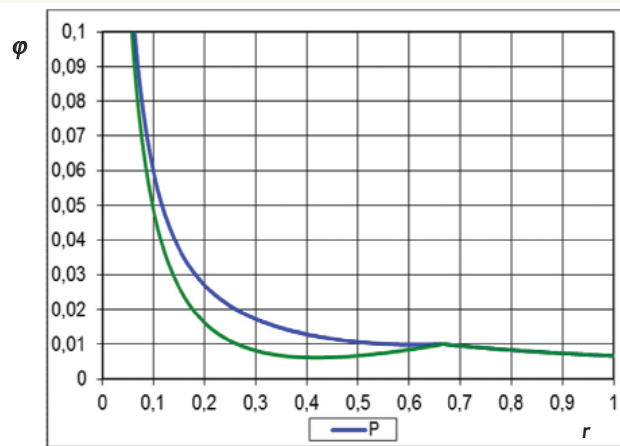


Рис.6. Распределение потенциала в поляризованном пространстве электрона

Рассмотрим теперь возможность построения на тех же принципах модели протона и антипротона. По аналогии с электроном полагаем, что весь положительный заряд протона сосредоточен в окрестности его центра. Это центральное ядро окружено шарообразной "каплей" поляризованных частиц в "жидком" агрегатном состоянии. Размер этой капли определяет характерный известный размер протона (около $0.8 \cdot 10^{-15}$ м), где сосредоточена практически вся его масса. Вокруг капли протона имеется поляризованное шарообразное пространство в "газообразном" состоянии, аналогичное поляризованному пространству позитрона. Моделирование структуры двухслойного поляризованного пространства протона выполняется интегрированием уравнения (5) для электрического потенциала с использованием различных уравнений состояния (для жидкой и газообразной фазы). Примеры подобных решений по характеру повторяют решения, показанные на рис.6. И вновь принципиально важным здесь является наличие двух потенциальных ям и двух барьеров при $r \approx 0.8 \cdot 10^{-15}$ м и $r \approx 5 \cdot 10^{-11}$ м. Построенная структура протона с частичным экранированием его заряда двухслойным поляризованным пространством устойчива. В силу зарядовой симметрии структура антипротона повторяет структуру протона (с соответствующими изменениями знака у потенциала и др.).

В нашей модели нейтрон представляет собой ядро (жидкую часть протона) и захваченного им электрона, локализованного в окрестности границы и удерживаемого наведенным положительным зарядом. В итоге нами смоделирована капельная модель нейтрона, имеющая возможность испаряться. Приведем известную величину "дефекта массы" нейтрона

$$\Delta m = m_n - m_p - m_e = 0,00029 \text{ а.е.м.} = 0,27 \text{ МэВ.}$$

Частичное "испарение" нейтрона перехода объясняет физику тепловыделения в генераторах типа Филимоненко - Росси - Пархомова.

Законы сохранения дифференциальной модели НЭЯР

Для рассматриваемой нами дифференциальной модели НЭЯР систему законов сохранения массы, импульса и энергии получим, следуя работам [25-29]. Подобно распространенной двухжидкостной модели плазмы мы при этом получаем мощный математический аппарат для дальнейших исследований процессов НЭЯР. При реализации этих идей будем исходить первоначально из интегральных законов сохранения массы, импульса и энергии для двухкомпонентной среды газа и теплового излучения, моделируя его также в приближении газообразной среды [31,32] (индексы соответственно g и f). Для движущегося объема $\omega(t)$ с границей $\gamma(t)$ имеем

$$\frac{d}{dt} \iiint_{\omega(t)} \rho_k d\omega = \iiint_{\omega(t)} q_k d\omega$$

$$\frac{d}{dt} \iiint_{\omega(t)} \rho_k \vec{v} d\omega = - \iiint_{\gamma(t)} \rho_k \vec{n} d\gamma + \iiint_{\omega(t)} \vec{f}_k d\omega, \dots k = g, f$$

$$\frac{d}{dt} \iiint_{\omega(t)} p_k (1/2 q^2 + \epsilon_k) d\omega = - \iiint_{\gamma(t)} p_k \vec{u} n d\gamma + \iint K_k g \text{rad } T_k \cdot \vec{n} d\gamma + \iiint_{\omega(t)} L_k d\omega$$

Здесь q^2 - квадрат модуля вектора скорости $\vec{u}$. Интегралы по объему в правых частях первых двух уравнений представляют собой внутренние источники (или стоки) массы и импульса соответственно, реализующиеся при их наличии в объеме $\omega(t)$. В правой части третьего уравнения помимо первого слагаемого, которое описывает отводимость от объема через границу мощность, развиваемую силами собственного давления, содержатся слагаемые, описывающие эффекты теплопроводности, энергообмена между компонентами среды и источники членов. Энергообмен между компонентами среды и источниковые члены определяются с помощью соотношений

$$L_g = C_{gf}(T_f - T_g) + Q_g, \quad L_f = C_{gf}(T_g - T_f) + Q_f,$$

где C_{gf} - коэффициент энергообмена между обычным и фотонным газом, Q_g и Q_f - внутренние источники (стоки) энергии соответствующих компонентов.

В рассматриваемом нами предположении одинаковой скорости обоих рассматриваемых компонентов $\vec{u}$, складывая друг с другом соответственно уравнения массы, импульса и энергии, получаем объединенные законы сохранения

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \iiint_{\omega(t)} p d\omega &= \iiint_{\omega(t)} q_k d\omega \\ \frac{d}{dt} \iiint_{\omega(t)} p \vec{u} d\omega &= - \iiint_{\gamma(t)} p \vec{n} d\gamma + \iiint_{\omega(t)} \vec{r} d\omega \\ \frac{d}{dt} \iiint_{\omega(t)} p (1/2 q^2 + \epsilon) d\omega &= - \iiint_{\gamma(t)} p \vec{u} n d\gamma + \iint W d\gamma + \iiint Q d\omega \end{aligned} \quad (6)$$

В (6) введены обозначения

$$\rho = \rho_g + \rho_f, \quad p = p_g + p_f, \quad \epsilon = \rho_g / \rho \cdot \epsilon_g + \rho_f / \rho \cdot \epsilon_f, \\ W = K_g \text{grad } T_g + K_f \text{grad } T_f, \quad Q = Q_g + Q_k$$

При сложении слагаемые, описывающие внутренний энергообмен между компонентами, взаимно уничтожились (из-за единого значения коэффициента энергообмена C_{gf}).

Система интегральных законов сохранения (6) замыкается уравнениями состояния среды, имеющими вид,

$$\epsilon_k = \epsilon_k(p_k, T_k), \quad p_k = p_k(\rho_k, T_k), \quad k = g, f$$

Представленные покомпонентные и суммарные (6) законы сохранения описывают так называемые обобщенные решения уравнений газовой динамики, включающие наряду с классическими гладкими решениями и решения на сильных разрывах (скачках уплотнения).

Приведем несколько на наш взгляд убедительных экспериментальных демонстраций справедливости использования систем (6). Укажем здесь, прежде всего, явление сонолюминесценции, наблюдающееся при схлопывании пузырьков газа в жидкости [33]. Тщательными исследованиями было продемонстрировано, что энергия сходящейся сферической ударной волны в газовом схлопывающемся пузырьке в его центре переходит в тепло и вызывает вспышку света, т.е. переходит в тепловое излучение.

Аналогичное явление оптической эмиссии наблюдается при прохождении ударной волны по кристаллам кварца и сапфира [34]. Хорошо известны процессы излучения на фронтах достаточно сильных ударных волн [35,36]. Таким образом, система (6) предоставляет нам для исследований процессов НЭЯР мощный хорошо разработанный аппарат механики жидкости, газа и плазмы.

Перспективы теплоэнергетики с позиций НЭЯР

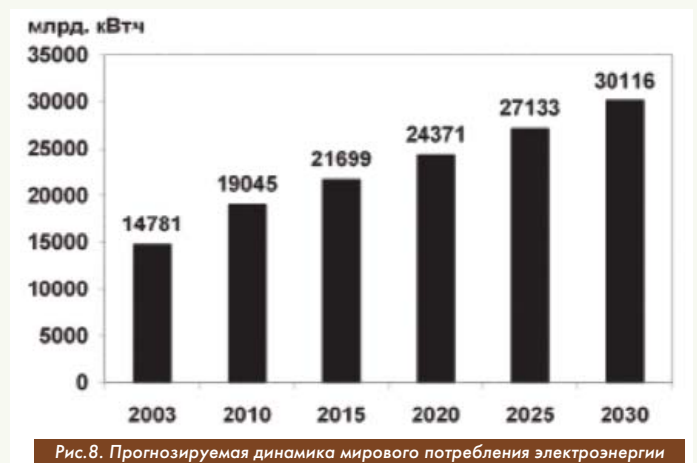
Рассмотрим теперь мотивацию применения НЭЯР как наиболее перспективной концепции для использования в народном хозяйстве, которая обеспечивает новые и существенно более высокие возможности в теплоэнергетике и на транспорте. Система НЭЯР требует сравнительно низких температур и энергий для инициирования реакций. Сегодня отсутствует общепризнанная физическая теория, описывающая НЭЯР, однако наша цель состоит в построении экспериментально обоснованной теории и широком ее практическом применении [14,37]. К тому же потенциальные преимущества НЭЯР сле-

дует сравнить с другими альтернативными источниками энергии.

Низкоэнергетические ядерные реакции теоретически до восьми миллионов раз превосходят энергетическую плотность химических источников. НЭЯР обладают наивысшей удельной энергией, составляющей около 51000000 Втч/кг (в сравнении с другими источниками). Эта консервативная оценка следует из недавних тестов НЭЯР реактора в марте 2013 года [13]. Из диаграммы на рис.7 видно, что НЭЯР имеет огромный потенциал как источник энергии. Теплоэнергетическая установка на основе НЭЯР будет потреблять очень небольшое количество топлива. Химикаты в воздух во время работы не попадают, поэтому отсутствует химическая эмиссия. Излучение нейтронов или гамма радиация от экспериментальных реакторов не превышает естественный уровень. В связи с чем специальной защиты от радиации не требуется.



Среди самых значительных мотиваций применения НЭЯР укажем постоянно растущий спрос на генерирование чистой энергии для удовлетворения потребностей промышленности и теплового обеспечения жизнедеятельности. В частности, по опубликованным прогнозам ("World Energy Outlook", рис.8), мировая потребность только в электроэнергии к 2030 году более чем в два раза превысит современный уровень и достигнет 30116 млрд. кВтч.



Система НЭЯР имеет потенциал изменить стоимость энергии в будущем, причём это будет революционное изменение. Как принципиально другой вид энергии по сравнению с текущими источниками он может дать огромный экономический эффект. Этот новый источник энергии стимулирует переоценку многих старых прогнозов. Рис. 9 показывает прогноз цен на сырую нефть Информационного агентства энергетики США с 1980 по 2040 год. Представлена средняя годовая стоимость сырой нефти марки Brent (USD за баррель) в 1980-2040 гг. трёх случаях (прогноз 2011) и факт 2015 г. с прогнозом, учитывающим потенциальные возможности НЭЯР.

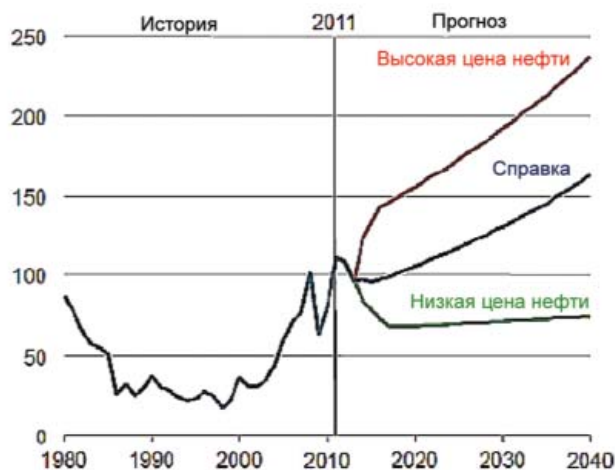


Рис.9. Средняя годовая стоимость сырой нефти марки Brent (USD за баррель) в 1980-2040 гг. в трёх случаях (прогноз 2011) и факт 2015 г. с прогнозом, учитывающим потенциальные возможности НЭЯР

Первичными источниками тепловой энергии в основном были и остаются органические топлива (уголь, природный газ, нефть, горючие сланцы или мазут - остаток, образующийся в результате отгонки из нефти бензина, керосина и других легких фракций). В традиционных ПГУ органическое топливо подается в топку парового котла и там сжигается. Вода нагревается и испаряется, образуется насыщенный пар, поступающий в пароперегреватель. В традиционных ПТД и ГТУ процесс сгорания реализуется в специальных камерах сгорания путем сжигания керосина или газообразного топлива. На наш взгляд замена процесса горения органического топлива процессами подвода тепла на основе НЭЯР представляется вполне реализуемой (как для замкнутых, так и для проточных зон горения). Еще более простой при технической реализации может оказаться аналогичная замена источников тепла на АЭС. При решении проблемы создания достаточно надежных реакторов НЭЯР разработка на их основе работоспособных теплоэнергетических станций будет представлять собой, в основном, инженерно-техническую задачу. Изготовителям НЭЯР реакторов потребуются рассмотреть много проблем на пути продвижения к коммерциализации. В частности, проблемой НЭЯР является преодоление термального выброса, происходящего, когда температура реактора достигает критической точки, при которой начинает играть роль термостойкость. Тепловой разогрев приводит к плавлению материалов реактора. Данная проблема в то же время успешно решается путем разработки надежных систем регулирования.

Реакторы НЭЯР работают на ничтожных количествах топлива в течение длительного времени, что обуславливает требования в малых запасах топлива и дает возможность реализации транспортных миссий с практически постоянным весом. Весьма перспективным представляется применение НЭЯР в различных транспортных системах непосредственно как источников тепла в двигателях.

Системы НЭЯР будут иметь широкое военное применение. Военные в настоящее время тратят много средств на топливо, от которого при применении НЭЯР можно будет отказаться. Энергетическая независимость станет сильной стороной будущего, а вооруженные силы смогут инвестировать сэкономленное на энергии в разработку новых возможностей (например, таких как сверхдлинные продолжительные миссии).

Использование НЭЯР окажет также заметное экологическое влияние. НЭЯР не сжигает ископаемого топлива, тем самым снижая любые эмиссии. Реактор НЭЯР может работать на количестве реагентов порядка граммов от многих месяцев до лет, если сравнить с ПТД, требующем десятки тонн топлива для работы в течение нескольких часов. Важность уменьшения вредных выбросов и расхода топлива очевидна исходя из технологических целей транспортных систем.

Россия относится к странам с высоким уровнем централизации теплоснабжения, что было обусловлено технической политикой Советского Союза. Энергетическое, экологическое и техническое пре-

имущество централизованного теплоснабжения над автономным в условиях монополии государственной собственности считалось априорным. В то же время сегодня практически все регионы в большей или меньшей степени испытывают на себе дефицит топливно-энергетических ресурсов. Автономное и индивидуальное теплоснабжение отдельных домов выведено за рамки государственной энергетики и развивается по остаточному принципу. Реализация НЭЯР и создание на их основе соответствующих теплоэлектрогенераторов кардинально решит проблему индивидуального теплоснабжения отдельных домов, поселков и отдаленных регионов.

Развитие теплоэнергетики всегда играло одну из ведущих ролей в процессах становления народного хозяйства во многих странах мира. Россия не должна упустить шанс стратегического прорыва в обеспечении своей теплоэнергетической безопасности. **И**

Литература

1. Fleischmann M., Pons S. Electrochemically Induced Nuclear Fusion of Deuterium // Journal of Electroanalytical Chemistry. 1989. Vol. 261, Issue 2, Part 1, pp. 301-308.
2. Zawodny J.M. Low Energy Nuclear Reactions: Is there a better way to do nuclear power? // NASA Glenn Research Center LENR Workshop, Sep. 2011.
3. Widom A., Larsen L. Ultra low momentum neutron catalyzed nuclear reactions on metallic hydride surfaces // European Physical Journal C - Particles and Fields. 2006. Vol. 46. No. 1. P. 107-111.
4. Пархомов А.Г. Холодная трансмутация ядер: странные результаты и попытки их объяснения // ЖФНН. 2013. № 1(1). С. 71-77.
5. Focardi S., Rossi A. A new energy source from nuclear fusion // J. of Nuclear Physics. 2010. 28 Feb.
6. Cook N. D., Rossi A. On the Nuclear Mechanisms Underlying the Heat Production by the "E-Cat" // Journal of Nuclear Physics. 2015. 04 Apr.
7. Пархомов А.Г. Исследование аналога высокотемпературного теплогенератора России // ЖФНН, 2015. 7 (3). С. 68-72.
8. Levi G., E. Foschi, B. Heoistad, R.Pettersson, L.Tegnuer, H.Essuen. Observation of abundant heatproduction from a reactor device and of isotopic changes in the fuel // <http://www.sifferkoll.se/sifferkoll/wpcontent/uploads/2014/10/LuganoReportSubmit.pdf>.
9. Пархомов А.Г. Отчет международной комиссии об испытании высокотемпературного теплогенератора России // ЖФНН. 2014. 6 (2): 57-63.
10. Василенко Д. Эксперимент с аналогом реактора Пархомова. Май, 2015. <https://docs.google.com/spreadsheets/d/15ODbN9Oq6Pjyp9A61hdX0-fBJXBBKmk7Ei06PzTc-Q/edit#gid=1389964837>.
11. Исследование режимов работы теплогенератора Ni-H. https://docs.google.com/document/d/1BbE6V6HKHC3NOOSJml9QEgP3H5EXcuGDPNn5Oc787RQ/edit?hc_location=ufi
12. Songsheng Jiang. New result of anomalous heat production in hydrogen-loaded metals at high temperature // May, 2015. Ni-H Research Group. China Institute of Atomic Energy, Beijing, China.
13. Wells D.P., Mavris D.N. Application of LENR to Synergistic Mission Capabilities // AIAAPaper 2014-3009. 12 p.
14. Иванов М.Я., Кокорев В.П. Элементы теории низкоэнергетических ядерных реакций LENR с анализом возможностей их применения к перспективным силовым установкам летательных аппаратов // Двигатель. № 3, 2015, с. 8-16.
15. Андреев С.Н. Запретные превращения элементов // Химия и жизнь. 2015. № 8, С. 27-30.
16. Regener E. Der Energiestrom der Ultrastrahlung, Zeitschrift für Physik, V.I. 80, p. 666-669.(1933): E. Regener. The energy flux of cosmic rays, Apeiron.Vol. 2, pp. 85-86 (1995).
17. Assis A.K., Neves M. C. History of the 2.7 K temperature prior to Penzias and Wilson, Apeiron, Vol. 2, pp. 79-84 (1995).
18. Шмаонов Т. А. Методика абсолютных измерений эффективной температуры радиоизлучения с низкой эквивалентной темпера-

турой // Приборы и техника эксперимента. 1957. №1 С.83-86.

19. A.A. Penzias, R.W. Wilson, A Measurement of excess antenna temperature at 4,080 m/s, Astrophys. J. 142 (1965) p. 419-421.

20. Ламб Г. Гидродинамика // М: ОГИЗ, 1947. -929 с.

21. M. Little. The Martin Fleischmann Memorial Project. The Earth Tech report:

<https://drive.google.com/file/d/0Bz7ITfqED9WQWVIV2d0T01bUE/view>.

22. M.Ja. Ivanov, V.K. Mamaev, I.V. Tsvetkov, G.B. Zhestkov. Experimental Confirmation of Avogadro's Law for Thermal Radiation.. J. of ADVANCES IN PHYSICS, Vol.7, No.2, p.1386-1392.

23. Бай-ши-и. Динамика излучающего газа.М.: Мир, 1968, 323с.

24. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.Л. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М., Наука, 1966, 686 с.

25. Иванов М.Я. Термодинамически согласованные законы сохранения в модели излучающего теплопроводного газа // ЖВММФ, 2011, т. 51, №1, с. 142-151.

26. Ivanov M.Ja., Zhestkov G.B. Dimensional Analysis, Thermodynamics and Conservation Laws in a Problem of Radiation Processes Simulation // J. of Math. Res., 2012; 4 (2) 10-19.

27. Ivanov M.Ja., Mamaev V.K. Hidden mass boson. Journal Modern Physics 2012; 3, No.8,

28. Ivanov M.Ja. Classic Dark Matter Theory with Experimental Confirmations, Exact Solutions and Practical Applications. Cosmology. Proceedings of the 47-th Rencontres de Moriond, 10 - 17 March, 2012, La Thuile, Aosta valley, Italy.

29. Ivanov M.Ja. Space Energy. In "Energy Conservation". InTech, 2012, pp. 1-54. DOI: 10-5772/52493.

30. Okun L.B. Physics of elementary particles М.: URSS, 2008.

31. Забродин А.В., Прокопов Г.П. Методика численного моделирования нестационарных течений теплопроводного газа // ВАНТ, 1998, вып. 3, стр. 3-16.

32. Методика численного моделирования двумерных нестационарных течений теплопроводного газа в трехтемпературном приближении в областях сложной формы с подвижными частицами (НЗТ). М.: ИПМатем РАН, 2008.

33. Маргулис М.А. Сонолюминесценция. УФН, 2000, т. 170, №3, с.263-287.

34. Канель Г.И., А.С. Савиных, С.В. Разоренов, В.Е. Фортон. Успехи мех. сплош. сред: к 70-летию акад. В.А. Левина: сб. науч. тр. - Владивосток, Дальнаука, 2009.

35. Зельдович Я.Б., А.П. Генич, Г.Б. Манелис. ДАН, 1979, т.248, №2, с.349-351.

36. Фортон А.В. Дракон, А.В. Ерёмин, С.В. Куликов. ДАН, 2010, т.432, №3, с.326-328.

37. M.Ja. Ivanov, V.K. Mamaev. Heat Creation Process Modeling in the Filimonenko-Rossi-Parhomov Generators // 14th International Workshop on Magneto -Plasma-Aerodynamics. 2015. JIHT RAS, Moscow, Russia.

Связь с автором: ivanov@ciam.ru



12-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

17-19 мая '2016

Москва Павильон
ВДНХ №69

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ
ВЫСТАВКИ

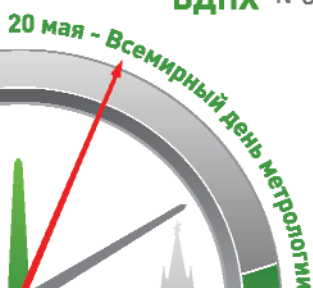
MetrolExpo

Control&Diagnostic

ResMetering

LabTest

PromAutomatic



ПЕРВЫЙ ВСЕРОССИЙСКИЙ СЪЕЗД
МЕТРОЛОГОВ И ПРИБОРОСТРОИТЕЛЕЙ

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

129223, Москва, а/я 35. ул. Искры, д. 31

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

Правительство Российской Федерации
Торгово-промышленная палата Российской Федерации

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПАРТНЕРЫ

The International Bureau of Weight and Measures (BIPM)
International Organization of Legal Metrology (OIML)
Euro-Asian Cooperation of National Metrology Institutions (COOMET)

С ЭКСПОЗИЦИОННЫМ УЧАСТИЕМ

Минпромторг России, Росстандарт, Ростехнадзор, МВД России, ГК «Росатом»,
ГК «Ростехнологии», ОАО «Роснано», ОАО «РЖД», АО «КРЭТ»

КОНКУРСНАЯ КОМИССИЯ

ФБУ «Ростест-Москва»



УСТРОИТЕЛЬ И ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР

Компания «Вэстстрой Экспо»

ПРОГРАММА ФОРУМА

- 12-я выставка средств измерений и метрологического обеспечения «METROLEXPO-2016»
- 5-я выставка промышленного оборудования и приборов для технической диагностики и экспертизы «CONTROL&DIAGNOSTIC-2016»
- 5-я выставка технологического и коммерческого учета энергоресурсов «RESMETERING-2016»
- 4-я выставка аналитических приборов и лабораторного оборудования промышленного и научного назначения «LABTEST-2016»
- 4-я выставка программного обеспечения и оборудования для промышленной автоматизации «PROMAUTOMATIC-2016»
- Первый Всероссийский Съезд метрологов и приборостроителей
- Всероссийская выставочно-конкурсная программа «ЗА ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ»

Стратегический партнер форума

Генеральный партнер форума

Генеральные информационные партнеры



К 50-ЛЕТИЮ ФАКУЛЬТЕТА "АЭРОМЕХАНИКИ И ЛЕТАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ" (ФАЛТ) МОСКОВСКОГО ФИЗИКО- ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА (МФТИ)

ГНЦ РФ ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова"

Владимир Алексеевич Скибин, д.т.н., советник генерального директора по научной работе,
Александр Николаевич Крайко, д.ф.-м.н., начальник отдела.

Кафедра "Газовая динамика, горение и теплообмен" ФАЛТ МФТИ 1. Руководители кафедры

Кафедра МФТИ была открыта в ЦИАМ в 1952 году еще до возникновения ФАЛТ при аэромеханическом факультете МФТИ. Первым её руководителем с 1952 по 1963 год был крупный специалист в области двигателей **Александр Александрович Лакштовский**. Далее кафедрой руководили **Георгий Петрович Свищев** с 1963 по 1967 год, **Горимир Горимирович Черный** с 1967 по 1971 год, **Сергей Михайлович Шляхтенко** с 1971 года по 1982 год, **Донат Алексеевич Огородников** с 1982 по 1999 год. С 2000 года кафедрой "Газовая динамика, горение и теплообмен" заведует доктор технических наук, профессор **Владимир Алексеевич Скибин**.

Олег Николаевич Фаворский. В дальнейшем эта специализация была включена в учебный план кафедры "Газовая динамика, горение и теплообмен". В течение ряда лет О.Н. Фаворский читал курс лекций по теории воздушно-реактивных двигателей студентам кафедры.

Заметную роль в научных исследованиях института сыграли, посвятившие всю жизнь ЦИАМ, первые выпускники кафедры и МФТИ: В.Я. Безменов, Я.С. Каданер, Е.А. Локштанов и Э.А. Марчик. Сейчас в ЦИАМ работают более ста выпускников кафедры. Они вносят большой вклад в работу института, возглавляя отделения, отделы и сектора, важные научные направления.



Горимир Горимирович Чёрный



Владимир Алексеевич Скибин



Олег Николаевич Фаворский



Валерий Игоревич Копченев

2. Учебные курсы и преподаватели

Особую роль в становлении кафедры сыграл выдающийся ученый-механик академик **Горимир Горимирович Чёрный**.

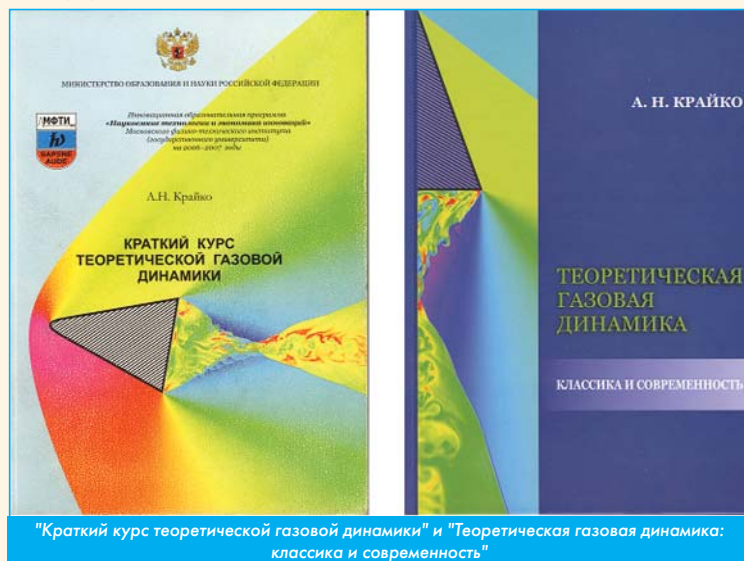
Начало работы кафедры связано с именами Р.С. Кинашвили, И.А. Биргера, С.И. Гинзбурга, Ю.Ф. Дитякина, Б.А. Жесткова, И.П. Некрасова, Л.Е. Ольштейна, Ю.Н. Васильева, Г.М. Бам-Зеликовича, К.В. Холщевникова, О.Н. Фаворского и др. Важнейшую роль в работе кафедры сыграл основатель теории турбулентных струй **Генрих Наумович Абрамович**. Много сделали для успешной работы кафедры **Лев Иосифович Соркин** и **Александр Николаевич Секундов**. Каждый из них более 20 лет исполнял обязанности заместителя заведующего кафедрой. В настоящее время заместитель заведующего кафедрой - выпускник ФАЛТ к.ф.-м.н. доцент **Валерий Игоревич Копченев**.

С 1973 по 1987 год при ЦИАМ для подготовки специалистов для НПО "Союз" работала еще одна кафедра ФАЛТ МФТИ "САПР авиационного двигателя", которую возглавлял специалист в области физико-технических проблем энергетики академик

К преподаванию и руководству научно-исследовательской работой студентов привлекаются ведущие специалисты ЦИАМ академик РАН, доктора и кандидаты наук. В формирование современного содержания базового цикла и направлений специализации на кафедре решающий вклад внесли профессора **А.Н. Крайко**, **А.Б. Ватажин**, **С.Ю. Крашенинников**, **А.Н. Секундов** и **Ю.М. Темис**. Этот базовый цикл включает теоретическую и физическую газовую динамику, численные методы, теорию турбулентности, физико-химическую кинетику, теории горения и теплообмена. Важная составляющая учебного процесса - лабораторные работы, направленные на освоение техники и методик современного аэрофизического эксперимента и испытаний двигателя и его узлов. Учебный процесс на кафедре совершенствуется с учетом требований отрасли и тенденций развития авиации. Научный потенциал ЦИАМ и кафедры позволяют вести целевую подготовку специалистов для предприятий отрасли.

"Теоретическую газовую динамику" читает профессор, доктор физико-математических наук **Александр Николаевич Крайко**. Цель курса - знакомство студентов с современным состоянием теоретической газовой динамики в основном произвольного двумерного идеального (невязкого и нетеплопроводного) газа, уравнениями течения в форме интегральных законов сохранения, их следствиями - дифференциальными уравнениями течения и соотношениями на поверхностях разрыва (ударных волнах и контактных разрывах). Слушатели узнают о ключевой роли характеристик при изучении одномерных нестационарных и двумерных (плоских и осесимметричных) стационарных течений, о ставших классическими задачах о поршне, распаде произвольного разрыва, сильном точечном взрыве, отражении ударной волны от оси и центра симметрии, сверхзвуковом обтекании клина и кругового конуса, с задачами о расширении и сжатии газа из покоя в покой, быстром сильном сжатии, обеспечивающем достижение "термоядерных" температур и плотностей, об обтекании конуса горящей смеси с детонационной волной Чепмена-Жуге, о разлёте в пустоту конечной массы газа, сжатого в точку и потому имеющего бесконечную энергию. Решение последней задачи в классическом и релятивистском приближениях привело к новой простой модели Большого взрыва и расширения Вселенной, которая лучше всех современных космологических теорий описывает последние наблюдательные данные.

В процессе обучения предполагается знакомство с такими понятиями и методами как автомодельность, эволюционность, линеаризация уравнений, метод характеристик, плоскость и переменные годографа, законы подобия, нестационарная ("поршневая") аналогия и правило гиперзвуковой стабилизации. Заключительный раздел знакомит слушателей с современными методами и достижениями в построении оптимальных аэродинамических форм.



"Краткий курс теоретической газовой динамики" и "Теоретическая газовая динамика: классика и современность"

В 2007 и 2010 гг. профессор А.Н. Крайко опубликовал учебное пособие "Краткий курс теоретической газовой динамики". М.: МФТИ, 2007. 300 с. и монографию "Теоретическая газовая динамика: классика и современность". М.: ТОРУС ПРЕСС, 2010. 440 с. Первое из них удостоено премии имени профессора Н.Е. Жуковского "За лучшее учебное пособие по теории авиации" за 2007 год.

Физическую газовую динамику читает профессор, доктор физико-математических наук, **Александр Бенцианович Ватажин**. Курс распадается на два: "**Динамика релаксирующего газа**" и "**Теория двухфазных течений**". Цель первого - ознакомление слушателей с важным разделом механики жидкости и газа, в котором рассматриваются неравновесные течения. Основное внимание уделяется общим (необходимым для понимания сути явлений и их приложений) вопросам: методологии получения макрокинетических уравнений, малым возмущениям, ударным волнам, одномерным течениям, техническим приложениям. Вспомнив понятие тер-

модинамического равновесия, студенты узнают, что такое идеально диссоциирующий газ Лайтхилла, релаксационные процессы, макрокинетические уравнения и методология их получения, поступательно-колебательная релаксация, общая система уравнений динамики релаксирующего газа, переходы к равновесному и "замороженному" пределам, изменение энтропии в неравновесных течениях, распространение малых возмущений, "замороженная" скорость звука, дисперсия и затухание возмущений, структура ударной волны в релаксирующем газе, течения в соплах и потери на неравновесность, метод мгновенного замораживания Брея, течения в газодинамических лазерах.

Цель второго курса А.Б. Ватажина - знакомство студентов с общей ситуацией в механике жидкости и газа, когда в потоке присутствуют разные фазы: газы, жидкости, пузырьки, твёрдые частицы. Вводится понятие о взаимопроникающих континуумах, движение которых описывают уравнения в интегральной и дифференциальной формах, и выполняется их замыкание. Определяются основные безразмерные параметры и связанные с ними классы двухфазных течений. Студенты узнают, что такое модель двухфазной среды из несущей (газ, жидкость) и дисперсной (частицы, капли, пузырьки) фаз, времена динамической и тепловой релаксации, основные безразмерные параметры, равновесные двухфазные среды, распространение малых возмущений в неравновесной двухфазной среде, в том числе в коротковолновом приближении, дисперсионное уравнение и характеристические скорости, режимы обтекания тел в зависимости от инерционности частиц, газодинамические способы управления концентрацией пыли.

Доцент, кандидат физико-математических наук **Валерий Игоревич Копченков** читает курс "**Моделирование течений в элементах силовой установки**". Цель курса - обучение студентов современным методам вычислительной газовой динамики, широко применяемым при математическом моделировании течений в сило-



Александр Николаевич Крайко



Александр Бенцианович Ватажин

вых установках различных летательных аппаратов. В задачи лектора входит: формирование у студентов базовых знаний о конечно-разностных схемах газовой динамики; усвоение ими основных принципов построения таких схем; овладение опытом постановки типичных задач о течениях в элементах силовой установки и приобретение практических навыков по реализации алгоритмов численного решения задач газовой динамики при использовании конечно-разностных схем, учитывающих направления распространения возмущений. В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать: теорему о сходимости решения конечно-разностной задачи к решению дифференциальной задачи; проявления свойства монотонности конечно-разностной схемы при численном решении задач для модельных уравнений переноса и газовой динамики; принципы построения монотонных схем повышенного порядка; о роли принципа минимальных производных при построении таких схем; основные элементы разностной схемы С.К. Годунова и подходы к повышению её точности; свойства

уравнений гиперболического типа, лежащие в основе расщепления потоков для численного решения уравнений газовой динамики; характерные особенности применения неявных схем для численного решения стационарных задач методом установления. Усвоившие курс В.И. Копченкова могут: выполнить анализ устойчивости и монотонности разностных схем; пользоваться условием устойчивости "Куранта-Фридрихса-Леви" при анализе их применимости для уравнения переноса и для уравнений одномерной нестационарной газовой динамики; составить алгоритм решения задачи о распаде произвольного разрыва для волн любой интенсивности. Такие специалисты в полной мере владеют навыками, позволяющими сформулировать и численно решить газодинамическую задачу о течении в узлах силовой установки с адекватной постановкой граничных и начальных условий.

Профессор, доктор технических наук **Александр Николаевич Секундов** читает два курса **"Техника и методика аэрофизического эксперимента"** и **"Статистическая теория турбулентности"**. Прослушав первый из этих курсов студенты узнают об аналоговых и цифровых методах анализа случайных сигналов, работе термоанемометра и самолетного зонда Пито-Прандтля для измерения скорости, высоты полета, углов атаки и рыскания, об особенностях измерений при горении, гиперзвуковых скоростях и в двухфазных потоках, о результатах измерений концентраций вредных выбросов в выхлопных реактивных струях и шума авиационных двигателей. Наряду с этим они получают сведения о современных нанотехнологиях, рабочем процессе и измерениях в газотурбинных электростанциях, об инфразвуке, конструкции стенда для испытания авиадвигателей, об особенностях распространения выхлопной струи вдоль аэродрома, мощных лазерных системах, методах уменьшения заметности, радиолокационном и ИК-излучениях. Второй курс начинается с введения понятий об осреднении случайных процессов, о спектральных и корреляционных функци-

кинетической энергии турбулентности, для масштаба и уравнение Коважного для турбулентной вязкости. В 2014 г. вышла монография: Секундов А.Н. Некоторые проблемы моделирования турбулентных течений. Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 134 с.

Курс **"Теплообмен в воздушно-реактивных двигателях (ВРД)"** читает профессор, доктор технических наук **Сергей Юрьевич Крашенинников**. Курс, ориентированный на то, чтобы дать слушателям общие представления о процессах теплообмена в ВРД, разбит на вводную и основную части. Разделы вводной части: авиационный двигатель - тепловая машина; мощность и тяга двигателя; термодинамический и пропульсивный КПД, их связь с основными термодинамическими параметрами; циклы Карно и Брайтона; коэффициент избытка воздуха и уровни температур в элементах ВРД; основные принципы охлаждения элементов ВРД; термоциклы. Основная часть курса включает разделы: теплопередача в неподвижной среде; законы Фурье и Ньютона-Рихмана; общие решения и постановка задач для стационарного и нестационарного распределения температур; задача о ступеньке температуры и точечном источнике; теплопередача в движущихся средах; уравнение энергии в гидродинамике; постановка задач переноса тепла в сжимаемой и несжимаемой средах; система уравнений динамики и теплопереноса при числах Маха $M \ll 1$; числа Нуссельта (Nu), Рейнольдса (Re) и Прандтля (Pr); ламинарный пограничный слой без диссипации; теплопередача в движущихся средах с диссипацией; различие диссипативных процессов при $Re \rightarrow 0$ и $Re \rightarrow \infty$; течения Пуазейля и Куэтта и критерий Эккерта; связь распределений температур и скоростей в пограничном слое; задачи о термометре и об охлаждении (нагреве) стенки; теплопередача при наличии конвекции; уравнения движения с учетом архимедовых сил; динамика среды при малых изменениях плотности, критерии Рэлея и Грасгофа; задача Польгаузена о



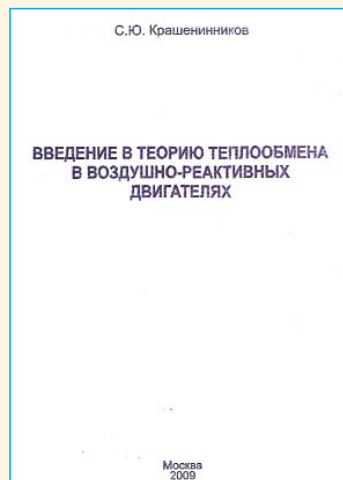
Александр Николаевич Секундов



Некоторые проблемы моделирования турбулентных течений



Сергей Юрьевич Крашенинников



Введение в теорию теплообмена в воздушно-реактивных двигателях

ях, о плотности распределения вероятностей. Рассмотрена классическая задача Тэйлора о турбулентной диффузии в однородном турбулентном потоке. Применительно к однородной изотропной турбулентности выведено уравнение Кармана-Хоуарта для двухточечной корреляционной функции, получен инвариант Лойцянского, рассмотрено вырождение турбулентности при малых числах Рейнольдса. Проанализированы гипотезы Колмогорова для структуры турбулентности при больших числах Рейнольдса, введено понятие скорости диссипации, рассмотрен каскадный перенос энергии по спектру, форма спектра и корреляции в инерционном интервале. Выводятся соотношения полуэмпирических моделей турбулентного переноса, теория "пути смешения" Прандтля, определение понятия турбулентной вязкости. Дан анализ уравнений переноса тензора напряжений трения Рейнольдса. На примере структуры плоского однородного потока со сдвигом рассмотрена роль пульсаций давления. Выведено уравнение для

вертикальной стенке; определяющая роль структуры течения в задачах теплообмена; соотношение между тепловым и динамическим пограничными слоями и аналогия Рейнольдса; охлаждение лопатки турбины; зависимости $Nu(Re)$ и $Nu(Re, \varphi)$ при обтекании цилиндра; процессы переноса в турбулентном пограничном слое; динамическая задача: распределение параметров в пограничном слое, структура развитого турбулентного пограничного слоя, ламинарный подслой, "скорость трения", логарифмический участок профиля скорости; влияние интенсивности турбулентности и других факторов на динамические и тепловые параметры в пограничном слое; критериальные зависимости для теплообмена, их аналогия с данными для трения и эффекты шероховатости; влияние числа Pr и перехода к турбулентности на теплообмен; качественный анализ теплообмена на аэродинамическом профиле; примеры реализации теплообменных систем; теплообмен при поперечном обтекании труб; оребренная труба - теплообмен и тре-

ние; заградительное (плочное) охлаждение с выдувом охлаждающего газа; струйное заградительное охлаждение, анализ структуры течения в рамках теории турбулентных струй; лучистые теплообмен, поток энергии, яркость и интенсивность; законы излучения в твердом теле и в газе; длина пробега излучения; тепловое состояние полостей с излучающим газом. Содержанию курса отвечает книга: Крашенинников С.Ю. Введение в теорию теплообмена в воздушно-реактивных двигателях. М., 2009. 157 с.

Курс **"Математическая теория горения и процессы в камерах сгорания газотурбинных двигателей и установок (ГТД и ГТУ)"** читает доктор физико-математических наук **Александр Борисович Лебедев**. Цель курса - ознакомление студентов с современной теорией ламинарного и турбулентного горения, с особенностями и типами камер сгорания современных авиационных двигателей и стационарных газотурбинных энергоустановок. На основе уравнений газовой динамики, турбулентности и химической кинетики излагаются аналитические и численные подходы к описанию ламинарного и турбулентного гомогенного и диффузионного горения, включая методы численного интегрирования уравнений турбулентного горения в рамках осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (RANS), модели "крупных вихрей" (LES) и прямого численного моделирования (DNS). Основы химической кинетики включают знакомство с такими понятиями как теплоты, скорости и константы скоростей реакций, закон Аррениуса, цепные реакции и тепловой взрыв. Наряду с классическими задачами о скорости ламинарного пламени и его устойчивости изучается закономерности распыления и испарения жидких топлив, горение одиночной капли и аэрозоля, образование вредных выбросов (NO_x , CO , углеводородов, сажи) и возникновение автоколебаний в камерах сгорания ГТД и ГТУ.

Углублённому изучению вопросов, рассмотренных в курсе А. Б. Лебедева, служат два спецкурса, которые читает доктор физи-

сов в газах, включая поступательную, вращательную, колебательную и электронную релаксацию; 3. Химическая кинетика, цепные реакции и химия горения; 4. Термически неравновесные процессы в ударных волнах, в плазме, в расширяющихся потоках и при горении; 5. Кинетика формирования наночастиц: нуклеация, конденсация, коагуляция; кинетика процессов в кластерной плазме.

Курс **"Системы автоматизированного проектирования авиационных двигателей (САПР АД)"** читает доктор технических наук профессор **Юрий Моисеевич Темис**. Цель курса - ознакомление студентов с принципами создания современных САПР АД, методами оптимального проектирования и междисциплинарного математического моделирования деталей и узлов АД. Задачи учебной дисциплины предполагают: формирование у студентов базовых знаний по САПР АД, геометрическому моделированию, методу конечного элемента (МКЭ) и оптимальному проектированию; приобретение теоретических знаний, необходимых для описания и моделирования деталей и узлов ГТД; овладение теоретическими знаниями и практическим опытом решения задач междисциплинарного математического моделирования. В результате освоения дисциплины обучающиеся должны узнать фундаментальные понятия, принципы, методы создания и использования САПР; теорию МКЭ; методы геометрического моделирования и автоматизированного черчения; уметь абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных конструкций; использовать математический аппарат механики жидкости и газа при разработке моделей конструктивных элементов и механики деформируемых упруго-пластических тел; владеть навыками применения САПР и методами разработки элементов САПР; методами постановки и решения задач междисциплинарного математического моделирования рабочих процессов в деталях и узлах АД и методами их оптимального проектирования.

Курс **"Информатики и программирования"** ведёт выпускник



Александр Борисович Лебедев



Александр Михайлович Старик



Юрий Моисеевич Темис



Вячеслав Геннадиевич Александров

ко-математических наук **Александр Михайлович Старик**. Это: **"Основы физико-химической кинетики и горение"** и **"Термически неравновесные процессы и кинетика формирования наноструктур"**. Цель курсов А.М. Старика - знакомство будущих специалистов с необходимыми для успешной научной деятельности основами термически-неравновесной физико-химической кинетики и неравновесной динамики формирования наночастиц. Огромное число явлений и процессов в природе и в технических устройствах связаны с физико-химическими превращениями в исходных термодинамически и химически равновесной или неравновесной системах. Такие процессы протекают в тракте и выхлопных струях реактивных и ракетных двигателей, в энергоустановках, при обтекании высокоскоростных аэрокосмических объектов и во многих технологических устройствах. Курсы А.М. Старика включают разделы: 1. Методология физико-химической кинетики; 2. Статистический и квантомеханический подходы; кинетика релаксационных процес-

ФАЛТ кандидат физико-математических наук **Вячеслав Геннадиевич Александров**. Он не только рассказывает об устройстве компьютеров и языках программирования, но и, что более важно, проводит практические занятия со студентами, обучая их навыкам работы на компьютерах. Задачи курса предполагают - формирование у студентов базовых знаний в области прикладного программирования; приобретение практических навыков в создании законченного программного продукта; знакомство с современными приемами подготовки и представления информации; усвоение методов параллельного и сетевого программирования, принципов построения компьютерных сетей и организации параллельного исполнения кода в операционных системах. В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать основные понятия: операторы, функции стандартной библиотеки и типы данных языков "C" и "C++" (далее - "языка C" или "C"); основы подготовки данных и представления результатов, организации параллельной

работы кода программы в рамках стандарта POSIX языка С; принципы организации работы компьютерных сетей на базе архитектуры Ethernet и сетевого обмена данными в рамках стандарта BSD Sockets; уметь: написать программу на С с использованием элементов сетевого и параллельного программирования; обрабатывать результаты и представлять их в общепринятом виде; использовать стандартные и специализированные библиотеки функций; владеть: приемами разработки кода и отладки прикладных программ; методами представления и обработки результатов; способами организации параллельной работы частей кода программы; способами организации сетевого обмена данными.

Курсы **"Теория воздушно-реактивных двигателей (ВРД)"** и **"Основы технологии информационной поддержки разработок"** читает выпускник ФАЛТ кандидат физико-математических наук **Владимир Евгеньевич Макаров**. Цель первого курса - знакомство студентов с основами теории ВРД, лежащей на стыке термодинамики, аэродинамики и иных дисциплин, связанных с процессами в газотурбинных и прямоточных воздушно-реактивных двигателях (ГТД и ПВРД). В результате его усвоения слушатели, вспомнив описывающие процессы в ВРД законы физики, узнают порядки величин, характерные для них, современные проблемы физики и вычислительной математики, связанные с моделированием процессов в ВРД и способы экспериментального получения характеристик ВРД; научатся пользоваться полученными знаниями для понимания характеристик ВРД и сравнения разных двигателей; проводить оценки тяговых характеристик ВРД; ориентироваться в направлении развития ВРД и в тенденциях изменения их характеристик; выводить соотношения, связывающие характеристики узлов и элементов ВРД с их тяговыми и топливо-экономическими характеристиками; пользоваться математической моделью ВРД традиционного типа для расчета его характеристик; строить дроссельные и высотно-скоростные характеристики ВРД в рамках стандартных

стадиях жизненного цикла сложного наукоёмкого изделия, в качестве которого рассматривается современный авиационный ГТД. В результате освоения дисциплины обучающиеся должны узнать базовые принципы и принципиальные решения, используемые при проектировании и создании наукоёмких изделий АТ, проблемы реализации всех стадий жизненного цикла авиационных ГТД и современное состояние информационного сопровождения разработок (реализации ИПИТ); уметь пользоваться полученными знаниями для понимания тенденций и проблем создания сложных наукоёмких изделий АТ и ориентироваться в программных инструментах ИПИТ на стадии проектирования авиационных ГТД; владеть базовыми навыками по применению средств геометрического моделирования и инженерного анализа.

Семинарские занятия по механике жидкости и газа проводят на 3-ем и 4-ом курсах профессора **А.Н. Крайко** и **А.Б. Ватажин**. На семинарах выступают сами студенты с докладами по темам, близким к темам лекций. При этом студенты приобретают и новые знания, и навыки самостоятельной работы, и умение донести новый материал до остальных студентов группы.

Кроме лекций и семинаров на кафедре проводятся практические занятия в виде лабораторных работ по **"Технике и методике аэродинамического и аэрофизического эксперимента"**, которые проводят на 3-ем курсе кандидаты физико-математических наук **Борис Иванович Минеев** и выпускник ФАЛТ **Дмитрий Анатольевич Голенцов**, а на 4-ом курсе профессор **А.Н. Секундов**. На этих занятиях студентов знакомят с особенностями измерений в ГТД, со стендами для испытаний двигателей, с погрешностями измерений и метрологическим обеспечением эксперимента, с приборами для измерения статического, полного и быстропеременного давлений, с оптическими методами визуализации потоков (теневым методом Теллера и голографической интерферометрией) и с влиянием излучения на точность измерений, с контактными



Владимир Евгеньевич Макаров



Борис Иванович Минеев



Дмитрий Анатольевич Голенцов



Лариса Сергеевна Андреева

приложений MSOffice; овладеют структурой данных, необходимых для моделирования работы ВРД и расчёта его характеристик, навыками самостоятельной работы с математической моделью ВРД традиционного типа, включая обработку результатов применения математической модели ВРД и сравнительный анализ его характеристик для любых условий полета. Цель курса **"Основы технологии информационной поддержки разработок"** - знакомство студентов с принципами, технологиями, инструментами и примерами реализации информационной поддержки разработок промышленных изделий (ИПИ-технологиями - ИПИТ), лежащими в основе процесса создания современной авиационной техники (АТ). Курс содержит общие подходы к рассматриваемым вопросам и сведения о практической реализации ИПИТ на отечественных предприятиях авиадвигателестроения. Задачи курса включают формирование у студентов базовых знаний по ИПИТ, в том числе, о назначении и особенностях их использования на разных

и оптических способами измерения температуры (термопарами, термометрами сопротивления, оптическим пирометром и его градуировкой, термокрасками для определения температуры поверхности), спектральными методами диагностики (спектрами излучения и поглощения, спектральными приборами, спектральным анализом, обращением спектральных линий, лазерной индуцированной флуоресценцией и методом КАРС - когерентного антистоксовского рассеяния), с методами измерения скорости (насадками, лазерным доплеровским измерителем - ЛДИС, PIV, термоанемометром и с динамикой его теплового элемента, способами замера турбулентных пульсаций), с приборами и методами для определения состава газовых смесей (хроматографом и плазменно-ионизационным детектором - для определения состава продуктов сгорания, включая несгоревшие углеводороды C_nH_m , NO - по хемилуминисценции, пассивных примесей - по рассеянию лазерного луча и по лазерной индуцированной флуоресценции), с

электризацией ЛА и ГТД и электростатической диагностикой двигателя и его элементов.

Студенты знакомятся с приборами для измерения спектров, корреляций и распределения вероятностей, ошибками измерения среднего значения и дисперсии случайного сигнала (из-за конечности интервала осреднения), с определением спектров с применением быстрого преобразования Фурье, узнают особенности замера шума авиационных двигателей, единицы его интенсивности (EPNL dB), нормы ИКАО на допустимый шум, используемые при этом микрофоны, преобразователи и другие приборы, современные схемы камер сгорания и требования к конструкции охлаждаемого отборника проб за ними. Программа включает ознакомление с основами радиолокации, источниками инфракрасного (ИК) излучения, методами измерения эффективной площади рассеяния сигнала. Большинство тем сопровождаются лабораторными работами на экспериментальных установках ЦИАМ.

3. Обеспечение процесса обучения, научной работы и жизни студентов

Для проведения лекций и семинаров создан учебный центр (УЦ), посещение которого не связано с проходом по территории ЦИАМ ("вход с улицы"). В УЦ наряду с аудиториями для занятий есть комната для преподавателей и помещение для завтраков студентов в короткие перерывы. Разумеется, в ЦИАМ есть и общедоступная столовая, которая, имея вход не только с территории, но и с улицы, популярна у студентов расположенного поблизости Московского энергетического института (МЭИ). Аудитории, кроме пластиковых досок, оборудованы видеопроекторами и ноутбуками для показа презентаций, составляющих всё большую часть читаемых лекций. Копии презентаций доступны слушателям.

Занятия, которые, как курс В.Г. Александрова, требуют частого общения студентов с персональными компьютерами (ПК), проводятся на территории института в компьютерных классах. Количество ПК в любом из таких классов заведомо больше числа студентов. Для самостоятельной работы студентам после их распределения с 4-го курса по научным подразделениям обеспечен доступ к ПК, предоставляемых в личное пользование, к локальным сетям и институтским кластерам, а при необходимости - к мощным суперкластерам, имеющимся в России (например, в РФЯЦ ВНИИЭФ в Сарове).

На московской площадке ЦИАМ располагается широкий спектр оснащённых современными приборами установок небольшой и умеренной мощности для аэродинамических, теплофизических и прочностных экспериментов. Частично указанные установки используются в упомянутых выше учебных лабораторных работах, а при необходимости в любом объёме - в процессе экспериментальных исследований студентов. Доступны и подчас уникальные по мировым масштабам установки филиала ЦИАМ в Тураево.

С прихода в ЦИАМ начинается активная работа по профессиональной ориентации студентов, которых уже на третьем курсе целенаправленно знакомят с основными направлениями деятельности ЦИАМ. На третьем и в начале четвертого курса потенциальные научные руководители и ведущие сотрудники кафедры проводят встречи со студентами МФТИ, которые затем распределяются по научным руководителям - наиболее авторитетным учёным ЦИАМ. Особое внимание уделяется тому, чтобы вокруг руководителя активно действовал научный коллектив. Приоритет в выборе руководителя предоставляется студентам. Важные факторы подготовки студентов - постоянные творческие контакты студента с руководителем и коллективом, окружающим студента при выполнении бакалаврской и магистерской работ.

В качестве "базового" студенты кафедры могут выбрать любое научное подразделение ЦИАМ. Предпочтение, однако, отдаётся отделению "Газовой динамики и теплофизики" ("Лаборатории Чёрного"), выделившимся из него подразделений и подразделений, тесно связанных с "Лабораторией Чёрного". Подразделе-

ния, выделившиеся из "Лаборатории Чёрного", - это отделение "Неравновесных физико-химических процессов в газовых потоках и в элементах реактивных двигателей" и отдел "Технологии моделирования авиационных ГТД и силовых установок и систем информационной поддержки проектирования". Их руководители (**А.М. Старик** и **В.Е. Макаров**) и большинство ведущих специалистов выросли в "Лаборатории Чёрного". Руководитель ещё одного популярного у студентов подразделения - отделения компрессоров - выпускник ФАЛТ кандидат физико-математических наук **Виктор Иванович Милешин** вышел из той же лаборатории. О влиянии "Лаборатории Чёрного" на развитие науки в ЦИАМ (и не только) рассказано в следующей статье.

Для обеспечения сносного существования студентов и самой возможности по-настоящему, не отвлекаясь на дополнительные заработки, учиться, с 1998 г. в ЦИАМ функционирует система материальной поддержки и стимулирования студентов и аспирантов. Система, созданная по инициативе профессора **А.Н. Крайко** при поддержке руководителей кафедры и Института **Д.А. Огородникова** и **В.А. Скибина**, включает следующие элементы.

Во-первых, при приходе в ЦИАМ студенты зачисляются на работу: на III курсе в должности техника с переводом в начале IV курса на должность инженера. В настоящее время полставки, которые при этом обычно получают студенты, - 5600 рублей в месяц для техников и 6800 - для инженеров. При активном участии в научно-исследовательском процессе по представлению руководителя научного подразделения студент может получать и полную ставку. В известных случаях такая возможность реализовывалась на V и VI курсах. В подобных же ситуациях вопросы премирования, выплат из контрактов, грантов РФФИ и ряда других источников решаются соответствующими руководителями.

Во-вторых, все приходящие в ЦИАМ студенты получают из средств ЦИАМ стипендию, размер которой не зависит от размера стипендий, выплачиваемых им в их ВУЗ'ах. Наряду с минимальной ("базовой") стипендией допускаются её "повышенные" (до 2-х раз) и "нулевой" варианты. Рекомендации по выплате стипендий в базовом, повышенном или нулевом размерах по согласованию с научным руководителем студента, а для студентов кафедры с учетом посещения ими занятий даёт специально созданный "Совет по стипендиям". По его представлению ведомость на выплату стипендий всем студентам ежемесячно утверждается заместителями Генерального директора ЦИАМ **А.И. Ланшиным** и **Е.В. Бохановой**. При лишении стипендии студенту в том же месяце не выплачивается и зарплата. При общем числе студентов всех ВУЗ'ов в ЦИАМ порядка сотни для одного-двух из них такое случается достаточно часто. Размер базовой стипендии устанавливается не менее чем на год приказом Генерального директора ЦИАМ **В.И. Бабкина**. Он же на 3 года утверждает состав "Совета по стипендиям". На 2015 год для студентов III-VI курсов базовая стипендия была утверждена в размере 3500, 4000, 4500 и 5000 рублей в месяц, а председателем, заместителем и секретарём "Совета по стипендиям" утверждены **А.Н. Секундов**, **А.Н. Крайко** и заведующая аспирантурой ЦИАМ **Надежда Константиновна Калинина**. Размер стипендий регулярно увеличивается. Для сравнения в 2004 г. базовые стипендии на тех же курсах были равны 1000, 1050, 1100 и 1150 рублей в месяц. В ЦИАМ стипендии получают и все аспиранты, в том числе, аспиранты МФТИ. В отличие от студенческих аспирантские стипендии фиксированные: сейчас 5500, 6000, 6500 и 7000 рублей в месяц у аспирантов 1-4-го годов обучения. Мероприятия по закреплению и росту молодых кадров продолжаются и после окончания ВУЗ'ов.

Все годы существования кафедры большую работу по организации учебного процесса вели секретари. В 1952-63 гг. секретарём кафедры была **Мария Спиридоновна Муравьева**, в 1964-73 гг. - **Людмила Григорьевна Деева**, в 1973-2007 гг. - **Вера Алексеевна Тихонова** и в 2007-09 гг. - **Надежда Константиновна Калинина**. С 2010 гг. эту работу успешно ведёт методист кафедры **Лариса Сергеевна Андреева**. 

ВЗГЛЯД НА ИСТОРИЮ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТРЕТЬЕГО ГУ МИНАВИАПРОМА СССР

Валентин Михайлович Толоконников

(Продолжение. Начало в № 3-4 - 2015)

ОТ ПЛАМЕННЫХ МОТОРИСТОВ ДО "СТОП"-МЕНЕДЖЕРОВ

Создавали, веселились,
За счет бухучета обогатились.
Рассчитали, проследились,
Ничему не научились...

Закончилась первая "пятилетка" деятельности ОАО "ОДК" (2008 - 2013 гг.). Итоги плачевны и по серии, и по опытным разработкам. Из ОКБ только два действуют в полную силу и с необходимой отдачей. Это ОКБ им. А. Люльки (генеральный конструктор - директор Е.Ю. Марчуков) и "Авиадвигатель" (управляющий директор - генеральный конструктор А.А. Иноземцев). Есть предприятие и в Санкт-Петербурге, где генеральный конструктор Алексей Владимирович Григорьев успешно работает по РД-33МК. Остальные еле дышат или полностью прекратили деятельность по главному направлению.

В 2013 году выпущено около 800 двигателей, а в 1990 году их было выпущено 10 000. Численность промпersonала упала с 320 000 до 80 000 человек, а к 2025 году руководством "ОДК" намечено довести до 50 000 работающих.

ОДК выйдет на безубыточность к 2018 году

Ник Маркин // АвиаПорт.Ру, 11.06.2013

"Объединенная двигателестроительная корпорация" планирует выйти на безубыточный уровень работы через пять лет, положительный финансовый результат 2018 года ожидается на уровне 2 млрд руб. против 2 млрд руб. убытков, ожидаемых по итогам 2013 года, говорится в материалах корпорации, подготовленных к совещанию на Пермском моторном заводе.

Финансовое оздоровление предприятий корпорации планируется за счет сокращения излишков производственных площадей, сокращения численности занятых и закрытия ряда убыточных проектов. В частности, сокращение излишних производственных площадей позволит снизить уровень издержек на 20 %. Около 5,7 млрд корпорация намерена выручить за счет продажи непрофильных активов. Кроме того, за счет формирования дивизионной структуры в корпорации экономия до 2020 года составит примерно 3,7 млрд руб. Также до 2020 года планируется сократить более 32 тыс. сотрудников, что позволит сэкономить до 15 млрд рублей. Кадровый состав корпорации после процедуры сокращения составит примерно 53 тыс. человек.

ОДК планирует закрыть ряд убыточных проектов и сократить финансирование некоторых программ. В материалах не приводится перечень подлежащих ревизии программ, однако отмечается, что это позволит сократить инвестиционную программу корпорации на 45 млрд руб., чистая экономия составит 19,5 млрд.

Убытки от реализации двигателестроительных программ, находящихся в настоящее время на начальном этапе реализации, до 2020 года достигнут 63,2 млрд руб. Убыточными являются программы SaM146, РД-33МК, АИ-222. Сумма убытков корпорации по программе SaM146 составит 33 млрд руб. Убытки от производства РД-33МК оцениваются в 17,3 млрд руб., от

производства АИ-222 - в 12,9 млрд руб. На убыточность предприятия влияет и избыток производственных площадей, превышающий необходимый объем в 3,5 раза, отмечается в документе.

ОДК до 2020 года сократит 32 тысячи сотрудников и проведет реорганизацию

АЕХ.RU, 13.06.2013

Объединенная двигателестроительная корпорация планирует сократить более 32 тыс. сотрудников (с 85 тыс. до 53 тыс. человек) до 2020 года. Об этом стало известно в ходе визита главы Минпромторга Дениса Мантурова на Пермский моторный завод.

Программа сокращения кадров позволит снизить расходы на оплату труда не менее чем на 15 млрд рублей, подсчитали в ОДК.

Кроме того, в рамках программы финансового оздоровления ОДК намерена изменить производственную конфигурацию, сформировав предприятия по дивизионному принципу. Ожидаемый эффект от снижения себестоимости в периоде до 2020 года составит около 3,7 млрд. рублей.

В результате уменьшения производственных площадей не менее чем на 20 % корпорация планирует получить доходы от реализации площадей и сэкономить на содержании оставшихся около 14 млрд. рублей.

Сэкономить еще 19,5 млрд рублей ОДК планирует, сократив инвестиционную программу на 45 млрд рублей (будут закрыты убыточные проекты, сокращено финансирование отдельных проектов). От реализации программы отчуждения непрофильных активов планируется получить еще 5,7 млрд рублей.

По прогнозам ОДК, 2013 год корпорация закроет с убытком более чем в 2 млрд рублей (в 2012 году - 3,783 млрд рублей). В 2014 году убыток корпорации превысит 6,5 млрд рублей, в 2015 году составит более 7 млрд рублей. Но в случае реализации программы финансового оздоровления ОДК с 2016 года начнет сокращать убытки и 2018 год закроет с прибылью почти в 2 млрд рублей.

Такие общие итоги первой пятилетки "ОДК".

Но самое страшное, на мой взгляд, это то, что НПЗ развивается недостаточными темпами, нет конкуренции по темам между конструкторскими коллективами. В наше время серийные заводы "душили" многими темами, из которых выбирались наиболее оптимальные конструкции и запускались в производство. Так в начале 80-х годов создавались два двигателя для крылатых ракет дальнего действия. Свои разработки представили омское КБ и московское "Союз". Были выбраны конструкции последнего, налажено серийное производство. Сейчас выбирать не из чего.

Другой пример. В Перми ОКБ П.А. Соловьева одновременно работало по трем темам: вертолетные двигатели; военные Д-30Ф6; гражданские Д-30, Д-30КП; Д-30КУ и далее ПС-90.

Пермский завод был настолько загружен, что по всем направлениям не мог организовать серийное производство, и поэтому Д-30КП и Д-30КУ были переданы на производство в Ры-



Д30Ф-6 и МиГ-31

бинск. Эти же двигатели и сейчас являются "хлебом" Рыбинского моторостроительного завода. А вновь освоенный "полудвигатель" Sam 146 убыточен и создал 60 % рабочих мест за рубежом, а не в России. Это пример того, что НТЗ и опытные разработки должны быть опережающими и в избытке, чтобы выбирать для серийного производства оптимальный вариант. История учит, что это надежный путь развития авиадвигателестроения. Великую Отечественную войну мы начали с огромным воздушным флотом, существенно превышающим немецкий. Но самолеты были устаревшие, тихоходные (хотя и маневренные), которые в первые месяцы были уничтожены. Но руководство страны не поспешило на НТЗ и опытные разработки, и за 2-3 года были созданы и к началу войны уже выпускались первые сотни самолетов и двигателей к ним, превосходящих немецкие: Як-1, Як-3, МиГ-1, МиГ-3, ЛаГГ-3, Ла-5, Пе-2, Ту-2, Ил-2, Ил-10. Передислокация и организация серийного производства даже в военных условиях заняли 3-4 месяца. Уже через полтора года мы завоевали превосходство в воздухе. Интеллектуальная собственность создается более низкими темпами, чем развитие серий, а потому забота государства об НТЗ и ОКБ является первоочередной задачей.

Конкуренция на стадии НТЗ и опытного строительства требует на несколько порядков меньше затрат средств и ресурсов, и более того, проигравший в конкурентной борьбе автор новой техники создал для себя и в целом для отрасли, страны интеллектуальную собственность, которую многократно можно использовать в будущих разработках. Одним словом, отрицательные итоги тоже используются в дальнейшем. Но это возможно, когда есть мощная научно-техническая база и опытное строительство, когда есть, что выбирать для серийного производства. В ОДК этого сделать невозможно из-за непрофессионализма руководителей Минпромторга и "стоп"-менеджеров ОДК. А возможно только при централизованном государственном управлении авиапромом.

В 80-х годах главными заботами З ГУ было:

- выполнение планов по количеству и качеству;
- повышение надежности, увеличение ресурсов;
- внедрение новой техники и технологий;
- расширение производств путём строительства филиалов, а также организация испытаний за городом для улучшения экологических условий в городах;
- систематическое и планомерное увеличение численности

рабочих благодаря системе ФЗУ, профтехучилищ, заводских ОПК, а техников и инженеров - авиационных учебных заведений (техникумов и вузов).

Предприятия и ОКБ З ГУ занимали первое место в мире по количеству и типу авиадвигателей, которые не отставали по эксплуатационным показателям.

А что сейчас, когда 80 % внутреннего воздушного пространства занято иностранными судами?

ОДК ставит задачи:

- ориентация на глобальный рынок;
- закрепление в числе 5 крупных мировых производителей ПТД;
- восстановление, поддержание современной инженерной мысли.

Заметьте, не развитием, а только поддержанием! Это ли не убожество и скудость мышления, заложенные в стратегии ОАО "ОДК"? А по-другому не могло быть, ведь главная цель акционерного общества - получение прибыли, отсюда и стратегия. Снизить численность, повысить производительность труда с гигантскими затратами на перевооружение заводов. А вот задача увеличения выпуска двигателей, оттоёвывания собственного неба при условии повышения уровня технологии и увеличения численности, задача посложнее. Силами только "стоп"-менеджеров ОДК ее не решить, независимо от финансирования.

Требуется серьезная государственная стратегия через:

1. Централизацию управления в лице ВПК.
2. Создание государственных барьеров иностранному вторжению в АДС и авиацию в целом.
3. Организацию серийного производства Ту-334, Ил-114, Ан-140, Ан-148, Ан-3, Ан-70, Ил-112, Ми-38 и др.
4. Концентрацию всех ремонтных дел и сервиса в эксплуатации на основных заводах.
5. Закупку нового оборудования и инструментария.
6. Широкомасштабную замену иностранных ПТД в ГПА на отечественные.
7. Списание устаревших самолетов и организация новых разработок в гражданском флоте и ВВС и замена их новыми разработками.
8. Продолжение политики З ГУ по организации специализированных производств (лопаток, жаровых труб, дисков, валов, литья) и выводов испытательных комплексов за территорию городов и поселков.

9. Работу с кадрами, начиная со школы.

10. Назначение профессионалов на высшие должности в авиадвигателестроении.

11. Интегрирование в российское АДС украинские предприятия АО "МОТОР СИЧ" и ОКБ "Прогресс". Создаваемый российско-украинский Инженерный центр по совместной разработке и серийному производству авиадвигателей, пожалуй, луч света в будущее нашего АДС. Конечно, если на Украине закончатся метания в сторону Евросоюза и НАТО.

Неплохо было бы неопытным менеджерам ОДК изучить опыт запорожцев, которые работают уверенно и эффективно.

12. Повышение престижа авиации и её основы - Авиапрома. В апреле 2009 года случились два юбилея:

- 60 лет со дня рождения Аллы Пугачевой, который отмечался с величайшей помпой на государственном уровне.

- 70 лет основания НКАП-МАП СССР. На государственном уровне это событие осталось незамеченным.

А ведь история НКАП-МАП СССР - это героика довоенных лет, это героизм в Великой Отечественной войне. Слагались песни об авиации и летчиках, создавалась слава об авиации и летчиках, создавалась слава нашей Родины...

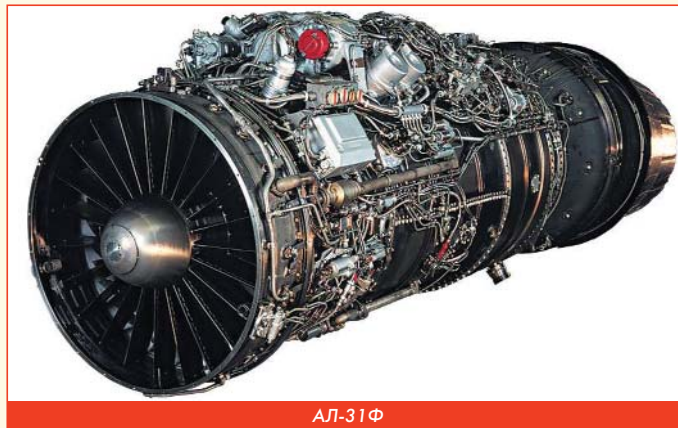
РАЗВИТИЕ АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ В 3 ЭТАПЕ

Теперь о работе ЗГУ в 70...90 годы XX века в авиадвигателестроении. Было время "холодной войны", и ЗГУ противостояло всему капиталистическому миру по выпуску двигателей. Страны Варшавского пакта практически не имели авиапрома. Их доля в производстве самолетов и двигателей не превышала 1 %. План по выпуску двигателей в СССР в то время еле выполнялся, были провалы по количеству и качеству; в серийном производстве не хватало мощностей, таким образом, все это формировало задачи:

- обновление кадров в ЗГУ, на заводах и ОКБ;
- развитие мощностей путём строительства и внедрения передовых технологий;
- повышение темпа роста по развитию НТЗ, разработке и производству опытных образцов авиадвигателей, силовых узлов для ГПА, наращивание объемов по ТНП. Необходимо было наращивать мощности АДС с выполнением напряженных планов по выпуску серийных изделий и созданием опытных образцов в ОКБ.

В первую очередь был проведен анализ объемов капиталовложений в предприятия Третьего ГУ и других Главков. Оказалось, что этот объем составляет 15 % от общих капвложений МАП. Силовая установка на самолетах по цене составляет 25 %, численность работающих на заводах Третьего ГУ - 22 %. Явная недооценка. Было принято решение Главк разделить.

В 1982 году сформировали два главка: 3 и 13. Объем капи-



АЛ-31Ф

таловложений в АДС вырос до 20 %. Результат положительный, но недостаточный. Начали строительство авиадвигателестроительных заводов в Улан-Удэ, Великом Новгороде, Боровичах, Аркалыке (Казахстан), Шиrine (Узбекистан), Хойниках и Житковичах (Белоруссия), Оргееве (Молдавия), Фаустово, Шакхе. Значительно увеличили закупки новейшего оборудования у зарубежных станкостроительных фирм.

Заложили строительство 20 испытательных боксов в Фаустово, чтобы вынести все испытания из Москвы. Организовали строительство на правом берегу Днепра филиала Запорожского завода. Построили высокотехнологичный литейный корпус в Рыбинске. В Калуге создали мощности по выпуску ГТД-1250 для "летающего" танка Т-80У. В Зеленодольске построили завод по производству газотурбинных приводов на базе двигателей "НК" для ГПА газовых магистралей. Существенно расширили возможности по испытаниям двигателей на филиале ЦИАМ в Тураево.

Одним словом, шло наращивание мощностей по сборке, испытанию и производству авиадвигателей.

Нельзя не отметить, что развитию АДС уделялось большое внимание и правительством страны. Характерным было, например, начало создания заводов в Белоруссии.

В начале 1982 г. ликвидировались ракетные комплексы наземного базирования и высвободились созданные там мощности по ремонту и обслуживанию этих комплексов, да и вообще в Белоруссии к тому времени наметился избыток рабочих и технических кадров. Мы предложили развить и построить там заводы по выпуску АДС. Нас поддержали в правительстве, в ЦК КПСС. Настоящим энтузиастом этих дел стал первый секретарь Гомельского обкома КПСС Хусайнов. Но надо было предложить наиболее интересный и значимый проект. В ЗГУ был выбран проект создания мощностей для производства двигателей крылатых ракет конструкции О.Н. Фаворского. Организовывается бригада по доведению этого проекта до правительства БССР, в составе начальника ЗГУ, генерального конструктора О.Н. Фаворского, инструктора ЦК КПСС В.Н. Алексева (он ранее работал в ЗГУ по опытным делам), ведущего специалиста ЗГУ по капстроительству Г.Б. Седлецкой.

Летим в Минск. Докладываем проект в Совете министров. Через два часа получаем отрицательное решение. Они посчитали, что мощности и избыток кадров целесообразнее направить для гражданских целей. Связываемся с руководством ЦК КПСС. Получаем команду: "Ждите П.М. Машерова. Он будет к 18-00 на месте". Действительно, он нас принял, и за час мы ему доложили по проекту и получили полное одобрение. К 21-00 нас приняли в Совете Министров БССР и вручили необходимые документы, дающие право на строительство завода в г. Хойники и развития мощностей на бывшей базе ракетных комплексов в г. Жидковичи. Так же энергично, кое-где с местным противодействием, решались вопросы по развитию АДС и в Казахстане, и в Узбекистане, и в Молдавии, и на Украине и в областях РСФСР, от Великого Новгорода до Улан-Удэ. Авиастроение выходило на широкий путь развития мощностей и перевооружения, но наступили дикие 90-е годы...

(Продолжение следует)



ПС-90 на крыле Ил-96



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

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

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

(Продолжение. Начало в 4 - 2015)

КРИМИНАЛЬНЫЕ СТРАНИЦЫ БИОГРАФИИ ГЛУШКО И КОРОЛЁВА

Летом 1937 г. был арестован, осуждён и расстрелян идеолог ракетного вооружения, организатор РНИИ маршал М.Н. Тухачевский. Ему инкриминировали заговор против руководства партии



Маршал М.Н. Тухачевский

и государства, а также создание антисоветской троцкистской организации. Далее события последовали по отработанной технологии: если "главарь" выявлен и обезврежен, то необходимо "обрубить хвост" - выявить остальных членов преступной организации. Так в поле зрения бдительных органов НКВД попали руководители опекаемого Тухачевским НИИ-3 (бывший РНИИ) - директор И.Т. Клеймёнов и главный инженер Г.Э. Лангемак.

Существует несколько версий причины их ареста, но не будем их исследовать. Для нашего изложения событий достаточно самого

факта их ареста в начале ноября 1937 г., последовавших за ним допросов, принуждающих признать надуманную следователями вину, и внесудебного решения без прокурора и адвоката о расстреле в начале января 1938 г. Типичная история для того времени. Но для меня остаётся неясным один момент из этой трагедии: почему оба подследственных независимо друг от друга назвали своими "сообщниками" по вредительской организации из всего состава НИИ-3 одних и тех же двух человек? В следственных протоколах указаны фамилии Глушко и Королёва. Такой выбор "сообщников" вызывает у меня некоторое недоумение. Если применением физического насилия в ходе допроса следователь вынуждает назвать мифического сообщника, то вероятнее всего будет названа фамилия человека, к которому имеется неприязнь или какие-либо личные претензии. В этом случае на роль такого "сообщника" подходил Королёв, с которым у Клеймёнова и Лангемака не складывались отношения. Но Глушко? С Клеймёновым он никогда не конфликтовал, более того, Клеймёнов всегда поддерживал Глушко в его разногласиях по научно-техническим вопросам с бывшими работниками ГИРД. Лангемак и Глушко были друзья по жизни. Так что следовало бы ожидать, что вместо Глушко будет назван кто-нибудь другой из числа ведущих работников института, фамилию, даже для примера, называть считаю кощунственным. Это обстоятельство позволяет считать, что кандидатуры для последующего ареста были названы Клеймёновым и Лангемаком по "подсказке" следователей и закреплены подписанием прото-

кола допроса в результате физического воздействия. Об этом свидетельствует протокол допроса Лангемака, в котором следователь задаёт вопросы с высокой степенью знания подробностей в работе института и, в частности, научно-производственной деятельности Глушко. Такая осведомлённость могла быть только у работников НИИ-3, имеющих обширную информацию о выполнении тематических работ в институте. Нужные сведения следователи могли почерпнуть из писем работников института в различные партийные и государственные органы с критикой работы руководства НИИ-3. Наиболее информативным и пригодным для использования в работе следователей могло быть письмо Костикова, переданное им в апреле 1937 г. в ЦК ВКП(б), которое затем попало в органы НКВД и было приобщено следователем к делу на арестованного Глушко. Хотя существует ряд публикаций о якобы непричастности Костикова к арестам сотрудников НИИ-3, в то же время имеются неопровержимые, на мой взгляд, документы, опровергающие это утверждение.

О роли Костикова в арестах Клеймёнова, Лангемака и Глушко красноречиво свидетельствуют протоколы его допросов, когда в марте 1944 г. он был арестован за срыв сроков разработки обещанного лично И.В. Сталину реактивного самолёта-перехватчика - проект "302". В те времена такие "результаты" создания боевой техники рассматривались не только как техническая несостоятельность, но и как возможное вредительство. В связи с этим следователь допрашивал Костикова о его работе в НИИ-3 в 1937-1938 гг. В своё оправдание Костиков ссылался на факты проявленной им бдительности и разоблачения вредительской деятельности сотрудников института. На вопрос следователя: "В приобщённом в следствии к делу на осуждённого Глушко заявлении вы писали ... что Клеймёнов, Лангемак и Глушко на протяжении ряда лет вели вредительскую работу. Не так ли?" - последовал ответ: "Совершенно верно. Я продолжаю и сейчас утверждать, что, судя по известным мне фактам, Клеймёнов, Лангемак и Глушко на протяжении ряда лет в НИИ реактивной техники вели подрывную работу". Во время



Г.Э. Лангемак

другого допроса Костикив полностью себя разоблачает: "...В отношении Глушко я сам в 1937 году высказывал подозрения, утверждая в заявлении, адресованном в ЦК ВКП(б), что он занимается вредительством. Что же касается б. дир. НИИ Клеймёнова, то при нём я находился в загоне и получил возможность самостоятельно работать в области реактивной техники только после его ареста". Последнее заявление Костикива указывает на его личную заинтересованность из карьеристских побуждений в устранении Клеймёнова с должности директора.

Аресту Глушко предшествовала кампания его моральной травли в институте. Его научно-производственную работу дважды 13 и 20 февраля 1938 г. разбирали на расширенном заседании бюро НТС института, где под "дирижёрским" управлением А.Г. Костикива сотрудники, в основном бывшие гирдовцы, выступали с критикой методов и качества работы Глушко в части создания двигателя ОРМ-65 и газогенератора ГГ-1. Королёв в этом заседании участия не принимал. Читая протокольные записи выступавших работников НИИ-3 и сопоставляя их обвинения в адрес Глушко с фактическим положением дел, приходишь к следующим выводам. Глубинной причиной критики были не результаты работы Глушко, они как раз были успешным, хотя и не лишены некоторых ошибочных решений, а сам Глушко - молодой, красивый, модно одевавшийся, талантливый, в фаворе у руководства института (научные темы конкурентов из ГИРД закрыты административным путём), в обращении высокомерен, да ещё и чужак - прибыл из Ленинграда.

Наряду с претензиями личного характера: "...оторван от общественной жизни, отношение к подчинённым неверное, не товарищеское, фактически работает единолично", ряд выступающих обращает внимание на его политическую позицию: "...до сих пор он ничем не выявил своего отношения к Лангемаку и Клеймёнову ни устно на собраниях, ни в печати". Глушко, естественно, отвечал на задаваемые ему вопросы, оправдывался, а это априори делало его виноватым. В результате бюро НТС приняло решение: "Объявить недоверие и исключить Глушко из Совета членов ИТС". Из членов профсоюза он был исключён ранее.

Вряд ли "судилище" на заседании бюро НТС стало причиной ареста Глушко, в ту пору инженера среднего звена - начальника сектора малоизвестного в стране НИИ. Но этот НТС лёг в "масть" к ранее направленным в партийные и другие "органы" письмам некоторых сотрудников НИИ-3, в том числе А.Г. Костикива (апрель 1937 г.) с обвинением И.Т. Клеймёнова, Г.Э. Лангемака, В.П. Глушко во вредительстве.

Глушко был арестован 28 марта 1938 г. и подвергнут первичному допросу на Лубянке. Допрос в классическом понимании - это интеллектуальное противостояние, словесная дуэль между следователем и обвиняемым. Но в практической деятельности недостаток интеллекта следователь подменяет физическим воздействием, действуя по поговорке: "Сила есть - ума не надо". Двое суток непрерывного морально-физического насилия завершились подписанием протокола допроса с признанием участия в антисоветской вредительской организации и шпионской работе в пользу Германии. Начало было положено, задача первого допроса - признание арестованным вины - успешно решена и подследственного Глушко отправили в Бутырскую тюрьму.

Как бы вдогонку и в подкрепление ранее сделанных доносов и наветов, уже после арестов Глушко и Королёва, в НИИ-3 по инициативе Костикива была организована "творческая" группа в составе самого А.Г. Костикива, а также Л.С. Душкина, А.Н. Дедова и М.П. Коляновой, из под пера которых вышел "Акт от 20.07.1938 г.". Члены группы в спокойной обстановке детально препарировали "преступную" деятельность Глушко и Королёва и дали им личные негативные характеристики.

Итак, Глушко: "Во время работы в институте проявлялось резкое выраженное пренебрежительно барское отношение к людям, особенно к подчинённым, что вызывало исключительно отрицательное отношение к нему абсолютного большинства работников института. Наблюдалась полная оторванность от общественно-политической жизни института. Редким явлением было присутствие Глуш-

ко на собраниях либо митингах, проводимых в институте. Круг друзей Глушко в институте замыкался Лангемаком, Клеймёновым, Королёвым, которые обволакивали его незыблемым техническим авторитетом, создавая исключительные условия для работы".

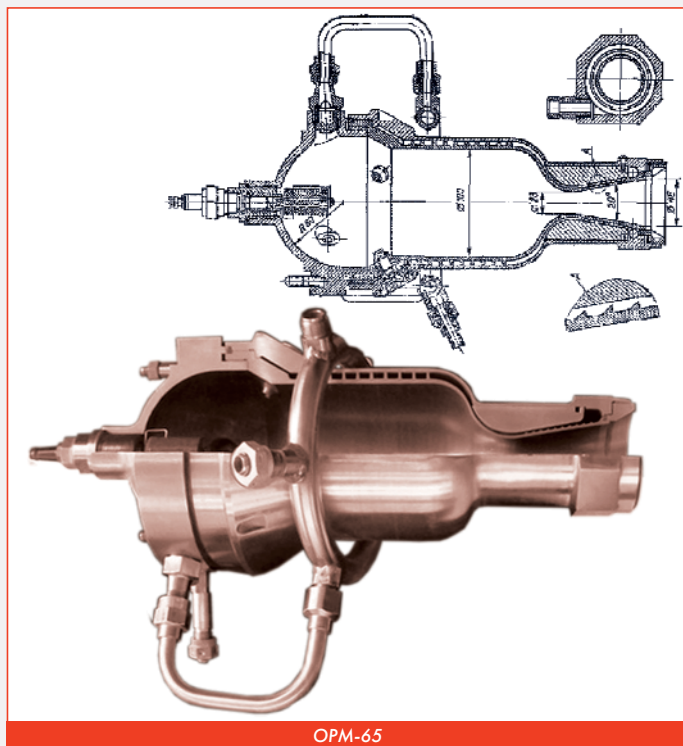
В этом же "Акте..." приводится анализ вредительской деятельности Королёва и тоже даётся ему характеристика: "По своим настроям и отношениям к политической жизни института и страны Королёв ничем не отличался от Глушко. До крайности груб с подчинёнными, проявляя барское пренебрежение к большинству сотрудников института, не входящих в компанию Клеймёнова, Лангемака, Глушко, Купреевой и т.д. За развал основной работы был в 1937 г. исключён из рядов сочувствующих, куда ранее поступил по рекомендации Клеймёнова, и выведен из бюро ОСВ".

Следующий, основательный допрос Глушко состоялся 5 июня 1938 г. (При изложении этого и последующих допросов Глушко и Королёва приводятся фрагменты протоколов, касающиеся непосредственно темы их личных взаимоотношений. Более подробно некоторые протоколы допросов или их фрагменты изложены в книгах "Однажды и навсегда" (изд. "Машиностроение", 1998 г.) и "Валентин Глушко" (изд. "Политехника", 2008 г.), а также "Отец" (изд. "Наука", 2002 г.).

На своём горьком опыте и рассказах сокамерников по Бутырской тюрьме, среди которых был "сиделец" со стажем, будущий академик Б.С. Стечкин, Глушко уяснил, что следователи исходят из расхожего положения - "органы никогда не ошибаются", раз человек арестован, значит априори он виновен. Эта иезуитская по своему содержанию формулировка и введённая А.Я. Вышинским псевдоюридическая норма - "Признание - царица доказательства" - ориентировали следственные органы на получение "признания" во вредительской деятельности любым способом, тем более, что официальным письмом И.В. Сталина разрешалось применение к обвиняемому по 58-й статье УК РСФСР физического воздействия. Понимая бессмысленность отрицания сделанного на первом допросе признания, Глушко подтвердил своё участие во вредительской организации, но при этом назвал в составе организации только фамилии ранее арестованных Н.Я. Ильина, И.Т. Клеймёнова, Г.Э. Лангемака и, предположительно, давно умершего Н.И. Тихомирова. Признаваясь в своей якобы вредительской деятельности, Глушко рассказывал о поручении ему сконструировать двигатель для проектируемой Королёвым крылатой ракеты и ракетопланера, и что намеренно мешал Королёву. С этой целью он вместо хорошо себя зарекомендовавшего двигателя ОРМ-65 предложил Королёву применить вновь разработанный двигатель ОРМ-66, в конструкции которого были специально внесены ошибки. Дополнительно к этому Глушко сделал ещё одно "признание": "...я решил сорвать лётные испытания ракетного планера. С этой целью я передал Королёву некондиционную зажигательную шашку, которая вызвала взрыв, и лётные испытания ракетного планера были отложены".

Об участии Королёва во вредительской организации ни слова, ни намёка. Фамилия Королёва упомянута в протоколе допроса





ОРМ-65

только в качестве потерпевшего от вредительской деятельности самого Глушко. Однако и этого оказалось достаточно, чтобы на допросах Королёва убеждать в уличающих его показаниях Глушко, а в обвинительном заключении по делу Королёва указать, что он изобличён показаниями Клеймёнова, Лангемака и Глушко.

После этого допроса следователи "забыли" о Глушко на семь месяцев, таких долгих для сидящего в переполненной камере Бутырской тюрьмы. Но длительное "сидение" не сломило воли Глушко, он не терял надежды добиться справедливого решения по его "делу". За это время им было написано несколько писем-обращений в высшие государственные и партийные органы: Верховному Прокурору СССР А.Я. Вышинскому (16.09.1938), Наркому Внутренних Дел Н.И. Ежову (28.9.1938), Генеральному Секретарю ЦК ВКП(б) И.В. Сталину (21.10.1938), Наркому Внутренних Дел Л.П. Берия (7.12.1938). Во всех обращениях он указывал на вынужденное признание им вины и просил пересмотреть его дело с соблюдением законодательства. Регулярно писали письма в различные инстанции с просьбой освободить невиновного сына и родители В.П. Глушко.

Кардинального изменения в судьбе арестованного письма не принесли. Но всё же по его делу был назначен другой следователь, который 24 января 1939 г. вызвал Глушко на допрос. Перед новым следователем предстал уже другой арестант, отличающийся от того человека, который почти год назад впервые попал на допрос. Парализующий страх физического насилия со временем был преодолен волевым усилием, пробудилось чувство человеческого достоинства, появилась ясность, что конец следствия предопределён его началом - арестом по политической статье. И именно это обвинение нужно опротестовать, технические ошибки и даже аварии в НИИ - это совсем другая статья обвинения и другой, несопоставимый уровень наказания. Признать объективные технические факты и отрицать подлые наветы - такую тактику защиты решил применить Глушко на первом же допросе у нового следователя.

По основному обвинению Глушко заявил: "От всех ранее данных мною показаний я отказываюсь как от вынужденных и не соответствующих действительности. Никакой вредительской работой я не занимался". Далее он пояснил, что предложенный Королёву двигатель ОРМ-66 был более совершенным вариантом ранее разработанного двигателя ОРМ-65, а взрыв при запуске двигателя в составе ракетного планера произошёл из-за взятого Глушко на себя риска использовать пороховую шашку сомнительного качества, т.к. других шашек в тот момент не было. И опять упоминание Коро-

лёва только как участника совместно проводимых работ. Однако эти разъяснения не убедили следователя, и он зачитал показания из протокола допроса Королёва 4 августа 1938 г., изобличающие Глушко во вредительской деятельности. На это Глушко реагировал довольно сдержанно: "Показания Королёва о моей принадлежности к антисоветской организации, и её деятельности голословны. Прошу допросить меня на очной ставке с Королёвым, чтобы я мог уличить его в клевете".

Неудовлетворённый результатами допроса, следователь Пилюгин Постановлением от 28.01.1939 г. организовал техническую экспертную комиссию из работников НИИ-3 в составе Ю.А. Победоносцева, Ф.Н. Пойды, Д.А. Шитова, М.П. Коляновой, которые третьего февраля 1939 г. предоставили в следственные органы "Акт обследования работ Глушко с моторами на жидком топливе". В Акте представлен критический анализ научно-технических работ, проводимых Глушко, и сделан вывод, что он преследовал цель разбазаривания народных средств в крупных размерах, затягивая разработку порученных ему проектов, и тем самым тормозил развитие ракетной техники в СССР. Сам Глушко характеризуется в негативном плане. Ознакомившись с этим Актом, Глушко записал в протоколе допроса: "Акт технической комиссии не соответствует действительности, в акте указаны отдельные мои неудачные испытания как вредительские, а достижения затушёваны. Согласие с актом первой технической экспертной комиссии было вынуждено путём физического воздействия...". Однако Акт был приобщён к следственному делу и следователь объявил об окончании следственного процесса.

Несправедливость обвинения побудила Глушко ещё раз обратиться с письмом к И.В. Сталину (21.02.1939 г.), в заключительной части которого он пишет: "Прошу Вашего вмешательства, чтобы освободить меня из тюрьмы и дать возможность отдать все силы и знания на пользу Родине". Не получив и, видимо, не надеясь получить ответ, Глушко 5 марта 1939 г. предпринимает, как оказалось, последнюю попытку снять с него обвинения: он настаивает на очной ставке с Клеймёновым, Лангемаком и Королёвым. На это требование следователь спецчасти НКВД СССР мл. лейтенант Госбезопасности Пилюгин 16 марта 1939 г. принимает постановление: "Так как обвиняемые Клеймёнов, Лангемак и Королёв уже осуждены, поэтому, руководствуясь ст. УПК РСФСР, в просьбе Глушко о допросе его на очной ставке отказать".

На этом следствие по обвинению Глушко было завершено и 17 марта 1939 г. Комиссар Госбезопасности Л.З. Кобулов утвердил обвинительное заключение, в котором излагаются "факты вредительской деятельности" Глушко и указывается, что "допрошенный в качестве обвиняемого Глушко полностью признал себя виновным, но впоследствии от своих показаний отказался. Изобличается показаниями членов той же антисоветской организации Клеймёновым, Лангемаком и Королёвым. Вредительская деятельность подтверждается актом технической экспертной комиссии". И заключительная часть: "...следдело № 18102 подлежит передаче на рассмотрение Особого совещания при НКВД СССР".

К направленному в Особое совещание "следделу № 18102" были приложены справки, в которых кратко изложена суть дела.

"1. Глушко В.П. изобличается показаниями одного из руководителей троцкистской организации б / директором НИИ-3 Клеймёновым, осуждён к ВМН, а также участниками троц. Организации Лангемаком, осуждён к ВМН, и Королёвым, осуждён, дано 10 лет тюрьмы.

2. В настоящий момент уточнить его вовлечение в троцкистскую организацию не представляется возможным.

3. Вещественных доказательств по делу нет".

Казалось бы, кроме голословных, ничем не подтверждённых обвинений у следствия ничего нет, и Глушко, после ознакомления с обвинительным заключением, 3-го июня 1939 г. пишет письмо Верховному Прокурору СССР, в котором в очередной раз указывает на несправедливость ареста и ведения следствия. В заключительной части письма он пишет: "Прошу Вашего немедленного вмешательства, чтобы прекратилось издевательство над честным советс-

ким инженером и дать возможность работать на пользу Родине по специальности". Но Особое совещание, руководствуясь статьями 58-7 и 58-11 УК РСФСР, 15.08.1939 г. приняло решение: "Глушко В.П. за участие в контрреволюционной организации заключить в исправительно-трудовой лагерь сроком на 8 лет, считая срок с 23-го марта 1938 года. Дело сдать в архив".

Однако на этот раз судьба повернулась к Глушко лицом. Письма арестованных и осуждённых по 58-й статье УК РСФСР в следственном аппарате всё-таки читали. Приведенные выше строчки из писем Глушко И.В. Сталину (21.02.1939 г.) и Верховному Прокурору СССР (3.06.1939 г.) о желании работать по специальности на пользу Родине привлекли, видимо, чьё-то внимание. Резолюция на выписке из протокола Особого Совещания "В Ухтижелла" была заменена безымянной карандашной записью "Ост. для раб. в тех-бюро", что соответствовало позиции Наркома Л.П. Берии по укомплектованию техническими специалистами лично ему подчинённых спецтюрем. Так Глушко вместо верной смерти на северном лесоповале оказался в спецтюрьме 4-го Спецотдела НКВД СССР при Тушинском авиационном заводе № 82.

С.П. Королёв был арестован 27 июня 1938 г. как участник антисоветской троцкистской организации в НИИ-3 на основании показаний "членов" этой организации Клеймёнова и Лангемака. Утром 28 июня 1938 г. на Лубянке состоялся первый допрос с применением морально-физического насилия, в результате которого Королёв подписал признательный протокол об участии в указанной следователями вредительской троцкистской организации. После этой предварительной обработки ему 10 июля 1938 г. предъявили "Постановление об избрании меры пресечения и предъявлении обвинения", в котором Королёв уличался в активной работе в составе вышеуказанной антисоветской организации и он был помещён в Бутырскую тюрьму. На последующем допросе в качестве доказательства его вредительской деятельности ему был предъявлен "изобличающий" его и Глушко уже упомянутый "Акт от 20.07.1938 г.", состряпанный Костиковым, Душкиным, Дедовым и Коляновой. Акт вызвал у Королёва резкое возражение и возмущение, но это не мешало приобщить Акт к следственному делу.

Следствие велось в достаточно высоком темпе и Королёв 4 августа 1938 г. был вызван на допрос, который, как оказалось, был последним перед передачей его дела в суд. Протокол допроса представляет повышенный интерес, поэтому рассмотрим его подробнее. В начале допроса Королёв подтвердил, что состоял в антисоветской организации, в состав которой входили Клеймёнов, Лангемак и с 1934 г. Глушко. Такие "признания" были каноническими в подобных протоколах допросов - подтверждалось участие во вредительской организации самого допрашиваемого и ещё нескольких человек, ранее арестованных. По ходу допроса Королёв даёт признательные показания: упоминает о специально допущенных им конструкторских ошибках: неправильно выбранном материале баков торпеды, а также намеренном применении системы подачи компонентов топлива, вызывающей взрыв при запуске двигателя. А вот далее на протяжении всего допроса Королёв изобличает Глушко в его вредительской деятельности: "Двигатель для установки на торпеду разрабатывал участник нашей антисоветской организации Глушко. [...] Автопуск для приведения торпеды в действие умышленно затягивался разработкой членом организации Глушко и в течение 1937 г. не был им разработан. Глушко умышленно неправильно рассчитал конструкцию камеры сгорания, в результате критическое сечение сопла прогорало на 20 секунде работы, в то время как требовалось 50 сек. [...] В 1936 г. мною была разработана ракетная установка, а Глушко двигатель ОРМ-65. [...] Глушко по своей инициативе в момент испытания вложил в мотор негодную воспламенятельную шашку, отчего при запуске произошёл взрыв, разрушивший проводку, арматуру и частично объект. [...] В результате вредительской деятельности Глушко к концу 1937 г. создал такое положение, что институт фактически не имел моторов, которые можно было бы надёжно использовать. Сам Глушко, работая по вредительской установке Лангемака, вёл научно-исследовательские работы бессистемно, непродуманно и завёл

моторное дело в тупик. Другую порученную ему работу по автоматическому запуску моторов Глушко не довёл до конца и окончательно запутал возможность запуска моторов, несмотря на то, что работал над этим в течение года. [...] В конце концов, он привёл к развалу все работы по отработке запусков и лишил возможности проводить опыты над реактивными торпедами и планером. [...] Глушко имел хорошие показатели работы реактивных двигателей в 60 кг тяги, в 150 кг тяги, но в целях вредительской организации стал постепенно изменять конструкцию двигателей и свёл их к мощности 20-25 % КПД, а поэтому они не получили практического применения и Глушко их забросил. Три года работы над этими двигателями и крупные затраты по ним принесли серьёзный ущерб институту". Приведённые фрагменты из протокола допроса вызывают недоумение, заставляют задуматься. Мне довелось читать аналогичные протоколы допросов, опубликованные в нашей литературе. Допрашивались разные люди, и, разумеется, вели они себя по-разному. Но если выделить применяемую ими тактику поведения на допросе, то вырисовывается следующая картина: подтверждение фамилий ранее названных членов антисоветской организации, включая себя и последующий самооговор с приведением "фактов". Так, в частности, вёл себя на допросах Глушко. Но вышеприведённый допрос Королёва кардинально отличается от сложившейся практики. Перечислив ранее упомянутых членов вредительской организации, он в подробностях излагает вредительскую деятельность Глушко. Зачем и почему потребовалось это Королёву?

На эту странность в поведении Королёва обратили внимание и другие авторы мемуарной литературы, некоторые из них объясняют это "прессингом" следствия и подписанием практически не читая заранее подготовленного протокола допроса. Действительно, в соответствии со следственным делом производством протокол по ходу допроса ведёт следователь. Обвиняемый, после прочтения протокола его подписывает, при необходимости отражает своё мнение по поводу написанного. В то же время в публикациях, касающихся проведения допросов в 1937-1938 годах политических подсудимых, иногда указывается, что протокол был написан следователем заранее, хотя такие утверждения приводятся без доказательств. Наверное, бывало и так. Но для этого требовалось, чтобы следователь в достаточной мере был знаком с рассматриваемой на допросе сферой деятельности, инкриминируемой обвиняемому. В нашем же случае в протоколе отражены вопросы научно-технического характера, которые самостоятельно сочинить следователь - лейтенант Госбезопасности Шестаков - не смог бы. В тексте протокола содержатся технические подробности работы НИИ-3, о которых мог знать только человек, непосредственно участвующий в этих событиях. Мог ли допрашивающий Королёва следователь знать о них?

Как показали последующие события, этот допрос был ключевым в деле Королёва, к нему следователь провёл основательную подготовку. Об этом свидетельствует ряд фактов. Изучая опубликованные в печати документы, связанные с криминальными страницами биографий Глушко и Королёва, я обратил внимание на один факт, прошедший малозаметным штрихом в "Протесте Генераль-



С.П. Королёв

ной прокуратуры Союза ССР в Военную коллегия Верховного суда СССР от 11 августа 1956 года". В констатирующей части этого документа указывается: *"На допросе 4 августа 1938 г. (протокол отпечатан на машинке, дата допроса дописана чернилами) Королёв показал, что он является участником антисоветской организации и что вражескую работу в НИИ-3 проводил также Глушко..."*. Так что есть все основания предполагать, что протокол допроса составлен заранее, доказательство предварительного его составления следователем я усматриваю в машинописном исполнении. Это же косвенно указывает на решение следователя завершить следственный процесс предстоящим допросом, и он к нему основательно подготовился. Но откуда же у следователя столь подробные знания о работе Глушко и Королёва в НИИ-3, если протокол составлен до допроса? Анализ содержания протокола показывает, что практически все обвинения следователь мог почерпнуть как из ранее упомянутого письма Костинова, так и из полученного накануне "Акта от 20.07.38 г.", а также из протокола допроса Глушко 5 июня 1938 г. Наверняка у следователей спецчасти НКВД были и другие источники информации о состоянии дел в НИИ-3, но и упомянутых первыми двух развёрнутых доносов было достаточно, чтобы состряпать липовый протокол ещё предстоящего допроса. Остаётся только вопрос, почему Королёв согласился с содержанием предварительно составленного протокола и подписал его? На это сейчас определённо ответить не может никто. Можно сделать только предположение - Королёв поверил в предательство Глушко по отношению к нему. Об этом ему твердили следователи, хотя протоколов с такими показаниями, сделанными Глушко, не предъявляли - их не существовало. На такую тактику ведения допросов Королёв ссылается в своём письме от 29.11.38 г. из Новочеркасской пересыльной тюрьмы в адрес Верховного Прокурора СССР: *"...на следствии не раз просил очных ставок или хотя бы прочесть показания на меня других, ранее арестованных лиц, но получал отказ и соответствующее "внушение", чтобы я сам писал такие показания"*. Видимо, на допросе 4.08.38 г. Королёв поддался на "соответствующее внушение" следователя (а что подразумевается под этим "соответствующим внушением", остаётся только догадываться) и уступил "советам" следователя. Но можем ли мы его за это упрекать или же предъявлять претензию? Чтобы понять поведение Королёва, нужно побывать в его психологически-физическом состоянии в период пребывания в заключении и во время этого допроса. И далее - по расхожему в быту выражению: *"Понять - значит простить"*. Но всё-таки одно обстоятельство я не могу оставить без внимания. На суде от собственного признания всегда можно отказаться, мол, к самооговору вынудили следователи. А уличение во вредительской деятельности со стороны - это другая категория обвинений, доказать неправоту которых бывает очень трудно, а для заранее объявленного "врагом народа" практически невозможно. "Следы" этого протокола проявились в обвинительном заключении Глушко и уже цитируемой нами справке, направленной вместе со следственным делом Глушко в Особое совещание: *"Глушко изобличается показаниями ... Клеймёновым, осуждён к ВМН, а также... Лангемаком, осуждён к ВМН, и Королёвым, осуждён, дано 10 лет тюрьмы"*.

После оформления протокола допроса 4 августа 1938 г. следователи сочли собранных документов достаточно и 7.08.38 г. объявили Королёву о направлении его следственного дела на рассмотрение Военной коллегии Верховного суда СССР. 25 августа 1938 г. Верховный Прокурор СССР А.Я. Вышинский утвердил обвинительное заключение по делу Королёва, в котором он обвинялся в участии в антисоветской троцкистской вредительской организации, в срыве отработки и сдачи на вооружение РККА новых образцов вооружения, в связи с чем подлежал суду Военной коллегии Верховного Суда СССР.

Узнав от следователей, что его дело будет рассматриваться в Военной коллегии Верховного Суда СССР, Королёв несколько приободрился. Он надеялся, что в этом высоком органе судьи - серьёзные, по государственному мыслящие люди - выслушают его и поймут чудовищную ошибку, допущенную тупыми, безграмотными следователями, вынесут справедливый оправдательный приговор, и

он сможет вернуться к своему любимому делу.

Суд над Королёвым проходил под председательством В.В. Ульяхова в течение 26 и 27 сентября 1938 г. Подсудимый виновным себя не признал, от данных им в ходе следствия показаний отказался. В последнем слове *"просил учесть его молодость, его преданность Правительству и Партии и дать ему возможность плодотворно работать в области авиации"*. Однако суд признал его виновным в совершении преступлений, предусмотренных статьями 58-7, 17, 58-8, 58-11 УК РСФСР и приговорил к тюремному заключению на 10 лет с поражением в политических правах на 5 лет и конфискацией личного имущества.

Оглашённый приговор нанёс Королёву сильнейший моральный удар, но не сломил его. И он продолжил борьбу за своё освобождение доступными ему средствами. Но прежде чем приступить к изложению борьбы Королёва и его матери М.Н. Баланиной за освобождение, сделаем отступление и приведём сравнение в ведении следствия и вынесении приговоров В.П. Глушко и С.П. Королёву.

Ещё в середине 90-х годов, когда стали появляться первые публикации протоколов допросов и приговоры репрессированных в 30-е годы людей, я обратил внимание на различные сроки проведения следствия и вынесение приговоров Королёву и Глушко. Кое-что мне помог понять мой приятель со студенческих лет, ныне покойный Ю.Г. Демянко, который был допущен к архивным следственным делам некоторых репрессированных в те годы людей. Обобщая почерпнутые у него сведения, нынешние публикации и анализируя события, происходящие в те далёкие годы, у меня сложилась следующая картина.

Глушко и Королёв работали инженерами среднего звена в одном из малоизвестных в то время НИИ по одной и той же тематике. Их арестовали с интервалом в три месяца (Глушко - 23.03.38 г., Королёва - 27.06.38 г.) по одному и тому же обвинению - участие в антисоветской вредительской организации, причём показания об их участии дали одни и те же люди - Клеймёнов и Лангемак. По запросу следователя институтский "актив патриотов" дал им аналогичные отрицательные характеристики. Всё - один к одному.

А далее их жизненные пути расходятся.

Расследование *"преступной деятельности"* Глушко ведётся с 23.03.38 г. по 15.08.39 г. и его судьбу решает Особое совещание при НКВД СССР, которое инкриминирует ему статьи 58-7 и 58-11 УК РСФСР, по которым назначает наказание - 8 лет работ в исправительно-трудовом лагере.

Следствие по "делу" Королёва длилось с 27.06.38 г. по 27.09.38 г., обвинительное заключение рассматривала Военная коллегия Верховного Суда СССР, ему инкриминированы статьи 58-7, 17, 58-8, 58-11. Приговор - 10 лет тюрьмы с поражением в правах на 5 лет и конфискация личного имущества.

Чем же можно объяснить такие разные выводы при одинаковых исходных данных?

Технология проводимых в 30-х годах массовых репрессий предусматривала предварительную селекцию - распределение арестованных по нескольким спискам. Такие списки объединяли арестованных не по инкриминированным им преступлениям, а по уровню занимаемых ими перед арестом должностям, степени их общественной известности или значимости. Обвинительный пункт статьи 58 Уголовного кодекса им определял следователь перед первым допросом. Попадание арестованного в какой-либо из таких списков по существу определяло дальнейший ход следствия и, чаще всего, его конечный результат. Предварительная селекция арестованных по спискам уже предполагала степень наказания, которое подтверждалось подписями этих списков на высшем уровне - некоторыми членами Политбюро и Наркомаами. Так в чём же усмотрели разницу между Глушко и Королёвым следователи?

Королёв до НИИ-3 выполнял дипломный проект под руководством осуждённого в 1937 г. А.Н. Туполева, работал инженером на авиазаводе, в 1932 г. возглавил ГИРД, входящий в систему Осоавиахима, которым в ту пору руководил позднее расстрелянный как враг народа Р.П. Эйдемман, имел контакты с М.Н. Тухачевским, при организации РНИИ был назначен заместителем начальника инсти-



Р.П. Эйдеман

туда арестованного в ноябре 1937 г. Клеймёнова, при этом назначении получил высокое воинское звание - два ромба в петлице. Неоднократно выступал на Всесоюзных конференциях по астронавтике, пользовался известностью в научных кругах. В НИИ-3 конструировал оружие для РККА - крылатые аэроторпеды. По мнению "патриотического актива" института допущенные им технические ошибки в работе являются плодом его вредительской деятельности. О принадлежности к вредительской организации в НИИ-3 дали показания осуждённые Клеймёнов и Лангемак.

Подведём итог: высокая должность, высокое воинское звание, общение с высокопоставленными врагами народа, вредительство при создании оружия для Красной Армии, известен в научных кругах - достаточно оснований для включения в список № 1. Хотя и кратковременное, но высокое воинское звание, а также разработка оружия для РККА определили судебный орган - Военную коллегия Верховного Суда СССР, а этот орган обычно определял наказание в диапазоне от 10 лет тюрьмы до высшей меры наказания (ВМН) - расстрела. Из 74 человек, находящихся в одном списке с Королёвым, около 60 бедолаг получили ВМН. Судьба, другого объяснения здесь не найдешь, смилостивилась и Королёв получил "только" 10 лет тюрьмы.

Глушко до НИИ-3 работал инженером в ГДЛ, где пользовался расположением у осуждённых Клеймёнова, Лангемака и Ильина. В НИИ-3 претендовал на лидерство среди разработчиков ЖРД, вместе с Лангемаксом в 1935 г. издали книгу "Ракеты, их устройство и применение", опубликовал ряд статей в научно-техническом сборнике "Ракетная техника". В органах НКВД имеется ряд доносов на Глушко, но без существенных обвинений: уклоняется от общественно-полезных дел, антипатриотически настроен, допускает критические высказывания в адрес членов партии, в процессе выполнения плановых работ допустил несколько технических ошибок, которые некоторые сослуживцы склонны считать проявлением вредительской деятельности. В общем, так, "мелкая рыбёшка" в сетях ловцов врагов народа. Но пройти мимо "разоблачения" Клеймёновым и Лангемаксом в причастности к антисоветской вредительской организации "органы" не могли, и Глушко был арестован. По степени своей значимости Глушко не представлял большого интереса для следователей и они, видимо, занимались делами более "важных" арестованных. Между двумя последующими допросами 5 июня 1938 г. и 24 января 1939 г. прошло более 7 месяцев и за это время в стране произошли важные события, оказавшие определяющее значение на последующие судебные решения и условия жизни осуждённых, включая Глушко и Королёва.

В середине 1938 г. угрозы посягательства на единовластие "Вождя всех народов" уже не существовало. Главные политические конкуренты были устранены, вероятная военно-политическая оппозиция была разгромлена, ближайшее окружение репрессированных лидеров было либо расстреляно, либо надолго упрятано в тюрьмы, но аресты всё продолжались. В количественном отношении они пошли на спад, да и общественно-профессиональный уровень арестованных измывался. Цепная реакция репрессий опустилась до самых низов, до уровня рядовых граждан. Именно это обстоятельство оказало влияние на последующие события. С момента убийства С.М. Кирова и последовавших за ним репрессий активная часть народа горячо поддерживала борьбу органов НКВД с "врагами народа": политическими лидерами, коммунистами высшего звена, военачальниками, руководителями крупных промышленных предприятий, представителями творческой интеллигенции, которые где-то там, наверху, ведут враждебную антинародную деятельность. Но когда подошло время ареста рядовых работников предприятий и колхозов, ближайших соседей,

родственников, то в народе появились ростки сомнения в достоверности предъявляемых обвинений.

"Вдохновитель и организатор всех наших побед" чутко уловил, что натянутая тетива репрессий достигла своего предела и общественное мнение масс находится на грани потери доверия в наличии в стране такого количества шпионов и вредителей.

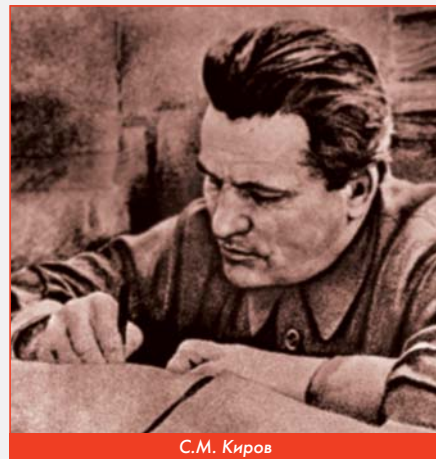
Пришло время отмежеваться от проводимых репрессий и понизить градус напряжения в народе, а для этого существует издревле известный способ - отыскать "ведьму" и принести сакральную жертву. Искать долго не требовалось и "остроглазый" Нарком Ежов из *"карающего меча диктатуры пролетариата"* в одночасье превратился *"в кровавого нарушителя ленинских норм социалистического правопорядка"*.

Расправа над Ежовым была проведена по хорошо отлаженной методике: его перевели на малозначущую должность Наркома водного хозяйства, а через некоторое время арестовали, обвинили в незаконных массовых репрессиях и расстреляли. На место Наркома НКВД СССР из Грузии перевели Л.П. Берия, который после двухмесячной стажировки в должности первого заместителя Наркома 25 ноября 1939 г. возглавил Наркомат Внутренних дел СССР.

Став Наркомом, Берия понимал, что занимаемая теперь им должность не определяет внутреннюю политику в стране и что его назначение является всего лишь политической акцией для успокоения народных масс, как своевременно опубликованная в 1929 г. статья "Головокружение от успехов". Отработав поставленное ему политическое задание, Берия несколько ослабил "вожжи" репрессий, наступила временная государственная "оттепель": по его указанию (согласованному, разумеется, с Политбюро) ряд следственных дел был прекращен, часть ранее вынесенных приговоров была пересмотрена со снижением сроков наказания, из следственного аппарата были уволены наиболее "ударные" следователи.

Проводя мероприятия для исправления имиджа НКВД и обеспечения собственного авторитета среди народных масс, Берия озабочился и об укреплении своего положения среди сложившейся кремлёвской элиты. С этой целью он в январе 1939 г. реорганизовал ранее существовавшие в системе НКВД разоблачённые Особые конструкторские бюро (по сути - спецтюрьмы с научно-технической формой работы) в "Особое техническое бюро при Наркоме НКВД" в составе 4-го Спецотдела НКВД СССР. Теперь все спецтюрьмы (в просторечии "шарашки") подчинялись лично Берии, и он стал во главе обобщённого и сконцентрированного в НКВД научно-технического направления по разработке новой техники, в основном, вооружения, которое по своим тактико-техническим характеристикам превосходило производимое в отраслевых Наркоматах.

Массовые бессистемные аресты 1937-1938 гг. обескровили оборонную промышленность СССР, особенно это сказалось на любимом детище вождя - авиации. Так, в 1937 г. был расстрелян талантливый авиаконструктор Калинин, конкурирующий с Туполевым в создании самолётов тяжёлого класса. И Берия решил начать с исправления этой ошибки своих предшественников и организовал



С.М. Киров



К.А. Калинин



Здание ЦКБ-29

авиационное ЦКБ-29. В разное время в этой спецтюрьме отбывали наказание выдающиеся советские авиаконструкторы, среди них (по алфавиту): Р. Бартини, Д.П. Григорович, В.М. Мясищев, В.М. Петляков, Н.Н. Поликарпов, А.И. Путилов, Д.Л. Томашевич, А.Н. Туполев, В.А. Чижевский. Несколько месяцев в ЦКБ-29 работал и С.П. Королёв.



Р. Бартини



В.М. Петляков



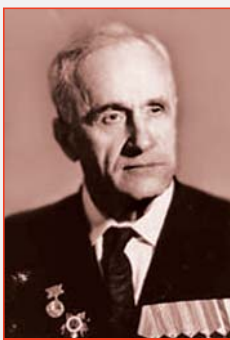
В.М. Мясищев



Д.П. Григорович



Н.Н. Поликарпов



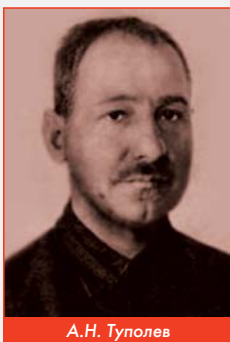
В.А. Чижевский



Д.Л. Томашевич



А.И. Путилов



А.Н. Туполев

Став административной главой и "техническим руководителем" ЦКБ-29, Берия порой не скрывал, что аресты и осуждения авиаконструкторов проводятся целенаправленно для использования их в ЦКБ-29, т.к. за каждый самолёт, созданный под его "руководством", он получал личную благодарность Сталина.

В мемуарной литературе приводится разговор между Берия и находящимся в заключении в ЦКБ-29 А.Н. Туполевым. Берия, не без гордости, отметил, что для авиаконструкторов созданы все условия для творческой работы. Никто им не мешает, ничто не угрожает их жизни. Успешно работайте и - самолёт в небо и все по домам. На реплику Туполева, что работаете лучше без решёток на окнах, Берия возразил: мы вас оберегаем от всяких неожиданностей, на улице может случайно кирпич упасть на голову или нечаянно можно попасть под трамвай. У нас же ничего подобного случиться не может, нужно только хорошо работать. Так талант человека становился причиной ареста и последующей работы по своей специальности в неволе.

Кроме ЦКБ-29 существовало ещё несколько спецтюрем, расположенных при самолётостроительных и авиамоторных заводах. Вот эти спецтюрьмы и стали местом дальнейшей жизни и работы осуждённых Глушко и Королёва.

Сделав этот краткий экскурс в особенности внутренней политики в 1938-1939 гг., вернёмся к моменту вынесения обвинительного приговора Королёву в сентябре 1938 г.

Бороться за освобождение Королёва первой начала его мать М.Н. Баланина. Пережив шок первых дней после ареста сына и потеряв надежду, что арест является ошибкой и Сергея скоро освободят, она 15 июля 1938 г. пишет развёрнутое письмо И.В. Сталину, а 19 июля телеграммой подтверждает направление письма. В этот же день столь же подробное письмо она направляет Наркому Н.И. Ежову, а 21 июля 1938 г. посылает телеграфное уведомление об отправлении письма. В письмах она подробно излагает биографию и рабочую характеристику сына и убеждает в ошибочности ареста. Сам Королёв, после получения 7 августа извещения, что следствие завершено и подготовлено обвинительное заключение, в августе 1938 г. дважды обращается к Верховному Прокурору СССР (14.08.38 г. и 31.08.38 г.) и Наркому Внутренних Дел СССР (31.08.38 г.), в которых отрицает ранее сделанные признания под физическим воздействием следователей и приводит доказательства своей невиновности. Но все эти обращения остались без ответа и не повлияли на вынесение приговора.

После вынесения приговора Королёв продолжает бороться за своё освобождение, обращается с письмами к Председателю Верховного Суда СССР (20.10.38 г.) и Верховному Прокурору СССР (29.10.38 г.). Содержание писем - вынуждены признание в преступлении, не виноват, прошу освободить. Результат - без ответа.

В начале ноября 1939 г. Королёва этапировали в Новочеркасскую пересыльную тюрьму. Находясь в этой тюрьме, Королёв в те же адреса направил новые письма - 10.11.38 г. и 29.11.38 г. Прежние адреса - прежние же результаты: без ответа.

Уяснив, что просьбы матери осуждённого не производят впечатления на высоких чинов, она решила подключить авторитетных людей. По её просьбе в марте 1939 г. депутат Верховного Совета СССР, Герой Советского Союза, знаменитый в те годы лётчик М.М. Громов обратился к Председателю Верховного Суда СССР с ходатайством о пересмотре дела осуждённого С.П. Королёва. На этом ходатайстве 31 марта 1939 г. появилась резолюция: "Т.Ульрих, прошу проверить правильность осуждения". В качестве исходного материала для проверки Ульриху второго апреля 1939 г. было направлено заявление Королёва, написанное им в Новочеркасской тюрьме 10 ноября 1938 г. в адрес Председателя Верховного Суда СССР.

Имеющая привычку дублировать свои обращения в высшие инстанции, М.Н. Баланина в апреле 1939 г. решила заручиться поддержкой ещё одного депутата Верховного Совета СССР, Героя Советского Союза лётчицы В.С. Гризодубовой. Новое ходатайство



М.М. Громов

на этот раз в адрес В.В. Ульриха: "Прошу Вас пересмотреть дело осуждённого Королёва С.П." ушло 17 апреля 1939 г. 9 мая на ходатайстве появилась резолюция Ульриха: "Доставьте мне все заявления Королёва".

В результате рассмотрения всех писем и заявлений Королёва и его матери, Ульрих 13 июня 1939 г. на заседании Пленума Верховного Суда СССР внёс протест на приговор Королёву (тот самый приговор, который он же и утвердил). Решением Пленума Верховного Суда приговор от 27 сентября 1938 г. по делу Королёва был отменён и дело передавалось в Следственную часть НКВД на новое рассмотрение со стадии предварительного расследования. В соответствии с этим Решением в Новочеркасскую тюрьму 25 июня 1939 г. направляется подписанное Ульрихом письмо с указанием известить Королёва о принятом Решении и отправить осуждённого в Москву. Сколько было потрачено душевных сил, сколько выплакано слёз, сколько перенесено унижений и, наконец, хотя и промежуточный, но всё-таки благополучный финиш: Королёв и все его поддерживающие в борьбе за освобождение, если и не одержали победу, но добились возвращения к исходной позиции, а это вселяло надежду на благополучный исход.

Далее события проходили в соответствии с поговоркой из русского фольклора: "Скоро сказка сказывается, да не скоро дело делается". Письмо Ульриха возвратилось из Новочеркасской тюрьмы в связи с его не востребоваанностью - осуждённый Королёв 1 июня 1939 г. убыл по этапу во Владивосток. Далее путь осуждённого лежал на Колыму, на золотодобывающий прииск Мальдяк, куда его и доставили 3 августа 1939 г.

О принятом решении отменить вынесенный ранее приговор семья осуждённого узнала из полученного ею официального уведомления, но в то же время ей стало известно, что Королёв продолжает двигаться по этапу к месту, определёльному в качестве его наказания. В связи с этим М.Н. Баланина 11 августа 1939 г. обратилась к Главному военному прокурору с просьбой телеграфным распоряжением приостановить этапирование и ускорить возвращение Королёва в Москву для проведения нового следствия. Однако органы НКВД потеряли "след" осуждённого и письмо не возымело ожидаемого воздействия.

Не зная об отмене приговора, Королёв уже из прииска Мальдяк 15.10.39 г. обращается с заявлением к Верховному Прокурору, в котором в очередной раз обстоятельно и подробно излагает всю свою трудовую биографию, приводит доказательства в ложности обвинений и просит пересмотреть его дело, т.е. о том, что уже сделано ровно четыре месяца назад.

Чего не могли, а уж точно не очень старались сделать служащие НКВД - определить местоположение Королёва - помог это сделать он сам, передав записку семье через отбывшего на Колыме срок наказания и вернувшегося в Москву уголовника. Мать Сергея Павловича немедленно, 26 ноября 1939 г., обратилась к надзира-



В.С. Гризодубова

ющему прокурору военной прокуратуры с просьбой выполнить решение Пленума Верховного Суда и сообщила адрес нахождения Королёва - бухта Нагаева, прииск Мальдяк. Теперь оставалось только ждать.

Об условиях жизни и работы Королёва на прииске Мальдяк широко известно из исторической и мемуарной литературы. Напомним только, что ему за 4 месяца нахождения в лагере пришлось пережить издевательства уголовников и охранников, самодурство лагерного начальства, каторжный труд, недоедание и цингу. Вместе с этими невзгодами он встретил среди заключённых немало честных, порядочных людей, которые оказали ему помощь в выживании. С некоторыми из них Королёву посчастливилось встретиться через много лет, и эти встречи доставили им взаимную радость.

Распоряжение о направлении Королёва в Москву для продолжения следствия пришло в Мальдяк в конце ноября 1939 г. и его, обессиленного от истощения, в сопровождении охранника, на грузовике, повезли в Магадан. К назначенному на 8 декабря отходу парохода "Индигоирка" они опоздали, и это опоздание спасло жизнь будущему "Основоположнику практической космонавтики": "Индигоирка" попала в шторм, села на мель, корпус получил пробоину и все заключённые, находящиеся в трюме, погибли. Оставшийся на бере-



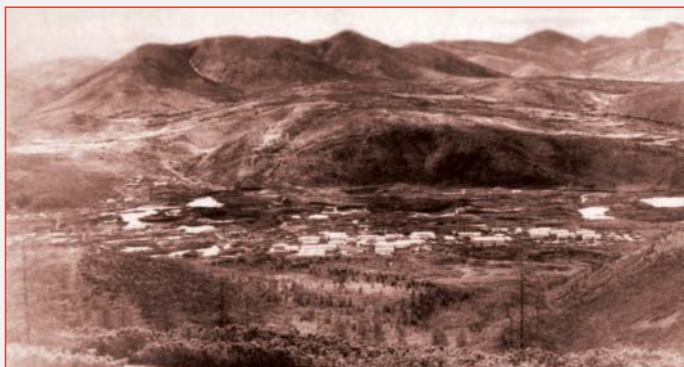
Пароход "Индигоирка" у берегов Японии

гу Королёв получил медицинскую помощь в местной тюремной больнице и 23 декабря 1939 г. его отправили на пароходе "Феликс Дзержинский" во Владивосток. В Москву, в Бутырскую тюрьму, он попал 28 февраля 1940 г.

Конечно, и Королёв, и все участвующие в борьбе за его освобождение, не надеялись на полную отмену обвинительного приговора, но были уверены, что вынесут новый приговор с наказанием в пределах уже отбывшего срока по прежнему приговору (не мог же в СССР отбывать срок невиновный!), тем более, что такие случаи в практике пересмотра дел в 1939 г. были. Но... время внутриполитической "оттепели" безвозвратно ушло, органы "вспомнили" своё основное правило: если человек арестован, он должен быть осуждён. Карусель повторных допросов завертелась, как и было предписано, со стадии предварительного расследования.

Первый допрос 8 марта 1940 г. и первый же сюрприз - дело Королёва поручено вести тому же следователю Быкову, на основании результатов следствия которого был вынесен обвинительный приговор, отменённый Пленумом Верховного Суда. Получается так, что допущенный следователем Быковым профессиональный брак поручается исправить следователю Быкову. А может не исправит, а доказать, что брака-то и не было? Но какие новые факты мог выявить прежний следователь дополнительно к ранее проведённому им следствию? Ворошить старые протоколы допросов бессмысленно, т.к. вынесенный на их основании обвинительный приговор отменён. А после окончания предыдущего следствия Королёв постоянно был под охраной органов НКВД: после вынесения приговора 27.9.38 г. он до 10.06.39 г. находился в Новочеркасской пересыльной тюрьме, потом до 3.08.39 г. передвигался по этапу на Колыму, где до конца ноября 1939 г. работал на прииске Мальдяк, с конца ноября 1939 г. до 28.02.40 г. его транспортировали в Москву. В этой ситуации следователю оставалось только расспрашивать Королёва, с кем он за это время общался, кому писал письма и заявления. И никаких новых фактов вредительства для включения в дело, а "старое" дело опротестовано в связи с недостаточной доказательной базой. Сложившаяся в некотором виде тупиковая для следователя ситуация разрешилась тем, что после обращения в Главную Военную Прокуратуру М.Н. Баланиной следователь был заменён, одновременно с этим Королёва 19.04.40 г. перевели из Бутырской тюрьмы во Внутреннюю тюрьму на Лубянке.

На первом же допросе 20.04.40 г. у нового следователя Королёв заявил о своей невиновности, "признательные" показания объяснил физическим воздействием следователей и резко отрицатель-



Золотодобывающий прииск Мальдяк

но отозвался об обвинениях в его адрес, изложенных его бывшими сотрудниками по НИИ-3 в "Акте от 20.07.38 г.". С целью получения новой информации о характере работы Королёва в НИИ-3, следователь своим Постановлением 5.05.40 г. организовал новую экспертную комиссию из работников НИИ-3 в составе Ф.Н. Пойды (председатель), М.С. Кисенко и Е.С. Щетинкова, а Королёву поручил для работы этой комиссии составить перечень вопросов, вытекающих как из прежнего "Акта от 20.07.38 г.", так и его профессиональной деятельности в НИИ-3.

25 мая 1940 г. экспертная комиссия представила своё заключение, которое имело весьма оригинальную форму. В общем тексте содержались критические замечания к работе Королёва, но они нивелировались приложенными "Особыми мнениями" каждого эксперта по одному из выбранных ими фрагментов заключения. В чём эксперты были едины, так в достаточно негативной личной характеристике Королёва.

28 мая 1940 г. состоялся заключительный допрос Королёва, на котором он не согласился с некоторыми положениями экспертного заключения, что нашло отражение в его дополнительных показаниях к протоколу об окончании следствия. На следующий день было утверждено обвинительное заключение, в котором Королёв обвинялся в преступлениях, предусмотренных статьями 58-7 и 58-11 УК РСФСР. На этот раз в обвинительном заключении отсутствует пункт статьи 58-8 (контрреволюционная деятельность), а это существенно снижало уровень наказания.

Надежды на освобождение не подтвердились, и борьба продолжилась. 2 июня 1940 г. Королёв обращается в Главную Военную прокуратуру с просьбой вызвать его для личной беседы. Следующее обращение - 10 июня 1940 г. к Верховному Прокурору СССР с той же просьбой. Оба обращения остались без ответа. 13 июля 1940 г. Королёв обращается к Сталину, в письме он излагает перспективы развития ракетной авиации, а также о том и о тех, кто и как мешает ему успешно работать в этой области. Просит назначить новое объективное расследование. Но это был, если применить используемый в ракетном двигателестроении термин, "импульс последствия" - 10 июля 1940 г. Особое совещание при НКВД законно постановило "заключить Королёва в ИТЛ сроком на 8 лет".

На выписке из протокола сделана рукописная пометка "Севжелдорлаг". Трудно сказать, какой из приговоров - первый или этот, второй, сильнее воздействовал на морально-психологическое состояние Королёва. Первый приговор был в какой-то мере всё-таки прогнозируемый, во всяком случае, на основании статистики выносимых приговоров окружающим его подследственным. Отмена этого приговора и практически отсутствие новых дополнительных обвинений создали устойчивую надежду на скорое освобождение. И вдруг "Из огня да в полымя" - с Колымы на Печору. Но и на этот раз Королёв не сдаётся. Преследующие его на протяжении всей предыдущей жизни невзгоды укрепили такие черты его характера как напористость, настойчивость в достижении цели. Всё это проявилось в борьбе с всеильной в те годы системой НКВД. 23 июня он пишет Верховному Прокурору СССР жалобу, подробную, эмоциональную и просит отменить решение Особого совещания и дело заново пересмотреть.

Узнав о крушении надежд на скорое освобождение, М.Н. Баланина вновь обращается к авторитетам, чьё вмешательство в судьбу её сына 1,5 года назад оказалось столь продуктивным. 13 августа 1940 г. В.С. Гризодубова на бланке депутата Верховного Совета СССР обратилась к Наркому Внутренних Дел СССР Берия Л.П. с ходатайством о пересмотре дела осуждённого Королёва С.П. Такое же обращение по тому же адресу 14 августа направил Герой Советского Союза М.М. Громов. В обоих обращениях Королёв характеризовался как талантливый конструктор и авиаинженер. Видимо эта характеристика заинтересовала Берия, и он 30 августа дал поручение начальнику Главного экономического управления НКВД Кобулову разобраться и навести справки о Королёве. Выполняя это поручение, начальник следственной части ГЭУ НКВД предложил Королёву подать заявление с просьбой об его использовании по специальности. Далее всё решилось в течение 2-х не-

дель. 13 сентября 1940 г. Кобулов утвердил заключение, в котором после перечисления всех юридических передраг, произошедших с Королёвым, изложено решение: "В пересмотре дела по обвинению Королёва отказать, а осуждённого Королёва как специалиста - авиационного конструктора, подавшего заявление с предложением об использовании, перевести в Особое Техническое Бюро при НКВД СССР". 18 сентября 1940 г. Королёв из Бутырской тюрьмы был переведён в ОТБ (ЦКБ-29) при Наркоме Внутренних Дел СССР.

По условиям жизни и работы ЦКБ-29, расположенном в Москве на ул. Радио, нельзя было называть тюрьмой. Осуждённые жили в хороших бытовых условиях, хорошо питались, работали по своим специальностям. Активное время жизни с 8 до 23 часов распределялось следующим образом: с 9 до 20 часов рабочий день с обеденным перерывом с 13 до 14 час., с 20 до 23 час. - свободное от работы время. В распоряжении осуждённых была хорошо укомплектованная техническая и художественная литература библиотека. Если бы не морально угнетающие решётки на окнах, охранники во входных дверях, да ограниченные по количеству дней и времени свидания с родственниками, то лучших условий для творческого труда не требовалось.

Королёв попал в ЦКБ-29 в тот период, когда там работали три авиастроительные бригады под руководством В.М. Петлякова, В.М. Мясищева и А.Н. Туполева. Каждая бригада разрабатывала свой проект самолёта. Королёва поначалу направили в бригаду Мясищева, но вскоре выяснилось некоторая несовместимость их характеров и Королёва по его просьбе перевели в бригаду Туполева, который в своё время был руководителем дипломного проекта Королёва в МВТУ. Бригада Туполева в то время разрабатывала фронтальной бомбардировщик Ту-2.

После начала войны и приближении немецких войск к Москве бригаду Туполева в конце июля эвакуировали в Омск. В этом сибирском городе на базе недостроенного автосборочного завода и эвакуированных московских авиазаводов № 81 и № 151 создавался авиазавод № 166 для производства нового фронтального бомбардировщика Ту-2 со сроком выпуска первого самолёта к концу 1941 г. Туполевская бригада заключённых из ЦКБ-29 участвовала в этих работах. Королёв некоторое время работал технологом, а затем помощником начальника фюзеляжного цеха. О жизни Королёва в Омске имеются воспоминания нескольких человек, которые утверждают, что он вёл замкнутый образ жизни, всё свободное время что-то чертил и считал на листках ученической тетради. Из последующего текста этих воспоминаний следует, что Королёв таким образом занимался проектированием будущего реактивного истребителя. Летом 1942 г. Королёв узнал, что в Казани при авиазаводе имеется спецтюрьма и что главным конструктором в этой спецтюрьме работает Глушко и он успешно ведёт разработку авиационного ЖРД. Эта информация обрадовала и воодушевила Королёва, т.к., во-первых, его партнёр по работам в НИИ-3 жив и работает и, во-вторых, в разрабатываемом Королёвым проекте истребителя на месте двигателя было пустое место, а способности Глушко в части создания ЖРД Королёву хорошо были известны. Проект реактивного истребителя может быть реализован при установке на неё двигателя Глушко, а для этого Королёву необходимо срочно перевестись в казанскую спецтюрьму. Этим он и занялся вплотную. Для организации перевода потребовалось несколько месяцев, но это было всё-таки проще, чем "перевестись" с прииска Мальдяк в ЦКБ-29, тем более что встречные усилия для перевода Королёва в Казань предпринимались Глушко и 19 ноября 1942 г. Королёв переступил порог ОКБ-16 4-го Спецотдела НКВД СССР в Казани.



Бутырская тюрьма

(Продолжение следует.)



При поддержке
Департамента науки,
промышленной политики
и предпринимательства
города Москвы

XIX 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
- Презентация высокотехнологичных проектов
- Конкурсная программа

29 марта - 1 апреля 2016г. Москва, Россия, КВЦ «Сокольники», павильон №4

Организаторы Салона:
Международный инновационный
клуб «Архимед»,
ООО «ИнновЭкспо»

Заявки на участие в XIX Московском международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед - 2016» принимаются до 20 февраля 2016 года 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





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, 1-2 - 2015)



Т-38 на маневрах 1937 г.
при движении на марше...



Т-38. При разработке нового плавающего танка были задействованы узлы и агрегаты хорошо освоенного к тому времени плавающего танка Т-37А. В компоновочную схему были внесены изменения - место механика-водителя перенесли вправо, а башню танка - влево. Были убраны надгусеничные поплавки, а водоизмещение увеличили благодаря большей ширине корпуса. Гусеничные цепи, конструкция тележки подвески, опорные катки и ведущие колеса остались от Т-37А.

В июне 1935 года опытный Т-38 поступил на испытания. На вооружение принят 29.02.1936 г., серийное производство началось с марта 1937 г. Вооружение плавающего танка Т-38 состояло из 7,62-мм пулемета ДТ в шаровой установке в лобовом листе башни танка.

На плаву танк двигался при помощи трехлопастного винта, а для изменения направления использовался плоский руль. Винт приводился в движение при помощи карданного вала от редуктора отбора мощности на КПП. Непродолжительная эксплуатация плавающего танка Т-38 в боевых частях показала полную боевую непригодность этой машины. Маневренность на пересеченной местности оказалась практически нулевой из-за недостаточной мощности (40 л.с.) двигателя ГАЗ-АА и его перегрева. Кроме того, на поворотах постоянно спадали гусеницы и выявились значительные дефекты ходовой части. Да и при движении по воде на максимальных оборотах винта категорически запрещалось включать реверс - в противном случае танк "клевал" носом и, приняв внутрь воду, тонул.

Поэтому, в 1937 году КБ завода №37 получило задание на доработку танка с учетом всех выявленных дефектов.

Весной 1938 г. были готовы два образца плавающего танка Т-38М (Т-38М-1, Т-38М-2) к испытаниям. От своего предшественника танки Т-38М отличались двигателем (был установлен двигатель ГАЗ-М1 мощностью 50 л.с.), трансмиссией от тягача "Комсомолец", новой гусеничной цепью и др.

Между собой плавающие танки Т-38М-1 и Т-38М-2 отличались незначительно. Т-38М-1 имел на 100 мм увеличенный борт по сравнению с Т-38, что увеличило его водоизмещение на 600 кг, а ленивец его ходовой части был опущен на 130 мм вниз, что уменьшило продольные колебания.

Танк Т-38М-2 имел на 75 мм увеличенный борт, что увеличило его водоизмещение на 450 кг, а ленивец располагался на прежнем месте.

Но из-за того, что и Т-38 и Т-38М (симбиоз Т-38М-1 и Т-38М-2) по бронированию и вооружению не соответствовали требованиям современной войны, весной 1937 г. был временно прекращен выпуск Т-38, а выпуск танков Т-38М был ограничен установочной серией из 7 машин. Общий выпуск Т-38 за 1936-1939 гг. составил 1175 линейных и 165 "радийных" танков



...и при преодолении водной преграды

Т-38 образца 1936 года



Первая серия Т-38 в количестве 40 шт. была изготовлена на ГАЗе.
С февраля 1936 г. производство Т-38 на ГАЗе было завершено

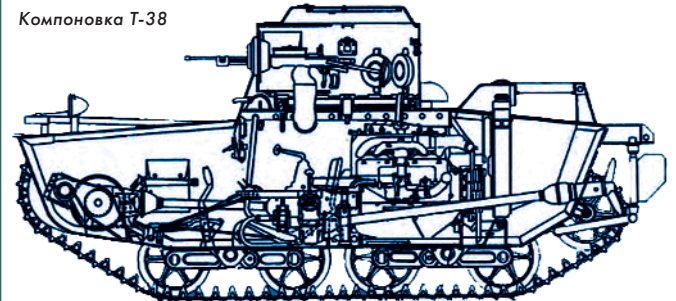
Т-38М-1



Т-38М-2



Компоновка Т-38



Т-38



Т-38М



Вид сбоку. Видны отличия в высоте корпуса и конструкции тележек



Т-40. Неустраняемые недостатки танков Т-37А и Т-38 потребовали создания нового малого плавающего танка. Основными идеями разработчиков были - применение водоизмещающего корпуса удобной формы для гарантированного обеспечения передвижения на плаву и отказ от ограничений на габариты машины. После долгих и трудных согласований ТЗ между ГАБТУ РККА (заказчик) и заводом № 37 (разработчик) было решено использовать бензиновый двигатель мощностью 90 л.с. и только гусеничный движитель. Причём впервые в советском танкостроении была применена индивидуальная торсионная подвеска.

Весной 1939 года проектные работы были в основном завершены, а в июле начались испытания первых четырёх опытных машин. По результатам испытаний были внесены изменения в конструкцию: удлинён на 120 мм, уширен на 50 мм и снижен на 20 мм корпус для повышения устойчивости на ходу и на плаву; усилены торсионные валы подвески, увеличены диаметр и ширина опорных катков, заменён трёхлопастный винт на четырёхлопастный. 19 декабря 1939 года Т-40 был принят на вооружение РККА.

Заводом № 37 до 22 июня 1941 г. было поставлено 159 Т-40.

У Т-40 в лобовой части находилось трансмиссионное отделение, затем следовало отделение управления. В середине корпуса находилась башня, по правому борту - моторное отделение, а по левому борту - боевое отделение.

В кормовом отделении располагались узлы водоходного движителя, ниша гребного винта, топливные баки и радиатор двигателя.

Экипаж танка состоял из двух человек - механика-водителя и командира. Бронеплиты корпуса толщиной от 5 до 20 мм соединялись частично сваркой, частично болтами. Часть бронеплит корпуса (лобовой, надмоторный, подбашенный и кормовой) были съёмными для удобства обслуживания и замены различных узлов и агрегатов танка. Для обеспечения водонепроницаемости корпуса лючки устанавливались на резиновые прокладки, а отверстия под болтовые соединения уплотнялись паклей.

Механик-водитель располагался по центру в передней части бронекорпуса. Коническая круглая сварная башня имела борта толщиной 15 мм, которые располагались под углом 25° к вертикали для повышения пулестойкости.

Основным вооружением Т-40 являлся крупнокалиберный пулемёт ДШК калибра 12,7 мм (длина ствола 78,7 калибра). Максимальная дальность стрельбы прямой наводкой достигала 3,5 км. С ДШК был спарен 7,62-мм пулемёт ДТ, причём ДШК был смещён право, а пулемёт ДТ - влево. Пулемёт ДТ мог легко сниматься со спаренной установки и использоваться вне танка. Боекомплект ДШК составлял 500 патронов: с бронебойно-зажигательной пулей Б-32 массой 48,3 г; бронебойной пулей Б-30; бронебойно-зажигательно-трассирующей пулей БЗТ; бронебойно-зажигательной пулей БС-41.

Начальная скорость пули 850...870 м/с, скорострельность - 80 выстр./мин. Пуля БС-41, благодаря наличию металлокерамического бронебойного сердечника пробивала 20 мм при угле встречи 20° на дальности 750 м. Спаренный пулемёт ДТ имел боекомплект в 2016 патронов в 32 дисках.

Т-40 оснащался 4-тактным рядным 6-цилиндровым карбюраторным двигателем жидкостного охлаждения ГАЗ-11 мощностью 85 л.с. Три топливных бака суммарным объёмом 206 л располагались в кормовом отделении. Запаса топлива хватало на 300 км хода по шоссе. Механическая трансмиссия Т-40 состояла из однодискового главного фрикциона сухого трения, четырёхступенчатой коробки передач с демультипликатором (4 передачи вперёд и 1 назад), карданного вала, конической главной передачи, двух многодисковых бортовых фрикционов и ленточными тормозами. Механик-водитель управлял поворотом и торможением танка двумя рычагами под обе руки по обеим сторонам своего рабочего места.

Ходовая часть применительно к одному борту включала 4 штампованных односкатных опорных катка малого диаметра (550 мм) с резиновыми бандажками, 3 поддерживающих односкатных катка с наружной амортизацией, ведущее колесо и ленивец. Ведущие колёса цевочного зацепления со съёмными зубчатыми венцами располагались спереди, а ленивцы, унифицированные с опорными катками, с механизмом натяжения гусеницы - сзади. Гусеница мелкозвенчатая, шириной 260 мм. Водоходный движитель включал в себя гребной винт в гидродинамической нише, карданный вал между ним и коробкой отбора мощности от двигателя танка и водоходные рули. Мореходность танка была достаточно высокой - он мог уверенно выполнять свои задачи при волнении до 3 баллов, а на спокойной воде перевозить груз значительной массы (двух-трёх пехотинцев с полным снаряжением).

С началом Великой Отечественной войны производство плавающего Т-40 было прекращено. Это, вероятно, была ошибка, т.к. при форсировании водных преград без какой-либо поддержки, советские бойцы несли потери от ружейно-пулемётного и миномётного огня противника. Маневренный, быстрый и плавающий Т-40 мог оказать огневую поддержку советским войскам по захвату и удержанию плацдармов на другой стороне форсированной водной преграды.

В начале 30-х годов, одновременно с началом разработки танкеток, УММ РККА приступило к оснащению Красной Армии плавающими танками, для чего оно разработало ТЗ на средний плавающий танк массой до 20 т, вооружённый 45-мм пушкой и тремя пулемётами, с экипажем из 6 человек, максимальной скоростью движения по шоссе 30 км/ч и броней, защищавшей от 37-мм снарядов на дистанции свыше 1000 м.



Испытания танка ПТ-1 при движении на колёсном ходу на НИИТПолигоне

ПТ-1. Опытный образец изготовлен в Москве на заводе "Красный Пролетарий" в 1932 г. Танк прошел испытания на НИИТ полигоне. Машина имела классическую схему общей компоновки. В отделении управления в носовой части корпуса размещались механик-водитель (слева) и стрелок-радист (справа). В боевом отделении в средней части корпуса и в башне размещались наводчик - слева от пушки и командир танка (он же заряжающий) - справа. Танк был вооружен 45-мм танковой пушкой и четырьмя 7,62-мм пулемётами ДТ. Один из пулемётов был спарен с пушкой, другой крепился в шаровой установке справа в носовой части корпуса, остальные были размещены в шаровых установках по бортам цилиндрической башни. В кормовой части башни для уравнивания пушки устанавливался снарядный ящик. Боекомплект к пушке составлял 93 выстрела, к пулемётам - 3402 патрона. Броневая защита была противопульной. Максимальная толщина лобовых броневых листов корпуса и башни составляла 15 мм, бортов корпуса - 10 мм. Конструктивная форма корпуса обеспечивала хорошую остойчивость и малую величину сопротивления при движении на плаву.

Первоначально на танке планировалось использовать 2-тактный 6-цилиндровый дизель ПГЕ мощностью 300 л.с. В связи с затянувшейся его доводкой был установлен 12-цилиндровый, 4-тактный, V-образный авиационный карбюраторный двигатель М-17Ф жидкостного охлаждения мощностью 580 л.с. Емкость передних и кормовых топливных баков составляла 400 л. Запас хода танка по шоссе на гусеничном ходу - 183 км, на колёсном - 230 км.

Механическая трансмиссия включала главный фрикцион, 4-ступенчатую коробку передач, двойной дифференциал, два бортовых карданных вала привода ко всем опорным каткам, две коробки отбора мощности на гребные винты, тормоза двойного дифференциала и два бортовых редуктора. При движении на колёсном ходу все опорные катки были ведущими, а передняя и задняя пары опорных катков являлись управляемыми. Для подвода крутящего момента к управляемым и ведущим опорным каткам были использованы двойные карданные валы. Управление машиной на колёсном ходу и на плаву осуществлялось с помощью рулевого колеса с сервоприводом следающего действия (гидроусилителем), на гусеничном - с помощью двух рычагов управления тормозами двойного дифференциала, выполнявшего функции центрального дифференциала на колёсном ходу и обеспечивавшего возможность движения танка при потере одной из гусениц.

Движение на плаву производилось с помощью двух гребных винтов, установленных в специальных тоннелях в кормовой части корпуса. Управление на плаву осуществлялось с помощью двух водоходных рулей жалюзийного типа.

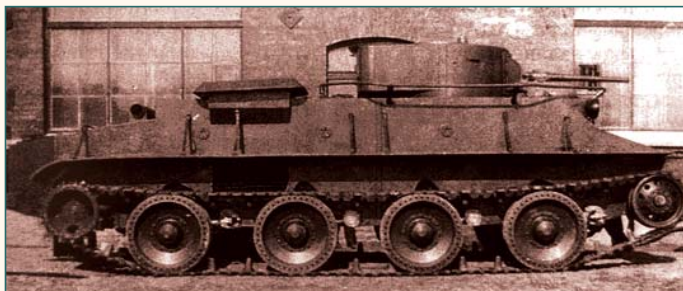
При преодолении водных преград поворотные патрубки выхлопных труб устанавливались в вертикальное положение.

Подвеска - индивидуальная, пружинная, с телескопическими амортизаторами. В состав гусеничного движителя входили восемь опорных катков, два направляющих колеса с механизмами натяжения гусениц и два ведущих колеса кормового расположения, которые имели гребневое, безроликовое зацепление с гусеницами. Опорные катки и направляющие колеса имели наружную амортизацию. Крупнозвенчатая гусеница, выполненная по типу гусеницы танка БТ, имела траки шириной 260 мм.

На танке была установлена радиостанция 71-ТК-1 с поручневой антенной.



Вид сзади танка ПТ-1. Видны тоннели с гребными винтами



Опытный образец танка ПТ-1А, изготовленный на ленинградском заводе опытного машиностроения имени С.М. Кирова в 1934 году

В отличие от танка ПТ-1 в конструкцию ПТ-1А были внесены значительные изменения. Корпус машины был удлинен на 560 мм, а толщина бортовой брони корпуса увеличена до 13 мм. На верхнем лобовом листе корпуса были размещены две небольшие броневые рубки. Правая для механика-водителя, левая для стрелка-радиста. На танке устанавливалась новая цилиндрическая башня. Экипаж машины состоял из четырех человек.

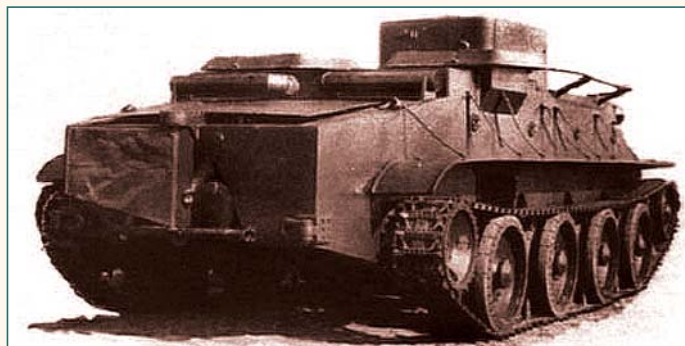
В кормовой части танка был установлен 12-цилиндровый, 4-тактный, V-образный карбюраторный двигатель М-17 мощностью 500 л.с. Топливные баки емкостью 414 л были перенесены под пол боевого отделения. Запас хода по шоссе на гусеничном ходу достигал 150 км, на колесном - 215 км. Схема трансмиссии и приводов управления была упрощена. В трансмиссии использовались: двухдисковый главный фрикцион сухого трения, четырехступенчатая коробка передач, двойной дифференциал, два бортовых карданных вала привода к трем задним парам опорных катков колесного хода, коробка отбора мощности на гребной винт, два бортовых фрикциона с ленточными тормозами и два бортовых редуктора. Конструкция тормозов была усилена, а также был введен уравниватель тормозов.

В состав гусеничного движителя входили восемь опорных катков, два направляющих колеса с механизмами натяжения гусениц и два ведущих колеса кормового расположения с цепочным зацеплением с гусеницами. Опорные катки и направляющие колеса имели наружную амортизацию. Ширина трака гусеницы составляла 265 мм.

При движении на колесном ходу передние управляемые опорные катки не были ведущими, а задняя пара управляемых опорных катков имела механизм отключения. Синхронизация работы гусеничного и колесного движителей при спадании одной гусеницы обеспечивалась двойным дифференциалом. Время перехода с гусеничного хода на колесный составляло 25-30 мин. Движение на плаву производилось с помощью одного гребного винта, установленного в специальном тоннеле в кормовой части корпуса. Управление машиной в этом случае осуществлялось двумя членами экипажа - механик-водитель воздействовал на педаль подачи топлива, а командир машины - на привод управления гребным винтом. Маневрирование машины на плаву осуществлялось с помощью водоходного руля. Для увеличения запаса плавучести машины использовались пробковые поплавки, установленные на надгусеничных полках.

Танк был вооружен 45-мм танковой пушкой спаренной с 7,62-мм пулеметом ДТ. Вместо двух бортовых башенных пулеметов в кормовой нише в шаровой опоре был установлен тыльный пулемет ДТ. В случае необходимости тыльный пулемет мог быть установлен в специальной турели на крыше башни и использоваться для стрельбы по воздушным целям. Третий пулемет ДТ устанавливался в шаровой опоре в правой рубке стрелка-радиста. Боекомплект танка состоял из 96 выстрелов к пушке и 4851 патрона.

На танке была установлена радиостанция 71-ТК-1. После проведенных испытаний 19 июня 1935 г. вышло постановление СТО согласно которому было решено отказаться от ПТ-1. Наиболее вероятной причиной этого решения была более сложная, по сравнению с БТ, конструкция танка ПТ-1, его трансмиссия и приводы управления. Кроме того, ПТ-1 и ПТ-1А имели малый запас плавучести



Вид сзади танка ПТ-1А. Виден один тоннель с гребным винтом



ПТ-1 (слева) и ПТ-1А



Т-43-1

В конце 1933 года было принято решение о разработке колесно-гусеничного плавающего танка для нужд разведывательных подразделений мотомехвойск РККА. Разработка плавающего танка Т-43 была начата согласно объявленному конкурсу, с премиальными в 20 тысяч рублей. В конкурс включились Опытный завод Спецмаштреста им. Кирова (Т-43-1) и завод №37, бывший 2-й завод ВАТО, с проектом танка Т-43-2.

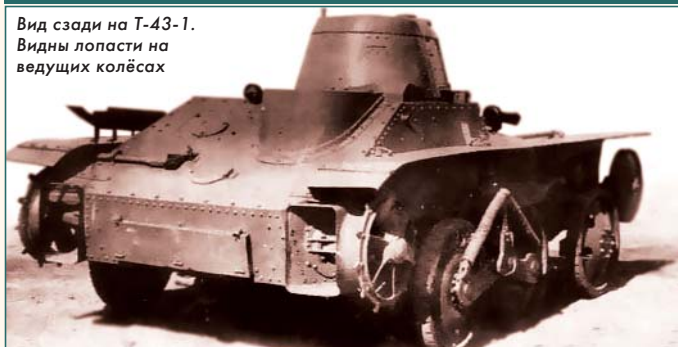
Плавающий танк Т-43-1 представлял собой машину, массой 4,15 т. Длина общая 4,02 м, ширина 2,15 м, высота 1,81 м. Его корпус и башня изготавливались из броневых листов (лоб 9 мм, борт 6 мм, горизонтальная поверхность 6-4 мм) методом клепки. Вооружение танка состояло из пулемета ДТ, установленного во вращающейся башне.

На танк был установлен 4-цилиндровый бензиновый двигатель жидкостного охлаждения ГАЗ-АА, мощностью 40 л.с. при 2200 об/мин. Трансмиссия так же была заимствована у грузовика ГАЗ. Ходовая часть состояла из трех пар опорных катков большого диаметра, двух ведущих и двух направляющих колес. При движении на колесах ведущими становилась задняя пара катков. Управляемыми была передняя пара катков.

Для движения на воде плавающий танк Т-43-1 использовал вместо гребного винта специальные поперечные лопасти на ведущих колесах. Управление танком на воде осуществлялось благодаря уменьшению или увеличению оборотов соответствующих ведущих колес.

Максимальная скорость по шоссе на колесном ходу 60 км/ч; на гусеничном ходу 40 км/ч; на плаву 6 км/ч.

Запас хода на колесном ходу 300 км, на гусеничном ходу 200 км



Вид сзади на Т-43-1. Видны лопасти на ведущих колесах

Плавающий танк Т-43-2 имел массу 3,7 т. Корпус и башня изготавливались из бронелистов толщиной 4...10 мм методом клепки. Вооружение танка - 7,62-мм пулемет ДТ, установленный в башне кругового вращения. Как и на Т-43-1 на этом танке был установлен двигатель от ГАЗ-АА. Трансмиссия состояла из КПП, двойного дифференциала и бортовой передачи.

Ходовая часть состояла из трех пар опорных катков, двух ведущих и двух направляющих колес и двух поддерживающих роликов. Движение на плаву осуществлялось при помощи гребного винта



Вид сзади на Т-43-2

Оба варианта плавающих танков были изготовлены к весне 1935 года и на испытаниях показали свою ненадежность - очень часто выходили из строя: танк Т-43-1 показал свою несостоятельность при движении на плаву, а Т-43-2 - при движении на колесном ходу. К концу 1935 года работы по плавающему танку Т-43 были окончательно прекращены

К началу войны (1941 г.) Красная Армия располагала примерно 15 тыс. танков, (не считая новых Т-34 и КВ). Основную их массу составляли Т-26 и БТ - около 12 тыс. машин. Эти танки уже не отвечали в полной мере возможным условиям на поле боя. Но они были вполне сопоставимы по боевым возможностям с немецкими образцами ТIII и TIV того времени.

Следует отметить, что длительное производство одних и тех же моделей при незначительной модернизации (образцы Т-26 и БТ производились с 1931 по 1940 г. включительно) хотя и позволило решить проблему оснащения танками армии, косвенно привело к задержке создания новых образцов.

Таким образом, в межвоенный период шло быстрое развитие танков, формировалось их влияние на возможный характер во-

оружённой борьбы, осуществлялся поиск оптимальной номенклатуры типов танков и сочетания боевых свойств каждого типа.

В этот период были выявлены некоторые объективные закономерности, в частности: необходимость противоснарядного бронирования танков и обеспечение достаточно высокой баллистики для танковых пушек; целесообразность сокращения числа типов танков и отказ от многобашенного вооружения. На данной основе сформировались требования к будущим танкам, определились их технический облик. Однако танки, соответствующие условиям надвигавшейся войны, были созданы только в одной стране - СССР (Т-34 и КВ). В Германии, США и Англии их разработка осуществлялась уже в ходе войны.

(Продолжение следует.)



В 1936 г. на завод ГАЗ им. Молотова был дан заказ на выпуск танков Т-38, но там производством чужой и во многом недоработанной машины особо не горели. Поэтому конструкторы ГАЗа приступили к разработке своего плавающего танка.

За основу была взята ходовая часть танка Т-37А, которую удлинени на одну тележку. Корпус и компоновка танка были разработаны заново.

На танк было установлено два двигателя типа ГАЗ-М-1, которые разместили в кормовой части корпуса танка параллельно друг другу вдоль продольной оси. Стартером и генератором оснастили только один мотор. Система охлаждения была общей для двух двигателей.

Трансмиссия нового танка практически без переделок была составлена из агрегатов и узлов, использовавшихся в то время на серийно производимых автомобилях. Управление танка было выведено на штурвал.

Водоходное оборудование позаимствовали от Т-37А.

Корпус новой машины сваривался из броневых листов толщиной 4...9 мм.

Изнутри корпуса места стыковки бортовых листов между собой, а также с днищем танка усиливались специальными балками и угольниками. Точно такое же техническое решение было принято в отношении мест крепления кронштейнов опорных тележек и двигателей.

Сверху на корпусе, со смещением к левому борту, устанавливалась подбашенная коробка, имевшая в плане восьмиугольную форму. Башня танка с вытянутой передней частью напоминала по своему внешнему виду усечённый конус. Лобовой башенный лист был установлен практически вертикально. В башне размещается пулемёт ДТ-29. Для наблюдения за полем боя командир танка имеет пять смотровых щелей в подбашенной коробке и три - в башне. У механика-водителя только одна смотровая щель.

Два опытных танка были изготовлены к концу лета того же года.

Танк был назван ТМ по имени Народного Комиссара СССР В.М. Молотова.

Один экземпляр был оставлен на заводе для дальнейшей доработки и заводских испытаний. Второй осенью 1936 года был направлен для испытаний на полигон НИБТ, в ходе которых показал результаты, существенно превышающие показатели Т-38 по скорости, подвижности и управляемости. Машина могла совершать движение по пересечённой местности на третьей передаче. Скорость танка на воде составила 3,7 км/ч. В выводах, подготовленных по результатам испытаний, отмечался ряд достоинств танка ТМ (например, удачное решение вопроса синхронизации работы двигателей позволило значительно улучшить динамические характеристики танка при весьма незначительном его утяжелении).

В качестве недостатков проекта ТМ было указано на его низкие водоходные характеристики, недостаточно проработанную конструкцию корпуса, низкую надёжность элементов ходовой части (как Т-37А у ТМ спадали гусеницы при совершении резких маневров).

К установленному сроку устранить выявленные недостатки ГАЗ не успел, да и завод № 37 вышел на проектную мощность по выпуску Т-38. В связи с этим завершать работы по усовершенствованию танка ТМ посчитали нецелесообразным. Но главным аргументом для вынесения подобного решения явилось то, что танк получился слишком дорогим - одна машина обходилась государству почти в 100 000 рублей.



Танки, разработанные между Первой и Второй мировыми войнами в Советском Союзе

Показатель	"Красное Сормово"	МС-1	Т-37	Т-26	БТ-7	Т-28	Т-35
Годы производства	1920	1927-1931	1933-1936	1931-1940	1932-1940	1933-1940	1933-1939
Масса, т	7	5,9	3,3	9,4...10,5	11,5...13,8	28	50
Экипаж, чел.	2	2	2	3	3	6	10
Калибр пушки, мм	37	37	7,62-мм пул-т	45	45	76,2	76,2 - 1 / 45 - 2
Начальная скорость снаряда, м/с	442	442	-	760	760	383	383 / 760
Боекомплект к пушке, выстр.	250	-	2140 патр.	165	172	70	96 / 220
Толщина брони корпуса, мм	16	16	8	15	22	30	50
Максимальная скорость, км/ч	8,5	16,5	36	30	50 / 72	37	30
Запас хода по шоссе, км	-	120	200	200	375 / 400	180	150
Мощность двигателя, л.с.	34	35	40	90	450	500	500
Среднее давление на грунт, кг/см ²	-	0,56	0,45	0,73	0,8	0,72	0,78



"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 №№ 1-4 - 2015)

Итак, если в XVIII в. изобретатели стремились ответить на вопрос: "Может ли быть использована паровая машина для движения судна?", то начало XIX в. ознаменовалось снятием этого вопроса с повестки дня. Работы Д. Уатта и английского инженера Горнблэуэра дали однозначный положительный ответ. Как я уже писал, Д. Уатт предложил перекрыш пара, вначале поршень в цилиндре машины двигался под давлением поступающего из котла пара, затем его выпуск перекрывался, и поршень продолжал рабочий ход уже за счет расширения рабочего тела, так еще называли пар, работающий в цилиндре машины.

Все бы ничего, но механики, эксплуатировавшие машины Д. Уатта, работали по старинке и продолжали подачу пара в цилиндр на протяжении всего рабочего хода поршня. В результате получался недопустимый перерасход пара, резко ухудшались экономические показатели работы машины, паропроизводительность котла оказывалась недостаточной. Необоснованные же претензии шли в адрес изобретателя.

Что же сделал Горнблэуэр? Во-первых, предложил в 1781 г. машину высокого давления, которое достигало около 6 а.т.и. (по тем временам это считалось высоким давлением). Во-вторых, машина имела 2 цилиндра, один - высокого, другой - низкого давления. Объем последнего был в 3...4 раза больше объема цилиндра высокого давления (ЦВД). В начале рабочего цикла пар поступал в ЦВД и там совершал работу. После этого он перепускался в цилиндр низкого давления (ЦНД), где отдавал оставшуюся энергию и затем перепускался в холодильник, там происходила конденсация пара, а конденсат снова закачивали в котел.

Экономичность и мощность двигателя, по сравнению с одноцилиндровыми машинами, возросла почти в 4 раза. Но изобретение холодильника было защищено патентом Д. Уатта, а без него не могла работать компаунд-машина Горнблэуэра, поэтому его изобретение задержалось с практическим применением аж до 1804 г., пока не истек срок действия патента Д. Уатта.

Вновь к идее Горнблэуэра инженеры вернулись в 1804 г. Её подхватил английский инженер Артур Вульф (1766-1837). Спроектированный им компаунд под давление пара 3...4 а.т.и. оказался в три раза экономичнее серийной машины Д. Уатта. Это можно считать "прорывом" в области машиностроения, т.к. компаунд-машины строились и проектировались до тех пор, пока им на смену не пришли дизели и паровые турбины.

Паровой буксир "Шарлотта Дандас"

Это один из первых ростков зарождавшегося коммерческого судоходства. Пароход был построен в 1808 г. А. Хартом на заводе "Грангемозшипьярд" в Англии по проекту У. Саймингтона. Заказчиком был

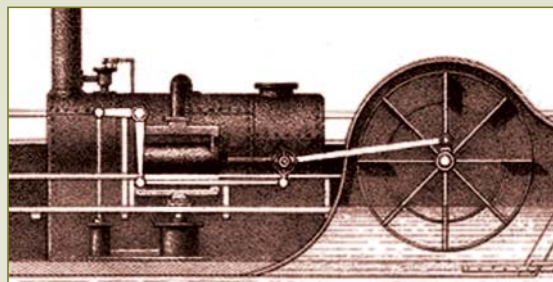
лорд Томас Дандас. Судно предназначалось для буксировки барж по каналу Фёрт-энд-Клайд. Вначале предполагалось строить его по классической схеме колесного парохода с двумя бортовыми гребными колесами. Затем, из-за опасения, что при движении по каналу между Эдинбургом и Глазго будет происходить размыв берегов канала, решили ограничиться одним колесом, поместив его в кормовой рецесс шириной 1,2 м и длиной 3,6 м.



Буксирный катер "Шарлотта Дандас"

Таким образом, плоскость вращения колеса совпадала с диаметральной плоскостью (ДП) самого судна, имевшего длину 17,1 м. На нем была установлена паровая машина Д. Уатта мощностью 12 л.с., построенная У. Саймингтоном. На ходовых испытаниях без "воза" судно показало скорость 9 км/ч. Внутренние переборки рецесса заканчивались в корме двумя ахтерштевнями, на них навешивалось два руля, которые обеспечивали ему хорошую маневренность.

Вращение гребного колеса выполнялось шатунно-кривошипным приводом, что, безусловно, было шагом вперед. Так как осуществлялась прямая передача усилия от штока поршня на гребной вал, отпадала необходимость в балансирах. Заметим, что безбалансирные паровые машины появились несколько позже, чем это было сделано на борту парового буксира "Шарлотта Дандас".

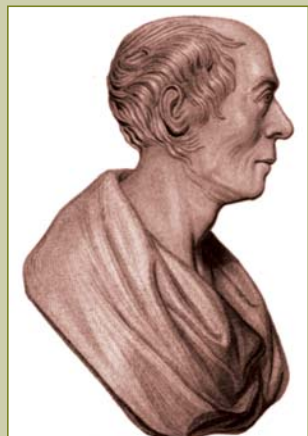


Котел, паровой цилиндр, шатун, кривошип и гребное колесо буксирного катера "Шарлотта Дандас"

Надо сказать, что судно благополучно совершало свои буксировки с возом из двух барж грузоподъемностью по 70 т каждая, проходя даже при неблагоприятных погодных условиях восемнадцать миль за 6



Двухцилиндровая компаунд-машина А. Вульфа, построенная в 1858 году. Цилиндры расположены вертикально, левый высокого давления, правый (побольше) низкого. В целях снижения потерь тепла, они заключены в деревянные рубашки



У. Саймингтон

часов, что соответствует скорости хода 3 узла, но тут забеспокоились владельцы канала. С одной стороны, появился сильный конкурент другим судовладельцам, использовавшим несамходные суда. С другой стороны, весь грузопоток по каналу мог оказаться обеспеченным паровым буксиром, что сулило его судовладельцу доход, а всем остальным грузоперевозчикам - убытки.

Так или иначе, владельцы канала в 1804 г. запретили плавание парохода. Причины те же, хотя и необидительные: работой своего движителя пароход размывает берега канала. "Шарлотту Дандас" поставили на прикол, там она и простояла без дела до 1861 г. Затем, по ветхости, судно пошло на слом.

"Наутил" - первый пароход Роберта Фултона

Среди людей, наблюдавших за испытаниями парохода "Шарлотта Дандас", присутствовал будущий изобретатель и предприниматель Роберт Фултон (1765-1815). Он родился в США в семье ирландского эмигранта, с детства увлекался живописью. Стремление к самосовершенствованию и тяга к знаниям привели его в Англию. Там он встретил земляка из штата Вирджиния, известного судостроителя Джеймса Рамси. Вскоре между ними завязалась хорошая тесная дружба. Она то и повлияла на дальнейшую судьбу Р. Фултона.

После смерти друга Р. Фултон достались все чертежи и расчеты Д. Рамси, к которым он проявил большую бережливость и должное внимание. Р. Фултон не стал копировать проекты своего усопшего друга, а подверг их тщательному исследованию и переработке. Он поставил перед собой задачу получения заданной скорости хода при минимальной мощности паровой машины. Для этого им были выполнены опытные работы по определению наиболее приемлемых обводов корпуса судна, характеристик гребных колес и взаимодействия системы движитель - корпус судна.

В общем, последовавшие затем успехи Р. Фултона в пароходостроении были неслучайны. Но для осуществления своих замыслов изобретателю были необходимы деньги. В Англии меценатов не нашлось, и в 1796 г. Р. Фултон переезжает во Францию. В поисках средств, он приезжал и в Россию и даже получил от правительства привилегию на строительство пароходов, но и здесь не нашёл меценатов. Наконец ему крупно повезло, Р. Фултон сближается с богатым соотечественником, посланником США во Франции Р. Ливингстоном. Он взял на себя финансирование проекта.

Итак, получив финансовую поддержку, Р. Фултон принимается за дело. К весне 1803 г. им построено судно "Наутил" длиной 32 м. Но во время урагана не выдержали швартовы, судно коснулось грунта, в нём завалилась машина, корпус получил повреждения и оно затонуло. Ремонт был закончен лишь в августе. Был усилен корпус, прошли чистку котел и машина, укреплен её фундамент. В том же месяце начались ходовые испытания в присутствии комиссии Академии наук Франции.

Так парижанам на реке Сена был показан пароход, который в течение полутора часов шел вверх по течению со скоростью около 5 км/ч. Машина мощностью 8 л.с. была взята на прокат у заводчика Перье. Она вращала гребные колеса диаметром 3,6 м. Успешной была и буксировка двух полностью загруженных барж. Результаты испытаний освещала

пресса. "Журналь де деба" по этому поводу писал: "Было проведено испытание нового изобретения, полнейший и блистательный успех которого может иметь важнейшие последствия для коммерции и внутреннего судоходства во Франции". В общем, успех был налицо, изобретатель был принят Наполеоном, но поддержкой с его стороны не заручился: "Неужели вы собираетесь сигарным дымом привести в движение корабль?" - спросил Первый консул.



Фултон представляет свой пароход Бонапарту 9 августа 1803 года

Р. Фултон хоть и был раздосадован холодным приемом, но не обескуражен. Вместе с Р. Ливингстоном они возвращаются в Америку, но не с пустыми руками. По пути, остановившись в Англии, они обзавелись паровой машиной в 20 л.с. Цель оставалась прежней - строить пароходы...

Изыскания Оливера Эванса

Оливер Эванс (1755-1819) - известный инженер-механик, так и не осуществивший свои планы строительства пароходов в Америке. Причины - отсутствие финансирования проводимых им опытов.

В 1786 г. он обращался к руководству Пенсильвании и Мериленда с прошением выдать привилегию на употребление пара для движения судов. Финансовые затруднения не позволили Оливеру Эвансу осуществить ни одного из его проектов.

Но он первым обратил внимание на хорошие эксплуатационные характеристики паровых машин высокого давления. Однажды, казалось, удача повернулась к нему лицом. В 1803 г. по заказу промышленников из Филадельфии, он строит пароход длиной 24,4 м. Но судьба распорядилась иначе. Когда судно уже было готово к испытаниям, разразился ураган, который вызвал разлив реки Делавер, а пароход сорвал со швартовых. Когда стихия успокоилась, оказалось, что судно находится в полумиле от реки.

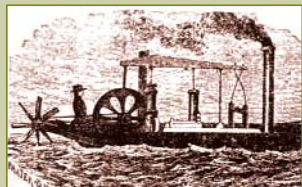
Пароход разобрали, а машину установили на мельницу. Об изобретателе осталась память как о человеке необыкновенно смелых проектов и очень



Посланник США во Франции Р. Ливингстон (1755-1828)



Оливер Эванс



Проект Оливера Эванса

предприимчивом инженерере. В одной из своих брошюр О. Эванс писал: "Если бы мне оказали такое же покровительство, какое получил г. Фултон от штата Нью-Йорк, который предоставил ему исключительное право на тридцать лет, а г. Ливингстон тридцать тысяч долларов на опыты, то я бы мог показать пароход в полном действии гораздо прежде, нежели г. Фултон начал постройку своего первого судна, оконченного им в 1807 г., т.е. двадцать лет спустя после того как я просил начальство Пенсильвании о содействии мне, и три года после того, как я делал пробные плавания из Скейлкиля до Делавэра и обратно, на расстояние 14 или 15 миль, при противном ветре и в присутствии нескольких тысяч зрителей".

Роберт Фултон в Америке

Как мы уже знаем, потерпев неудачу во Франции и России, Р. Фултон вместе со своим богатым покровителем Р. Ливингстоном, возвращался на родину, заказав фирме Д. Уатта - М. Болтона паровую машину мощностью 20 л.с. Её он спроектировал в 1803 г., усовершенствовал серийный уаттовский образец. Он значительно увеличил объём холодильника, доведя его до половины объёма парового цилиндра. У машин Д. Уатта эта величина равнялась 1/8. Было значительно усовершенствовано и приводное устройство, передающее усилие от штока поршня на гребной вал.

Машину для своего первого парохода Р. Фултон получил лишь в 1806 г., поэтому строительство судна затянулось до 1807 г. Пароход строился в Нью-Йорке на верфи Чарльза Броуна. Будучи человеком предприимчивым, Р. Фултон не терял времени зря, и со спуском судна на воду получил исключительное право от властей штата Нью-Йорк плавать своим пароходам по реке Гудзон и другим водным путям этой административной территориальной единицы.

Надо сказать, что здесь Р. Фултон "перебежал дорогу" своему коллеге, изобретателю и механику Дж. Стевенсу, отставшего от Фултона на несколько дней. Судно строилось из дерева и имело длину 46,5 м, ширина корпуса 4,25 м, а вместе с бортовыми колёсами - 5,5 м; корпус имел высоту 2,15 м от основной плоскости и осадка по конструктивную ватерлинию (КВЛ) составила 0,6 м. Судно имело две мачты, на которых можно было поставить три паруса общей площадью 180 м². Гребные колёса имели диаметр 4,57 м, на каждом по 8 плещ. Водоизмещение в полном грузу было равно 80 т. Экипаж насчитывал 18 человек; пассажирских мест - 50.

Видимо, Р. Фултон тяготел к громким именам и своё первое судно он назвал "North River Steamboat of Clermont" ("Пароход северной реки - Клермонт"), в обиходе его называли просто "Клермонт". На ходовые испытания судно вышло 17 августа 1807 г., пока-

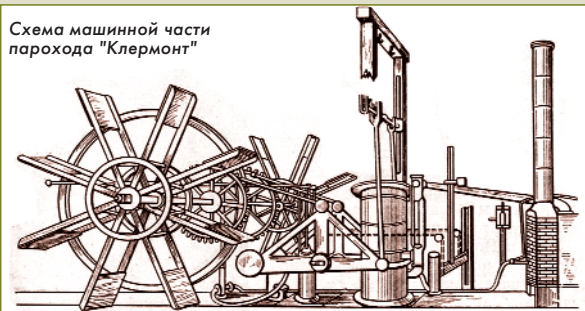
зав среднюю скорость около 4 узлов. Именно этот предел и был определен властями штата - они, видимо, тоже опасались возможности размыва берегов реки Гудзон. В сентябре начались коммерческие рейсы парохода. Размыва береговой линии не наблюдалось.

Р. Фултон продолжал экспериментировать с гребными колёсами, варьируя их размеры и глубину погружения плещ. Результатом экспериментов было увеличение к концу навигации скорости хода с четырех до шести узлов. Рассматривал он и экономические показатели эксплуатации судна: для того, чтобы увеличить скорость, необходима более мощная машина, но тем больше необходимо было бы сжигать в топках котла топлива. А это дополнительные расходы. Так можно сделать пароход и убыточным. Взвесив все "за" и "против", в конце концов Р. Фултон пришел к выводу, что наиболее целесообразно строить пароходы со скоростью хода, не превышающей 9 узлов.

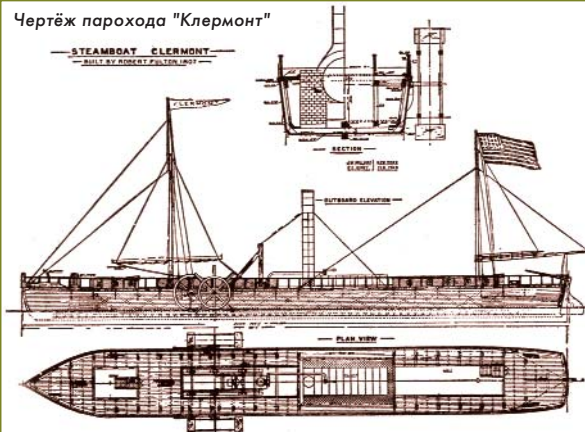
Второй пароход Р. Фултона также носил громкое название, которое можно перевести как "Повозка Нептуна". Но не забывал он и о первом. Его "Клермонт" совершал регулярные рейсы между Нью-Йорком и Албани, линия называлась "Гудзон Рива Дей Лайк". В навигацию 1808 г. судно вышло с улучшенными помещениями для пассажиров, которые отличались тщательной качественной отделкой. Всего на линии работало три пассажирских парохода, и все они были плоскодонные и имели малую осадку.

Их гребные колёса делали 20 об./мин., что было вполне достаточно для достижения проектной скорости хода. Р. Фултон также спроектировал и построил пароход для плавания по проливу Лонг Исланд Саунд. Это было килеватое судно с заостренными обводами корпуса, имевшее, хотя и неглубокий, трюм. В общем, все суда Р. Фултона имели сходную архитектуру. Добившись удовлетворительных успехов на реке и в прибрежных морских водах, изобретатель начинает работу над проектом морского судна. Однако смерть помешала Р. Фултону завершить проектирование, чертежи остались неоконченными.

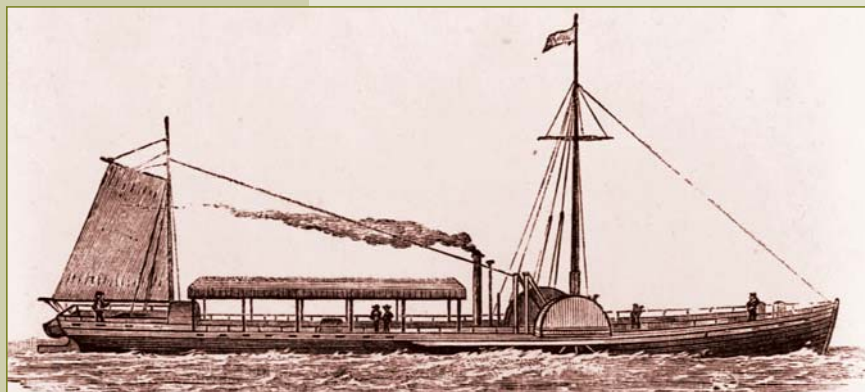
Схема машинной части парохода "Клермонт"



Чертеж парохода "Клермонт"



"Клермонт" на ходовых испытаниях 17 августа 1807 г.



Занимался Р. Фултон проектированием и паровых паромов (судов для перевозки экипажей, карет и пр.). Все они были построены и задействованы по назначению. Спроектировал он также и одно военное судно. В своих изысканиях Р. Фултон был многосторонним инженером. Он, в частности, разработал несколько проектов грузо-пассажирских судов для Миссисипи, еще одной многоводной реки Америки.

Полученная Р. Фултоном от властей штата Нью-Йорк исключительная привилегия на пароходное сообщение в данном районе Америки, со временем, стала тормозить развитие судостроения страны. Поэтому, правительство США признало ее несоответствующей Конституции и отменило. На арену вышли новые молодые, энергичные инженеры и предприниматели. Пароходостроение Америки стало набирать силу, но Р. Фултон навсегда вошел в историю, не только как инженер, но и как незаурядный предприниматель, сумевший поставить пароходное дело на коммерческую основу.

Пароход Джона Стевенса

Как и Р. Фултон, Джон Стевенс построил свой пароход в 1807 г. по собственному проекту на верфи "Джон Стевенс и Сын" в Гобокене. Материалом для корпуса послужило дерево, судно имело наибольшую длину 31,4 м, по КВЛ - 30,8 м. Ширина корпуса без учета бортовых гребных колес была 4,85 м; а вместе с колесами (габаритная) - 8,1 м. Высота корпуса от основной плоскости 3,8 м, средняя осадка по КВЛ равнялась 2,05 м. Судно несло парусное вооружение: мачты имели высоту 23,3 м. Общая площадь парусов - 120 м².

Гребные колеса имели диаметр по 3,95 м и приводились в движение паровой машиной мощностью 40 л.с. Скорость хода достигала 7,2 узла. Водоизмещение в полном грузу - около 200 т. Экипаж судна насчитывал 12 человек, одновременно на борту могли разместиться 30 пассажиров. Судно носило имя "Феникс".

Как мы уже знаем, на водных путях штата Нью-Йорк судну места не нашлось, там плавали пароходы Р. Фултона. Джон Стевенс перегнал судно на реку Делавер, часть пути пришлось преодолеть по морю. Поэтому "Феникс" считают первым пароходом, познакоmintвшимся с морской стихией. Судно оказалось достаточно мореходным. Им командовал капитан Мозес Роджерс.

В 1808 г. судно прошло модернизацию и ремонт, затем совершало пакетботные рейсы между Филадельфией и Трентоном. Линия называлась "Мозес Роджер и К°". Пароход благополучно прослужил до 1814 г. и пошел на слом.

После отмены привилегии Р. Фултона, Д. Стевенс вновь обращает свой взор к Нью-Йорку. Надо отдать должное его энергии и деловым качествам. Пассажиропоток между Нью-Йорком и Албани не ослабевал, и Д. Стевенс решил составить конкуренцию компании Р. Фултона. Протяженность линии Гудзон Рива Дей Лайн была около 160 миль. Тихоходные суда Р. Фултона проходили ее более чем за 16 часов. Тогда же возникла идея проходить весь маршрут в течение светлого времени суток.

Для этой цели Р. Фултоном строится пароход "Солнце", но его скорость хода оказывается недостаточной - время перехода 14 часов.

Наступило время Д. Стевенса, и он свой шанс не упустил. Он перегнал на реку Гудзон одно из сво-

их судов, спроектированное для плавания по реке Делавэр. Плавание между Нью-Йорком и Албани сократилось до 12 часов, т.е. пассажир утром с восходом Солнца отправлялся в путь и до захода был уже на месте. Другие судовладельцы также заинтересовались быстроходными пароходами. Пароходы Р. Фултона начали терять пассажиров, и им пришлось сменить род занятий - в основном суда были задействованы на буксировке барж.

Вытеснившие их колесники вступили в жесткую конкуренцию уже между собой. Гонки пароходов по Гудзону происходили чуть ли не каждый день. Местным жителям было на что посмотреть. Основным топливом тогда были сосновые дрова, кочегары их не жалели и разводили в топках огонь какой только можно было поддерживать. Из труб вместе с дымом и искрами вырывались языки пламени, вылетающие на 1...2 м за трубой. Но котлы сундучного типа, несмотря на весь этот фейерверк, не обеспечивали высокого давления пара, оно едва достигало двух ат.а. Правда, иногда механики поджимали предохранительные клапаны, что было небезопасно - таким образом можно было спровоцировать взрыв котла. Но большинство пассажиров об этом не думали и предпочитали быстроходные пароходы.

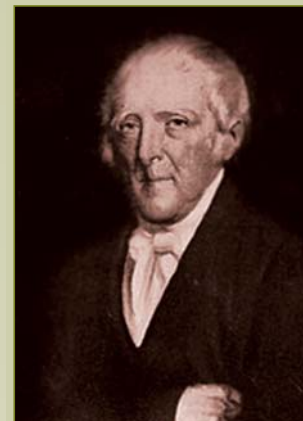
Уже в те стародавние времена вкусы пассажиров разделились приблизительно поровну. Деловые люди предпочитали тратить на поездку ночное время, чтобы днем делать свои дела. Вторая группа превращала свои поездки в светлое время суток в увеселительные прогулки. Судовладельцы стремились угодить и тем, и другим, так что рейсы по Гудзону совершались круглосуточно.

Пока пароходы состязались в скорости хода, Стевенс не терял время зря. Им был выполнен большой комплекс исследований. Его интересует буквально все - когда лучше делать отсечку пара (обычно это делали на середине рабочего хода поршня), как разместить котлы и машины и многое другое.

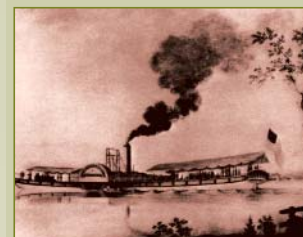
Дела на фирме "Джон Стевенс и Сын" идут благополучно, инициативу берет в свои руки Стевенс младший и добивается успеха. Включившись в борьбу за скорость и комфорт на борту своих судов, он строит пароход "Северная Америка", столь удачный, что впоследствии этот тип становится весьма распространенным на американских реках. Судно имело следующие размерения: длина наибольшая 60,96 м, ширина по бимсу 9,14 м, осадка средняя 1,52 м. Бортовые гребные колеса имели диаметр по 6,4 м. Плиты их прямоугольной формы имели длину 3,96 м, ширину 0,76 м.

Энергетическая установка парохода была вынесена за пределы корпуса и располагалась за кожухами гребных колес на специальных платформах, кринолинах. К носу от кожуха ставили паровой котел, а с кормы - паровую машину. Таким образом, энергетическая установка включала два котла и две машины. Они были рассчитаны на низкое давление пара, равное 1,7 ат.а. Обе машины - одноцилиндровые, имели диаметр цилиндра 1,130 м; ход поршня 2,438 м; отсечка пара производилась, приблизительно, на одной трети хода поршня. На полном ходе гребные колеса давали по 24 об./мин., при этом скорость хода достигала 13,5 узла.

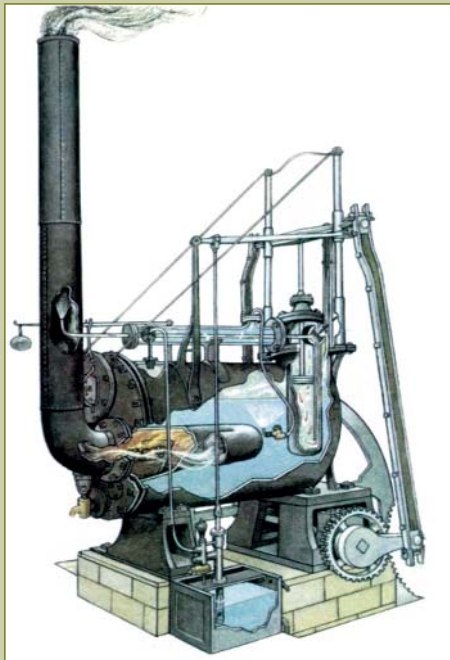
Столъ удачная компоновка энергетической установки позволяла всю длину и ширину корпуса судна использовать для удобства пассажиров - здесь размещались удобные каюты, салоны, прогулочные па-



Джон Стевенс



"Феникс" Джона Стевенса



Первый двигатель
высокого давления,
построенный в 1801 году
Ричардом Тревитиком

лубы. Все это в сочетании с хорошей отделкой помещений и высокой скоростью хода делало "Северную Америку" весьма привлекательной на линии Нью-Йорк - Албани.

Затем Р. Стевенс строит пароход для судоходной линии Нью-Йорк - Нью-порт, получивший название "Президент" для плавания по проливу Лонг Исланд Саунд с выходом в море. Судно оказалось столь же удачным, хотя пришлось внести некоторые конструктивные изменения для увеличения прочности корпуса. При той же длине 60,96 м, была несколько увеличена ширина - 9,9 м; осадка также увеличилась до 2,74 м.

Диаметр бортовых гребных колес - 6,7 м; длина каждой плиты - 3,05 м; а её ширина - 1,07 м. Как видим, судно имело более солидные гребные колеса.

Компоновка энергетической установки была аналогична той, что уста-

новили на пароходе "Северная Америка". Она также компоновалась за пределами корпуса на криволиниях у кожухов гребных колес и состояла из двух машин и двух котлов. Цилиндр паровой машины имел диаметр 1,21 м; ход поршня составлял 2,13 м. Гребные колеса вращались со скоростью 21 об./мин., это позволяло судну развивать скорость хода до 12 узлов.

Целесообразность разработанной Р. Стевенсом энергетической установки, подтвердилась в одном из рейсов парохода "Президент", когда вышла из строя одна паровая машина, и судно было вынуждено идти, работая только одним гребным колесом. Ничего страшного не произошло, хотя скорость хода снизилась до 9,4 узла. Этот случай убедительно показал надежность пароходов фирмы "Джон Стевенс и Сын".

Заканчивая тему первых американских пароходов, видимо, надо сказать несколько слов о топливе, т.к. оно является основной статьей эксплуатационных расходов. Основным видом топлива были тогда дрова, которые поставлялись в виде поленьев диаметром около 10 см и длиной 1,22 м. Их мерой был "корд" - объем в 128 фут³ или 3,62 м³. В разных местах цена корда дров была не одинакова, поэтому капитаны пытались запастись топливом в тех местах, где оно было подешевле.

Вот некоторые примеры. Один корд дров в Нью-Йорке стоил около 20 шиллингов, в Албани - 14 шилл., на озере Чамплэн - около 9 шилл., на реке Св. Лаврентия - 7 шилл. 3 пенса, на озере Онтарио - 5 шилл.

На реках Миссисипи и Огайо корд дров стоил от 5 до 8 шилл. В Америке были проведены и сравнительные испытания по применению в качестве топлива каменного угля. В результате выяснилось, что два и три четверти корда дров в котлах "хорошего устройства" равны по теплотворной способности одной тонне угля. Наиболее полно в котлах сгорала сосна, породы древесины твердых сортов горели хуже.

Для хорошего сгорания дров необходимы более просторные топки с большим притоком воздуха. Поэтому установка котлов на криволиниях впереди кожухов гребных колес считалась предпочтительной, зола из поддувала проваливалась прямо в воду. Наиболее приемлемым расстоянием между колосниковой решеткой, на которой горит топливо, и поверхностью нагрева котла определялось в 3 фута (91,5 см).

Добыча каменного угля в начале XIX в. в Америке была налажена хорошо. Его добывали в больших количествах в западных районах Аллеганских гор, в окрестностях Питтсбурга, в Нью-Ингланде (Новой Англии), на острове Род, в Новой Шотландии и др. местах. Его сжигали в топках котлов пароходов, плававшие по рекам Огайо, Св. Лаврентия и др. Одновременно проводилась большая исследовательская работа, в результате которой выяснилось, что топки, предназначенные для сжигания дров, плохо приспособлены для каменного угля. Так приобретался опыт, складывавшийся общими усилиями эксплуатационников судовых котлов и локомотивных котлов. Вклад железнодорожников в этом деле чрезвычайно велик.

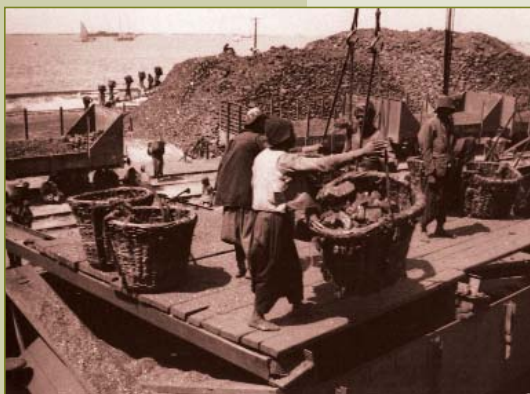
И хотя в начале века уголь преимущественно использовали для отопления жилых помещений, постепенно он становился основным видом топлива и на железных дорогах, и на судах, пока окончательно не вытеснил дрова. В то же время американцы начинают по всей стране создавать места для bunkеровки пароходов углем, в основном, эти базы "привязываются" к крупным морским и речным портам. Морские перевозки угля осуществлялись на парусных транспортных судах. Так, создавая условия для развития пароходного морского сообщения, парусники "рыли себе могилу".

Теперь еще раз вернемся к гонкам пароходов по американским рекам и озерам, хотя сведений о трагедиях тех дней не так уж и много, но факты - упрямая вещь. Только за 1817 г. зарегистрировано по материалам В.С. Ридфильда на реке Миссисипи четыре взрыва котлов, это пароходы "Конститушен" (убито 13 чел.); "Дженер. Робинсон" (9); "Янки" (4); "Геррио" (1). Сведений о раненых нет. Все суда были оборудованы паровыми котлами высокого давления, т.е. около 100 фунт. на дюйм², иными словами, умножаем 100 на 0,07 получаем 7 ат.и.

Вот что пишет в своей книге "Руководство для служащих на военных морских пароходах" капитан-лейтенант Р. Скаловский, С.Петербург, 1850 г. *"...Взрывы котлов случаются весьма часто, как и ожидать должно; но чтоб помочь этому злу, неоднократно пробовали, в разные времена, ввести в употребление машины низкого давления на Западных Водах; однако дешевизна машин высокого давления, и простота устройства их частей, требующих сравнительно меньшей точности в отделке и в хорошем прилаживании, конечно, служит достаточной причиной для предпочтения их машинам низкого давления в той части страны, где мало хороших мастеровых, и где цена за работу и за материалы весьма велика."*

Далее он пишет, что машины низкого давления более громоздки, поэтому не пользуются спросом; а котлы низкого давления более безопасны. Он также предложил не поднимать ни в коем случае давление в котлах более 50 фунтов на дюйм².

А вот что пишет в своих воспоминаниях английский инженер Давид Стивенсон. *"...пароходы ... останавливаются для приема грузов и пассажиров, ... запаса дров на топливо. Смелость, с которой шкиперы управляют своими судами, иногда бывает довольно"*



Бункеровка корабля углем

занимательна, хотя весьма не безопасна. Будучи на большом пароходе "Онтарио", я наблюдал образец подобного управления.

Судно уткнулось носом в берег среди камней и древесных пней и простояло так несколько часов под погрузкой. Принятый груз увеличил осадку и создал порядочный крен, так что когда дали ход, оно, в полном смысле слова, вышло на глубину на своих колесах. Чтобы судно снялось, пары в котлах подняли до огромного давления; клубы пара, вылетающие из паровыпускной трубы при каждом ходе поршня, производили звук, похожий на выстрелы из огнестрельного оружия. Казалось, что все части судна дрожали, и весь корпус его стонал от толчков..."

В общем, ни о каких правилах технической эксплуатации в те стародавние времена никто не имел никакого понятия. Механизмы нещадно эксплуатировались на износ. Результат - взрывы котлов, поломки гребных колес и прочих механизмов. Но это же и убедительное свидетельство о необычайной надежности паровых машин как судовых двигателей. Даже в столь жестоких условиях они работали достаточно надежно и стабильно.

В отношении безопасности паровых котлов низкого давления, вопреки мнению Р. Скаловского, от себя добавлю, что они не были более безопасны, чем котлы высокого давления. Например, в 1825 г. на американских судах взорвалось 17 котлов низкого давления. Как говорится, "хрен редьки не слаще". Просто тогда надо было создать Правила эксплуатации паровых котлов и строго требовать от машинных команд пароходов, чтобы эти Правила строго соблюдались. Но, к сожалению, это появилось позже, тогда взрывы прекратились вообще.

Должен сразу сказать, что современные водотрубные котлы, даже те, что работают, выдавая пар давлением более 60 атм., абсолютно взрывобезопасны. В них слишком мало воды, чтобы произошел взрыв. Другое дело огнетрубные и котлы сундучного типа. В них воды вполне достаточно. Но что же такое взрыв котла? Почему он столь опасен?

Из учебника физики, хорошо нам известного по школьным годам, известно, что вода кипит при температуре 100 °С. Тогда же мы узнали, что температура кипения воды зависит от атмосферного давления. Например, находясь на какой-нибудь высокой горной вершине, в кипящей воде невозможно сварить даже обыкновенные куриные яйца. В паровом же котле, чем больше давление пара, тем выше температура закипания воды - это может быть и 200 °С, и 300 °С, и выше.

Теперь представим себе, что котел получил какое-нибудь повреждение - трещину, разрыв заклепочного шва и т.п. Пар будет стравливаться в атмосферу, давление в котле начнет резко падать и стремиться к атмосферному. А так как температура котельной воды значительно превышает 100 °С, вся находящаяся в котле вода мгновенно превращается в пар, и происходит взрыв огромной силы, почти всегда приводящий к гибели судна и человеческим жертвам.

Чтобы хоть как-то смягчить последствия возможной трагедии американские конструкторы пошли по пути установки на судах нескольких котлов малой величины. Например, на пароходе "Сан-Луи" их было девять, все огнетрубные и одинакового размера длиной по 7,32 м и диаметром - 1,07 м. Трудно судить, обеспечивал ли такой подход ожидаемую безопас-

ность, но, как видим, уже тогда эта проблема волновала машиностроителей.

Чтобы котел меньше излучал тепла на подогрев окружающего его атмосферного воздуха, снаружи его стенки обмазывались толстым слоем глины, приготовленной так, чтобы максимально повысить ее теплоизоляционные свойства. Материалом для изготовления котлов служили листовая медь, железо или одновременно и медь, и железо. Все они имели и достоинства, и недостатки, и взрывались, судя по имеющейся статистике, одинаково.

Например, медные котлы обладали хорошей устойчивостью к коррозии, но не имели достаточной прочности и использовались в сочетании с машинами низкого давления. Железные котлы были прочнее, но ржавчина их "съедала" быстрее. Как мне кажется, самыми неудачными были железо-медные котлы, так как в местах соединения железа и меди идет интенсивная электрохимическая коррозия, и заклепочный шов быстро теряет свою герметичность, а затем и вовсе разрушается.

Со временем появилась методика расчета котлов, а материалом их изготовления стала сталь.

Вообще, мировое пароходостроение в разных государствах развивалось в соответствии с первоочередными потребностями. На Североамериканском континенте с его великими озерами и полноводными реками предпочтение отдавалось в начале речному судостроению. И сегодня американские речные пароходы выглядят так, что их не перепутаешь с другими. Англия, с ее многочисленными колониями, предпочитала развивать морское пароходостроение и добилась здесь немалых успехов. Остальные европейские государства в равной степени интересовались и морскими, и речными пароходами. Россия занимала особое место, здесь были и полноводные реки, и необычайно протяженные морские границы - все это способствовало и создавало предпосылки к строительству мощного флота.

Как и все страны мира, Россия столкнулась с теми же проблемами - острый недостаток судостроительной стали, отсутствие баз для бункеровки парового флота топливом, недостаток инженерно-технического персонала и т.п. Были у нас и энтузиасты пароходного дела. Россия стала третьей мировой державой, после Америки и Англии, приступившей к строительству пароходов на своих судовых верфях. Это отставание объясняется привилегией, выданной русским правительством Роберту Фултону, которая утратила свою силу после его смерти в 1815 г. Привилегия была выдана Р. Фултону в 1813 г., к сожалению, он ей так и не воспользовался.

Другие же претенденты были вынуждены ждать еще год, и лишь только 9 июня 1817 г. была выдана привилегия Чарльзу Берду (1766-1843), которого в России называли Карл Николаевич.

(Продолжение следует.)



Гонка пароходов на Миссисипи



Взрыв котла на пароходе "Lucy Walker" в 1844 году

GRIND-X

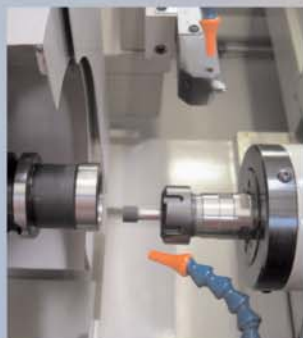
Okamoto
OKAMOTO PRECISION SYSTEMS

**ПРЕЦИЗИОННЫЕ
ШЛИФОВАЛЬНЫЕ
И ДОВОДОЧНЫЕ
СИСТЕМЫ**

**От высокоточных
инструментальных решений
до нанотехнологий**



**80 лет
инноваций и
лидерства**



UPZ-210Li-II - ультрапрецизионный высокоскоростной
профилешлифовальный станок Okamoto
с ЛД по осям XYZ и системой КЧПУ Sodick

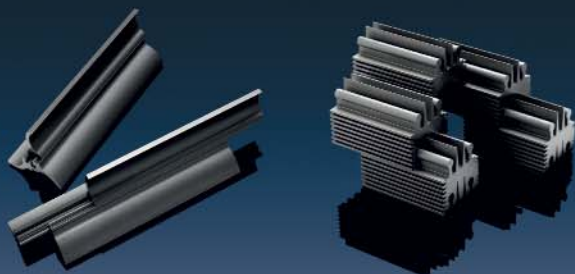
Sodick

www.sodick.ru

Smart Pulse & Smart Linear



**ШЕРОХОВАТОСТЬ
< Ra=0,05 мкм**

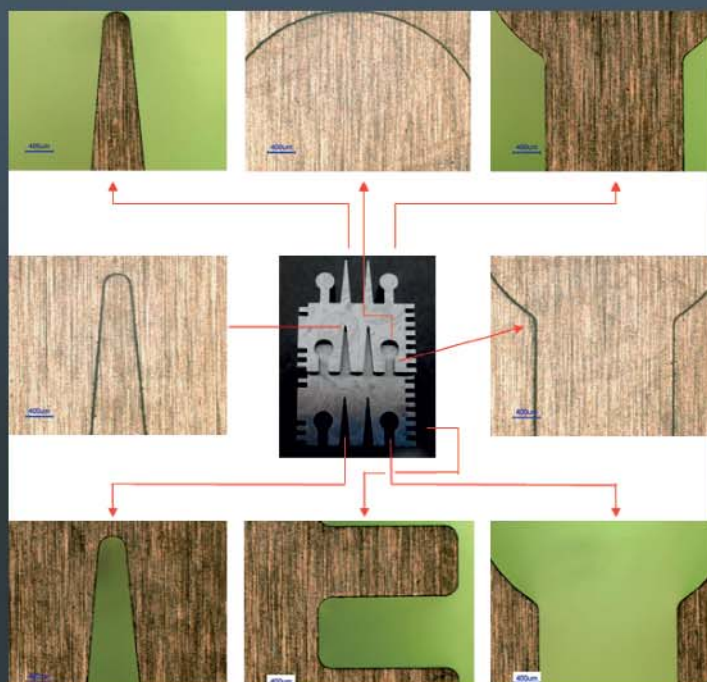


SL400G

SL600G



**ЛИНЕЙНЫЕ
ПРЕЦИЗИОННЫЕ
ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ
ПРОВОЛОЧНО-ВЫРЕЗНЫЕ
СТАНКИ**

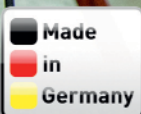
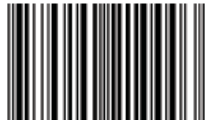


**СТРАТЕГИЧЕСКИЕ
ИННОВАЦИИ
ПИОНЕРА И ЛИДЕРА
НАНОТЕХНОЛОГИЙ В
МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ**

ВИДЕОЭНДОСКОП **VUCAM X0**

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 X0** 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