

# Двигатель

Научно-технический журнал

№ 3 (93 + 243) 2014



**Крылатые ракеты  
и беспилотники -  
боевые самолёты  
следующего поколения? .....СТР. 41**

**ОБОРОНЭКСПО 2014**  
Международная выставка вооружения  
и военной техники  
Москва 2014 • 10-14 ноября



Научно-техническое издание по освещению проблем в промышленности



2010



Медаль АМКос "Преодоление"



## Редакционный совет

- Агульник А.Б., д.т.н.,**  
декан факультета авиационных двигателей МАИ
- Бабкин В.И., к.т.н.,**  
ген. директор ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"
- Багдасарьян Н.Г., д.филос.н.,**  
профессор МГУ им. М.В. Ломоносова,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана
- Богуслаев В.А., д.т.н.,**  
Президент АО "МОТОР СИЧ"
- Воронков Ю.С., к.т.н.,**  
зав. кафедрой История науки РГГУ
- Григорян Г.Г., д.т.н.,**  
вице-президент Общества "Знание" России
- Губертов А.М., д.т.н.,**  
зам. директора ФГУП "Исследовательский центр  
им. М.В. Келдыша"
- Дическул М.Д.,**  
зам. управляющего директора ОАО "ОДК"
- Дмитриев В.Г., д.т.н.,**  
главный научный сотрудник ГНЦ "ЦАГИ"
- Иноземцев А.А., д.т.н.,**  
ген. конструктор ОАО "Авиадвигатель"
- Каблов Е.Н., академик РАН,**  
ген. директор ГНЦ "ВИАМ"
- Каторгин Б.И., академик РАН**
- Коржов М.А., к.т.н.,**  
руководитель проекта "Двигатель"  
ОАО "АвтоВАЗ"
- Кравченко И.Ф., д.т.н.,**  
ген. конструктор ГП "ИВЧЕНКО-ПРОГРЕСС"
- Крымов В.В., д.т.н.**
- Кутенев В.Ф., д.т.н.,**  
зам. ген. директора ГНЦ "НАМИ" по научной работе
- Кухаренок Г.М., к.т.н.,**  
зав. каф. ДВС Белорусского национального ТУ
- Лобач Н.И.,**  
ген. директор ПО "Минский моторный завод"
- Новиков А.С., д.т.н.**  
зам. ген. директора ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"
- Пустовгаров Ю.Л.,**  
президент Торгово-промышленной палаты  
Республики Башкортостан
- Рачук В.С., д.т.н.,**  
ген. конструктор, ген. директор  
ФГУП "КБ Химавтоматики"
- Ружьев В.Ю.,**  
первый зам. ген. директора Российского  
Речного Регистра
- Рыжов В.А., д.т.н.,**  
главный конструктор ОАО "Коломенский завод"
- Ситнов А.П.,**  
президент, председатель совета директоров  
ЗАО "Двигатели "ВК-МС"
- Скибин В.А., д.т.н.,**  
научный руководитель ГНЦ "ЦИАМ  
им. П.И. Баранова"
- Смирнов И.А., к.т.н.,**  
ген. конструктор КБХМ - филиала ФГУП "ГКНПЦ  
им. М.В. Хруничева"
- 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"
- Зайков Г.В.,**  
ген. директор ГП "НПК газотурбостроения  
"ЗОРЯ"-МАШПРОЕКТ"

## 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

Иван Петрович Сидоров

### Художественные редакторы:

Александр Николаевич Медведь  
Владимир Николаевич Романов

### Техническая поддержка

Ольга Владимировна Лысенкова, к.пед.н.

### В номере использованы фотографии, эскизы и рисунки:

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

### Адрес редакции журнала "Двигатель":

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

Тел./Факс: (495) 362-3925.

[dvigatell@yandex.ru](mailto:dvigatell@yandex.ru)

[boeff@yandex.ru](mailto:boeff@yandex.ru)

[aib50@yandex.ru](mailto:aib50@yandex.ru)

[www.dvigately.ru](http://www.dvigately.ru)

Электронная версия журнала (2006-2014 гг.)  
размещается также на сайте Научной электронной  
библиотеки [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) и включена в индекс РИНЦ

## УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

ООО "Редакция журнала "Двигатели" ©  
генеральный директор Д.А. Боев  
зам. ген. директора А.И. Бажанов

Ответственность за достоверность инфор-  
мации и наличие в материалах фактов, не  
подлежащих разглашению в открытой печати,  
лежит на авторах публикаций.  
*Мнение редакции не всегда  
совпадает с мнением авторов.*

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

Журнал "Двигатель", рекомендован экспертны-  
ми советами ВАК по техническим наукам, по ис-  
тории, экономике, философии, социологии и  
культурологии в числе журналов, в которых  
должны быть опубликованы основные научные  
результаты диссертации на соискание ученой  
степени доктора и кандидата наук. Индекс 747  
в общероссийском каталоге 2012 г.

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

Рег. № 018414 от 11.01.1999 г.

16-й (108-й) год издания.

Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати" Москва.

Тираж 5 000 экз.

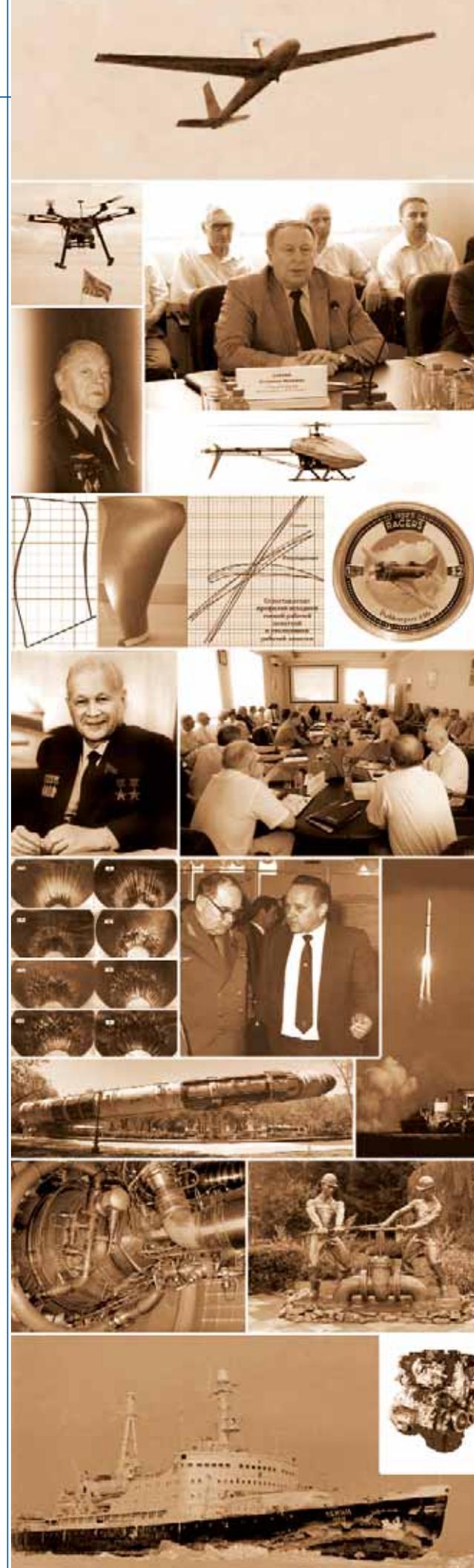
Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная.



# СОДЕРЖАНИЕ

- 2 2 Научные основы авиационного двигателестроения. Доклад на Пленарном заседании МФД-2014**  
В.И. Бабкин
- 6 6 Тенденции развития современных и перспективных ВСУ**  
И.М. Иванова
- 9 9 "Майский взлёт": между небом и землёй**  
Д. Стрункина
- 10 10 Установка для исследования уплотнений высокоскоростных роторов**  
В.А. Зрелов, А.А. Осипов, А.Ю. Ардаков, Д.С. Бакин
- 12 12 Юлиану Николаевичу Нечаеву - 95**
- 14 14 XI олимпиада по истории воздухоплавания**
- 15 15 Инженер всегда инженер (к 80-летию В.В. Крымова)**
- 16 16 Горимир Горимирович Чёрный 22.01.1923 - 06.11.2012**  
А.Б. Ватажин
- 18 18 Его знали только по делам. 100 лет со дня рождения генерального конструктора Владимира Челомея**  
Дм. Соколовский
- 22 22 Турбулентность. Вихри Тейлора-Гёртлера**  
Ю.М. Кочетков
- 26 26 Советские и российские самолеты на монетах зарубежных стран**  
А.В. Барановский
- 28 28 Проблематичное начало и драматический конец разработки ракеты-носителя Н1**  
В.Ф. Рахманин
- 36 36 Успешный полёт демонстратора БЛА "ЦИАМ-рекорд" с энергетической установкой на топливных элементах**
- 38 38 По торной дороге ракетостроения мы шли в ногу**  
В.Ф. Рахманин, В.К. Чванов
- 42 42 Региональные аспекты диверсификации отношений занятости молодежи**  
С.Ю. Иванов, А.С. Иванов
- 48 48 Ледоколы России. Атомный ледокол "Ленин"**  
В.С. Шитарёв





# НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

## ДОКЛАД НА ПЛЕНАРНОМ ЗАСЕДАНИИ МФД-2014

**Владимир Иванович Бабкин**, генеральный директор ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова", к.т.н., академик-секретарь секции "Аэрокосмическая" Российской инженерной академии



Добрый день уважаемые коллеги! Хочу поздравить вас с открытием Международного форума по двигателестроению.

Авиастроение - область, в которой в наибольшей степени проявляются возможности применения научных и инженерных достижений своего времени. И при этом, двигателестроение в общем спектре направлений авиационной деятельности, пожалуй - наиболее наукоёмкая



Рис. 1 Рост объема перевозок гражданской авиации

подотрасль. Именно в ней производство - прямое следствие проделанных научных и экспериментальных исследований. И нельзя забывать, что опытно-конструкторские работы тогда и только тогда имеют шанс на успешное завершение, когда предварительно добротнo спланированы и проведены научно-исследовательские работы и экспериментальная отработка элементов будущих двигателей летательных аппаратов.

**Двигатель создается в полтора - два раза дольше планера и авиационного оборудования.** И для того, чтобы он "попал" на новый самолёт, требуется опережающая отработка критических технологий.

ГНЦ ФГУП "Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова" (ЦИАМ), образованный в 1930 г., является ведущей организацией авиационной промышленности, обеспечивающей научно-техническое сопровождение развития авиадвигателестроения в России.

Сегодня ЦИАМ проводит комплексные фундаментальные и прикладные исследования в области авиадвигателестроения; испытания авиационных двигателей, их узлов и систем; разработку нормативно-правовых, методических и технических документов, определяющих методологию создания и сертификацию авиационных двигателей и энергетических установок на их основе.

Система этих документов поддерживается в актуальном состоянии, постоянно выходят их новые редакции, учитывающие как последние изменения документов более высокого уровня, так и развитие технологий отечественного двигателестроения. Примером своевременной разработки рациональных и вместе с тем жестких правил игры является созданный в 1984 г. ОСТ 2501, предусматривающий поэтапно-временной порядок создания и доводки технологий, узлов, экспериментальных газогенераторов и двигателей, и затем - ОКР. Применительно к современным условиям в 2010 г. утверждена подобная методология создания двигателя для гражданской авиации за счет госинвестиций, содержащая девять уровней технологической готовности, а по крупному - второй стадии НИЭР и ОКР.

ЦИАМ принимал участие в создании практических всех отечественных авиационных двигателей - от мощных и надежных поршневых моторов сороковых годов, до первого в мире лётного варианта двухрежимного водородного осесимметричного ГПВРД.

Газотурбинный двигатель (ГТД) по праву называют одним из трёх главных достижений научно-технической революции в XX веке, наряду с атомным проектом и выходом в Космос. Благодаря ГТД стали возможны массовые воздушные перевозки, трансконтинентальные перелеты, выработка огромного количества электроэнергии.

Стремительный рост объема воздушных перевозок (годовой темп - 6%, удвоение - каждые 15 лет) происходит при почти неизменных совокупных затратах топлива мировым парком самолетов. Это объясняется вводом в эксплуатацию самолетов с новыми двигателями, обла-

дающими более высокой топливной эффективностью (рис. 1).

Вместе с развитием аэродинамических компоновок и авиационных материалов уникальные свойства авиационного турбореактивного двигателя позволили за 60 лет с момента оснащения им первых пассажирских самолетов, в пять раз снизить затраты топлива на пассажирокилометр. При этом почти 50% снижения этого показателя получено за счет двигателя (рис. 2).

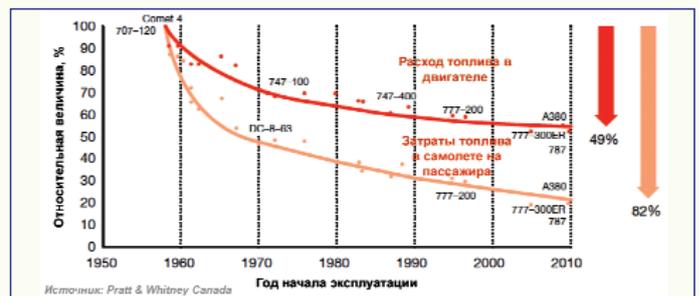


Рис. 2 Изменение удельного расхода топлива на перевозку одного пассажира

В запущенных с 2010 года программах ремоторизации самолетов А320 и В737 до 90% выигрыша в затратах топлива приходится на новые двигатели семейств PW1000G и LEAP, а на разрабатываемых новых самолетах МС-21 и китайском С919 - до 2/3 (рис. 3 и 4).

Непрерывное развитие гражданской авиации происходит на фоне постоянного ужесточения требований к снижению эмиссии вредных веществ и шума самолета, при этом основной инструмент достижения требуемых экологических характеристик - совершенствование силовых установок (рис. 5).



Рис. 3 Модернизируемые магистральные самолёты и их двигатели

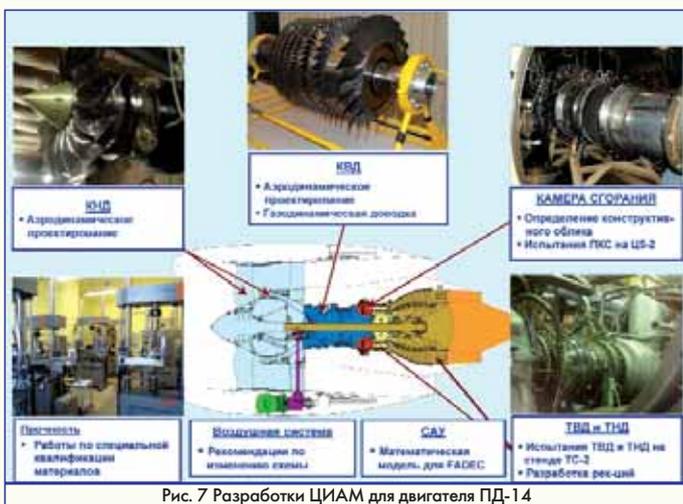
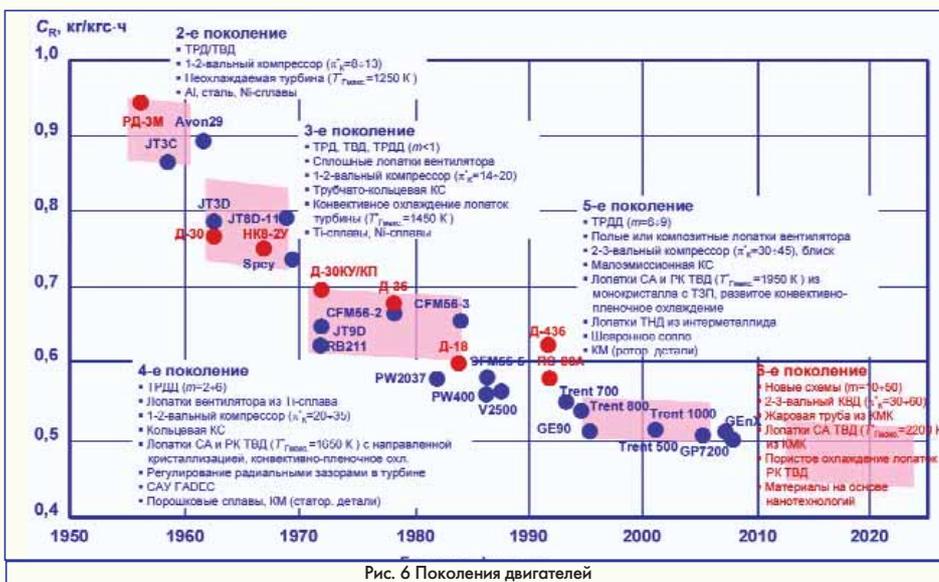


Рис. 4 Новые магистральные самолёты России и Китая и их двигатели





За период эксплуатации авиационных ГТД было создано пять поколений двигателей при кардинальном улучшении их показателей. В частности, удельный расход топлива сократился почти в два раза (рис. 6).



Это было достигнуто благодаря переходу к новой схеме двигателя, повышению параметров рабочего процесса, внедрению новых конструкционных материалов и технологий.

Проведенные исследования по развитию авиационных ГТД, в том числе и в ЦИАМ, показали, что их потенциал еще далеко не исчерпан. Так, в соответствии с Flightrath 2050 (документ ACARE, устанавливающий целевые индикаторы для авиационной техники европейского производства к 2050 году) к 2050 г. затраты топлива на пассажирокилометр должны быть снижены в четыре раза.

Учитывая результаты работ в России (так же как и за рубежом) по снижению выбросов вредных веществ и шума, были разработаны целевые индикаторы, определяющие улучшение харак-

теристик перспективных силовых установок ЛА и самих летательных аппаратов по временному фактору, предполагающие дерзкие рубежи, как в ближней, так и дальней перспективе.

Разработка численных методов является одним из направлений создания перспективных технологий. В результате этих работ ЦИАМ решил многочисленные задачи по улучшению характеристик, оптимизации конструкции и повышению надежности авиационных двигателей и их узлов.

Разработанные высокоэффективные методы расчета для проектирования различных узлов двигателя учитывают нестационарные пространственные эффекты, переменность турбулентности по тракту двигателя, химическую кинетику и др. Эффективность этих методов верифицировалась по результатам модельных или натурных испытаний узлов двигателей на стендах ЦИАМ.

ЦИАМ продолжает развивать собственные численные методы для расчета сложных процессов, происходящих в силовой установке и двигателе.

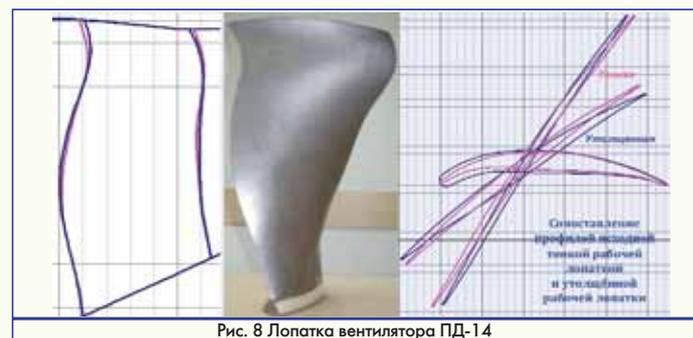
Разработанный в ЦИАМ программный комплекс 3DAS предназначен для расчета тонального шума лопаточных машин в ближнем и дальнем поле. Метод расчета базируется на прямом численном решении трехмерных уравнений Эйлера для возмущений с использованием разностных схем высокого порядка точности. Точность результатов, полученных по этому методу превышает точность известных коммерческих пакетов.

Сегодня приоритетной задачей российского авиадвигателестроения является создание двигателя ПД-14, который разрабатывает ОАО "Авиадвигатель", для самолета MC-21. Этот двигатель нового поколения с высокой степенью двухконтурности является базовым для семейства двигателей в диапазоне тяги от ~90 до ~180 кН и разрабатывается на основе современных технологий проектирования и производства.

Научно-технический задел для ПД-14 создавался при активной роли ЦИАМ и мы надеемся, что это позволит реализовать высокие требования, предъявляемые к этому двигателю по экономичности, экологическим показателям, надежности и ресурсу и т.д. При участии ЦИАМ были спроектированы малозумный вентилятор с ширококордными лопатками рабочего колеса, компрессор высокого давления, жаровая труба камеры сгорания, разработанная математическая модель для CAU FADEC. На основе результатов испытаний даны рекомендации по перепроектированию вентилятора, турбин высокого и низкого давления и т.д. (рис. 7).

В частности, в рамках отработки узлов двигателя ПД-14 в институте выполнено вначале аэродинамическое проектирование вентилятора с к.п.д. 92%, а затем - перепрофилирование его пустотелых лопаток рабочего колеса с целью отстройки от резонансов. Для обеспечения высокого уровня газодинамической устойчивости и улучшения акустических характеристик лопатки рабочего колеса имеют переменную по высоте стреловидность (рис. 8).

Для снижения эмиссии NO<sub>x</sub> и обеспечения большого заданного ресурса жаровой трубы в ЦИАМ разработаны продольные сегменты



новой конструкции с керамическим теплозащитным покрытием, что позволило сократить расход воздуха на ее охлаждение до 20% и увеличить расход воздуха через фронтное устройство.

Как было показано выше, к летательным аппаратам с двигателями 6-го поколения, появление которых ожидается после 2020...2025 гг., предъявляются высокие требования, как по топливной эффективности, так и по экологическим показателям. При этом достижение заявленных целевых индикаторов может быть реализовано только при комплексном подходе путем улучшения характеристик двигателя, летательного аппарата и управления воздушным движением.

Принимая во внимание целевые индикаторы, в ЦИАМ был проведен анализ перспективных схем двигателей для пассажирских самолетов нового поколения.

Сегодня в эксплуатации находятся летательные аппараты, в которых применяются "электрические" технологии. Применение таких технологий позволяет отказаться от ряда агрегатов и систем, а также от отборов воздуха на самолётные нужды. "Электрификация" двигателя и самолета позволяет уменьшить затраты топлива, прямые эксплуатационные расходы и повысить надежность.

В ЦИАМ на базе серийного двигателя для отработки "электрических" технологий создан двигатель-демонстратор. Особенности двигателя-демонстратора являются: электроприводные топливный насос, масляный насос, механизм поворота лопаток направляющих аппаратов компрессора, встроенный стартер-генератор и интеллектуальная распределенная САУ со SMART-датчиками. В ближайшее время планируется проведение испытаний магнитного подшипника.

Работы по этому направлению осуществляются совместно с ОАО "Электропривод", ОАО "ОМКБ", НПО "ЭРГА", ОАО "АКБ "Якорь" и др. Следует отметить, что применение электрических технологий и интеллектуальной распределенной САУ предполагается на всех двигателях, рассмотренных ниже.

В случае реализации высоких значений к.п.д. узлов при повышении параметров рабочего процесса и степени двухконтурности сохранит свою привлекательность ТРДД традиционной схемы, как с прямым (при величине степени двухконтурности меньше ~14), так и с редукторным (при величине степени двухконтурности больше ~14) приводом вентилятора. При этом в конструкции его узлов будут широко применяться композиционные материалы. Наибольший эффект ожидается от применения керамических композиционных материалов в "горячей" части двигателя, что позволит уменьшить затраты топлива и эмиссию вредных веществ (рис. 9).



Рис. 9 Критические технологии для двигателей 6-го поколения

В ЦИАМ ведутся исследования критических технологий для ТВВД ("открытый ротор"). При высокой топливной экономичности главной проблемой этого двигателя является повышенный по сравнению с ТРДД уровень шума. Одним из путей ее решения является проектирование биротативного винтовентилятора с разными диаметрами переднего и заднего винтов (по схеме "клиппинг") (рис. 10).

С учетом обобщения результатов работ по винтовентиляторам в европейской программе DREAM и использования численных мето-

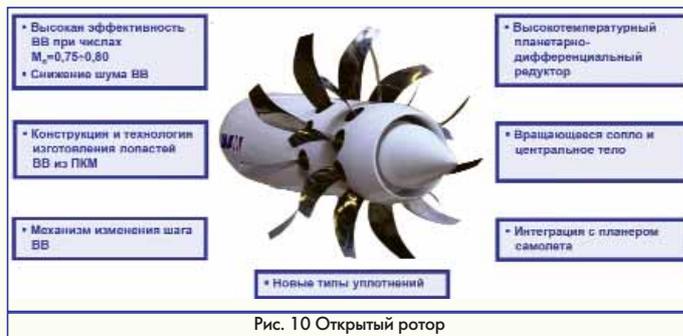


Рис. 10 Открытый ротор

дов решения прямой и обратной задач газодинамики и аэроакустики, в 2011...2012 гг. был разработан винтовентилятор COMBY, который в условиях крейсерского полета обеспечил к.п.д. 0,85 и позволил увеличить тягу на режиме "взлет" на 13% относительно исходного винтовентилятора по программе DREAM. Расчетные исследования показали, что уровни шума исходного винтовентилятора на режиме "взлет" сохранились на уровне винтовентиляторов, разработанных по программе DREAM (рис. 11).

Испытания, проведенные в ЦАГИ в 2012...2013 гг., подтверди-

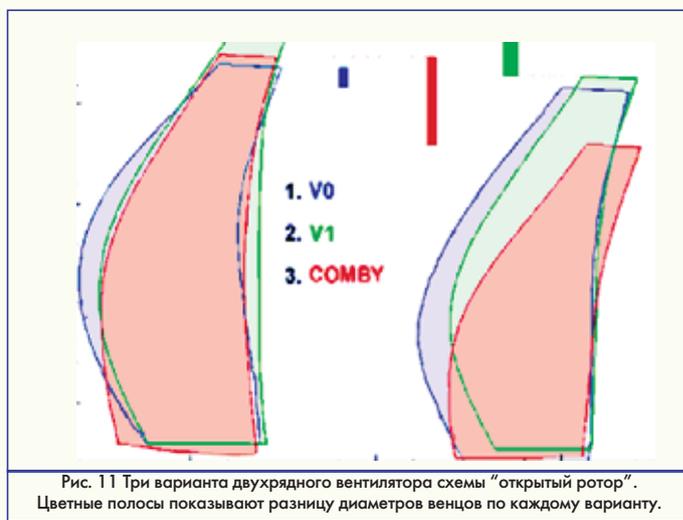


Рис. 11 Три варианта двухрядного вентилятора схемы "открытый ротор". Цветные полосы показывают разницу диаметров венцов по каждому варианту.

ли результаты расчетов и достижение поставленных целей.

Вслед за ведущими двигателестроительными фирмами мира ЦИАМ в настоящее время активно работает над применением композиционных материалов, как в "холодных", так и в "горячих" узлах перспективных двигателей.

Принципиальное значение для всех двигателей с большой степенью двухконтурности имеет применение лопаток и корпуса вентилятора из полимерного композиционного материала, что позволяет не только заметно уменьшить массу двигателя, но и упростить решение комплекса вопросов, связанных с обеспечением работоспособности двигателя при обрыве лопатки вентилятора. Их планируется использовать не только в перспективных двигателях, но и в модификациях двигателей семейства ПД-14.

Для "горячих" узлов двигателей ведутся работы по жаровой трубе камеры сгорания и лопаткам турбины из керамических композиционных материалов. Так, для жаровой трубы и полых лопаток соплового аппарата турбины были проведены циклические испытания и испытания на термостойкость.

Наряду с двигателями, ЦИАМ занимается и промышленными газотурбинными установками на их основе. При непосредственном участии ЦИАМ разработаны целевые индикаторы, которым должны удовлетворять перспективные ГТУ, и определены направления их развития и критические технологии.

По заказу ОАО "Авиадвигатель" в ЦИАМ разработана маломощная камера сгорания для ГТУ-16, которая обеспечивает выбросы вредных веществ ниже 25 ppm (рис. 12).



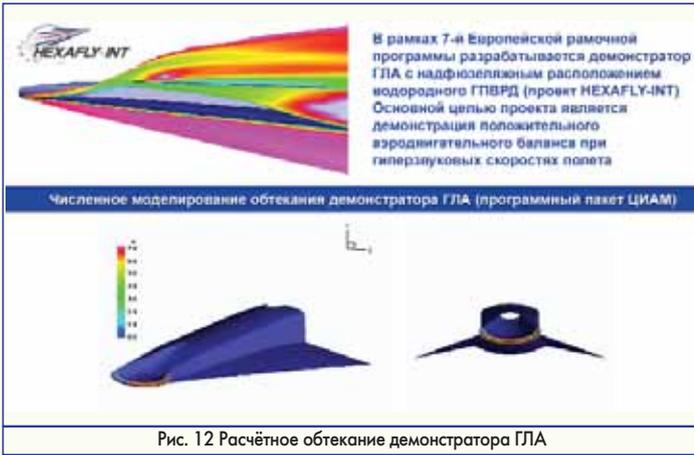


Рис. 12 Расчётное обтекание демонстратора ГЛА

И в заключение, несколько слов об экспериментальной базе ЦИАМ - Научно-испытательном центре, который является одним из крупнейших в Европе и позволяет проводить высотные испытания двигателей, их узлов и систем.

Спроектированные и изготовленные экспериментальные объекты проходят всестороннее экспериментальное исследование на стендах ЦИАМ, включая уникальные высотные стенды.

Для обеспечения готовности НИЦ ЦИАМ к проведению исследований и испытаний двигателей 6-го поколения проводится модернизация существующих технологических систем и высотных стендов и оснащение их высокоточными системами измерения, в том числе бесконтактными, создаются модельные стенды и установки для отработки критических технологий, а также развивается экспериментальная база прочностных исследований.

За последние годы созданы стенды для проведения испытаний на обледенение, акустических исследований моделей однорядных и биротативных вентиляторов, исследования лопаток на попадание птиц, исследование двигателей на огнестойкость и т.д. (рис. 13).

НИЦ ЦИАМ

- Расширение технологических возможностей НИЦ ЦИАМ для испытаний АД при наиболее полной имитации условий эксплуатации
- Создание стендов и установок для проведения испытаний АД и их узлов в экстремальных условиях
- Развитие методов и средств испытаний с широким применением ИР-технологий поддержки изделия

Обледенение, Шумоглушение, Прочность деталей из КМ, Птицестойкость, Огнестойкость, Разгонные испытания, Бесконтактные измерения

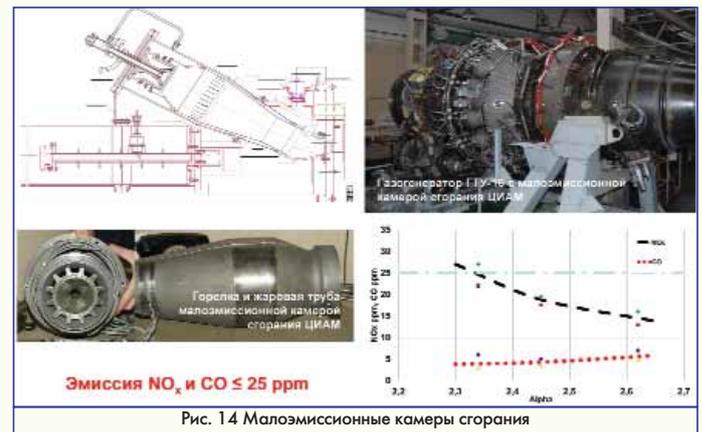
Рис. 13 Развитие экспериментальной базы ЦИАМ

Лаборатория огневых испытаний компонентов авиационной техники является единственной в России, имеющей аккредитацию Авиационного регистра и Росстандарта. В ней проводятся сертификационные испытания по подтверждению соответствия требованиям авиационных правил и квалификационным требованиям, относящимся к маршевым и вспомогательным двигателям, самолетам и вертолетам различного назначения, а также применяемым материалам.

Помимо воздействия пламени на стенде воспроизводятся различные эксплуатационные факторы: вибрации, обдув воздушным потоком, прокачка жидкости. Результаты испытаний в лаборатории признаются не только Авиационным регистром МАК, но и EASA. В настоящее время проводится модернизация стенда, которая позволит ему соответствовать новейшим требованиям отечественных и зарубежных нормативных документов и в полной мере провести сертификационные испытания по пожарной безопасности двигателя ПД-14 и самолета МС-21.

В ЦИАМ на основе высотных термобарокамер созданы и на протяжении длительного времени функционируют специальные экспериментальные стенды, предназначенные для проведения инженерных и сертификационных испытаний авиационной техники в условиях обледенения. Стенды позволяют имитировать условия атмосферного облака, содержащего жидкие переохлажденные капли. На указанных стендах выполняются сертификационные испытания полноразмерных двигателей, их моделей и деталей, входных элементов двигателя, а также элементов планера, как самолета, так и вертолета. Испытания выполняются в соответствии, как с российскими, так и с зарубежными нормативными требованиями (FAR-33, CS-E). В настоящее время проводится модернизация стендов с целью удовлетворения перспективным требованиям по обеспечению безопасности полетов в условиях ледяных кристаллов, смеси фаз и крупных переохлажденных капель.

В ЦИАМ несколько лет назад была создана и успешно функционирует уникальная физическая лаборатория. Она оснащена современными лазерно-оптическими системами диагностики неравновесных реагирующих потоков газа и плазмы. Это позволяет исследовать фундаментальные аспекты горения новых перспективных топлив, кинетику процессов с возбужденными молекулами, процессы формирования наноструктур с новыми физическими свойствами и интенсификацию процессов воспламенения и горения в различных системах (рис. 14, 15).



Методы измерения температуры и концентрации газовых компонентов, кластеров и сажевых частиц:

- Когерентная антистоксова рамановская спектроскопия (КАРС)
- Лазерно-индуцированная флуоресценция
- Эмиссионная спектроскопия
- Ионная масс-спектрометрия
- Хроматография

CH<sub>4</sub> + ВОЗДУХ

ФОТО, ОН (ЛИФ)

Рис. 15 Лаборатория горения

Представленные результаты работ ГНЦ ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" показывают, что его деятельность по созданию научно-технического задела для авиационных двигателей 5-го и 6-го поколений создает потенциал российского авиадвигателестроения по разработке инновационной продукции и закладывает основу для обеспечения конкурентоспособности российской авиационной техники.



# ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВСУ



**Ирина Михайловна Иванова,**  
начальник сектора ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова"

*В конце мая этого года по инициативе Минпромторга России на территории ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" (ЦИАМ) состоялась конференция, посвященная требованиям, предъявляемым к современным и перспективным вспомогательным силовым установкам (ВСУ). Необходимо было разметить линии совместной работы и границы взаимодействий участвующих сторон, а потому – состав конференции был весьма представительным. В ней приняли участие: делегация Минпромторга России во главе с заместителем Министра промышленности и торговли РФ Ю.Б. Слюсарем, генеральный директор ЦИАМ В.И. Бабкин и ведущие специалисты этого института, представители ОАО "НПП "Аэросила" во главе с генеральным директором С.Ю. Сухоросовым, а также представители ОАО "ОДК", ОАО "ОАК", ОАО "Вертолеты России", ФГУП "ВИАМ", ФГУП "Крыловский государственный научный центр" (филиал "ЦНИИ СЭТ") и концерна "Авиационное оборудование".*

В краткой вступительной речи Юрий Борисович Слюсарь напомнил, что вспомогательные газотурбинные двигатели (ВГТД) – особый класс двигателей, используемых на летательных аппаратах различного назначения. ВСУ призваны обеспечивать запуск маршевого двигателя как на земле, так и в высотных условиях. К современным ВСУ, в дополнение к ранее применяемым высоким требованиям по надежности, безопасности, ресурсу и ремонтпригодности, накладываются и новые требования по увеличенной электрической и гидравлической мощности. Мощность установленных на борту перспективных ВГТД будет стремиться примерно к трети мощности основных силовых двигателей летательного аппарата. И ВСУ будет работать в течение всего полета.



Генеральный директор ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" В.И. Бабкин



Заместитель Министра промышленности и торговли РФ Ю.Б. Слюсарь

Ю.Б. Слюсарь отметил, что на сегодняшний день среди разработчиков существуют разные точки зрения и проводимая конференция призвана выработать единую концепцию и определить степень готовности соответствовать заявленным требованиям. Это, в конечном итоге, позволит создавать конкурентоспособные изделия, обеспечит импортозамещение ВСУ в отечественной авиации. В данном вопросе институты прикладной науки играют основополагающую роль. Их исследования, оценки, заключения, видение данной проблемы являются приоритетными для Министерства. Только при их инициаторском участии могут быть выработаны требования к ВСУ, определены методики для выполнения НИОКР и направления для создания НТЗ.

Генеральный директор ЦИАМ Владимир Иванович Бабкин в своем выступлении, последовавшем за вступительным, акцентировал внимание на существующих правилах и стандартах создания авиационной техники, в том числе на современной нормативно-технической документации, регламентирующей методологию создания ВСУ.

Он напомнил, что есть утвержденные государственные методики разработки авиационной техники, в которых четко определен порядок работ: выполнение НИР ⇒ создание технологии ⇒ испытания технологий и экспериментальное подтверждение заявленных характеристик ⇒ проведение ОКР. Такой принцип лежит в основе разработанных в 1985 г. "Норм технического уровня ВСУ", с учетом положений которых за прошедшие годы создано уже два поколения вспомогательных силовых установок. Эти нормы постоянно совершенствуются и обновляются (последнее изменение было внесено в 2005 году). При создании сложной наукоемкой продукции крайне важно строго соблюдать нормированный порядок работ и учитывать существующие реалии. В 2013 г. Авиационный Регистр МАК внёс изменения в действующие авиационные правила. Теперь в отношении ВСУ будут действовать современные квалификационные требования. В данной работе со стороны Российской Федерации принимали участие два научных института (ФГУП "ЦИАМ им.



Генеральный директор ОАО "НПП "АЭРОСИЛА" С.Ю. Сухоросов



Начальник отделения "Авиационные двигатели" ФГУП "ЦИАМ" А.И. Ланшин и начальник отделения "САУ" О.С. Гуревич

П.И. Баранова", ФГУП "ГосНИИ ГА") и два разработчика (ОАО "НПП "Аэросила" и ОКБ "ОМКБ"), со стороны Украины АО "МОТОР СИЧ" и ГП "Ивченко-Прогресс".

В ходе конференции были заслушаны доклады специалистов ведущих предприятий, занимающихся проблематикой ВСУ: ФГУП "ЦИАМ", ОАО "Аэросила", ФГУП "ЦНИИ СЭТ", ХК "Авиационное оборудование", а также сообщение руководителя программы ОАО "ОАК" "Самолет 2020" М.К. Курьянского, в котором он обозначил ключевые проблемы, возникающие при эксплуатации ВСУ, и требования к ВСУ со стороны эксплуатанта. Были обсуждены основные требования, предъявляемые к техническим характеристикам ВПД традиционных схем, перспективным ВСУ и ключевые технологии, необходимые для отработки при их создании.

В докладе начальника отделения "Авиационные двигатели" ФГУП "ЦИАМ" А.И. Ланшина (фотография - в заголовке статьи) было отмечено, что линейка отечественных ВСУ второго поколения (ТА-14, ТА-18-100, ТА-18-200) по своим характеристикам соответствует мировому уровню, но в создании ВСУ перспективных схем отечественные разработчики несколько отстают от мировых. Была отмечена необходимость обеспечения импортозамещения ВСУ для самолета МС-21, важность отработки новых технологий и проведения НИР для создания электромагнитных подвесов роторов.

В ЦИАМ выполнен ряд перспективных работ в обеспечение создания газовых и магнитных подшипников для ВСУ, разработаны и проходят испытания демонстрационные образцы этих устройств на экспериментальных стендах, специально созданных в институте.

В докладе было рассказано о совместных проектах ФГУП "ЦИАМ" с ОАО "НПП "Аэросила", НПО "ЭРГА", двигателестроительными ОКБ, а также о работе по созданию демонстратора энергоустановки на топливных элементах, проводимой институтами РАН.

В своём докладе заместитель генерального директора-главного конструктора по НВЭ ФГУП "Крыловский государственный научный центр, филиал ЦНИИ СЭТ" И.К. Ландграф подробно осветил

состояние работ филиала "ЦНИИ СЭТ" в области водородной энергетики и топливных элементов.

Заместитель генерального директора ОАО "НПП "Аэросила" Л.Е. Плахов в своем докладе дал видение направлений развития ВСУ и предложения НПП "Аэросила" по созданию перспективных вспомогательных силовых установок.

Подводя итоги встречи, Ю.Б. Слюсарь отметил, что в работе по совершенствованию и созданию новых типов ВСУ необходима кооперация ведущих предприятий и применение системного подхода при заказе и исполнении НИОКР. Еще раз подчеркнул, что при принятии решений Министерству промышленности и торговли принципиально важно заключение профильных институтов, которые обеспечивают выработку стратегии развития данного направления и его научно-техническое сопровождение. Это особенно существенно, когда работа ведется за государственный счет. Директор департамента принимает решения, опираясь на заключения научных организаций, которые проводят оценку не только итогового



Зам. ген. директора-главного конструктора по НВЭ ФГУП "Крыловский государственный научный центр, филиал ЦНИИ СЭТ" И.К. Ландграф

го результата, но и этапов работы. Заместитель Министра высказал пожелания к ОАО "ОАК" более чётко сформулировать требования к разработчикам на этапе формирования ТЗ и определения облика перспективных ВСУ, так как работы должны вестись для конкретного потребителя, которым и является ОАО "ОАК". Двигателисты только тогда смогут достойно реализовать все требования, предъявляемые к разработкам, когда будут четко поставлены задачи и дано время на их решение и создание конечного продукта.

Выводы, сформулированные в ходе встречи, нашли свое отражение в Решении конференции, утвержденном в Министерстве промышленности и торговли РФ.



Заместитель генерального директора ЦИАМ, начальник отделения "Системы автоматического управления" О.С. Гуревич



Выступление заместителя генерального директора ОАО "НПП "Аэросила" Л.Е. Плахова



**ЕДИНСТВО  
ВО МНОЖЕСТВЕ**



ОАО «Управляющая компания  
«Объединенная двигателестроительная корпорация»  
Россия, 121357, г. Москва, ул. Вере́йская, д. 29, стр. 14|  
e-mail: info@uk-odk.ru web: www.uk-odk.ru



# "МАЙСКИЙ ВЗЛЁТ": МЕЖДУ НЕБОМ И ЗЕМЛЁЙ

ОБРАЗОВАНИЕ

Дарья Стрункина, Московский авиационный университет (МАИ)

**"Классный, улётный, невероятный, фееричный, грандиозный"** – гости IV Московского молодёжного фестиваля "МАЙский взлёт" не скупились на комплименты. Ещё бы! Ведь то, что они увидели 17 мая на аэродроме Тушино, просто поражает воображение. На одной площадке – выставка авиационной, космической техники, предпринятый промышленностью, авиамодельные бои за звание победителя этапа Кубка России по авиамodelьному спорту, военная реконструкция от бойцов Воздушно-десантных войск России, спортивные состязания, аттракционы, розыгрыши призов, концертная программа с участием звёзд отечественной рок музыки.

Такой подарок абитуриентам, своим студентам и выпускникам сделал Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) при поддержке Департамента образования города Москвы, Департамента культуры города Москвы, Клуба выпускников МАИ и Воздушно-десантных войск Российской Федерации. Главная цель – продемонстрировать, как многогранна и насыщена профессия инженера, насколько почётно и здорово им быть. Мероприятие собрало более 10 000 человек.

*"Невозможно передать словами свои эмоции, - делится с корреспондентом интернет-портала mai.ru одиннадцатиклассник Евгений Петров. - Мне безумно понравилось на "МАЙском взлёте", тут была такая насыщенная программа! Я познакомился с факультетом "Радиоэлектроника летательных аппаратов", с его студентами и разработками. Летом буду обязательно поступать именно в МАИ."*

Скучать на "МАЙском взлёте" было действительно некогда. С самого утра гостей нешутящими баталиями за звание победителя этапа Кубка России по авиамodelьному спорту встретили авиамodelисты. Рёв моторов, стремительность полётов крылатых "ракет" приковывали к себе тысячи глаз. Некоторые гости под руководством трёхкратного чемпиона мира, руководителя Авиамodelьного спортивного клуба МАИ Игоря Трифонова даже попробовали запустить воздушного бойца.

Выставка авиационно-космической техники МАИ была представлена роботами, системой управления взглядом подвижными объектами, макетом орбитальной космической станции, выходным космическим скафандром, перспективными авиационными и ракетными двигателями, автожиром, беспилотными платформами, самолётом "Эльф". Конечно, это далеко неполный список достижений инженерной мысли и представленных на фестивале разработок маёвцев. Посетители с большим ажиотажем расспрашивали преподавателей и студентов о назначении и применении изобретений, студенческой жизни. А школьники и абитуриенты могли задать все интересующие вопросы о поступлении, получить раздаточный материал и консультацию представителей факультета довузовской подготовки.

Свою экспозицию напротив маёвской раскинули и предприятия авиационно-космической отрасли – ОАО "Вертолёты России", ОАО "Корпорация "Иркут", ФГУП "НПО им. С.А. Лавочкина", ОАО "НПО Базальт", ФГУП "НПЦ газотурбостроения "Салют" и др. Именно к ним после окончания вуза отправляются работать студенты из МАИ. За консультацией к представителям предприятий обращались не только студенты и молодые специалисты, но и школьники с родителями.

Отдельную любовь посетителей фестиваля снискала экспозиция летательных аппаратов, куда вошли лёгкие летательные аппараты – самолёт-ультралайт "Эльф", модернизированный автожир МАИ-208, двухместный безмоторный планер АС-7М, мультикоптеры, парапланы, мотодельтапланы и другая техника. Ажиотаж на этой площадке не стихал ни на секунду до самого закрытия. Дополняли настоящую технику модели, которые привезли с собой на фестиваль талантливые школьники – будущие студенты московских технических вузов. К слову, на фестивале из вузов был представлен не только МАИ – активно включились в работу выставки МИЭТ, МАТИ и МГТУ Гражданской авиации.

Приветственные слова в адрес школьников, студентов и выпускников МАИ с главной сцены адресовали ректор МАИ Анатолий Герашенко, директор Департамента авиационной промышленнос-

ти Министерства промышленности и торговли Российской Федерации Андрей Богинский, заместитель руководителя Департамента культуры города Москвы Владимир Филиппов, заместитель начальника штаба Воздушно-десантных войск, генерал-майор Александр Шушукин, руководитель Департамента промышленных активов госкорпорации "Ростехнологии", генерал-лейтенант Владимир Кутахов, руководитель Департамента организационной работы Союза машиностроителей России Екатерина Загороднева.

Директор Департамента авиационной промышленности Минпромторга России Андрей Богинский отметил, что в настоящий момент большое внимание уделяется закреплению молодёжи на авиационных предприятиях. Промышленникам необходимы люди с высшим образованием – тех, кто сможет работать на современных станках.

*- Вот, я вчера был в Рыбинске. Там средний возраст работников - 38 лет. Это уже говорит о многом! И дело тут не только в зарплатах, но и в том, что мы даём возможность молодёжи участвовать в масштабных проектах. Сейчас, кстати, заработала программа по дальней авиации, у которой большие перспективы. Для молодого человека - это возможность получения знаний и опыта, возможности ознакомления с новейшими технологиями, - дополняет свою мысль в беседе с журналистами на "МАЙском взлёте" Андрей Богинский.*

К словам Андрея Богинского присоединяется ректор МАИ Анатолий Герашенко. Он отмечает, что студенты активно сотрудничают с корпорациями "Сухой", "МиГ", ГКНПЦ им. М.В. Хруничева.

*- Фестиваль "МАЙский взлёт" призван популяризировать инженерные профессии и среди школьников. Необходимо подтолкнуть их к тому, что специализация эта очень перспективна и интересна. наших выпускников, например, всегда рады видеть на авиационно-космических предприятиях. Они делают там отличную карьеру, становятся специалистами высшего класса. Конечно, МАИ старается готовить ребят к работе на предприятии уже в стенах вуза. Поэтому дипломы и курсовые работы они пишут на базе предприятий, - отмечает ректор МАИ.*

Кроме того, вуз участвует в формировании научной роты для ВДВ. Уже записалось 49 старшекурсников – это будущие специалисты, которые станут разрабатывать для войск новейшие образцы военного оборудования и боевого оружия. Стоит отметить, что совсем недавно из стен МАИ вышел 51 офицер для службы в научных ротах.

Сразу после официального открытия фестиваля гостей "МАЙского взлёта" поздравили воины-десантники 38-ого отдельного полка связи Воздушно-десантных войск России. Перед зрителями развернулась настоящая военная реконструкция. Стреляя автоматы, выполнялись боевые задания, демонстрировалось мастерство рукопашного боя. Десантники под оглушительные аплодисменты собравшихся разбивали кирпичные блоки.

Запланированному параду парашютистов в этот день, к сожалению, помешала облачность и ветреная погода. Однако никого это обстоятельство не огорчило. А завершилась программа, подготовленная ВДВ для гостей фестиваля, выступлением вокально-инструментального ансамбля "Крылатая пехота".

Кульминацией "МАЙского взлёта" стал рок-концерт с участием групп "Billy's Band", "ЧиЖ & Со", "Кейн" и Артура Беркута. На нём гости могли отдохнуть от масштабной палитры разработок, спортивных аттракционов и поздравлений, уединиться с музыкой.

# УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УПЛОТНЕНИЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ РОТОРОВ

Владимир Андреевич Зрелов, д.т.н., Андрей Александрович Осипов, Алексей Юрьевич Ардаков, Даниил Сергеевич Бакин  
ФГБОУ ВПО "Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)"

Созданная установка даёт возможность проводить эквивалентные испытания уплотнений из материала МР и других, позволяющие выявить основные дефекты исследуемой конструкции, провести мероприятия по их устранению и оценить ресурс уплотнения. Позволяет исследовать колебания разных типов уплотнений и их влияние на динамические характеристики ротора при различных режимах работы.

*Installation is intended for study of the seals of the different type - an face, radial, brush, from material MR and others, working in gas and fluid ambience under high district velocity. Created installation enables to conduct equivalent test the compactions, allowing at short periods to reveal the main defects to under investigation design, check the actions upon their removal and value the resource of the compaction. Presence device excitement and registrations of the vibration of the compactions allows to research the vibration of the different types of the compactions and their vibration upon dynamic features of the rotor under different state of working.*

Ключевые слова: уплотнения роторов, экспериментальные исследования, динамические характеристики ротора, герметичность, газовая опора, газовая турбина, материал МР.

Keywords: rotor seals, experimental equipment, the rotor dynamic features, gas turbine, MR material.

Уплотнения роторов турбомашин газотурбинных и ракетных двигателей являются одним из важнейших элементов, определяющих их надёжность и экономичность. Современные и перспективные двигатели характеризуются возрастающими параметрами и нагрузками на их элементы, что требует создания новых конструкций уплотнений.

Для экспериментальной отработки этих конструкций необходимо создание оборудования, позволяющего осуществлять испытания уплотнений в условиях, соответствующих современным и перспективным требованиям эксплуатации.

В СГАУ создана установка, предназначенная для исследования уплотнений различного типа - торцовых, радиальных, щёточных, из материала МР и других, работающих в газовых и жидких средах при высоких окружных скоростях.

Установка выполнена в виде двух основных модулей: модуля с установленным в нём экспериментальным уплотнением и приводного модуля. Последний состоит из корпуса с ротором, опирающегося на газовые подшипники и генератора колебаний - газовую опору большого хода, что позволяет моделировать вибрации ротора и исследовать динамические характеристики уплотнений.

Схема установки для испытания торцовых уплотнений показана на рис. 1, внешний вид - на рис. 2. В верхней крышке установлено испытываемое уплотнение, являющееся сменным (на схеме показана



Рис. 2 Внешний вид установки

но торцовое гидростатическое уплотнение, но может быть установлено любое другое уплотнение). Для обеспечения подвода рабочей среды в камеру уплотнения в верхней крышке выполнены каналы и штуцеры, а на кольце торцового уплотнения закреплены два поршня с отверстиями, связывающими каналы в верхней крышке корпуса с каналами, выполненными в кольце уплотнениями, и рабочими камерами, имеющимися на сменных парах трения торцового гидростатического уплотнения, которые закреплены на кольце уплотнения.

На поверхности кольца закреплены малогабаритные датчики давления. На роторе закреплено рабочее колесо пневмотурбины, а сопловой аппарат её размещён в корпусе установки между газовыми подшипниками (рис. 3).



Рис. 3 Рабочее колесо и сопловой аппарат

Установка содержит корпус 1 с газовыми подшипниками 2, выполненными заодно с корпусом. В корпусе вращается вал 3. Привод вала осуществляется от турбины, состоящей из соплового аппарата 4 и рабочего колеса 5.

Турбина обеспечивает плавное изменение частоты вращения от 0 до 80 000 об/мин. В крышке 6 установлен сменный узел испытываемого уплотнения 7, имеющего гайку 8, закрепляющую сменные пары трения торцового уплотнения 9 к рабочему колесу 10.

Через штуцеры 11 в верхней крышке 6 рабочее тело подаётся в камеру торцового гидростатического уплотнения по системе каналов, выполненных в крышке 6, поршнях 12 и кольце 10.

Уплотняющая среда подводится по штуцеру 13 в корпусе установки в уплотняемую полость, попадает в рабочий зазор  $h$  уплотнения, образованного торцом вала 3 и рабочей поверхностью пары трения торцового уплотнения 9. Сбор утечек производится через штуцер 14 в верхней крышке установки.

На кольце уплотнения 10 закреплены малогабаритные датчики давления, измеряющие распределение давления в рабочем зазоре уплотнения при работе установки.

Бесконтактные датчики перемещения 15 и 16, установленные в верхней 6 и нижней 17 крышках установки, позволяют измерять рабочий зазор  $h$  и амплитуду осевых вибраций кольца 10 и ротора 3.

Воздух к газовым подшипникам 2 подаётся через штуцер 18 крышки 17 и каналы, выполненные в корпусе 1, а выходит через дренажные отверстия.

Для предотвращения перетекания воздуха по газовому тракту имеются лабиринтные уплотнения 19, выполненные в корпусе 1.

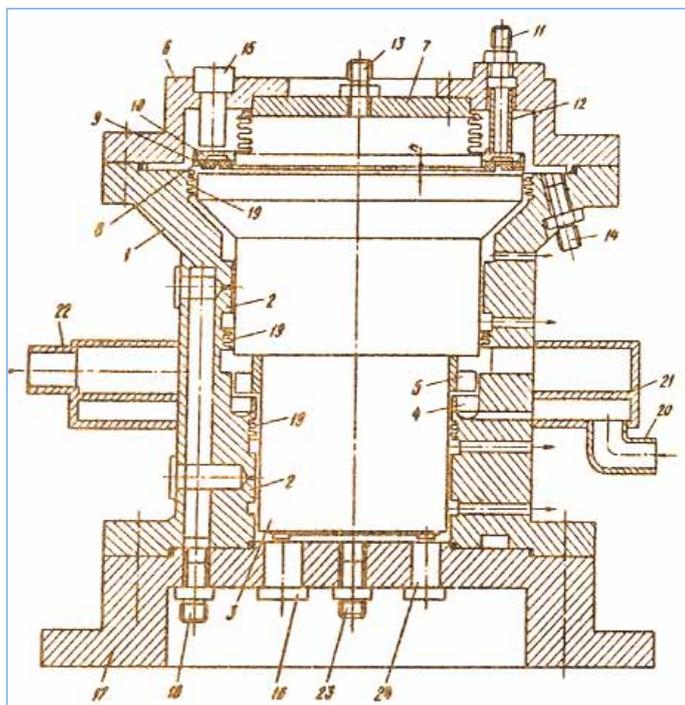


Рис. 1 Конструктивная схема установки

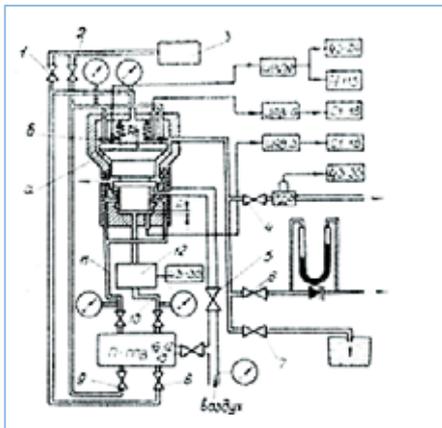


Рис. 4 Принципиальная схема испытательного стенда



Рис. 5 Общий вид испытательного стенда

Подвод газа к турбине осуществляется через патрубок 20, коллектор 21 и радиальные каналы, выполненные в корпусе, а выход его - по радиальным каналам, выполненным в корпусе 1, коллектору 21 и патрубку 22.

Подвод воздуха к генератору колебаний пневмопоры большого хода осуществляется через штуцер 23 в нижней крышке 17, а выход - через дренажные каналы. Замер оборотов ротора осуществляется бесконтактным датчиком 24, закреплённом в крышке 17.

Принципиальная схема испытательного стенда с установкой и его общий вид показаны на рис. 4 и 5.

Расход уплотняемой среды замеряется либо пьезометром, либо объёмным методом, либо турбинным датчиком расхода типа ТДР 2-1-3 с выводом сигнала на электронный частотомер ЧЗ-35. Диапазоны измерения датчика 0,004...0,016 мм/с. Погрешность в диапазоне измерения расхода  $\pm 1\%$ .

Давление рабочей среды замеряется образцовыми манометрами с пределами измерения до 1,0 МПа, класс точности 0,4, а так же малогабаритными индуктивными дифференциальными датчиками давления ДМИ-6-1 с диапазоном измерения 0,6 МПа и погрешностью в диапазоне измерения  $\pm 3\%$ . Для запитки и усиления сигналов, поступающих с первичных преобразователей давления (ДМИ), используются приборы ИД-2И или ИВП-2. Для регистрации давления используются каналы измерения светолучевого осциллографа Н-115, подключенного к выходу ИВП-2.

При необходимости измерения частоты пульсаций давления сигнал от ДМИ, усиленный в ИВП-2, подаётся на цифровой частотомер ЧЗ-24.

Измерение зазоров в уплотнении производится при помощи токовихревых датчиков, которые в комплекте с аппаратурой типа ИАВ-3 и ИАВ-8 изготовлены в СГАУ. Такой метод позволяет получить сигнал, который не зависит от свойств рабочего тела, находящегося в зазоре. Основные технические характеристики этой аппаратуры следующие: диапазон измеряемых частот 0...100 000 Гц; основная погрешность не более  $\pm 5\%$ ; мощность, потребляемая от сети, 60 Вт; время непрерывной работы 12 ч.

Для исследования колебаний уплотнений используется генератор гармонических колебаний давления воздуха, изготовленный в СГАУ. Этот генератор подключён к штуцеру подвода давления в поршневую пневмостатическую опору. Основные технические характеристики генератора следующие: диапазон изменения среднего давления в рабочей камере генератора колебаний давления  $(1...4) \cdot 10^5$  Па; расход воздуха не более 0,02 кг/с; диапазон частот пульсаций давления 0,5...2400 Гц; диапазон амплитуды пульсаций давления до  $0,2 \cdot 10^5$  Па; форма сигнала близкая к гармонической; давление воздуха на входе в генератор до  $8 \cdot 10^5$  Па. Генератор гармонических колебаний представляет собой совокупность электро-механического привода модулирующего диска, рабочей и резонансной камер. Принцип генерирования пульсаций давления основан на периодическом прерывании потока воздуха, вытекающего в атмосферу из сопла, установленного в рабочей камере.

Для изменения частоты пульсаций давления предусмотрено регулирование частоты колебаний генератора.

уплотнений позволяет путём форсирования скорости скольжения в уплотнении, частоты и амплитуды колебаний подвижного элемента, величины удельных нагрузок проводить эквивалентные испытания уплотнений. Т. е. испытания, позволяющие в короткие сроки выявить основные дефекты исследуемой конструкции уплотнения, проверить мероприятия по их устранению и оценить ресурс уплотнения.

Благодаря наличию сменного рабочего блока уплотнений возможна быстрая и простая их замена в процессе исследования.

Наличие устройств возбуждения и регистрации колебаний уплотнений позволяет исследовать колебания уплотнений различных типов при различных режимах их работы.

Одним из преимуществ этой установки, выгодно отличающим её от известных подобных конструкций, является мобильность, поскольку она обладает малыми габаритами и массой не более 25 кг, и для её функционирования достаточно давления воздуха не более 0,6 МПа. Для питания контрольно-измерительных приборов используется электрическая сеть с напряжением 220 В при частоте тока 50 Гц. Использование таких источников энергии и наличие дистанционного управления установкой обеспечивает безопасную работу с ней. При проектировании экспериментальной установки были заложены также её параметры (окружная скорость в зоне уплотнения до 460 м/с, давление уплотняемой криогенной или высокотемпературной среды до 5 МПа, частота осевой вибрации ротора до 2400 Гц), которые соответствуют не только современным условиям работы уплотнений ДЛА, но и учитывают тенденции изменения этих условий.

Установка отличается тем, что генератор осевых колебаний ротора выполнен в виде торцевой камеры, образованной между корпусом и ротором, сообщённой с источником пульсирующего давления.

Ещё одной особенностью установки является её универсальность. На ней помимо торцевых уплотнений можно испытывать на высокой частоте вращения как и радиальные уплотнения, так и уплотнения из МР и перспективные щёточные уплотнения. ■

#### Литература:

1. Белоусов АИ, Изжеуров Е.А., Сетин А.Д. Исследование гидродинамических и фильтровальных характеристик пористого материала МР // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. - Куйбышев, 1975. Вып 2. С. 70-80.
2. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении. М. Машиностроение, 1981, - 247с.
3. Жижкин А.М. Распределение пор по размерам в тонкостенных изделиях из материала МР // Труды международной научно-технической конференции "Проблемы и перспективы развития двигателестроения". Часть 1. Самара. 2003. - С. 185 - 190.
4. Минц Д.Е., Шуберт С.А. Гидравлика зернистых материалов. М. Минкоммунхоз РСФСР, 1955, - 112с.

Связь с автором: zrellov07@mail.ru,  
kipdla@ssau.ru,  
danilfromtorzok@mail.ru

# ЮЛИАНУ НИКОЛАЕВИЧУ НЕЧАЕВУ - 95



19 июня 2014 г. в

Московском государственном техническом университете проходило чествование в честь 95-летия профессора Военно-воздушной академии имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, Заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации, доктора технических наук, профессора, генерал-майора авиации в отставке Юлиана Николаевича Нечаева.

Ю.Н. Нечаев - известный ученый в области теории авиационных двигателей. Ему принадлежит более 300 научных трудов, изобретений, учебни-

ков и учебных пособий. Он с 1945 г. ведет научную и педагогическую работу в ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. В 1948 г. защитил кандидатскую, а в 1958 г. - докторскую диссертацию. В 1960 г. утвержден в ученом звании профессора. С 1969 по 1988 гг. возглавлял кафедру теории авиационных двигателей академии. В 1977 г. за заслуги в области авиационной науки и техники, Президиум Верховного Совета РСФСР присвоил Ю.Н. Нечаеву почетное звание Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР. В 1991 г. избран академиком и членом президиума Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского (РАКЦ). С 1997 г. является действительным членом Академии наук авиации и воздухоплавания, а с 1999 г. - Русской академии наук и искусств.

Научная деятельность профессора Ю.Н. Нечаева отличается многогранностью и глубиной исследований. Широкое признание получили его работы по анализу характеристик и программ управления авиационных силовых установок для сверхзвуковых и гиперзвуковых летательных аппаратов. По результатам работы в этой области им опубликован ряд книг и научных статей, признанных и широко популярных как среди научных работников, так и среди студентов и аспирантов. Важным научным направлением, в формировании которого значительную роль сыграли ранние работы Ю.Н. Нечаева, явилось исследование входных и выходных устройств сверхзвуковых самолетов. При участии Ю.Н. Нечаева в ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского была создана научно-экспериментальная база и разработаны новые методы экспериментальных исследований авиационных двигателей и их элементов.

В течение длительного времени Ю.Н. Нечаев возглавлял работы академии по исследованию газодинамической устойчивости ГТД различных схем при сильных нестационарных воздействиях, связанных с применением бортового оружия. Эти работы получили реализацию в системах предупреждения и ликвидации неустойчивой работы авиационных ГТД.

В настоящее время, являясь академиком-секретарем РАКЦ по отделению фундаментальных и прикладных проблем аэрогазодина-

мики, тепломассообмена и энергетики, Ю.Н. Нечаев возглавляет научное направление и руководит объединенным межведомственным научным семинаром по силовым установкам гиперзвуковых и воздушно-космических летательных аппаратов. Являлся соучредителем и редактором научно-технических журналов "Вестник Академии Космонавтики" (1997-2000 гг.) и "Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики" (после 2000 г.), издаваемых под эгидой РАКЦ. Неоднократно публиковался в научно-техническом журнале "Двигатель". Руководит секцией "Силовые установки гиперзвуковых и воздушно-космических летательных аппаратов" и симпозиумом памяти академика Б.С. Стечкина на научных чтениях РАН по космонавтике.

Профессор Ю.Н. Нечаев во время службы в ВВИА (до ее перевода в г. Воронеж) активно руководил научной работой адъюнктов, соискателей, докторантов. Им была создана научная школа в области процессов, характеристик и законов управления силовых установок авиационных и аэрокосмических летательных аппаратов. Под его руководством защищено 42 кандидатских и шесть докторских диссертаций.

Ю.Н. Нечаев является автором, соавтором и редактором 20 учебников и большого числа учебных пособий, которые издавались в издательствах ВВИА, "Оборонгиз", "Машиностроение", "Воениздат" и др. Двухтомный труд "Теория реактивных двигателей" ("Оборонгиз", 1956 г. и 1958 г.), вышедший в свет при его соавторстве, утвержден МВ и ССО в качестве учебного пособия для авиационных вузов и переведен на ряд иностранных языков. В 1977-1978 гг. Ю.Н. Нечаевым (в соавторстве с Р.М. Федоровым) издан в издательстве "Машиностроение" двухтомный учебник, рекомендованный МВ и ССО для студентов авиационных ВУЗов страны. В 1984 г. этот учебник переведен и издан в КНР. Учебник Ю.Н. Нечаева "Теория авиационных двигателей", изданный в ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского в 1990 г., утвержден Главкомандующим ВВС в качестве учебника для слушателей и курсантов инженерных ВУЗов ВВС и используется в учебном процессе в настоящее время. Ю.Н. Нечаев является соавтором нового учебника для Московского авиационного института "Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей" (2004 г.) и соавтором и редактором нового учебника "Теория авиационных двигателей" (2006-2007 гг.), изданного в ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, допущенных в качестве учебников для студентов гражданских и слушателей военных ВУЗов.

Ю.Н. Нечаеву, являющемуся одним из продолжателей научно-педагогической школы, созданной в ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского академиком Б.С. Стечкиным, за успешную деятельность в обучении и воспитании слушателей и курсантов присуждено звание "Почетный профессор".

Юлиан Николаевич - Участник Великой Отечественной войны. Награжден орденами Красной Звезды, "За службу Родине в Вооруженных Силах СССР", "Отечественной войны" I степени и более 20 медалями. Награжден именными медалями РАКЦ: "За выдающиеся заслуги в космонавтике" 1, 2 и 3 степеней и Серебряной медалью памяти академика В.Ф. Уткина.

**Редакция журнала "Двигатель" от всего сердца желает Юлиану Николаевичу крепкого здоровья, долгих лет жизни и многих творческих успехов - и своих и своих учеников и продолжателей.**



В.А. Андреенко, Ю.Н. Нечаев, В.А. Соколов, Д.Д. Гилевич в ВВИА в 2002 г.



**7-я международная специализированная выставка**

**А**виа  
**К**осмические  
**Т**ехнологии, современные  
**О**борудование материалы и



**Казань**

**12-15**  
**августа, 2014**

12+



Выставочный центр "Казанская ярмарка",  
Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8  
Тел./факс: (843) 570-51-16, 570-51-11, 570-51-23  
E-mail: [pdv@expokazan.ru](mailto:pdv@expokazan.ru), [www.aktokazan.ru](http://www.aktokazan.ru)

# XI ОЛИМПИАДА ПО ИСТОРИИ АВИАЦИИ И ВОЗДУХОПЛАВАНИЯ



25 апреля 2014 года в Москве, в конференц-зале GALAXY Дизайн Отеля состоялся Молодежный симпозиум XI Международной олимпиады по истории авиации и воздухоплавания им. А.Ф. Можайского, посвященный 125-летию со дня рождения Игоря Ивановича Сикорского. Олимпиада проводится Клубом авиастроителей и Академией наук авиации и воздухоплавания при поддержке Союза машиностроителей России.

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

Сбор участников и их сопровождающих был намечен накануне Молодежного симпозиума. В этот день состоялось посещение музея РКК "Энергия" имени С.П. Королева, где добродушные хозяева представили ребятам уникальную возможность прикоснуться к натуральным макетам космических аппаратов, которые запускались в космос: космическому кораблю "Восток" первого в мире космонавта Юрия Гагарина и многоместному кораблю "Восход-2", из которого космонавт Алексей Леонов впервые в мире осуществил выход в открытый космос.

После экскурсии участников ждала, уже ставшая традиционной, встреча с психологами, посвященная сплочению и поддержке участников. Когда все перезнакомились, началась работа с руководителями и консультантами работ, где конкурсанты получали последние ценные наставления и рекомендации к выступлению. Ну а для того, чтобы снять нервное напряжение после ужина для желающих была организована еще одна поездка: уже по вечерней Москве.

Утром следующего дня Молодежный симпозиум XI Международной олимпиады открыл Президент клуба авиастроителей, д.т.н, профессор, чл.-корр. РИА Елисеев Ю.С. - "У нас всех сегодня замечательный день. Мы собрались здесь для того, чтобы вместе поработать. Мы - это совсем еще молодые увлеченные авиацией ребята и, одновременно, профессионалы, посвятившие авиации свою жизнь. То, что мы сегодня вместе, - это и есть самое главное! Именно в этом цель деятельности Клуба авиастроителей..."

Двенадцать участников из регионов России и Республики Казахстан представили свои историко-исследовательские работы на суд "звездного" жюри. Слушали и оценивали их работы: доктор философских наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, академик РАЕН, председатель жюри Н.Г. Багдасарьян; главный редактор журнала "Двигатель" А.И. Бажанов; летчик, писатель, художник Л.М. Вяткин, доктор технических наук, профессор, действительный член РИА, вице-президент Общества "Знание" России Г.Г. Григорян; директор института новых образовательных технологий и информатизации РГГУ, профессор МАИ С.В. Кувшинов; Заслуженный летчик-испытатель СССР, Герой Советского Союза, генерал-лейтенант С.А. Ми-

коян; президент Академии наук авиации и воздухоплавания, генеральный конструктор ОКБ им. С.В. Ильюшина, академик РАН, дважды Герой Социалистического Труда, Г.В. Новожилов; Заслуженный летчик-испытатель СССР, Герой Советского Союза, заместитель генерального директора по летным испытаниям ОКБ "Сухой" В.Г. Пугачев; руководитель группы истории авиации, Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН Д.А. Соболев, Заслуженный летчик-испытатель РФ, космонавт-испытатель ЛИИ им. И.М. Громова У.Н. Султанов; военный летчик, авиационный журналист, Почетный член Авиационного содружества "Свети Илия", Кавалер Почетного Золотого знака пилота ВВС и ПВО Армии Сербии Р.Д. Тонкович (Республика Сербия); известные ученые и журналисты.

Поддержать участников симпозиума приехали: президент Фонда М.Л. Миля Н.М. Миль; директор лицея № 1550 г. Москвы, Заслуженный учитель Российской Федерации В.М. Жиликов; генеральный директор ОАО "Гаврилов-Ямский машиностроительный завод "Агат" В.Н. Корытов и победители прошлых олимпиад.

Участники Молодежного симпозиума получили Сертификаты победителей первого тура олимпиады, сувениры от Союза Машиностроителей России и Полимедиа.

Победителями XI Международной олимпиады стали:

**1 место - Газутдинов Денис Инарович**, г. Уфа, Республика Башкортостан. Тема его научно-исторической работы "Скрытые смыслы аэронаутистов: о присвоении имен летательным аппаратам в России".

**2 место - Сухарев Денис Александрович**, Костромской областной центр детского (юношеского) технического творчества, Местечко Козловы горы, Костромской район, Костромская область. Его работа "Преимущества экранолётов и недостатки экранопланов. Создание собственного проекта экранолёта".

**3 место - Шипилов Павел Александрович**, ГБОУ "СОШ № 1 "Образовательный центр", с. Сергиевск, Самарская область. Тема его работы "Есть ли будущее у орнитоптеров?".

Каждый из победителей получил в подарок от Часовой компании Romanoff часы с памятной гравировкой. Приз за первое место был предоставлен Союзом Машиностроителей России.

Специальный приз Клуба авиастроителей "Приз зрительских симпатий", статуэтку "Колибри", вручили Газутдинову Денису Инаровичу за первое место в рейтинге популярности на сайте олимпиады.

Александров Егор, Быков Семен, Нурсултанов Данияр, Стряпчева Валерия, Сухарев Денис получили личные подарки от Н.М. Миль, от Г.В. Новожилова и Р.Д. Тонкович.

На симпозиуме присутствовали представители средств массовой информации. Работа симпозиума транслировалась в сеть Интернет.



# ИНЖЕНЕР ВСЕГДА ИНЖЕНЕР



**Так получается, что о наиболее последовательных наших друзьях и авторах мы пишем гораздо реже, чем публикуем их статьи. В основном – по юбилейным датам. Но от этого такие статьи нам не менее приятно видеть на своих страницах. Вот так и сейчас: 22 июля 2014 г. исполняется 80 лет Валентину Владимировичу Крымову – заслуженному машиностроителю Российской Федерации, доктору технических наук, профессору, лауреату двух премий Совета Министров СССР, почетному авиастроителю.**

Свою трудовую деятельность Валентин Владимирович Крымов начал на заводе "Салют" в 1954 г., работая мотористом в эксплуатационно-ремонтном отделе по техническому обслуживанию авиационной техники. Отслужив в армии, Валентин Владимирович вернулся на завод, где после окончания Московского авиационного моторостроительного техникума трудился на различных технических должностях: инженера-конструктора, руководителя ряда лабораторий и отдела механизации, а с 1976 г. - заместителя главного инженера по новой технике.

С 1981 по 2000 г. В.В. Крымов был главным инженером предприятия. В этот период вся его деятельность на предприятии была связана с активным техническим перевооружением производства, создания новых технологий и участков, широкого внедрения прогрессивного оборудования, станков с ЧПУ. Осваивались принципиально новые технологические процессы, такие как литье лопаток турбины методом высокоскоростной направленной кристаллизации, вальцевание лопаток компрессора, нанесение различных видов защитных покрытий ответственных деталей двигателя, абразивные и электрохимические методы обработки, а также многое другое. Все это было связано, в первую очередь, с подготовкой серийного производства газотурбинного двигателя 4-го поколения АЛ-31Ф, с работами по его доводке и увеличению ресурса.

В 1981 г. началась опытно-серийная поставка узлов, сборка и испытания двигателей АЛ-31Ф, что стало большой победой всего коллектива завода. В конце 1982 г. за выполнение этого сложного задания завод награжден орденом Трудового Красного Знамени с формулировкой: "За заслуги в производстве новой авиационной техники". Но это было только начало огромной работы, направленной на повышение ресурса и развертывание крупномасштабного производства.

В 1985 г. после завершения работ по доводке, повышению надежности и увеличению ресурса двигатель АЛ-31Ф успешно прошел Государственные испытания и был принят на снабжение Военно-Воздушных Сил.

В последующие годы при непосредственном участии и руководстве В.В. Крымова продолжалось техническое и организационное

совершенствование производства, освоение новых видов продукции, была создана успешно функционирующая в настоящее время система качества, проведена сертификация производства. В результате структурной перестройки, начатой в конце 90-х годов, создания конструкторских бюро и развертывания широких научно-технических исследований распоряжением Правительства РФ предприятию был присвоен статус Федерального научно-производственного центра. И именно в этот момент (2000 год) В.В. Крымов становится во главе всей научной деятельности предприятия, вначале как заместитель директора по науке, а после создания в 2007 г. на базе предприятия НПЦ газотурбостроения "Салют" - директором по науке. И вполне заслуженно, т.к. он известный ученый, высококвалифицированный специалист в области производства газотурбинных двигателей. Ему принадлежат более 100 печатных трудов в области технологии и производства ГТД. Валентин Владимирович является автором 12 научно-технических монографий и учебных пособий. Одновременно с научной работой Крымов по совместительству работал руководителем "Института целевой подготовки специалистов по двигателестроению" - предприятия, которой структурно входил в РГТУ МАТИ им. Циолковского. Работал со студентами московских технических вузов, проходивших практику на предприятии, стремился усилить практическую подготовку в т.ч. в овладении информационными технологиями, реально применяемыми на предприятии.

Одним из самых важных направлений в работе Валентина Владимировича всегда было оказание помощи в профессиональном ориентировании старшеклассников в подшефных школах.

Он неоднократно выступал с докладами на международных и российских симпозиумах, конференциях, был отмечен медалями и дипломами выставок за разработку и внедрение новых технологических процессов и оборудования.

*Редакция журнала "Двигатель" с большим удовольствием присоединяется к поздравлениям Валентину Владимировичу Крымову в связи с его восьмидесятилетием. Мы искренне надеемся ещё неоднократно публиковать у себя интересные и содержательные статьи Валентина Владимировича и его учеников.*

П



На защите дипломного проекта

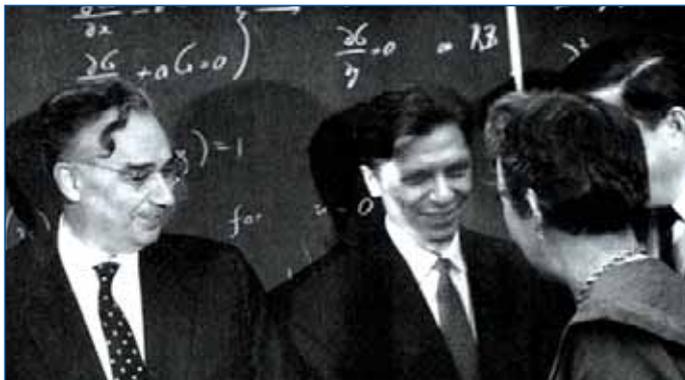


Обсуждение проблем авиационного двигателестроения с Н.Д. Кузнецовым

## ГОРИМИР ГОРИМИРОВИЧ ЧЁРНЫЙ

22.01.1923 - 06.11.2012

Александр Бенцианович Ватажин, начальник сектора ГНЦ ЦИАМ, д.ф.м.н.



Л.И. Седов и Г.Г. Чёрный

Горимир Горимирович Чёрный - академик, выдающийся ученый-механик современности, внесший неоценимый вклад в развитие отечественной авиационной науки - всегда был и останется в памяти его учеников, друзей и коллег замечательным, обаятельным и любимым человеком. На механико-математическом факультете МГУ и в других институтах он воспитал целую плеяду известных ученых в области механики. Его лекции по гидродинамике и газовой динамике, пронизанные строгостью и красотой изложения материала, прививали слушателям глубокую любовь к науке, которой они в дальнейшем преданно служили.

Жизнь Горимира Горимировича неразрывно связана с жизнью нашей страны в послереволюционное (после 1917 года) время, в тяжелые годы Великой Отечественной войны, в годы мир-



Г.Г. Чёрный на собрании, посвященном памяти А.Ф. Флорова. ЦИАМ, 26 декабря 2003 г.



ного строительства и научного прогресса и в последующее горькое время ослабления и частичного распада страны. Во всех этих событиях Г.Г. Чёрный занимал твердую гражданскую позицию, а в войне 1941-1945 гг. принял непосредственное участие. Будучи студентом, он ушёл добровольцем на фронт под Москвой в 1941 г. и закончив войну в Праге в 1945 г.

Г.Г.Чёрный - выпускник (1949 г.) кафедры гидромеханики на механико-математическом факультете в МГУ им М.В. Ломоносова и ученик заведующего этой кафедры академика Леонида Ивановича Седова. Уже через несколько лет Г.Г. Чёрный стал одним из лидеров в научной школе своего великого учителя.

Активная научная деятельность Г.Г. Чёрного началась на рубеже 40-50 - ых годов - в эпоху мощного развития мировой науки, включая механику сплошных сред и ее раздел - механику жидкости и газа. Этим направлениям Горимир Горимирович посвятил основную часть своей творческой жизни, и многие дальнейшие успехи в этих направлениях оказались связанными с его именем.

Один из важнейших периодов творческой жизни Горимира Горимировича связан с ЦИАМ (1952 - 1970 гг.), где он совсем молодым человеком стал начальником газодинамической Лаборатории. (Ее научным руководителем он оставался все дальнейшее время.) В этот период им были выполнены основополагающие исследования в области внутренней и внешней газовой динамики (осреднение неравномерных потоков газа в каналах, взаимодействие косоугольного скачка с текущим у стенки дозвуковым потоком, течения в пограничных слоях с поверхностями разрыва, асимптотический метод расчета нестационарных и стационарных течений с сильными ударными волнами, обтекание гиперзвуковым потоком тонких затупленных тел, оптимизация аэродинамических форм, исследование устойчивости скачка уплотнения в канале переменного сечения, течения с детонационными волнами). Под его руководством были осуществлены сыгравшие большую роль в развитии новых научных направлений в нашей стране исследования по двигательной и энергетической тематике (электродуговые подогреватели, стационарные холловские ускорители плазмы, импульсные электромагнитные ускорители эрозионного типа, каналы МГД генераторов, ионный двигатель).

В конце 1950-х годов Г.Г. Чёрный принял самое активное участие в создании и выработке научных направлений Института механики МГУ, директором которого он стал в 1960 г. Возглавляемый им институт вскоре стал признанным лидером в отечественной и мировой науке по теоретической и прикладной механике.

Работы, выполненные под руководством Горимира Горимировича в ЦИАМ и Институте механики МГУ внесли решающий вклад в решение важнейших современных проблем: аэрокосмические проблемы, воздушно-реактивные двигатели, аэродинамика летательных аппаратов и их элементов, гиперзвуковые аппараты, горение топлива в сверхзвуковом потоке, сложные трехмерные газодинамические системы, сильные разрывы в средах со сложными физико-химическими свойствами, проблемы разрушения тел. Полученные Г.Г.Чёрным результаты опубликованы в многочисленных статьях и получивших мировое признание монографиях: Чёрный Г.Г. Течения газа с большой сверхзвуковой скоростью. М.: Физматгиз, 1959. 220 с; Чёрный Г.Г. Газовая динамика // М.: Наука. 1988. 424 С. и других.

Научную работу Г.Г. Чёрного характеризовали глубокое проникновение в суть проблемы, создание принципиально новых физико-математических моделей, использование разнообразного математического аппарата и, главное, доведение исследования до окончательного важного с теоретической и практической точек зрения результата. Все это позволило Горимиру Горимировичу стать авторитетнейшим ученым-механиком в России. Работая в течение многих лет заведующим отделением механики МГУ и заведующим кафедрой аэромеханики и газовой динамики на механико-математическом факультете МГУ, Г.Г. Чёрный оказал ощутимое влияние на улучшение системы преподавания механики

Г.Г. Чёрный создал собственную обширную научную школу, включающую несколько поколений ученых, многие из которых получили признание в России и за рубежом и возглавляют важнейшие научные направления.

В течение длительного времени Г.Г. Чёрный авторитетно представлял нашу страну в различных международных научных организациях, и его деятельность высоко воспринята мировой научной общественностью. Он руководил международными программами по гиперзвуковой тематике, плазменной аэродинамике, течениям с детонацией и горением.

В 1992-1997 годах Г.Г. Чёрный был академиком-секретарем Отделения машиностроения, механики и процессов управления РАН и внес большой вклад в развитие российской академической науки в области механики

Научная, педагогическая и научно-организационная деятельность Г.Г. Чёрного высоко оценена Правительством страны, Академией наук и научной общественностью. Он - заслуженный деятель науки РФ, кавалер государственных орденов, лауреат государственных премий и премии Совета Министров СССР, двух премий им Н.Е. Жуковского и премии РАН им. С.А. Чаплыгина и др.

Горимир Горимирович с тревогой рассматривал современное положение отечественной науки в стране и критически относился к ряду предлагаемых способов ее развития. Особенно это касается механики, так как имеется тенденция умаления ее роли как одной из главных наук. Г.Г. Чёрный подчеркивал, что внедрение достижений в области новых технологий (например, нано- и биотехнологий) в научные и практические приложения невозможно без использования методов механики, напоминал, что участие ученых-механиков в советских ядерных и аэрокосмических проектах во многом способствовало их удачному завершению.

Блестящие научно-популярные статьи и лекции Г.Г. Чёрного, посвященные механике как самостоятельной науке, тесно



Г.Г. Чёрный в День Победы 2009 г.

Фото с сайта <http://www.ras.ru/>

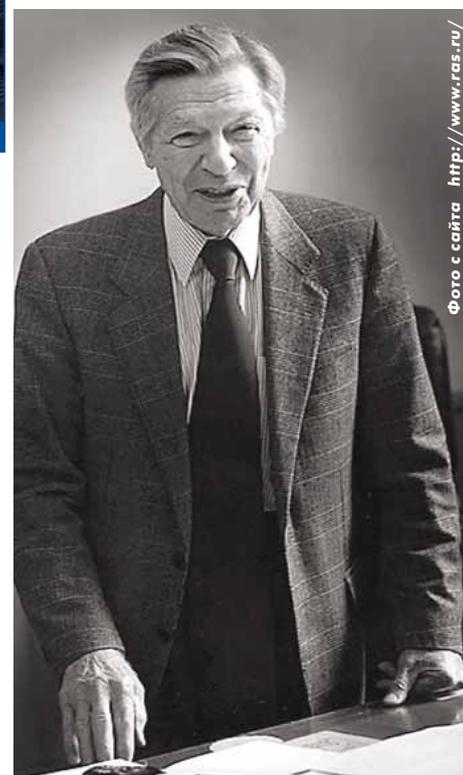
связанной с математикой и физикой, всегда привлекали обширную аудиторию.

На судьбу Горимира Горимировича огромное влияние оказала Великая Отечественная война 1941-1945 годов. "Это короткое время - всего четыре года - наполнено событиями и переживаниями, с которыми не может сравниться всё, что было со мной в моей уже долгой жизни до войны и потом - после нее" - сказал Г.Г. Чёрный в недавно вышедшей заключительной книге его воспоминаний об этом времени (Г.Г. Чёрный. Военные годы. СПб.: Любавич, 2010. 570 С.)

Эта книга является уникальной. Она включает дневниковые записи, которые Г.Г. Чёрный делал в последний год войны, отрывки из писем родным в это же время, а также современный

комментарий (в том числе, философского и политического характера) к этим материалам, затрагивающий довоенное и послевоенное время.

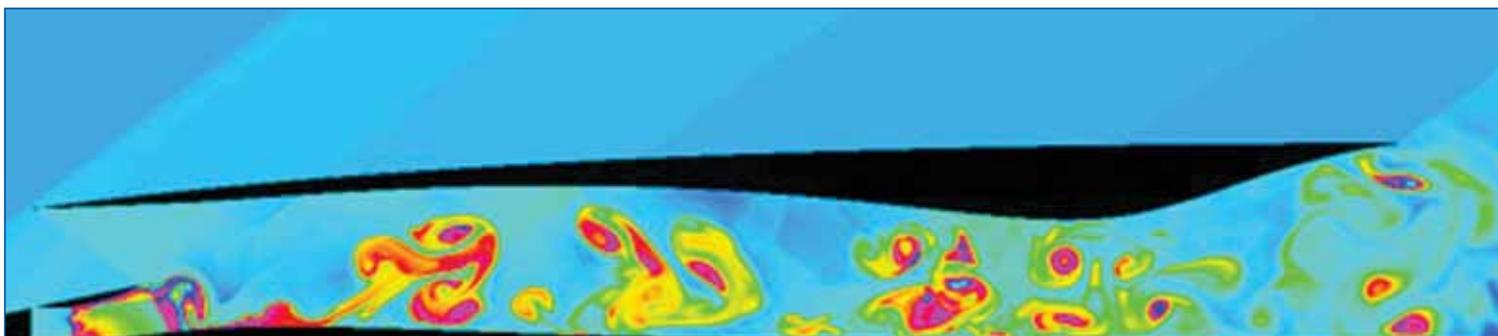
Выше были обрисованы лишь некоторые этапы богатейшего творческого и жизненного пути Горимира Горимировича. Его беззаветное служение Родине во время Великой Отечественной Войны, последующая блестящая научно-организаторская деятельность, отстаивание значения механики как важнейшей и необходимой стране науки характеризуют Горимира Горимировича как великого ученого и патриота России.



Одна из последних фотографий Г.Г. Чёрного

Фото с сайта <http://www.ras.ru/>

**Жизнь Горимира Горимировича оборвалась 6 ноября 2012 г., за два с небольшим месяца до его 90-летия. Память о нем всегда будет в наших сердцах.**



Модельная картина скачков уплотнения в сверхзвуковом канале

# ЕГО ЗНАЛИ ТОЛЬКО ПО ДЕЛАМ

## 100 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ГЕНЕРАЛЬНОГО КОНСТРУКТОРА ВЛАДИМИРА ЧЕЛОМЕЯ

Дмитрий Соколовский



*30 июня этого года произошло событие, которое осталось как-то незаслуженно малозаметным за политической сутолокой. В этот день Генеральному конструктору ракетно-космической техники СССР, дважды Герою Социалистического Труда, лауреату Ленинской и Государственных премий СССР, академику АН СССР Владимиру Николаевичу Челомею исполнилось бы 100 лет. В советские времена его знали все, но только по делам его: ведь именно ему суждено было стать творцом ядерного щита Советского Союза. Самого же его знали только люди, непосредственно с ним сотрудничавшие. Даже государственные награды присуждались ученому за закрытыми указами. И после смерти его долгое время старались не упоминать имени: то ли сила инерции привычки, то ли всё ещё продолжалось действие режима секретности.*

Володя Челомей родился накануне первой из Великих войн XX века: 30 июня 1914 г. в г. Седлец (неподалеку от городка Челомей) Привислянского края в Польше, которая входила тогда в состав Российской империи, в семье учителей. Во время Первой мировой войны семья переехала в Полтаву. Там Челомей проживал в одном доме с потомками Гоголя и Пушкина - Данилевскими и Быковыми, у которых часто бывали А.С. Макаренко и В.Г. Короленко. Лучшим другом Владимира стал праправнук Пушкина Александр Данилевский - со временем известный ученый-энтомолог. Будущий конструктор рос и формировался в интеллигентной среде, играл на фортепиано, любил классическую литературу, много читал по истории техники и физики.

В 1926 г. семья переезжает в Киев, где после окончания семилетней трудовой школы в 1927 году Владимир начинает учёбу в Киевском автомобильном техникуме. В 1932 г. восемнадцатилетний Владимир поступает на авиационный факультет Киевского политехнического института. Через год факультет отделяется в самостоятельное учреждение - Киевский авиационный институт им. К.Е. Ворошилова (сейчас Национальный авиационный университет). И это - не случайность для тридцатых годов, скорее - тенденция. Время было такое. Авиация вполне соответствовала романтизму молодёжи предвоенных годов. Из стен КПИ вышли Игорь Сикорский, Дмитрий Григорович, Александр Микулин, Константин Калинин, Лев Люльев, Архип Люлька и многие другие. Именно в КПИ восьмью годами ранее поступил будущий космический гений Сергей Королев, с которым Владимира Челомея в будущем свяжут великие дела.

С первого курса Владимир совмещает обучение в КПИ с работой техником-конструктором в филиале НИИ Гражданского воздушного флота. На втором курсе Владимир написал свою первую научную работу, в которой изложил для авиационных двухтактных двигателей оригинальный метод расчета продувки с применением аппарата векторного исчисления. А уже в 1936 году в киевском издательстве "Укргизмстпром" выходит первая книга В. Челомея "Векторное исчисление" - краткий курс векторного анализа со многими примерами его практического применения в механике.

Летом 1935 года во время практики на Запорожском моторостроительном заводе им. П. Баранова (сейчас это - ОМКБ и АО "Мотор сич") молодой студент использовал свои глубокие знания по теории колебаний. После этого киевского студента пригласили прочитать курс лекций по динамике конструкций для инженеров завода. В 1937 г., на год раньше, чем его однокурсники, Владимир Челомей получает с отличием диплом инженера. Его приглашают в Институт математики АН УССР в г. Киеве, где он работает над диссертацией "Динамическая устойчивость упругих систем". В 1937-1938 г. опубликовал 14 научных статей и в 1939-м на ученом совете Киевского политехнического института защитил кандидатскую диссертацию на тему: "Динамическая устойчивость элементов авиационных конструкций".

В 1940 г. в числе 50 лучших молодых ученых СССР его принимают в специальную докторантуру при АН СССР. 26-летний Челомей - самый молодой в этой полу-

сотне избранных. Утверждается тема его докторской диссертации: "Динамическая устойчивость и прочность упругой цепи авиационного двигателя". Он получает Сталинскую стипендию в размере 1500 рублей, огромную по тем временам сумму. Для сравнения - профессор университета получал 1200 рублей.



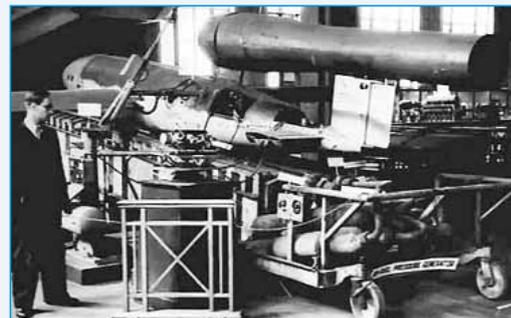
В.Н. Челомей в 40-е годы

Весной 1941 года молодой ученый заканчивает работу над докторской диссертацией и успешно защищает ее в Академии наук УССР. Но - война... Документы в Высшую аттестационную комиссию СССР не дошли. 22 июня 1941 года Владимира Челомея срочно вызывают в Москву для продолжения работы в Центральном институте авиационного моторостроения им. П.И. Баранова (ЦИАМ).

Главной целью нового назначения Челомея было создание пульсирующего воздушно-реактивного двигателя для боевых крылатых ракет, беспилотных летательных аппаратов и истребителей. Идею такого двигателя, работающего без компрессора при повышенном напоре набегающего воздушного потока, Челомей вынашивал еще со времен студенческой практики на Запорожском моторостроительном заводе. Осенью 1942 года, в середине ночи (секретный же объект!) Москва вздрогнула от мощных выхлопов, похожих на звуки частой канонады, которые доносились с территории ЦИАМ от открытой заборной шахты стэнда УВО-1 (где сейчас левая входная шахта компрессорного стэнда УК-3), на котором тогда испытывались Микулинские авиамоторы. Так извещал о своём рождении первый в мире работающий двигатель такого типа.

В июне 1944 года стало известно об использовании немецкой армией реактивных самолетов-снарядов Фау-1 против Англии. Результат применения этого оружия шокировал столь же, сколь и непредсказуемость мест его попадания. За несколько часов было разрушено 23 тысячи домов, ранено 18 тыс. человек и убито 7 тысяч. Вскоре Черчилль присылает Сталину подарок - целый Фау-1, севший (и почему-то не взорвавшийся) на пустоши за Лондоном. В нем был двигатель, подобный ранее построенному Челомеем. В результате,

постановлением Государственного комитета обороны и по приказу наркома авиационной промышленности А.И. Шахури-



Доставленная из Англии ФАУ-1 в зале УВО-1 ЦИАМ. Рядом - профессор В.И. Дмитриевский



Пе-8 с крылатой ракетой 10X

на, перед Владимиром Челомеем была поставлена задача: создать новое оружие - беспилотную крылатую ракету. Для этого он был назначен главным конструктором и директором завода ОКБ-52 (тогда - опытного авиационного завода №51) в подмосковном Реутове, сейчас - НПО "Машиностроение".

В фантастически короткие сроки - менее чем за полгода, были проведены испытания десятков ракет-снарядов. Сначала их запускали с бомбардировщиков Пе-8, потом - с Ту-2. Боевая крылатая ракета 10X была принята на вооружение в начале 1945 года, что ещё усилило важное моральное и тактическое преимущество Красной армии, имевшееся на завершающем этапе войны.

После окончания войны Владимир Николаевич продолжает работать над крылатыми ракетами с пульсирующими двигателями, возвращается к активной научной деятельности. В 1951 г. на ученом совете Московского высшего технического училища (МВТУ) им. Н.Э. Баумана он защитил докторскую диссертацию под названием "Динамическая устойчивость элементов цепи авиационного двигателя". В 1952 г. ему присваивают звание профессора, в 1958-м избирают членом-корреспондентом АН СССР, а в 1962-м - действительным членом. За лучшую работу по теории авиации в 1964 г. Челомей был удостоен Золотой медали им. Н.Жуковского, а в 1977-м - Золотой медали им. А.Ляпунова - высшей награды АН СССР за выдающиеся заслуги в области математики и механики. В 1974 г. ученого избирают действительным членом Международной академии астронавтики.

В 1960 г. в МВТУ им. Н.Э. Баумана он основал кафедру "Аэро-



В.Н. Челомей в МВТУ

космические системы", где создал свою научно-педагогическую школу ракетно-космической механики. Его школа решает многие задачи динамики сложных конструкций из композиционных материалов, разрабатывает методики расчета эластичных колебаний конструкций при турбулентном вихревом обтекании, изучает поведение ракеты при мощном сейсмическом воздействии в шахтной пусковой установке, совершенствует методы расчета и конструирования систем управления и стабилизации упругих летательных аппаратов.

Период с 1956 по 1965 гг. можно охарактеризовать как этап признания места В.Н. Челомея и его КБ в ряду ведущих предприятий оборонных отраслей промышленности. Возрождение Конструкторского бюро в Реутове (постановление от 19 июля 1955 г.) позволило вернуть работы по созданию принципиально нового типа КР с раскрывающимся в полете крылом, а также

выиграть соревнование в условиях жесткой конкурентной борьбы со сложившимися авиационными КБ Микояна, Ильюшина и Бериева и открыть дорогу к перевооружению Военно-морского флота страны комплексами ракетного оружия.

В это же время разрабатываются проекты крылато-баллистических ракет большой дальности и высотности. Их развитием в 1959 г. стали технические предложения о создании систем управляемых космических аппаратов и баллистических ракет для них.

23 июня 1960 г. выходит постановление Правительства о разработке космических систем. В это время, в 1958-1961 гг. на базе КБ создается своего рода консорциум, в который вливаются опытные и высококвалифицированные кадры и производственно-конструкторская база НИИ-642, ОКБ-23, переходит группа энтузиастов-ракетостроителей из ОКБ С.А.Лавочкина.

В результате напряженной и дружной работы оформились три направления деятельности предприятия:

- создание комплексов КР для вооружения ВМФ, открывшее возможность несимметричного ответа ударным соединениям Запада. На этом этапе к 1965 г. реализованы основные проекты ракетных комплексов, а П-6, П-35, "Аметист", "Малахит", П-7, "Базальт" и ряд других сдаются на вооружение или находятся в стадии летных испытаний. За эти работы, имеющие характер национальных программ, в 1959 г. и 1963 г. предприятие награждается орденами Ленина и Трудового Красного Знамени;

- создание систем управляемых КА, начало разработки пилотируемых кораблей и станций;

- создание баллистических ракет и ракет-носителей. В короткие сроки путь от проектов до летных испытаний проходят ампулированная баллистическая ракета УР-100 (SS-11), поставляемая с завода в контейнере, и универсальные ракеты УР-200 и УР-500, которые могли использоваться и как боевые, и как ракеты-носители космических аппаратов.

Неоценимым является вклад Челомея и в развитие советской космонавтики. К его первым космическим разработкам в 1963-1964 гг. относятся спутники-истребители "Полет-1" и "Полет-2", которые способны маневрировать на орбите, меняя высоту и угол наклона плоскости орбиты, и научный спутник "Протон-1". Созданная в 1965 г. под его руководством ракета "Протон" отправила в космос самые тяжелые аппараты: все орбитальные пилотируемые станции "Салют" и "Мир", большое количество геостационарных спутников связи и научных модулей. "Протон", несмотря на свой почти 45-летний возраст, выводит спутники на орбиту и сегодня. Счёт запусков уже пошёл на четвёртую сотню!

Именно в конструкторском бюро под руководством Владимира Николаевича родилась идея создания долговременной орбитальной станции, своеобразного "космического дома", которая стала основой для всех будущих пилотируемых станций серии "Салют" и "Мир".



Сборка орбитальной военной станции Алмаз

Разработкой ракетно-космического комплекса "Алмаз", начатой в 1965 г., была заложена основа семейства орбитальных пилотируемых станций (ОПС). В 1973 г. была запущена станция "Ал-



Орбитальная военная станция Алмаз на ВДНХ в начале 80-х гг XX века

маз" (ОПС-1) под названием "Салют-2", в 1974 г. - ОПС-2 "Салют-3", на которой нес вахту экипаж Павла Поповича и Юрия Артюхина. В 1976 г. была запущена ОПС-3 "Салют-5", на которой 49 суток проработали космонавты Борис Волинов и Виталий Жолобов, а затем, в 1977 г. - Виктор Горбатко и Юрий Глазков. По оценке В.Н. Челомея, комплекс задач в этом полете был наиболее сложным, а уровень работы именно последнего экипажа стал эталонным для тех, кто в дальнейшем готовился к полетам.

С 1978 г. предприятие вытесняется руководством ВПК из пилотируемой программы Советского Союза. Но богатое наследство комплекса "Алмаз" продолжало жить в пилотируемых и беспилотных станциях, кто бы их ни строил. Известно, что все станции "Салют" и "Мир" ведут свое начало от ОПС "Алмаз", тяжелый транспортный корабль ТКС с возвращаемым аппаратом, разработанные для комплекса "Алмаз", летали в составе станций "Салют-6", - 7, модули комплекса "Мир" также созданы на базе ТКС. Задел, созданный для комплекса "Алмаз", послужил и в проекте Международной космической станции.

В 1981 г. выведен на орбиту один из элементов проекта "Алмаз" - универсальный транспортный корабль снабжения "Космос-1267", который состыковали со станцией "Салют-6", в результате чего образовался орбитальный комплекс массой около 40 т. Потом состоялись запуски аппаратов "Космос-1443" и "Космос-1686", выполнявших функции космических грузовиков, мощных межорбитальных буксиров и специализированных модулей. Для управления этими аппаратами в космосе Челомей создал на своем предприятии даже группу космонавтов, в которую входил и его сын Сергей.

В 1980 г. была завершена разработка автоматической станции "Алмаз" с радиолокатором на борту. Станция не имела аналогов в мире. Запуск аналогичной станции этого класса под названием "Космос-1970" был осуществлен только в 1987 г. У истории нет, как известно, сослагательного наклонения, но американские специалисты признали позднее - если бы программой высадки на Луну руководил Челомей, советские космонавты, скорее всего, раньше осуществили бы прогулку по поверхности естественного спутника Земли.

На предприятии в этот период на базе ОПС начинается разработка автоматических станций с мощным радиолокатором. Завершаются летные испытания, и в 1967 г. принимается на вооружение массовая МБР УР-100, составившая основу ядерного щита страны и обеспечившая стратегический паритет с США. За эту работу в 1976 г. предприятие было награждено орденом Ок-

тябрьской революции. В 1978 г. был принят в серийную эксплуатацию носитель УР-500К.

К известнейшим разработкам Челомея относится и грозное космическое оружие стратегического назначения: двухступенчатая межконтинентальная баллистическая ракета МБР УР-100Н (SS-19), принятая на вооружение в 1975 году (с автономным устройством разведения боевых блоков и повышенной точностью их наведения), и ее усовершенствованный вариант - ракета УР-100Н УТТХ ("Стилет"), принятая на вооружение в 1980 году, с головной частью, оснащенной шестью боевыми блоками. Ракета "Стилет" оказалась чрезвычайно надежной, что обеспечило ее эксплуатацию свыше 25 лет вместо десяти, установленных при разработке.



Старт УР-100

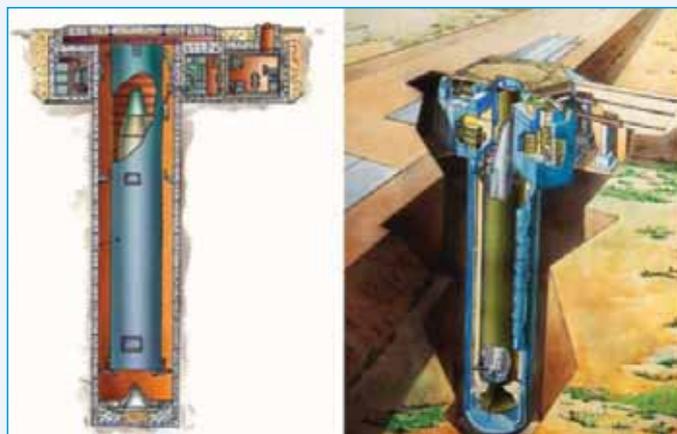


Схема размещения УР-100 в шахте

Драматичной страницей жизни Владимира Николаевича стало его противостояние с другим выдающимся ученым XX века - С.П. Королевым. Оба были незаурядными личностями и сильными лидерами, которые не признавали никаких авторитетов. Обоим судьба привела к одному грандиозному делу - покорению космоса и созданию стратегического оружия СССР. Эти обстоятельства, а также неконструктивные действия некоторых военных руководителей привели к острой конкуренции и даже противостоянию двух корифеев.

Реабилитированный летом 1945 года Сергей Королев начинал работать над асимметричным ответом немецкой ракете Фау-2. Эта ракета была намного более совершенной, чем Фау-1: летела в десять раз быстрее и преодолевала в полтора раза большее расстояние. В начале 50-х Королев создает собственную баллистическую ракету, которую в тот же год ставят на вооружение. Челомеевский аналог Фау-1 военных перестал устраивать. Они пишут докладную Сталину о бесперспективности работ Челомея и даже обвиняют его в приписках. У конструктора забирают КБ, ему грозит длительный срок заключения. В феврале 1953 г. он едет к Сталину. По словам Челомея: "На карту было поставлено все. Напряжение экстремальное. Но у меня было одно преимущество: я был молод". Из кабинета Главнокомандующего Челомей выходит с победой. Через месяц Сталин умирает. Первым секретарем ЦК КПСС избирают Н.С. Хрущева. Никита Сергеевич напоминает, как в свое время Сталин поручил ему "разобраться с одним толковым фантазером". Это и стало причиной ряда встреч первого секретаря с молодым конструктором. На одной из них Челомей рассказывает Хрущеву об идее ракеты с раскрывающимся крылом. Хрущев, интересующийся всем новым, идею поддерживает. Испытания новой ракеты в 1958 году показали, что она стартует за считанные минуты, тогда как аналогичным ракетам-снарядам нужно для этого полчаса. После такого успеха разработки



У внешнего люка ТКС - транспортного корабля снабжения



Стратегическая универсальная ракета В.Н. Челомея Метеорит-м

В.Н. Челомея начали поддерживать на всех государственных уровнях.

Говорят, что Хрущев так благосклонно относился к Челомею в связи с тем, что в ОКБ последнего работал сын первого секретаря - Сергей Никитович. Но в рав-

параты многоразового космического использования. Проект 1970-х гг. - крылатый космический корабль с экипажем, который выводится на орбиту ракетой-носителем "Протон", вследствие многочисленных преград со стороны отдельных руководителей военного комплекса СССР так и остался нереализованным.

В 1979 г. начался еще один сложный этап в жизни генерального конструктора и его предприятия. На Владимира Николаевича оказывается давление со стороны руководства оборонных отраслей промышленности во главе с Д.Ф. Устиновым. Его ограничивают в деятельности. После закрытия пилотируемой программы начинается наступление на космические разработки НПО "Машиностроение" в целом. Полностью подготовленная к полету в июле 1981 г. первая автоматическая станция "АЛМАЗ-Т" для всепогодного зондирования и радиолокации Земли не получает разрешения на запуск. Станция так и останется под чехлом на полигоне, где пролежит около шести лет.

В 1981 г. Д.Ф. Устинов скажет о Челомее: "Он стал очень самостоятельным". А 19 декабря этого же года выйдет постановление ЦК КПСС и Совмина СССР, фактически запрещающее все работы НПО "Машиностроение", связанные с освоением космоса.

Эти испытания Владимир Николаевич переносит чрезвычайно болезненно, однако не сдаётся и еще надеется отстоять нужные стране проекты. В 1983 г. завершается создание принципиально нового типа противокорабельных крылатых ракет дальнего действия для вооружения атомных подводных лодок нового поколения, которые стали ядром ударной силы ВМФ СССР. Этими же ракетами вооружают также новые ракетные крейсера. В начале 1980-х разворачивается проектирование новой унифицированной крылатой ракеты, которая должна стать массовым оружием кораблей ВМФ СССР.

8 декабря 1984 г. В.Н. Челомея не стало. Он ушел из жизни неожиданно, преисполненным идей и творческих планов. Его последние космические проекты были реализованы уже без него. Тяжелые спутники "Космос-1870" и "Алмаз-1А" массой 18,5 тс комплексом радиолокации были выведены на орбиту в 1987-м и 1991 г. - с целью дистанционного зондирования Земли. Многие космические разработки Челомея используются и сегодня.

Оценивая деятельность В. Челомея можно констатировать, что грозное оружие, созданное под его руководством, стало важным фактором в достижении паритета сил между противоборствующими сторонами и обеспечило стабилизацию геополитической ситуации в мире и, как следствие, снижения международной напряженности. Его заслуги не исчерпываются только укреплением оборонительного комплекса страны. Создание новых оборонительных систем происходило при разработке новых технологий в машиностроении, материаловедении, приборостроении, многих других отраслях промышленности и имело огромное влияние на весь технический прогресс.

ной мере Н.С. Хрущев поддерживал и других создателей ракетно-космической техники - С.П. Королева, М.К. Янгеля, В.П. Глушко. Генсек, поощряя конкурентную борьбу между ними, не допускал, чтобы это противостояние превратилось в драку между конструкторами. Но это всё же случилось. Когда в 1964 г. Н.Хрущева сняли со всех занимаемых должностей, в стране вспыхнула настоящая "ракетно-космическая война". После этого в жизни В. Челомея наступают нелегкие времена. В конструкторское бюро зачастили инспекции и ревизии, возникли осложнения с военно-промышленной комиссией. Открытым оппонентом Челомея стал лично Д.Ф. Устинов. Но даже в этих сложных условиях Челомей добивается запуска первой межконтинентальной универсальной баллистической ракеты с упрощенной шахтной пусковой установкой УР-200, которая по показателям и сегодня не уступает аналогичным ракетам США.

Следующий этап противостояния Челомея и Королева был связан с покорением Луны. Дискуссия возникла относительно ракеты, которая должна выводить лунный модуль, - королевский суперноситель

Н-1 или челомеевский "Протон". Для урегулирования ситуации даже собрали специальную экспертную комиссию во главе с академиком М.Ф. Келдышем, состоявшую из представителей министерства обороны, конструкторского бюро и Академии наук. Большинство



Академик В.Н. Челомей и президент Академии наук СССР М.Ф. Келдыш.

поддерживало С.П. Королева.

В.Н. Челомей был очень независимым и гордым человеком, он никогда и никому не кланялся. На заседании комиссии почти не ездил, а если приезжал, от него всегда слышали быстро ставшую крылатой фразу: "Если не хотите помогать, то хотя бы не мешайте". Свидетели тех событий вспоминают, что "М.Ф. Келдыш был исключительно принципиальным человеком, для которого интересы дела были выше ведомственных интересов и даже интересов его дружбы со многими известными людьми". В результате работы комиссии, М.Ф. Келдыш (тогда - президент АН СССР), несмотря на дружбу с С.П. Королевым, горой стал на защиту проекта Челомея, пророчески предвещая будущее и выдающуюся роль ракеты "Протон" в космонавтике.

Это было судьбоносное решение, поскольку позже носитель "Протон" обеспечил СССР огромные успехи в освоении Луны, Венеры, Марса, создании и функционировании орбитальной станции "Мир".

Челомей пытался осуществить еще одну мечту - создать ап-



Старт УР-500 Протон



"Ракетные академики" - В.П. Макеев и В.Н. Челомей



Ракетная стрельба берегового противокорабельного комплекса Редут с ракетами конструкции В.Н. Челомея



Семейный склеп Челомеев на Новодевичьем кладбище

Использованы материалы статьи Михаила Зуровского (академик НАН Украины, ректор НТУУ "КПИ"), опубликованной как "Роль Челомея в космонавтике" 29.04.2014 в журнале "Новости Космонавтики" сайта <http://loveofspace.ru/chelomey.html>; другие источники

# ТУРБУЛЕНТНОСТЬ.

## ВИХРИ ТЕЙЛОРА-ГЁРТЛЕРА

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

*Получены новые экспериментальные обобщения по течениям с вихрями Тейлора-Гёртлера. Объяснён механизм образования вихрей Тейлора-Гёртлера как возникновение бифуркации при ударе потока о стенку. На базе экспериментальных и теоретических заключений получены количественные соотношения для параметров течения Тейлора-Гёртлера.*

*New experimental generalizations of flows with Taylor-Gertler vortices are obtained. The mechanism of the formation of Taylor-Gertler vortices as the occurrence of bifurcation flow impact the wall is explained. On the basis of experimental and theoretical findings the quantitative relations for the Taylor-Gertler flow parameters are found.*

**Ключевые слова:** турбулентность, вихри, волны.

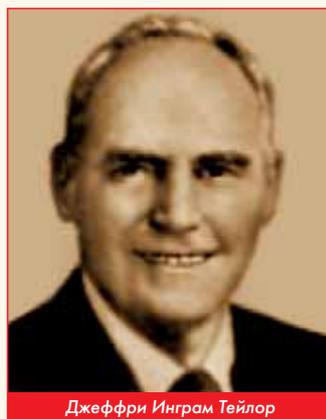
**Keywords:** turbulence, vortices, waves.

При усугублении условий течения в движущемся потоке с некоторого момента возникают пространственные конфигурации, которые могут быть объяснены всей предыдущей логикой рассуждений о постепенном переходе к турбулентному (вихревому) течению. Да, действительно, всё возрастающее число Рейнольдса говорит о том, что увеличивается скоростной напор. Любые препятствия, стоящие на его пути всё меньше и меньше "чувствуют" его приближение, что всё чаще и чаще приводит к, так называемым, отрывам. Вязкость уже не "справляется" со сглаживанием возникающих "случайных" возмущений. Ведь она фактически падает. Наступает момент, когда турбулентность начинает проявляться в полной мере. Главным параметром в этих условиях выступает уже не скорость  $\bar{V}$ , а её высокодифференцированная комбинация  $\text{rot} \bar{V}$ . Другими словами в потоке всё чаще появляются вихревые поля. В экспериментах это наблюдается в местах, где контур канала не гладкий, а имеет выступы, уступы, преграды и застойные зоны.

Как правило, в этих областях резко поднимается давление  $dp/dx > 0$ , то есть присутствует положительный градиент давления. Но не только положительный градиент давления провоцирует "отрывные зоны" и вихри. Как было показано в работе [1] даже в гладком безградиентном канале (пластина или труба) могут возникнуть пространственные потоки с образованием вихревых и даже торсионных структур (о последних позже). Почему это происходит? А потому, что с увеличением скоростного напора ( $Re!$ ) происходит закономерный переход к турбулентности. Изначально ламинарное течение под воздействием этого параметра и в соответствии с числом Рейнольдса превращается в течение с волнами Толмина-Шлихтинга. Затем волны Толмина-Шлихтинга превращаются в градиентные волны Кельвина-Гельмгольца и достигают своей предельной конфигурации - накрывной волны (градиентная катастрофа), с поверхности которой под большим углом к стенке обрушивается следующая над ней лавина со своими линиями тока. Эта лавина ударяется о поверхность стенки и превращается в пространственный закрученный поток. В этот момент уже можно говорить о начале турбулентности. Подробнее о разрушении этого потока будет сказано ниже, но уже сейчас следует отметить, что одним из параметров разрушения будет положительный градиент давления. Таким образом, природа образований трёхмерных вихревых структур и при отрывах за уступами-выступами, и в области за последней градиентной волной одна и та же.

### С чего всё началось

По-видимому, всё началось с желания повторить эксперименты Куэтта с потоком между двумя параллельными плоскими стенками, одна из которых могла совершать движения относительно другой. Но при этом две параллельные плоскости захотелось изменить на два коаксиальных цилиндра, вращающихся один относительно другого. Впервые такие течения вязкой жидкости экспериментально исследовал замечательный английский физик-океанограф, в будущем член Лондонского Королевского Общества, Джеффри Инграм



Джеффри Инграм Тейлор

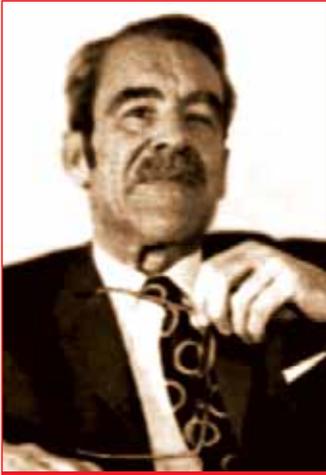
Тейлор. Большую часть своей творческой деятельности он посвятил разработке теории турбулентности и развил свою собственную теорию устойчивости течения вязкой жидкости. Но! Главная заслуга этого учёного - открытие по сути невероятного эффекта - его знаменитых вихрей Тейлора. Этот эффект лежит в основе прочного, монолитного фундамента знаний всей газовой динамики и особенно теории турбулентности. Своими экспериментами он показал красоту и

неисчерпаемость этой великой науки. Украсил её неформальными и нетривиальными составляющими нетленной библиотеки гносеологических фактов. Можно только представить ту бурную реакцию, которую произвели среди исследователей полученные им результаты. Многие учёные, судя по их многочисленным публикациям тех лет, буквально вцепились в эту проблематику. Начали появляться новые эксперименты и теории. На рис. 1 представлено изображение вихрей Тейлора между двумя прозрачными коаксиальными цилиндрами. Здесь чётко видны тороидальные вихри, заполняющие равномерно всё пространство между цилиндрами. Вращение соседних вихрей происходит в противоположном направлении и представляет собой естественные пары с образованием линий стекания и растекания на границах контакта.



Рис. 1 Вихри Тейлора

Вторым открытием, которое было сделано под впечатлением опытов Тейлора, было замечательное открытие вихрей Гёртлером. Этот известный канадский учёный, будучи крупным математиком и специалистом по теоретической физике, теоретически с помощью метода малых колебаний предсказал подобные вихри, которые могут образовываться на вогнутых поверхностях. Им было показано, что потоки вдоль выпуклых поверхностей всегда стабилизируются, а на вогнутых, под воздействием центробежных сил, они теряют устойчивость. Гёртлер провёл исследование и доказал, что процесс обтекания вогнутых поверхностей является сходным с процессом, происходящим между вращающимися цилиндрами, и обладает универсальным свойством. И справедливо принято в газодинамической науке называть продольные вихри вдоль вогнутых стенок вихрями Тейлора-Гёртлера.



Генри Гёртлер

По своей значимости это открытие равносильно таким великолепным открытиям как волны Толмина-Шлихтинга, Кельвина-Гельмгольца и Бенара. Именно эти последние открытия легли в основу современной теории турбулентности.

Правильным было бы отметить, что вихри Тейлора-Гёртлера были предсказаны теоретически. Гёртлер, располагая данными эксперимента Тейлора, поставил математическую задачу на собственные значения. При этом, в отличие от Толмина, который решал задачу о волновом течении так же методом малых колебаний,

Гёртлер расположил основное течение в направлении продольной оси ( $x$ ) и распределил остальные две координаты перпендикулярно стенке ( $y$ ) и поперёк течению в плоскости стенки ( $z$ ), что дало ему возможность задать трёхмерные возмущения  $u'$ ,  $v'$  и  $w'$ . Эти возмущения он специально задал периодическими [2]. То есть его будущие решения уже предполагали цикличность и возможность появления вихрей. Следует также отметить, что этот метод базируется на том, что при малых отклонениях, то есть в условиях пропорциональности Гаука, всё сохраняется. И действительно, в постановке Гёртлера всё сохранилось. Он получил желаемый результат. Но в своей теории уважаемый Генри Гёртлер, к сожалению, ничего не сказал о механизме образования вихрей, которые носят его имя, это он оставил для благодарных потомков. В дальнейшем теория Гёртлера была блестяще подтверждена экспериментально. Были действительно получены продольные парные вихри на криволинейных поверхностях, и была показана справедливость критериев Тейлора  $Ta$  и Гёртлера  $Gö$  (по своей структуре они похожи), по значениям которых можно было предсказывать возможность наступления, так называемой, неустойчивости в ламинарном потоке.

Появление вихрей Тейлора-Гёртлера является самым началом турбулентного течения. Возникновение такого течения может произойти и без переходного периода при наличии необходимых условий. При этом ламинарное течение может скачкообразно перейти в турбулентное, например, за уступом. Дальнейшее развитие турбулентности будет зависеть как от условий вблизи стенок канала, так и от формы канала, по которому движется жидкость, газ или плазма.

**Целевые экспериментальные исследования**

Криволинейные поверхности для внутренних течений в каналах лучше всего моделировать на соплах. Для задания формы этих поверхностей удобнее всего воспользоваться свойствами самого процесса, а именно, процесса разгара внутренней части сопла, после которого и формируется известная кривизна. При исследовании разгаров различных сопел РДТТ был использован метод уноса массы. Этот метод основан на линейной закономерности процессов пиролиза полимерных уносимых материалов. В качестве базового материала после многочисленных проб был выбран фторопласт. Этот материал в отличие от других полимеров, например, полиметилметакрилата, не плавился при его догорании после запуска. Фторопласт просто сублимировал, а сам процесс сублимации резко останавливался после прекращения горения твёрдого топлива.

Метод уноса массы был известен и ранее, но в отличие от предыдущих работ он был использован в составе РДТТ. Большим преимуществом в данном случае является собственно процесс горения заряда. Начало и конец горения в отличие, например, от ЖРД, в РДТТ происходит практически скачкообразно: пушечный запуск в начале и резкое падение давления после сгорания заряда. Таким образом, циклограмма запуска имеет строго прямоугольную форму с вертикальными линиями запуска и спада и строго горизонтальной линией на рабочем участке. Эти два фактора (фторопласт +

РДТТ) позволили в дальнейшем получать отпечатки на стенке от воздействия газового потока с чёткими границами, подчёркивающими его особенности. В ЖРД и на воздушных установках с подогревом зачастую следы от краёв пересекающихся и смежных потоков имели закруглённый, оплавленный вид.

Для простоты исследования были выбраны конические сверхзвуковые сопла из фторопласта. Дозвуковая часть сопла была неразгораемой и выполнялась из тугоплавкого сплава. Сопла подвергались циклическому воздействию высокоэнтальпийных продуктов сгорания натуральных РДТТ с целью определения динамики разгара. Исследовались сопла в условиях продуктов сгорания металлизированных (18 % Al) смесевых твёрдых топлив и безметалльных топлив (БТ). Рассматривались конические сопла с полууглами наклона в диапазоне от 0° до 60°.

На рис. 2 представлены подробные изменения по времени геометрии внутренних поверхностей конических сопел после запуска с различными полууглами наклона образующих к оси для различных видов топлив. Было установлено [3]:

1. С увеличением угла раскрытия конического сопла уносы уменьшаются, а при угле 65° и более они уже отсутствуют;

2. Максимум уносов для всех экспериментов лежит строго на прямой, и был аппроксимирован зависимостью

$$\frac{\delta_{max}}{S_{max}} = 0,525 - 0,25tg\theta_{вх}$$

где  $\delta_{max}$  и  $S_{max}$  максимальное значение линейного уноса и его местоположение;

3. Безразмерная зависимость имеет универсальный вид для любых топлив, материалов сопла (проводилось обобщение натуральных двигателей) и полууглов наклона входной части  $\theta_{вх}$

$$\frac{\delta}{\delta_{max}} = \sin \frac{\pi}{2} \frac{S}{S_{max}} ;$$

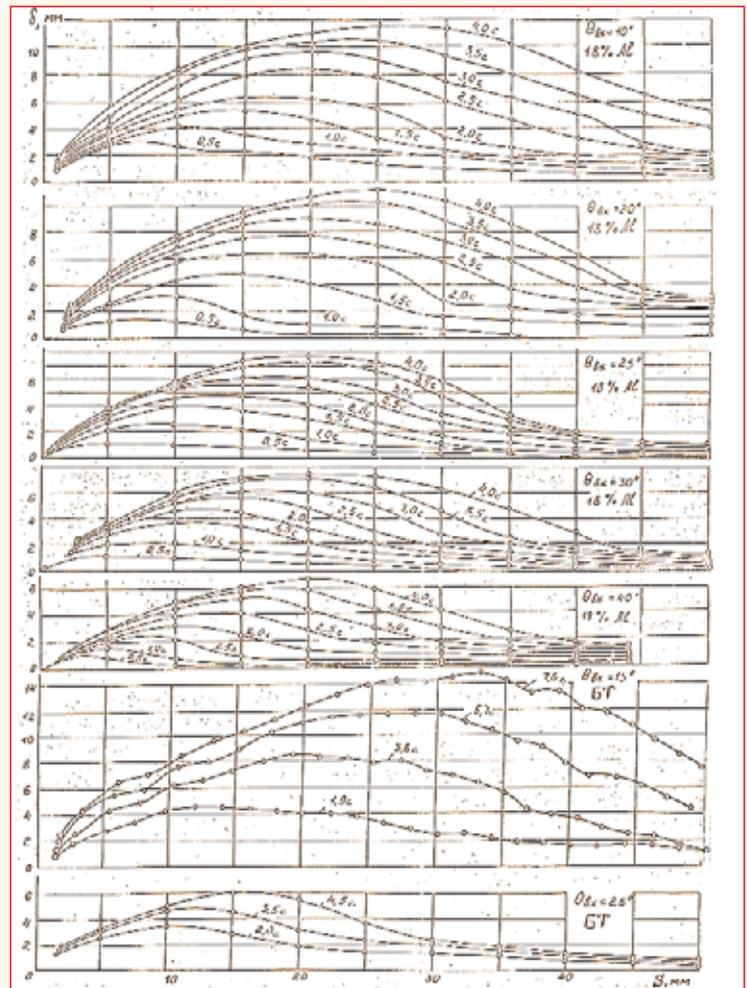


Рис. 2 Динамика уноса в закрывающей части сопла

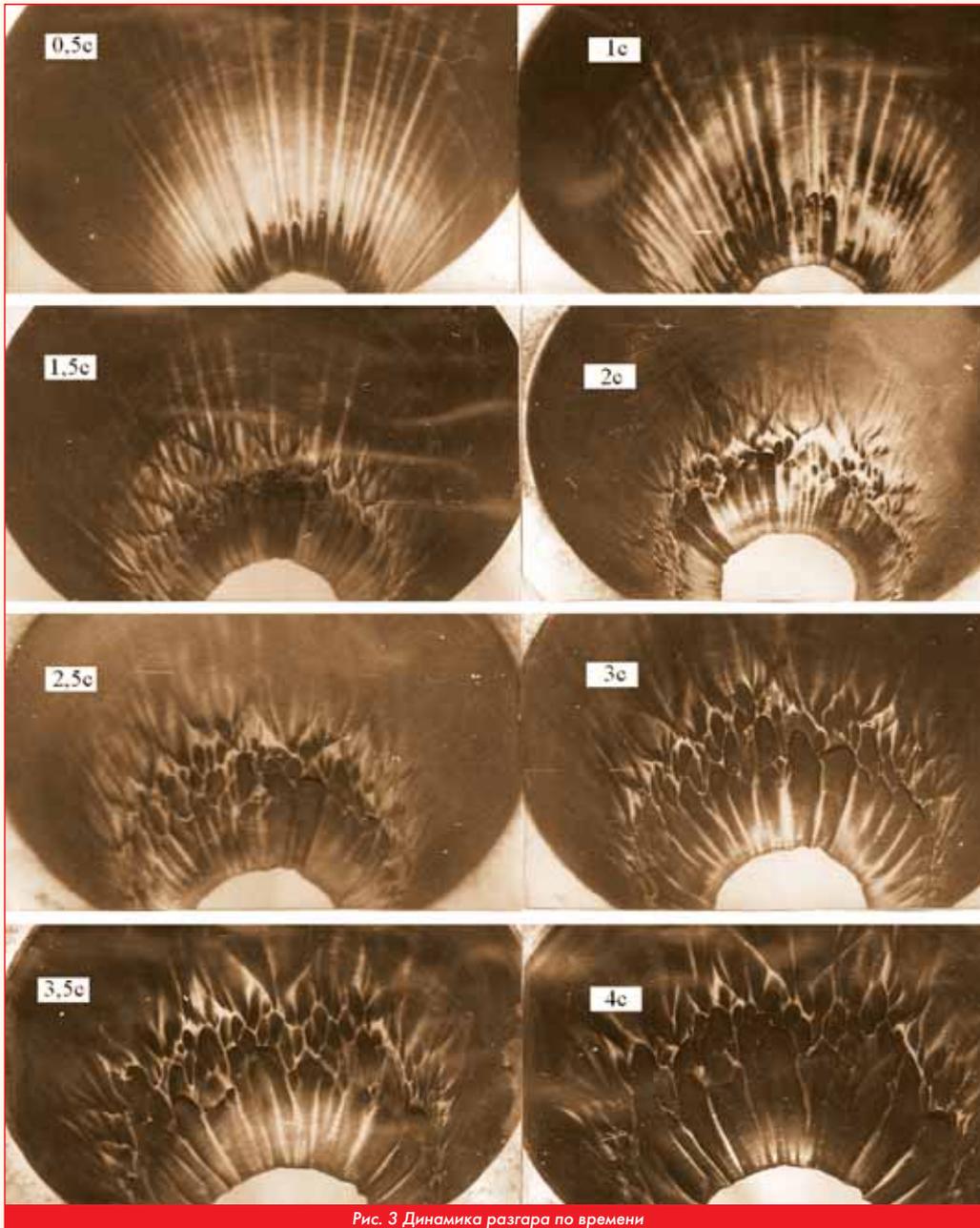


Рис. 3 Динамика разгара по времени

4. Образовавшиеся в закритической части сопел цилиндрические борозды - следы вихрей Тейлора-Гёртлера (рис. 3) - по размерам практически совпадали с величиной максимального уноса. Очевидно, что в этой области реализуется максимальный положительный градиент давления. При этом справедливо соотношение  $\lambda = 2d \approx 2\delta_{\text{ун max}}$ , где буквенные выражения в формулах соответственно обозначают размер парного вихря, размер единичного вихря и максимальное значение уноса.

**О возникновении дискретных вихрей**

Проведенные опыты по исследованию уносов фторопластовых сопел и эмпирические обобщения на их базе позволяют обосновать причину возникновения парных продольных вихрей Тейлора-Гёртлера и математически представить основные параметры в виде конечных зависимостей. Прежде всего, поймём, почему возникают продольные вихри. Для этого рассмотрим схему течения. А она такова: поток натекает на образовавшуюся в процессе разгара ямку в закритической области сопла. Ямка имеет определённую и известную из предыдущего анализа кривизны. То есть поток под углом

$$\Delta\theta = \text{arctg} \frac{\delta_{\text{max}}}{S_{\text{max}}}$$

натекает в районе максимального уноса на стенку. Ударяясь о стенку, поток раздваивается, происходит бифуркация. При этом он направляется влево и вправо вдоль окружности. Но! Такую же ситуацию можно нарисовать и для любой другой образующей, стоящей, например, в непосредственной близости от первоначальной, и на значительном расстоянии от неё. Как и когда эти потоки могут сбалансироваться? Какой параметр ограничит их продвижение? Кто победит в этой схватке? И здесь следует обратить внимание на опыты Тейлора с цилиндрами. Почему там не возникает такая ситуация? А потому, что в опытах Тейлора присутствует некий характерный размер - ширина щели между цилиндрами. Этот размер уравнивает конкурирующие потоки и укладывает их в равноценные тороидальные вихри одного размера.

В ситуации вихрей Тейлора-Гёртлера таким ограничителем служит величина максимального уноса. Недаром она по размеру совпадает с диаметром единичного вихря. Именно этот размер  $\delta_{\text{ун max}}$  явился третьей судьёй в споре за пространство вблизи стенки. Почему именно этот размер является характерным? Потому что он является той "щелью между цилиндрами", которая ограничена линией разгара и линией тока безградиентного потока, то есть линией первоначального контура.

Теперь о количественной стороне данного вопроса. Про дифференцируем дважды зависи-

мость функции уноса вдоль образующей контура сопла

$$\delta'' = - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{\delta}{S_{\text{max}}^2}$$

Вспомянув о радиусе кривизны и размере парного вихря, для условий в точке максимума получаем

$$\frac{\lambda}{R_{\text{max}}} = -\pi^2 \frac{\rho V_{\text{т}}^2}{2R_{\text{max}}} \cdot \frac{R_{\text{max}}}{\rho V_{\text{т}}^2}$$

В последнем соотношении была сконструирована некоторая структура путём домножения числителя и знаменателя на плотность продуктов истечения и представления  $\text{tg} \Delta\theta$  в виде отношения нормальной и продольной скоростей газового потока  $\text{tg} \Delta\theta = V_{\text{н}}/V_{\text{п}}$ . В таком виде сразу в знаменателе просматривается центробежная сила, а числителя некий градиент давления. По-видимому, не теряя общности в рассуждении, можно записать зависимость в следующем виде с учётом знака кривизны

$$\frac{\lambda}{R_{\text{max}}} \sim \pi^2 \cdot \frac{dp}{F_{\text{цб}}}$$

где  $dp/dr$  и  $F_{\text{цб}}$  - градиент давления и величина центробежной силы, действующей на частицы в потоке.

**Эксперименты, иллюстрирующие вихри Тейлора-Гёртлера**

Имеющиеся в доступной литературе экспериментальные факты, в основном в виде фотографий, полученных в результате воздушных продувок с помощью сажемых покрытий, либо отпечатков на полиметилметакрилате, или зафиксированных после натурных испытаний на поверхностях сопел, к сожалению, представлены в большинстве своем в виде нечётких и неоднозначных изображений. Они часто не позволяют напрямую идентифицировать особенности течений, например, наличие следов от вихрей. Так, например, в работе Ингера представленные фотографии не дают основания однозначно предполагать, что течение, исследуемое в данной работе, периодическое. В работе Жину представлены фотографии с продольными бороздами, но комментарии, сделанные по ним в части присутствия периодических течений не являются убедительными. В работе В.Н. Бражко представлены фотографии со следами, имеющими периодически расположенные борозды, но говорить о том, что это следы продольных вихрей не представляется возможным. Весьма основательной и скрупулёзной является работа Г.Ф. Глотова и Э.К. Мороза [4]. Фотографии, приведённые в

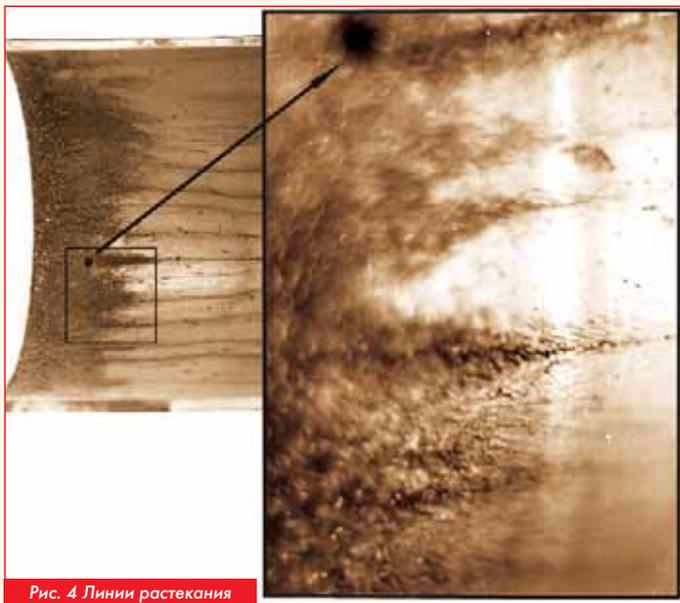


Рис. 4 Линии растекания

этой работе, фиксируют области присоединения оторвавшегося от уступа воздушного вихревого потока и седловые точки, выделяющие из общего потока линии растекания. Аналогичные опыты были в точности повторены К.П. Жуковым и В.В. Мироновым (рис. 4). Ими также были обработаны результаты экспериментов в зависимости от критерия Рейнольдса, построенного по высоте уступа. На рис. 5 приведена фотография из работы [5], полученная при исследовании разгаров сверхзвуковой проточной части натурального РДТТ. Авторами была зафиксирована трехмерная картина уносов в виде продольных периодически расположенных борозд на криволинейной поверхности - следов вихрей Тейлора-Гёртлера. В качестве уносимого материала использовался углеродистый сплав (ТС), а за критикой - пирографит (ПГ).

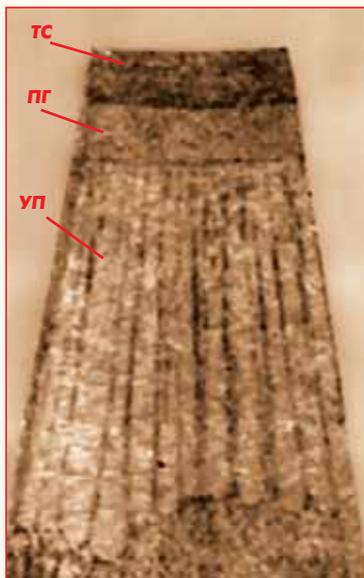


Рис. 5 Вихри Тейлора-Гёртлера на фрагменте натурального сопла

На рис. 6 представлена фотография испытания твердотопливного ускорителя РН "Титан IV", на периметре среза струи видны вихри Тейлора-Гёртлера, сформировавшиеся за местом стыковки деталей сверхзвукового сопла. Аналогичная картина наблюдается и при работе различных ЖРД, в т.ч. J-2 РН "Саутурн-V" (рис. 7).



Рис. 6 Вихри Тейлора-Гёртлера на срезе сопла РДТТ

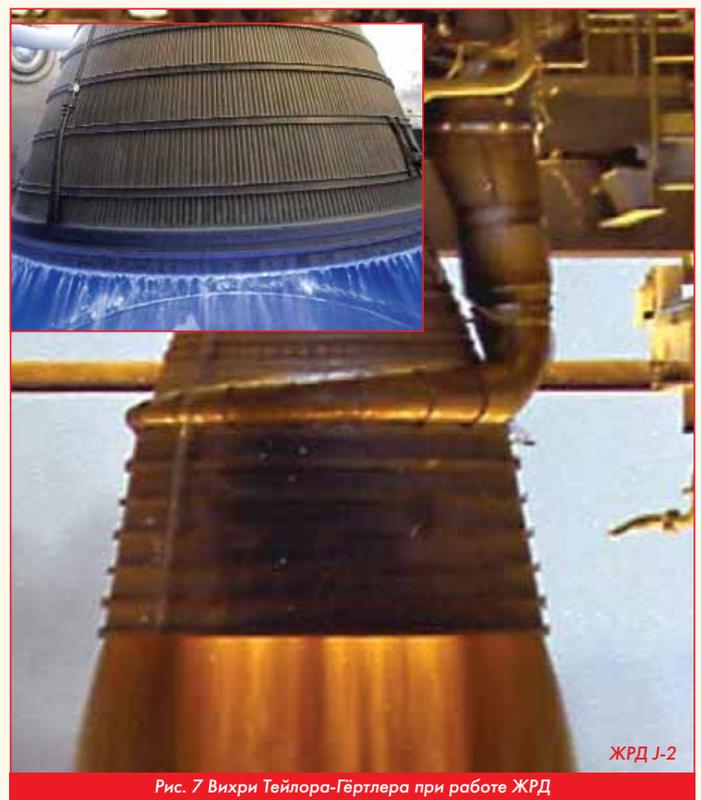


Рис. 7 Вихри Тейлора-Гёртлера при работе ЖРД

**Литература**

1. Ю.М. Кочетков. Турбулентность без градиентов. // Двигатель № 5, 2006 г.
2. Г. Шлихтинг. Теория пограничного слоя. М. Наука, 1974 г.
3. Ю.М. Кочетков. Влияние величины входного угла сверхзвукового контура на разгар сопла РДТТ. // Двигатель № 6, 2003 г.
4. Г.Ф. Готов, Э.К. Мороз. Продольные вихри в сверхзвуковых течениях с отрывными зонами. // Учёные записки ЦАГИ, том VIII, № 4, 1977 г.
5. А.В. Мезенцев, В.И. Смыслов, В.И. Хоничев. Периодическая структура массообмена на аблирующей поверхности в сверхзвуковой части сопел. // Теплообмен, том 3, Минск, 1984 г.

Связь с автором: [swgeorgy@gmail.com](mailto:swgeorgy@gmail.com)

# СОВЕТСКИЕ И РОССИЙСКИЕ САМОЛЕТЫ НА МОНЕТАХ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Андрей Викторович Барановский



Начать рассказ о российских самолётах на монетах стоит, пожалуй, с ещё дореволюционного самолёта Сикорского (на монете написано Russkij Witiaz) - первого в мире многомоторного тяжёлого самолёта, предвестника всех пассажирских лайнеров и бомбардировщиков мира. На аверсе воспроизведена известная фотография встречи С.А. Чикорским у "Русского витязя" императора Николая II во время Первой авиационной выставки в С-Петербурге. Его в 2000 году поместила Либерия на серебряной монете в \$20. Россия монету с этим самолетом отчеканила только в 2010 г. Она входит в серию памятных серебряных монет номиналом 1 рубль "История русской авиации".

Советские же самолеты впервые появились на монетах Маршалловых островов, выпустивших несколько их серий с авиационной техникой Второй мировой войны. Из наших самолетов в них вошли истребитель Як-9 и штурмовик Ил-2.

Они отчеканены из серебра в количестве 25 тыс. экземпляров номиналом в \$50 каждая и с тем же рисунком, но уже номиналом в \$10. Объем тиража чеканки был увеличен в 2 раза - до 50 тыс. экземпляров.



Эти же острова в серии серебряных \$50 1994 г. воссоздали практически всю историю реактивной авиации. Она состоит из 25 монет - от первого в мире серийного истребителя с реактивными двигателями Me-262 до бомбардировщика Ве-52. Входят в серию и наши самолеты - МиГ-15, МиГ-21МФ и Су-27УБ (изображен летящим над Красной площадью).



Входящий в состав Великобритании и имеющий право чеканить свою монету остров Мэн в 1995 г. выпустил серию "Самолеты Второй мировой войны" из 18 монет из никель-медного сплава номиналом в 1 фунт.

В серию вошел и наш МиГ-3.

Только истребителям Второй Мировой посвящена серия из пяти монет Тувалу, выпущенная в 2008 г. В нее входят по одному самолету этого класса основных ее участников. Это японский Мицубиси "Зеро", американский "Мустанг", немецкий "Мессершмит ВФ-109" и английский "Хар-



рикейн". От СССР чести удостоился Як-3. Монеты имеют номинал \$1 и сделаны из серебра с цветным покрытием реверса (обратная сторона монеты).

Отметим, что в нашей стране памятна серебряная монета номиналом 1 рубль с "Як-3" вышла только в этом году. Она имеет качество чеканки "пруф" и тираж 5000 штук. Як-3 - одномоторный

фронтовой самолет-истребитель, созданный в 1943 году коллективом, возглавляемым А.С. Яковлевым.

Всего было выпущено 4848 этих самолетов. На них воевали прославленные асы, среди которых были не только советские летчики. В частности, полк "Нормандия-Неман" был полностью укомплектован Як-3. После войны французские летчики этого полка вылетели на родину на 41 истребителе Як-3 - дар Франции от советского правительства.

Лучший советский довоенный истребитель И-16 вошел в серию из пяти монет под названием "Скоростные самолеты 1930-х годов". Эту серию из серебра и номиналом монет по 2 новозеландских доллара от имени островов Кука отчеканила Новая Зеландия. На И-16 стоял звездообразный двигатель скромной мощности. Но даже с этим двигателем самолёт развивал 460 км в час. Это был первый в мире истребитель-моноплан с низко расположенным крылом, закрытой на некоторых моделях кабиной и убирающимся шасси. И-16 успешно участвовал с 1936 года в войне в Испании, Китае, Монголии, а также во Второй мировой войне вплоть до 1943 года, когда на смену этому самолёту пришли более современные истребители. Последний И-16 был снят с вооружения ВВС Испании в 1952 году.



Второй раз "Ишачок" был изображен на рублевой полихромной монете из серии "История русской авиации" номиналом в 1 рубль. Выпущена она в 2012 г.

Из послевоенных реактивных на однодолларовой серебряной монете Тувалу в \$1 изображен МиГ-15.

Су-30МКМ мы видим на реверсе малазийской монеты в 1 ринггит и сделанной из сплава "нордическое золото". Монета выпущена в честь 80-летия образования малазийских вооруженных сил, днем рождения которых считается 23 января 1933 года. Тогда Федеральный совет объединенных малайских государств дал указ о создании первого Малайского стрелкового полка. Первое боевое крещение малайские военные получили 14 февраля 1942 года при защите "Опиумных холмов" против японской армии. Су-30МКМ ("многоцелевой, коммерческий, малазийский") создавался ОКБ имени Сухого на основе сверхманевренного истребителя Су-30МКИ. Он имеет аналогичный планер, современный двигатель с управля-





емым вектором тяги и новейшую цифровую систему управления. Модификация МКМ отличается от МКИ составом бортового оборудования.

Из транспортных и пассажирских самолетов на зарубежных монетах отчеканены самолёты Антонова и Туполева. Так по заказу Сбербанка тихоокеанские острова Кука в 2008 г. выпустили две серии по пять монет с самолетами Антонова. Одна серия отчеканена в серебре, на второй, также серебряной, сами самолеты покрыты сусальным золотом. В серии вошли следующие самолеты КБ Антонова: Ан-2 (кстати, его натовский код COLT - "жеребенок"), Ан-225 "Мрія", Ан-148, Ан-74 и Ан-124 "Руслан" (код НАТО - CONDOR).

Кроме того, "Мрія" изображена на серебряной монете Соломоновых островов номиналом 25 долл. Она и входит в серию из 13 монет, посвященную 100-летию авиации. Серия отчеканена в 2003 г.

От имени тихоокеанского островного государства Ниуэ новозеландским монетным двором выпущен набор из двух монет, посвященных Ту-144 и "Конкорду".

Они сделаны из серебра с полихромным покрытием и имеют номинал 2 новозеландских доллара. Самолёты изображены каждый в двух ракурсах: в центральной части реверса - вид спереди; в верхней части, выполненной в цвете, - в полёте, на фоне неба и фрагмента



государственного флага (флагов). Внизу имеется надпись "MACH" и число в виде значения приборного счётчика.

Ту-154 появился на одной из польских монет, отчеканенных в память о Смоленской авиакатастрофе, когда 10 апреля 2010 года произошла авиакатастрофа с президентским Ту-154 польских ВВС при попытке посадить самолёт в сильном тумане на аэродром "Смоленск-Северный". Погиб весь экипаж и все пассажиры, включая президента Польши. Это крупнейшая по числу жертв среди авиакатаст-



роф, в которых когда-либо погибали первые лица государства. Президент Качиньский направлялся в Россию с частным визитом во главе польской делегации на траурные мероприятия по случаю семидесятой годовщины расстрела польских офицеров в Катынском лесу (Смоленская область). На одной из монет серии номиналом 20 злотых, отчеканенной из серебра, изображен Ту-154, срезающий верхушки деревьев.



Есть одна необычная серебряная четырехугольная монета, узнать отношение которой к советской авиации весьма непросто. Она выпущена Монетным двором Польши в серии "Как человек покорял небо" от имени принадлежащего Новой Зеландии острова Ниуэ. Называется монета называется "Самолет". Номинал монеты - 1 доллар, качество чеканки - пруф. Так вот, в центральной части аверса монеты изображен чертеж крыла самолета Антонова, справа от него - изображение двигателя со звездообразным расположением поршней, слева - профиль двигателя пилотажного самолета, а над ним крыло летящей птицы. На реверсе центральной части изображение во время полета самолета братьев Райт "Флайт-1", внизу - изображение разработчиков и надпись между ними: Orville & Wilbure Wright (Орвиль и Вилбур Райт), на заднем плане - очертания горизонта.

**От редакции:**

Мы уже писали ранее в этой серии, что в 2009 г. Украина выпустила юбилейную монету из нейзильбера достоинством в 2 гривны в серии "Выдающиеся деятели Украины", посвященную одному из пионеров авиации, конструктору самолетов и вертолетов, пилоту, промышленнику Игорю Ивановичу Сикорскому. Учась в Киевском политехническом институте (1907 - 1914), Игорь Сикорский начал работать над первыми разработками будущих вертолетов. С 1910 года строил самолеты. Им было создано большое количество конструкций одномоторных самолётов, а также первые в мире многомоторные самолеты - "Гранд Балтийский" ("Русский витязь") и первый дальний бомбардировщик Великой войны (1914-1918 г.) "Илья Муромец". Выходец из Украины, он увековечил свое имя как один из самых известных авиаконструкторов мира, прославивший Россию с Украиной и Америкой, где создал подлинную "вертолётную империю" Sikorsky. На аверсе изображен самолет "Илья Муромец" и номинал монеты, на реверсе - портрет Сикорского в форме пилота, справа от которого на фоне рисунка Леонардо да Винчи размещены надписи: ІГОР СІКОРСЬКИЙ (полукругом), годы жизни: 1889 - 1972.



# ПРОБЛЕМАТИЧНОЕ НАЧАЛО И ДРАМАТИЧЕСКИЙ КОНЕЦ РАЗРАБОТКИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ Н1

**Вячеслав Фёдорович Рахманин,**

главный специалист ОАО "НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко"

(Продолжение. Начало в № 6 - 2011, 1-6 - 2012, 1-6 - 2013, 1-2 - 2014)

В истории отечественного ракетостроения имеется ряд проектов, по которым были проведены научно-исследовательские работы, эскизное проектирование и начаты опытно-конструкторские работы, но проекты не получили дальнейшего развития. В совокупности в ОКБ главных конструкторов С.П. Королёва, М.К. Янгеля, В.Н. Челомея таких проектов насчитывается около двух десятков. Упомянем наиболее крупные: в ОКБ Королёва - Р-3 (разработка 1948 - 1951 гг.), в ОКБ Янгеля - Р-56 (1963 - 1964 гг.), в ОКБ Челомея - УР-700 (1963 - 1969 гг.). И каждый неоконченный проект оставил свой след и оказал заметное влияние на дальнейшее развитие отечественной ракетной техники, поскольку в научной деятельности отрицательный результат при правильной его оценке способствует получению конечного положительного результата.

Так, разработка ракеты Р-3 дальностью действия до 3000 км показала, что конструкция двигателя немецкой ракеты А-4, положенная в основу двигателя ракеты Р-3, не позволяет существенно увеличить энергетические характеристики ЖРД. В связи с этим дальнейшее развитие отечественного ракетного двигателестроения пошло по пути использования конструкций, ранее разработанных под руководством В.П. Глушко и А.М. Исаева.

Предложение ОКБ Янгеля создать космическую ракету тяжёлого класса получило в 1963 г. правительственную поддержку и был выпущен эскизный проект РН Р-56. В ракете использовалось высококипящее топливо, по расчётам эта ракета выводила на опорную орбиту высотой 200 км полезную нагрузку в 40 т, а также обеспечивала возможность прямой мягкой посадки космических аппаратов: на Луну - массой 2,8 т, на Марс - 2,0 т, на Венеру - 1,5 т. Однако по габаритно-массовым характеристикам выводимые ракетой Р-56 космические аппараты уступали аппаратам, выводимым РН Н1, и в связи с принятым решением осуществить высадку на Луну космонавта, приоритет был отдан комплексу Н1-Л3 и работы по Р-56 были прекращены. Коллектив ОКБ Янгеля испытал разочарование от принятого решения, но полученный опыт разработки проекта крупной РН позже был успешно использован при создании РН "Зенит" и блока "А" РН "Энергия".

Об истории разработки УР-700 много и подробно изложено в предыдущих статьях этого цикла. Следует лишь напомнить, что кроме проектных и компоновочных работ по общему виду носителя проводились стендовые огневые испытания экспериментальных однокамерных двигателей РД270 (8Д420) тягой 640 тс. В этом двигателе использовалась уникальная схема с двумя ТНА и двумя газогенераторами, вырабатывающими окислительный и восстановительный газы. Эти газы после срабатывания на турбинах сжигались в камере сгорания, что создавало возможность увеличить давление в камере и, соответственно, поднять удельный импульс тяги. Но в то же время такая схема создавала труднопреодолимые вопросы организации регулирования рабочего процесса в камере. Работы были прекращены в третьем квартале 1969 г. в связи с остановкой работ по носителю УР-700. К положительной стороне разработки двигателя РД270 следует отнести технологическое освоение работ с

крупногабаритными деталями конструкции как при механической обработке, так и при выполнении стального литья, сварке больших толщин и т.д. Технологическое освоение изготовления этого двигателя стало прологом для дальнейшего успешного производства РД170 (171) для РН "Энергия" и "Зенит".

Среди приведённых выше нереализованных проектов не упомянута РН Н1. Это естественно, т.к. разработка этого проекта занимает особое место в отечественной истории ракетной техники. Немногие сейчас знают или помнят о разработках Р-3 и Р-56, УР-700 более известна, но только в качестве несостоявшейся "конкурентки" РН Н1. Проект Н1 по степени его разработки был продвинут далее любого из нереализованных отечественных проектов и по возлагаемым на него надеждам и научно-технической значимости в то время превосходил все находящиеся в эксплуатации отечественные ракеты-носители.

В моём представлении повышенный интерес к разработке РН Н1 стал следствием ряда причин. Укажем некоторые из них:

- секретность в период разработки и неожиданное для широкой общественности "появление в свет" сведений о несостоявшейся ракете после снятия цензуры в 90-х годах;
- разногласия между С.П. Королёвым и В.П. Глушко по выбору ракетного топлива, приведшие к "отказу" Глушко разрабатывать двигатели на выбранном Королёвым топливе;
- "волюнтаризм", приведший, по мнению ряда специалистов ракетной техники и причисляющих себя к таковым, к принятию ошибочного решения о прекращении работ по теме Н1;
- заявления некоторых специалистов ракетной техники, что в процессе конструкторской разработки и пусков РН Н1 был получен ценный опыт для дальнейшего развития отечественной ракетно-космической техники, в частности, при разработке РН "Энергия".

Последняя из приведённых причин проявления интереса к истории разработки РН Н1 хорошо коррелируется с оценкой своей деятельности В.П. Мишиным, изложенной в уже упомянутой книге, а также в ряде его интервью. В моём представлении такое утверждение может быть воспринято только с учётом критического от-



РД270 (8Д420)

ношения и с переосмысливанием ряда использованных в РН Н1 нерациональных проектно-конструкторских решений. К таковым следует отнести установку на первую ступень 30-и двигателей тягой по 150 тс (на первой ступени РН "Энергия" - 4 двигателя тягой по 740 тс), сферические топливные баки (на РН "Энергия" - баки традиционной цилиндрической формы), отказ от сооружения стенда для огневых испытаний первой ступени РН Н1 (вопреки сильнейшему противодействию чиновников Госплана и Минфина по настоянию В.П. Глушко был создан универсальный комплексный стенд-старт (УКСС), позволяющий проводить как стендовые испытания, так и пуски РН "Энергия"). Кроме того, применение пакетной компоновки ракеты исключило проявление "донного эффекта" - снижения суммарной тяги первой ступени, а также позволило осуществлять боковое размещение полезной нагрузки практически любой конфигурации, в том числе космического самолёта "Буран".

Аналогично с Мишиным о значимости для последующих разработок ракетной техники научно-технических достижений, полученных в процессе работ при создании РН Н1, высказывались и специалисты - участники разработки ракетных систем, в частности двигателя НК-15 и, особенно, НК-33, получившего такое обозначение после проведения модернизации базового образца. При этом некоторые специалисты прямо указывали на использование конструкторских решений, полученных при разработке двигателя НК-33, в конструкции основных агрегатов двигателей РД170 для РН "Энергия". Об этом можно прочитать во вступительных главах книг и в журнальных статьях, написанных некоторыми работниками ОКБ Кузнецова, научными сотрудниками ЦИАМ и Центра Келдыша, а также в их докладах на различных чтениях, научных конференциях и международных конгрессах. Поскольку такие высказывания носили общий характер, это вызвало вопрос: "Укажите конкретно, что было использовано из конструкции двигателей НК-15 и НК-33 в двигателе РД170?". И практически всегда ответ носил уклончивый характер, типа: "Накопленный опыт передавался конструкторам НПО Энергомаш в форме советов и консультаций".

Такой ответ о форме помощи конструкторам НПО Энергомаш соответствовал действительности. В отработке работоспособности двигателей РД170 (171) участвовали многие научно-технические организации и предприятия Советского Союза. Участники этих работ добросовестно старались оказать помощь и практически все их конструктивные предложения принимались и проверялись при огневых испытаниях экспериментальных двигателей, но результаты были одни и те же - аварии. А за аварии руководящий состав НПО Энергомаш и генеральный конструктор НПО "Энергия" В.П. Глушко подвергались жёсткой критике со стороны министра С.А. Афанасьева, в то же время авторы проверяемых предложений оставались "за кадром". Такой неравнозначный подход к оценке участия в доводке двигателей не способствовал качественной стороне предлагаемых изменений конструкции двигателя и Глушко на одном из заседаний коллегии МОМ предложил, чтобы авторы предложений, не дающих положительного результата, несли ответственность наряду с работниками НПО Энергомаш. Хотя никакого решения по этому предложению Глушко не было принято, последующие предложения стали поступать после их предварительного обсуждения на уровне руководства НИИ, что привело к повышению их качества и существенному сокращению количества.

Подводя итоги участию работников НИИ в работах по созданию двигателей РД170 (171), следует оценить их вклад в разработку двигателей как сугубо положительный. Их советы, консультации и просто поддержка НПО Энергомаш во многом способствовали успешной разработке двигателей, в возможность создания которых не верили некоторые академики, многие именитые специалисты и высокие руководители ракетной отрасли. Но отмечая заслуги работников НИИ, ранее участвовавших в разработке двигателей НК-15 и НК-33, а затем оказывающих помощь в создании двигателя РД170, следует особо подчеркнуть, что конструкция элементов, определяющих надёжность и работоспособность основных агрегатов, у двигателей НК-33 и РД170 не имеет ничего общего. В подтверждение приводятся энергетические характеристики, размеры и от-

личительные особенности конструкции камеры, газогенератора и ТНА этих двигателей.

Двигатель НК-33 однокамерный, тяга на земле - 154 тс, в пустоте - 171 тс, давление в камере - 148 атм, удельный импульс на земле - 297 с, в пустоте - 331 с, масса (сухая) - 1240 кг, диаметр - 1490,5 мм, высота - 3705 мм.

Двигатель РД170 четырёхкамерный, с двумя газогенераторами, тяга на земле - 740 тс, в пустоте - 806 тс, давление в камере - 250 атм, удельный импульс: на земле - 309 с, в пустоте - 337 с, масса (сухая) - 9,5 т, диаметр - 4150 мм, высота - 3565 мм.

Основными отличиями камер двигателей НК-33 и РД170 является организация смесеобразования и меры по обеспечению устойчивого горения, а также иные особенности конструкции.

В смесительной головке камеры двигателя НК-33 установлены однокомпонентные форсунки: центробежные по горючему и струйные - трубчатого типа с дозирующим жиклёром - по окислительному газу. Устойчивость рабочего процесса обеспечивается газовыми форсунками, образующими эффективный акустический поглотитель, что позволяет осуществлять надёжное акустическое демпфирование возникающих высокочастотных колебаний давления.

В смесительной головке камеры двигателя РД170 установлены двухкомпонентные газо-жидкостные форсунки, устойчивость горения обеспечивается разделением области горения на 7 локальных зон путём создания перегородок из выступающих в зону горения удлинённых форсунок. Схема локальных зон - шестиугольник в центре и 6 лучей в сторону периферийной части головки. Другой особенностью конструкции камеры является оригинальная организация её охлаждения: в наиболее нагруженные в тепловом отношении части камеры охладитель (горючее) поступает с пониженной температурой. Управление вектором тяги осуществляется качанием каждой камеры благодаря уникальной конструкции газовода между турбиной и головкой камеры.

Газогенератор НК-33 имеет цилиндрическую форму, двухзонный по организации рабочего процесса, с центральным подводом основного компонента топлива, антипульсационными охлаждаемыми перегородками ("крылышками") в первой зоне, смесительная головка оснащена однокомпонентными форсунками.

Газогенератор двигателя РД170 выполнен в традиционной для НПО Энергомаш сферической форме силового контура, в однозонном варианте, двухкомпонентные форсунки имеют углублённую зону смешения.



Паяно-сварная неразъёмная камера РД170 состоит из смесительной головки, камеры сгорания и сопла



Смесительная головка камеры РД170



Схема расположения форсунок смесительной головки РД170. Выступающие форсунки образуют антипульсационные перегородки



ТНА РД170

Особенностью конструкции ТНА двигателя НК-33 являются двухкаскадные встроенные в корпуса насосов шнековые преднасосы с гидравлическим приводом. Это позволило сократить габаритные размеры и снизить массу. ТНА двигателя НК-33 на запуске раскручивается специальной пороховой турбиной.

ТНА двигателя РД170 также имеет шнековые преднасосы с приводом от гидротурбин. Преднасосы имеют автономную конструкцию, что в отличие от встроенных, позволяет вести раздельную стендовую отработку гидравлических характеристик основных насосов и преднасосов. Это сокращает время отработки и потребное для этого количество матери-

альной части. Запуск двигателя осуществляется по традиционной для НПО Энергомаш схеме "самотёка".

Зажигание компонентов топлива при запуске двигателя НК-33 осуществляется от электропирозапального устройства. В двигателе РД170 для зажигания топлива применяется пусковое горючее, находящееся в специальных ампулах.

Приведённые выше технические характеристики и особенности конструкции двигателей НК-33 и РД170 наглядно показывают, что каких-либо оригинальных конструкторских решений двигателя НК-33 заимствовано не было. Более того, как выяснилось спустя много лет, при доводке двигателей НК-33 и РД170 много времени было затрачено на исключение внутреннего возгорания в кислородном насосе, возникающего по аналогичным причинам. Почему же спустя 10 лет конструкторы НПО Энергомаш наступили на те же "грабли", что и конструкторы ОКБ Кузнецова? И какие советы в этом случае давали конструкторам НПО Энергомаш работники НИИ, участвующие в отработке НК-33? Помощь, конечно, была, но основная тяжесть работы по обеспечению работоспособности двигателя РД170 легла на плечи работников НПО Энергомаш во главе с главным конструктором В.П. Радовским.

При анализе преемственности опыта разработки РН Н1 выявилась неординарная ситуация. Как показано выше, заимствования оригинальных конструкций двигателя НК-33 в двигателе РД170 не отмечено, но сам двигатель первой ступени Н1, неотработанность прототипа которого по общему признанию стала причиной прекращения работ по Н1-Л3, оказался единственным из всех ракетных систем востребованным для использования во вновь разрабатываемых или модернизируемых РН.

Напомним, что решением Совета обороны от 17 мая 1974 г. было прекращено проведение работ по Н1-Л3, Н.Д. Кузнецову поручалось сосредоточиться на создании авиационных двигателей, но о работах с двигателями НК-33 отдельно не упоминалось. Он воспользовался этой отдушиной и продолжил отработку двигателя по обеспечению наработки ресурса работы путём многократных испытаний без съёма со стенда. И, как венец этой работы, в январе 1976 г. был проведён рекордный по длительности цикл испытаний одного экземпляра двигателя без съёма его со стенда - 14 000 с или более 3 ч 50 мин. О такой рекордной для ЖРД продолжительности работы одного двигателя часто упоминается в мемуарной литературе, но большинство авторов допускают ошибку, указывая, что двигатель работал непрерывно в течение 14 000 с. Непрерывно или при многократно повторяемых испытаниях - это всё-таки разница, тем более для рекордного результата. Удивляет, что так пишут и специалисты ракетной техники. Задумались бы, какого объёма должны быть стендовые баки для непрерывной ра-

боты в течение 14 000 секунд с подачей в секунду 376 кг жидкого кислорода и 147 кг керосина.

Для сравнения приводятся данные по многократным огневым испытаниям двигателя РД171, тоже без съёма со стенда - 25 испытаний с суммарной временной наработкой, превышающей 2400 с, что составило более 17 рабочих ресурсов. По результатам дефектации после этого цикла испытаний двигатель был пригоден для продолжения работ, но поскольку каких-либо дополнительных целей, кроме выявления запаса по работоспособности, программа этих работ не предусматривала, дальнейшие испытания не проводились.

В феврале 1976 г. вышло правительственное постановление о закрытии темы Н1. Этим постановлением предписывалось всем предприятиям, участвующим в работах по теме Н1, провести инвентаризацию и последующую утилизацию имеющейся матчасти, затраты списать. Однако Н.Д. Кузнецов в нарушение государственной дисциплины не выполнил эти требования, все полностью готовые для эксплуатации двигатели РН Н1 он приказал законсервировать и "спрятать" на стендовой базе, именуемой в соответствии с легендой прикрития "Химический завод". В мемуарной литературе встречается несколько версий о том, как Кузнецову удалось обойти требования постановления и контролирующих его выполнение органов, но не будем нагружать читателя различными домыслами. Для истории важно только то, что более сотни готовых двигателей первой, второй и третьей ступени было сохранено. В некоторых источниках приводится количество двигателей в привязке к ступеням РН Н1, но поскольку численность двигателей, приводимая в различных источниках имеет существенные отличия, не будем её указывать.

После выхода февральского 1976 г. Постановления для двигателей РН Н1 началась новая жизнь. В статье одного из самарских авторов, написанной уже в XXI веке, история хранения двигателей излагается в форме эдакого пассажа: "Ни один человек, причастный к этой операции, в последующие 20 лет никому не проговорился о том, что в окрестностях Самары в укромном месте дожидаются своего часа сотни уникальных изделий". Вполне возможно, что причастные к этой "операции" никому не проговорились, но об имеющемся в ОКБ Кузнецова запасе двигателей и об их технических характеристиках знали руководители ракетных ОКБ и ответственные работники МОМ. И эту информацию они пытались использовать в своей работе. С 1975 г. по 1991 г. в отрасли рассматривались различные возможности применения этих двигателей, главным образом НК-33, для установки во вновь разрабатываемые или модернизируемые РН. Среди таких намерений можно указать тему "Подъём", замену двигателей в РН "Протон", изначальные проработки РН "Зенит", проект "Мини-Шаттл", замену двигателей РД170 в РН "Энергия", а также проекты РН "Ямал", "Аврора" и ряд других. Но ни одно из указанных намерений или проектов реализации не получили.

В моём представлении из приведённых возможных случаев использовать двигатель НК-33 наибольший интерес представляют намерения заменить двигатель РД170 в РН "Энергия". В начале 80-х годов напряжение с созданием двигателей для РН "Энергия" достигало наивысшей точки. О тягостном положении дел с разработкой двигателя РД170 для первой ступени в ту пору в ракетно-космическом сообществе не слышал только глухой и не говорил только немой. Затянувшаяся череда стендовых аварийных испытаний двигателей РД171, а также "научные доводы" группы видных специалистов о невозможности создания такого двигателя, расхолаживали разработчиков других ракетных систем, создавали у них надежду не быть "крайними" при срыве плановых сроков проведения собственных работ. В этой обстановке состояние с отработкой кислородно-водородного двигателя 11Д122 для второй ступени находилось как бы в тени тяжёлого положения дел с двигателем РД170 и это вызывало беспокойство у министра С.А. Афанасьева. Дело в том, что при создании водородного двигателя разработчики столкнулись с неизвестными ранее техническими проблемами, связанными с использованием водорода. Затянувшееся решение этих проб-



Водородно-кислородный двигатель РД-0120 (11Д122)

лем привело к срыву сроков разработки двигателя, определённых генеральным план-графиком создания РН "Энергия". С целью разобраться в сложившейся ситуации и оказать необходимую организационную и научно-техническую помощь, С.А. Афанасьев провёл в КБХА (Воронеж) расширенное совещание с участием представителей министерства, учёных из отраслевых и академических НИИ, конструкторов КБХА и технологов ВМЗ. По ходу совещания и в своём итоговом выступлении министр неоднократно подчёркивал, что водородный двигатель является определяющим звеном в проблеме создания РН "Энергия". У разработчиков этого двигателя нет подстраховки, от результата их работы зависит успех или провал всего проекта. И не нужно оглядываться на положение дел с двигателем первой ступени. В случае

неудачи с разработкой двигателя РД170 можно будет подстраховаться установкой двигателей НК-33 Кузнецова, а у второй ступени никакой альтернативы нет. Министр объективно оценивал значимость работ по водородному двигателю и его заявления являлись средством мобилизации разработчиков на продуктивную работу. С.А. Афанасьев был опытным, искушённым в умении воздействовать на сознание и чувства людей руководителем. Он знал, когда и как можно и нужно применить власть или вместо этого использовать методы убеждения, обращаясь к честолюбию руководителей, чувствам патриотизма и ответственности за порученное дело работников оборонной промышленности.

А в отношении возможной замены двигателей РД170 на НК-33 заявление Афанасьева соответствовало занимаемой им в то время позиции. В этом он признался сам, когда после первого и успешного полёта РН "Зенит" поздравил В.П. Радовского и попросил у него прощения за то, что в годы разработки двигателя РД170 (171) он примыкал к группе не веривших в возможность создания двигателя с характеристиками РД170 и чрезмерно жёстко требовал от Радовского скорейшего получения положительного результата при стендовых испытаниях двигателя.

О второй попытке замены РД170 на НК-33 рассказал в своих воспоминаниях Б.И. Губанов. Работая с весны 1982 г. в должности первого заместителя генерального конструктора НПО "Энергия" и одновременно будучи главным конструктором МКС и ракеты в целом, он в 1983 г. в тайне от В.П. Глушко летал в Куйбышев к Н.Д. Кузнецову с целью обсудить возможность использования на первой ступени РН "Энергия" хранящихся двигателей НК-33. Кузнецов в этот период времени вместе с академиком В.С. Авдеевским был неформальным "сопредседателем" группы учёных, активно выступающих против создания двигателя РД170. Разговора на технические темы у Губанова с Кузнецовым не получилось. "Генерал" - как называли сотрудники своего главного конструктора - твёрдо заявил: *"Я соглашусь на использование двигателя НК-33 в РН "Энергия" только при условии официальной реабилитации ОКБ и признания, что наши двигатели не причастны к авариям Н1-Л3"*. Но как выполнить это требование? Не вдаваясь в техническую сторону, его выполнение - пря-



Б.И. Губанов

мая пощёчина Д.Ф. Устинову, инициатору принятия решения о прекращении работ по РН Н1. Причастны к этому решению были и другие руководители ракетно-космической отрасли. Так что вояж Губанова оказался впустую. Но есть ещё один аспект предложения Губанова заменить двигатели. Когда я упомянул о заявлении Афанасьева использовать двигатели НК-33, я не сделал никаких замечаний по поводу технической стороны такой замены. Афанасьев - министр и не его дело вникать в подобные технические вопросы. А вот Губанов - при его тогдашней должности в НПО "Энергия" и опыте работы заместителем главного конструктора КБ "Южное" - понимал, не мог не понимать, что для использования НК-33 потребуется перекомпоновка ракеты и для обеспечения необходимой тяги вновь вернуться к установке более 20 двигателей НК-33. А это прямой возврат к схеме и техническим порокам РН Н1. Да, такой визит действительно нужно было держать в тайне от В.П. Глушко.

Так при разработке ракетно-космической техники в СССР, несмотря на заявление о преемственности достигнутых положительных результатов при создании и испытаниях РН Н1, не нашлось применения самой отработанной при наземных испытаниях ракетной системе - двигателю НК-33. И основной причиной явилась, как теперь принято говорить, его "кредитная история", т.е. причастность к авариям РН Н1 исходного варианта двигателя НК-15 и отсутствие опыта лётной эксплуатации двигателя НК-33. Но в жизни хороший товар всегда находит своего покупателя, а качественно выполненное изделие - своё применение. Для этого требуются соответствующие внешние условия. И они появились в нашей стране в результате изменения политико-экономического государственного строя.

После распада СССР появилась возможность более широко продемонстрировать достижения в ракетно-космической отрасли. Так на московской выставке "Авиадвигатель" в 1992 г. в качестве одного из экспонатов был представлен двигатель НК-33, технические характеристики которого произвели глубокое впечатление на представителей американской двигателестроительной фирмы "Аэроджет". С разрешения правительства РФ ОКБ Кузнецова и компания Аэроджет в 1993 г. заключили договор о сотрудничестве в части применения ЖРД НК-33 в зарубежных носителях. В развитие этого договора компания "Аэроджет" в середине 90-х годов закупила у ОКБ Кузнецова 37 двигателей НК-33 по цене 1 млн долларов США за один двигатель. Конечно же, это демпинговая цена, на порядок ниже стоимости двигателей класса НК-33 на международном рынке космической техники. Видимо, на цену повлиял целый ряд факторов. Во-первых, в середине 90-х годов, в российской аэрокосмической отрасли заказ на производство техники практически отсутствовал, промышленные предприятия находились на грани закрытия. В этой обстановке получение 37 млн долларов для ОКБ Кузнецова было спасательным кругом в бурном море российской экономики. Цену сбивал и "возраст" двигателей - более 20 лет с момента их изготовления. Во-вторых, двигатели НК-33 изготавливались при советской власти и для ОКБ Кузнецова были невостребованным в России даровым товаром, от продажи которого все получаемые деньги являлись чистой прибылью. Кроме покупки двигателей, компания Аэроджет обещала заключить долговременный контракт, предусматриваю-



Установка РД-33 на стенд

щий возобновление производства двигателей с ежегодным приобретением 8-10 двигателей. Но это обещание оказалось "журавлём в небе" из известной русской поговорки.

Представляет интерес реагирование российских СМИ на цену продажи двигателей НК-33. В течение 90-х годов об этом факте практически не упоминалось, видимо, при отсутствии валютных поступлений впечатляла общая сумма выручки без относительности к количеству проданного "товара". Позднее, уже в XXI веке, когда в России стабилизировалась экономика, продажа ракетных двигателей по цене 1 млн долларов за штуку, вызвала иронические улыбки. Дело, мол, прошлое, торговать не умели. А в одной из статей самарского автора дано такое объяснение этой сделке: "Кузнецова не интересовали деньги, получаемые от продажи двигателей, им двигало желание увидеть свой двигатель в полёте". Это совсем уж "по-советски". Такая трактовка убыточной сделки напоминает позицию специалистов, предлагающих для удовлетворения их любопытства провести пятый пуск РН Н1-Л3, не считаясь с трудовыми и финансовыми затратами.

В эти же годы в сложном производственном и экономическом положении оказалось и НПО Энергомаш. В новой России разработчик новых ракетных двигателей был не востребован, но сохранялась надежда на продолжении производства товарных двигателей. В 1992 г. НПО Энергомаш получило госзаказ на изготовление трёх двигателей РД171, но авансовых выплат для развёртывания работ от государственной структуры, сделавшей этот заказ, не было получено. Ситуация сложилась противоречивая: НПО Энергомаш, в то время государственное предприятие, не имело права отказать от госзаказа на изготовление своей профильной продукции. Но, в то же время, оно не могло приступить к изготовлению, т.к. все смежные заводы, начиная с поставщиков металла, работали только при предоставлении предоплаты, а свободных средств у НПО Энергомаш не было. Заказавшие двигатели госорганы "подсказали" выход из созданного ими же положения: берите банковский кредит, потом мы с вами рассчитываемся.

Начало этих работ по времени совпало с организацией "реформатором-экономистом" Е.Т. Гайдаром российских коммерческих банков. Нарождающиеся банки для создания собственного базового капитала давали кредит под 250...280 %. Условия кредитования грабительские, но деваться было некуда, пришлось кредит брать. Двигатели были своевременно изготовлены и сданы, но заказчик не спешил их оплатить. Спустя год-полтора оплата была всё-таки проведена, но государство оплатило только указанную в договоре стоимость изготовленных двигателей, да и то в форме долговых обязательств - "фантиков", как их нарекли в деловом мире. Эти обязательства банки принимали по цене 75...80 % их номинальной стоимости. Проценты банковского кредита производителю двигателей заказчики благополучно "простили". Так НПО Энергомаш попало в долговременную долговую финансовую яму.

Не имея госзаказа на разработку новых ЖРД в России, руководство НПО добилось разрешения правительства РФ на проведение внешнеэкономической деятельности. Начались интенсивные контакты с аэрокосмическими фирмами США, Франции, Бразилии, Японии и др. Отправным моментом во внешнеэкономической деятельности НПО Энергомаш стало подписание 26 октября 1992 г. "Соглашения по совместному маркетингу и лицензированию технологий" с американской компанией "Пратт-Уитни", отделением корпорации ЮТК. Главное научно-техническое достояние НПО Энергомаш тех лет - двигатель РД170 - по своим техническим характеристикам значительно опережал ракетную технику зарубежных стран и не вписывался в их разработки новых космических средств выведения. Однако и в этом, как казалось многим безвыходном положении, для российских разработчиков ЖРД появилась возможность вытащить счастливый билет. Американская компания Локхид Мартин в январе 1995 г. объявила конкурс на замену двигателя первой ступени в модернизируемой космической ракете "Атлас". В конкурсе приняли участие НПО Энергомаш с проектом двигателя РД180 - двухкамерной производной двигателя РД170. Проект РД180 поддерживала компания Пратт-Уитни. Вторым "конкурсан-

том" был двигатель НК-33, представленный компанией Аэроджет (выкупившей двигатель) с участием ОКБ Кузнецова, третьим - американский двигатель МА-5, представленный компанией Рокетдайн.

Правительство РФ поддержало инициативу НПО Энергомаш и 23 мая 1995 г. вышло правительственное распоряжение, которым разрешалось НПО Энергомаш разработать по заказам американских ракетно-космических компаний ЖРД для поставки в США с целью использования в составе космических ракет-носителей.

Конкурс по выбору двигателя для РН "Атлас" стал третьим случаем, когда конкурировали ОКБ под руководством В.П. Глушко и Н.Д. Кузнецова с разрабатываемыми ими двигателями. Все три случая оставили заметный след в истории отечественного ракетостроения и сопровождались последующими комментариями, как представителей конкурирующих сторон, так и журналистов, которые часто расписывали чуть ли ни криминальные подробности выбора победителя.

Начало конкурентной борьбы между ОКБ Глушко и ОКБ Кузнецова было положено в конце 1959 г., когда С.П. Королёв неожиданно обратился с письмом к секретарю ЦК КПСС, а затем в оборонный отдел ЦК и предложил применить на первой ступени создаваемой в ОКБ-1 МБР Р-9 двигатель НК-9 ОКБ Кузнецова вместо двигателя 8Д716, разрабатываемого в ОКБ Глушко в соответствии с имеющимся правительственным постановлением. Специально организованная по этому поводу межведомственная комиссия (МВК) под руководством председателя ГКОТ К.Н. Руднева в январе 1960 г. приняла решение продолжить разработку двигателя 8Д716. Первый раунд конкурентной борьбы завершился победой В.П. Глушко. Однако почитатели Королёва через много лет в своих статьях по истории ракетной техники обвинили Глушко в использовании "административного ресурса". Для них объективный анализ сложившейся ситуации и выводы МВК, а также заключение заказывающего Управления министерства обороны в пользу продолжения работ с двигателем 8Д716 - пустой звук. Есть собственное мнение, и только оно правильное.

Следующий случай конкуренции произошёл на стадии разработки эскизных проектов двигателей для РН Н1. Конкуренция носила не объявленный характер, разработка проекта двигателя в ОКБ Кузнецова велась под опекой В.П. Мишина и ведущих работников двигательного отделения ОКБ-1. Выбор двигателя был сделан в одностороннем порядке С.П. Королёвым, который без предварительного обсуждения на Совете главных конструкторов принял решение при разработке эскизного проекта РН Н1 использовать двигатель ОКБ Кузнецова. МВК под председательством академика М.В. Келдыша одобрила разработанный ОКБ-1 эскизный проект РН Н1. Так победителем стал двигатель НК-15, принесший столько бед при поведении лётных испытаний. Однако и в этом, как потом оказалось, неудачном выборе двигателя Королёвым обвинили Глушко, т.к. он, по мнению почитателей Королёва, "отказался" разрабатывать двигатель на предпочитаемом Королёвым кислородно-керосиновом топливе. Об этой конкуренции достаточно подробно изложено в предыдущих статьях этого цикла.

В третий раз конкуренция возникла при выборе двигателя между РД180 и НК-33. Победителем в этом конкурсе был признан проект двигателя РД180, о чём руководство компании Локхид Мартин объявило 12 января 1996 г. Выбор был сделан американской компанией, что, казалось бы, должно исключить подозрение в возвышении российских "агентов влияния" на выбор победителя. Однако и на этот раз не обошлось без упреков и обвинений в адрес победителей в конкурсе. Российские журналисты обвинили представителей ракетно-космической отрасли в нажиме на американскую сторону, в лоббировании решения в пользу выбора двигателя РД180. В качестве "обвинительного документа" используется письмо, адресованное вице-президенту Локхид Мартин Майклу Вину. Письмо подписано начальником Главного управления средств выведения и наземной инфраструктуры Роскосмоса А.Н. Кузнецовым и заместителем председателя Комитета по военно-технической политике Министерства обороны В.Н. Мироновым.

В письме проводится анализ перспектив использования рос-

сийских двигателей РД180 и НК-33 в американских космических РН "Атлас" и "Дельта" и отдавалось предпочтение двигателю РД180: "Ключевым вопросом является выбор фирмы изготовителя ракетного двигателя. Естественно российская сторона заинтересована в развитии производства двигателей в России, поэтому правительство России отдаёт предпочтение НПО Энергомаш, как разработчику и изготовителю перспективного в сравнении с НК-33 ракетного двигателя РД180". Далее авторы письма акцентировали внимание американской стороны на том, что количество имеющихся готовых двигателей НК-33 не обеспечит выполнение всей планируемой программы пусков РН "Атлас" и "Дельта" и потребуются их воспроизводство в России. Однако, по мнению авторов, "...при отсутствии поддержки российских правительственных органов (прежде всего - РКА и Минобороны) американские корпорации - участники тендера будут не в состоянии в течение трёх-четырёх лет разработать и организовать промышленное производство НК-33".

Лоббирование выбора двигателя РД180 очевидно. Но это было лоббирование государственных интересов. Об этом свидетельствует правительственное Распоряжение № 682Р от 23.05.95 г., которым поручалось НПО Энергомаш по заказам американских ракетно-космических компаний разработать ЖРД для поставки в США для использования в ракетах-носителях и подписать контрактные документы. Как участник организации работ по созданию РД180 могу утверждать, что ни А.Н. Кузнецов, ни В.Н. Мионов не имели личного интереса в выборе двигателя РД180. Нельзя заподозрить их и в чрезмерно благосклонном отношении к НПО Энергомаш. Выбор разрабатываемого двигателя РД180 в отличие от готового и уже проданного двигателя НК-33 давал возможность сохранить в России рабочие места и прогрессивные технологии на предприятиях и в организациях, участвующих в производстве двигателя РД180. И это получило подтверждение: кроме НПО Энергомаш в изготовлении двигателя РД180 принимают участие более сотни российских предприятий и организаций, сохранены тысячи рабочих мест. А российские противники выбора двигателя РД180 находятся в одном идеологическом стане с наиболее негативно настроенными к России американскими политиками и бизнесменами-конкурентами, требовавшими у Госдепартамента США не допускать заключения контракта на закупку компанией Локхид Мартин двигателей РД180, т.к. этот контракт оказывал поддержку ракетостроительной промышленности России и сокращал рабочие места в американских аэрокосмических фирмах. Остаётся только поздравить моих соотечественников с наличием у них заокеанских единомышленников.

Не обошлось и без поддержки и лоббирования двигателя НК-33 со стороны промышленных кругов и правительственных органов РФ и США.

Так, 9 октября 1995 г. премьер В.С. Черномырдин подписал Распоряжение № 1367Р, которым принималось предложение о сотрудничестве ОКБ Кузнецова с компанией "Аэроджет" в области применения российских двигателей НК-33 и НК-43, изготовленных в 1970 - 1972 гг. в американских РН "Атлас" и "Дельта", а также разрешалась продажа лицензии на производство этих двигателей в США после покупки не менее 12 таких двигателей. Не сидели сложа руки и сами участники конкурса. И НПО Энергомаш при поддержке компании "Гратт-Уитни", и ОКБ Кузнецова во взаимодействии с компанией "Аэроджет" стремились укрепить свои позиции, продемонстрировав работу российских ЖРД на стендах США: НПО Энергомаш во Флориде, ОКБ Кузнецова - в Сакраменто. За неимением двигателя РД180 НПО Энергомаш с разрешения правительства РФ использовало двигатель РД120 - вторая ступень РН "Зенит". Тип двигателя в этой операции не имел особого значения, главным было продемонстрировать компании Локхид Мартин и Госдепартаменту США способность НПО Энергомаш добиться у правительства РФ разрешения на доставку действующего ракетного двигателя в США.

Подготовка к проведению стендовых огневых испытаний вылилась в своеобразное "капиталистическое" соревнование. И в этой гонке первой к финишу пришла объединённая команда рабочих и

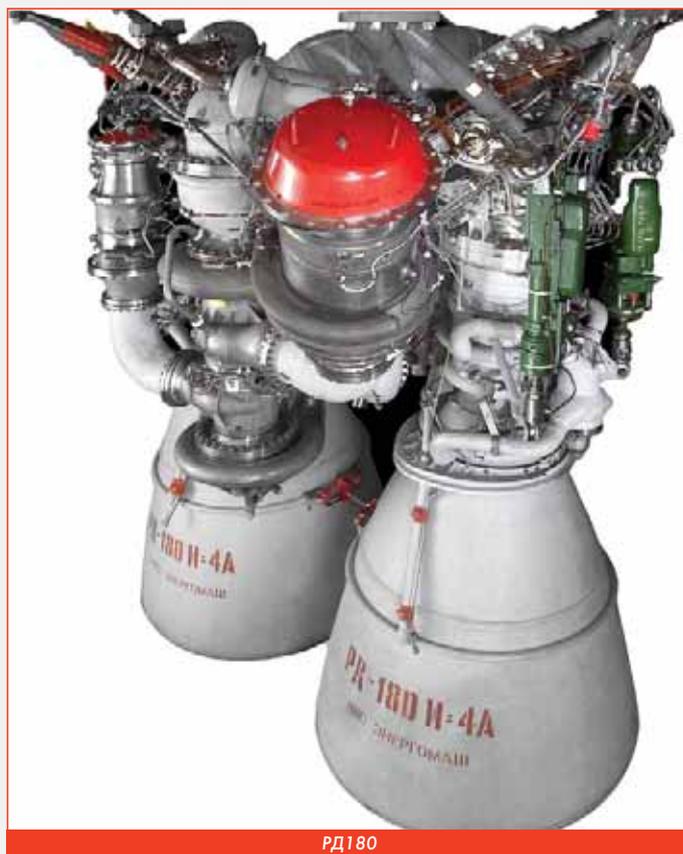
инженеров НПО Энергомаш и "Гратт-Уитни". Они дружно и интенсивно работали в две смены и обеспечили проведение первого огневого испытания российского ракетного двигателя РД120 на территории США 11 октября 1995 г. Конкурирующая пара - ОКБ Кузнецова и "Аэроджет" - отстала на неделю - первое огневое испытание НК-33 состоялось 17 октября 1995 г. Казалось бы, какое имеет значение, кто кого опередил на неделю в этом необыкновенном соревновании? Практически никакого, но побеждать всегда приятно. Чувство гордости и удовлетворения ощущали не только непосредственные участники этой работы, но и многие работники НПО Энергомаш, имеющие отношение к проекту РД180. В качестве утешения за проигрыш первенства в сроках проведения первых испытаний следует указать, что двигатель НК-33 прошёл 5 огневых испытаний, а двигатель РД 120 - только 3 кратковременных пуска.

Выше изложены некоторые попытки внешнего воздействия на выбор победителей в конкурсе двигателей. Они, возможно, и оказывали влияние на окончательное решение, но всё-таки были вторичными. Какие же исходные позиции конкурентов следует считать наиболее весомыми?

Доводы за выбор двигателя НК-33: низкая цена каждого двигателя, наличие готовых двигателей, запасов которых должно хватить на программу пусков в течение трёх-четырёх лет, технические характеристики двигателей соответствуют требованиям текущего времени.

Доводы против выбора: отсутствие практики лётной эксплуатации, "возраст" двигателей более 23 лет и с каждым годом он увеличивается, при организации воспроизводства двигателей после 25-летнего перерыва потребуются заново провести адаптацию конструкторской документации к современной нормативно-технической базе, технологическую подготовку производства, освоение технологии изготовления и проведения квалификационных испытаний агрегатов и двигателей в целом до начала их товарных поставок, а это приведёт к значительным затратам средств и времени и, неизбежно, к существенному повышению стоимости двигателя, а также может отрицательно сказаться на его надёжности.

Доводы за выбор двигателя РД180: по основным агрегатам и конструкции сборочных узлов и элементов двигатель РД180 на 75...80 % унифицирован с двигателем РД171, что позволяет про-



РД180

вести доводочные испытания по сокращённой программе, практически являющейся стендовой демонстрацией работоспособности двигателей. Использование отработанных технологий и опыта квалифицированных рабочих кадров на заводе, продолжающем изготавливать двигатели РД171, обеспечивает высокое качество и сохранение уровня надёжности, достигнутой при отработке и эксплуатации двигателей РД171.

Доводы против: требуются финансовые затраты на выпуск конструкторской и технологической документации на вновь разрабатываемые элементы двигателя, на изготовление дополнительной технологической оснастки, а также на проведение доводочных (демонстрационных) огневых испытаний. Стоимость одного двигателя РД180 будет существенно выше, чем у взятого из "запаса" двигателя НК-33, но соизмерима с ценой вновь изготавливаемого двигателя НК-33.

Приведённые "за" и "против" являются факторами, которые, по мнению автора, руководство компании Локхид Мартин могло учитывать при выборе двигателя для ракеты-носителя. Подлинная "кухня" выбора достоверно не известна. Однако мне представилась счастливая возможность узнать мнение представителей американской стороны о побудительных причинах сделанного выбора. И хотя это мнение работников "Пратт-Уитни", т.е. людей, не участвующих в обсуждении и не принимавших окончательное решение, но среднее звено инженерного состава "Пратт-Уитни" в какой-то мере было осведомлено о происходящих событиях в сфере выбора двигателя. Во всяком случае, это сведения от американской стороны и уже только это представляет интерес.

Для дальнейшего понимания излагаемых событий следует, видимо, рассказать о моём участии в организации совместных работ НПО Энергомаш и "Пратт-Уитни". После объявления в январе 1996 г. двигателя РД180 победителем конкурса на замену двигателя для РН "Атлас", 25 марта 1996 г. вышло Распоряжение правительства РФ № 467Р, которым поручалось НПО Энергомаш организовать совместно с "Пратт-Уитни" совместное предприятие (СП) для маркетинга и сбыта двигателей РД180. Неожиданно это Распоряжение сказалось на моей дальнейшей работе. Занимаясь в течение многих лет в должности заместителя главного конструктора НПО Энергомаш руководством конструкторского сопровождения производства двигателей на серийных заводах, а также участвуя в работах различных аварийных и межведомственных комиссиях, у меня накопился, как это было принято говорить в те времена, опыт работы "с внешним миром", т.е. с руководящим составом серийных заводов, НИИ, МОМ, ГУКОС и ГУРВО МО. Учитывая эту практику, генеральный директор НПО Энергомаш поручил мне возглавить со стороны НПО Энергомаш разработку организационных, уставных и программных документов СП. Для участия в составлении указанных документов мне в помощь были выделены ведущие специалисты. От американской стороны разработку документа по СП возглавил ведущий инженер проекта РД180, в зависимости от тематики составляемых документов от "Пратт-Уитни" в работах участвовали экономисты, финансисты, плановики, юристы, специалисты по маркетингу. Работали в России "вахтовым" методом: 2-3 недели напряжённой работы (с выходными днями, но вечерними переработками), затем перерыв на 8-10 дней. Отдельные специалисты НПО Энергомаш владели английским языком "со словарём", американцы вообще русского языка не знали, даже "международные" русские выражения им не были известны. Поэтому обе стороны пользовались услугами переводчиков, у каждой команды были свои. Работали плотно и ответственно, каждое предложение предлагаемого текста тщательно обсуждали, бывали затянувшиеся споры, но всегда находилось компромиссное решение. Мы были единомышленниками, разрабатывая документы совместного предприятия. Общая обстановка была доброжелательная, свободное время использовали для коллективного посещения баскетбольных и футбольных матчей, а также театров - американцы предпочитали балет, т.к. не было языкового барьера.

Рассказывая о сложившихся дружественных отношениях, я хочу убедить читателя в искренности мнений, изложенных американскими

специалистами компании "Пратт-Уитни" о причинах выбора двигателя РД180 победителем в конкурсе.

Обобщая мнения нескольких американских специалистов, следует отметить, что выбор руководством компании "Локхид Мартин" двигателя РД180 происходил в условиях возрастания конкуренции на рынке запуска космических аппаратов и одним из главных аргументов в конкурентной борьбе за получение заказа на осуществление пуска являлась надёжность средства выведения.

В этом плане сравнение двигателей РД180 и НК-33 показывало следующее.

По двигателю РД180.

1. ОКБ Глушко широко известно в мире как разработчик многочисленных высокоэффективных и надёжных ракетных двигателей.

2. В проекте двигателя РД180 предусмотрено заимствование из двигателя РД171 схемы и её основных агрегатов: камеры, газогенератора, агрегатов автоматики и органов регулирования. В ТНА используются конструкторские решения, заимствованные из двигателя РД171.

3. Изготовление двигателя РД180 будет вестись в НПО Энергомаш одновременно с двигателем РД171 по отработанным технологиям и опытным персоналом, что позволяет обеспечить высокое качество и сохранить достигнутый уровень надёжности.

По двигателю НК-33.

1. По заявлению представителей ОКБ Кузнецова, они занимаются разработкой ЖРД с 1959 г., но в лётной эксплуатации ни одного ЖРД, включая НК-33, не было.

2. ОКБ Кузнецова получило известность в истории ракетостроения в СССР как предприятие, чьи двигатели причастны к аварийным исходам пусков РН Н1.

3. Двигатели НК-33 изготовлены более 20 лет назад и определённая в процессе их изготовления работоспособность и надёжность в настоящее время могут быть подвержены сомнению. (Эту одну из основных технических претензий к двигателю НК-33 ОКБ Кузнецова в конце 90-х годов успешно устранило путём проведения демонстрационных многократных длительных испытаний, но это было уже после выбора двигателя).

4. Продажа двигателей НК-33 по цене 1 млн долларов, на порядок ниже стоимости ЖРД такого класса, вызывает сомнение в объявленном качестве и надёжности продаваемого по такой цене товара.

5. В условиях сложившейся конкуренции на рынке космических услуг заказчики пусков космических аппаратов предварительно изучают надёжность средств выведения. Использование в ракетеносителе двигателя НК-33, приобретённого в России по бросовым ценам и имеющим непривычно "преклонный" для ракетной техники возраст - более 20 лет - могут вызвать сомнения в успешном проведении пуска и заказчики "уйдут" к конкурентам.

Изложенные критерии и доводы в пользу выбора двигателя РД180, носили, в основном, технический характер. Меня же интересовала финансовая сторона - было очевидно, что использование уже закупленных двигателей НК-33 в первые годы эксплуатации будет значительно дешевле, однако был выбран более дорогой двигатель РД180. На это моё недоумение последовало разъяснение: стоимость двигателя РД180 составляет малую величину в общих затратах на изготовление всей ракеты-носителя и производство пуска и не только окупится надёжностью его работы в составе ракеты, но и станет фактором, привлекающим заказчика.

Разработка документов по организации СП велась в период, когда работники НПО Энергомаш получали зарплату с задержкой в 3-4 месяца. Предприятие работало в режиме сокращённой рабочей недели до 3-х дней. Контракт с Пратт-Уитни на совместную разработку двигателя был заключён в середине 1996 г., но на начальной стадии конструкторских работ авансовых платежей не хватало для содержания всего состава НПО Энергомаш, да и конвертация долларов в рубли велась по курсу того времени "1 доллар - 6 рублей". Работников пенсионного возраста в какой-то мере выручала пенсия, более молодые и предприимчивые уволились, оставшиеся как-то выкручивались. Ситуация, когда предприятие продолжает

функционировать, а работники длительное время не получают зарплату, вызывало удивление у наших американских партнёров: "Зачем же вы ходите на работу, если вам не платят деньги?". Наши маловразумительные объяснения не воспринимались американцами, сложившаяся в России ситуация не укладывалась в их менталитет. По-моему, она только подтверждала и укрепляла общеизвестное мнение иностранцев о загадочности русской души.

Нас выручило назревавшее, но всё-таки неожиданно произошедшее в августе 1998 г. резкое "падение" рубля, т.н. дефолт, в результате которого доллар подорожал до 30 рублей и при конвертации полученных от Пратт-Уитни долларов НПО Энергомаш стало получать в 5 раз больше рублей, чем это было до дефолта. У предприятия появилась возможность в течение 2 - 3-х месяцев погасить долги перед работниками. В последующие годы задержки с выплатой зарплат носили технический характер и составляли не более 3-4 дней.

Упомянув об участии в составлении документов по организации СП, считаю необходимым привести некоторые сведения из этих документов, имеющие принципиальное значение.

СП "РД АМРОСС" создано на паритетных началах ОАО "НПО Энергомаш" и "Пратт-Уитни" с вложением 50 % уставного капитала каждым учредителем. Первоначальные вклады были небольшие, практически символические. По настоятельной просьбе американской стороны СП зарегистрировано в США, в штате Делавэр, г. Уилмингтон. Главная задача СП - маркетинг и эксклюзивное право продажи кислородно-керосиновых двигателей типа РД180 по всему миру, кроме России, где ОАО "НПО Энергомаш" имеет право заключения контракта и прямой продажи двигателей для выполнения космической программы РФ.

Финансирование всех работ по созданию РД180 взяла на себя компания Пратт-Уитни. С российской стороны ни одного рубля, ни бюджетного, ни коммерческого не было затрачено. Американское финансирование велось в форме беспроцентного возвратного кредита, который постепенно погашался частью стоимости каждого поставленного в США двигателя. Такая форма финансирования работ позволяла сохранить в собственности НПО Энергомаш разработанные комплекты конструкторской и технологической документации двигателя РД180. СП "РД АМРОСС" являлось посредником - покупало двигатели у НПО Энергомаш, транспортировало их на арендованном самолёте "Антей" в США и там продавало компании Локхид Мартин. Половину стоимости двигателя получало НПО Энергомаш, вторая половина перечислялась Пратт-Уитни в счёт погашения кредита. Но и такое распределение стоимости двигателя не было убыточным для НПО Энергомаш. Исправно платились налоги, закупались материалы, вовремя выплачивалась зарплата. С таким распределением стоимости двигателя работали в течение нескольких лет. И только после полного погашения кредита НПО Энергомаш стало получать полную стоимость двигателя. Такая схема финансирования работ и погашения кредита породила множество слухов, излагаемых в различных российских печатных органах, причём практически все слухи не соответствовали действительному положению дел. Прослышав о получении ОАО "НПО Энергомаш" половины стоимости двигателя и не желая вникнуть в существо вопроса, злопыхатели утверждали, что НПО Энергомаш продёт американцам (!) российские (!) ракетные (!) двигатели за половину их себестоимости. А когда НПО Энергомаш, погасив кредит, стало получать полную стоимость двигателя, расценили это как реакцию на их критические выступления. Эти же авторы несколько ранее совершенно спокойно писали о том, что двигатели НК-33 были проданы по цене 1 млн долларов за двигатель. А ведь это были прямые и немалые финансовые потери для Российского государства в наиболее сложный в экономическом отношении период его существования. Значит дело не в экономике, авторы статей исходили из других позиций. Я не хочу углубляться в болото слухов о "порочной" коммерческой деятельности ОАО "НПО Энергомаш". В этих измышлениях столько "лапши" и "чернухи", основанных не столько на неинформированности, сколько на желании "потоптаться" на успешной деятельности предприятия, носящего имя В.П. Глушко.

После успешного завершения работ по созданию СП НПО Энергомаш продолжало осваивать внешнеэкономическую деятельность и рыночные отношения с российскими предприятиями. Дело было для всех новое, и порою случались интересные ситуации.

В июне 1997 г., во время проведения аэрокосмического салона во французском Ле-Бурже, руководство "Локхид Мартин" провело брифинг и официально объявило о подписании "Протокола о намерениях", которым извещалось о планах закупки в России в течение нескольких лет 101 двигателя РД180 на общую сумму 1 млрд долларов США. Неординарность сделки в области мощных ракетных двигателей между Россией и США и величина заявленной стоимости произвели сильное впечатление на собравшихся журналистов и представителей различных стран, участвующих в авиасалоне. Это я могу засвидетельствовать по личному наблюдению, т.к. присутствовал на этом брифинге. Информация о брифинге была подхвачена различными СМИ, в том числе и российскими. Интересным же в этой истории является реакция российских предприятий-поставщиков материалов и комплектующих изделий для производства двигателя РД180. Некоторые из этих предприятий вопреки уже заключённым с НПО Энергомаш договорам с фиксированной ценой буквально потребовали пересмотреть согласованные цены, конечно же, в сторону их увеличения. Мотив такого требования предельно прост: "У вас долларов теперь не меряно. Делитесь!". Разъяснения, что до получения этих долларов ещё нужно разработать двигатель, потом отладить производство и только после этого начать продажу двигателей, а протокол - это не контракт, он не имеет юридической силы, не привели к взаимопониманию. И только угроза обратиться в арбитраж заставила вернуться к имеющимся в договорах ценам.

Вообще контрактные цены на товарную продукцию или стоимость проведения работ имеют чувствительный характер. Однако и уклоняться от информации о цене двигателя РД180 было бы неправильно. Из "Протокола о намерениях" вытекает изначально предполагаемая стоимость двигателя - несколько менее 10 млн долларов США. После проведения всего объёма стендовой отработки была определена контрактная стоимость двигателя - исходная цена была увеличена примерно на 15...20%. В процессе товарного производства цена из года в год корректировалась с учётом роста цен на покупаемые материалы и инфляцию. В настоящее время цена двигателя существенно выше первоначальной, но поскольку является коммерческой тайной, в статье не приводится.

Завершив этим изложение некоторых экономических моментов из истории создания двигателя РД180, необходимо хотя бы кратко рассказать о технической стороне его разработки.

В связи с высокой унификацией конструкции двигателей РД180 и РД171 стендовая отработка проводилась на ограниченном количестве двигателей, при этом использовалась новая в практике НПО Энергомаш методика проведения доводки двигателей: каждый двигатель подвергался многократным огневым испытаниями без съёма со стенда, а затем, после переборки с целью контроля состояния деталей и узлов двигателя, программа



Установка РД180 в РН "Атлас-3"

огневых испытаний повторялась. В результате суммарная наработка восьми испытываемых двигателей составила 9913 с.

Завершением стендовой отработки двигателя РД180 стало проведение с мая 1998 г. по январь 1999 г. сертификационных испытаний: на двух двигателях проведено по 6 испытаний суммарной длительностью 2643 с.

Первый товарный двигатель РД180 был отправлен в США 2-го января 1999 г., первый пуск РН "Атлас-3" с двигателем РД180 состоялся 24 мая 2000 г.

В 2000 г. компания "Локхид Мартин" приняла решение использовать двигатель РД180 в более мощной ракете "Атлас-5". Отличия в эксплуатации двигателя в составе этой ракеты заключались в некотором форсировании режима и изменении "профиля" циклограммы работы. Для подтверждения возможности использования двигателя на этих режимах работы в период с февраля 2000 г. по декабрь 2001 г. были проведены сертификационные испытания. По программе этих испытаний на пяти двигателях проведено 23 испытания суммарной продолжительностью 5564 с. После завершения сертификационных испытаний двигателя РД180 используются только в составе РН "Атлас-5".

Тогда же, в начале XXI века, в конкурентной борьбе на рынке космических услуг у компании "Локхид Мартин" появилась острая необходимость использовать РН "Атлас" не только по коммерческим заказам, но и для пусков космических аппаратов по федеральной программе США. В обеспечение этой задачи руководство компании "Пратт-Уитни" решило организовать в США параллельное "второе" производство двигателей РД180. Для этого нужно было получить российскую лицензию на использование конструкторской и технологической документации двигателя РД180. Решение принималось на межгосударственном уровне и в сентябре 2002 г. правительство РФ разрешило НПО Энергомаш подписать лицензионное соглашение, а в декабре того же года в установленном в Рос-



Старт РН "Атлас-3"

сии порядке была оформлена лицензия на экспорт в США комплектов конструкторской и технологической документации двигателя РД180 в соответствии с лицензионным соглашением.

Получив техническую документацию, компания "Пратт-Уитни" начала технологическую подготовку к изготовлению двигателей. Однако от ведения производства двигателей вскоре отказались, т.к. реальные затраты на организацию такого производства по уточненным данным после детального знакомства с технологией производства, а также изготовления первых образцов некоторых агрегатов, превысили первоначальные оценки американских специалистов в несколько раз и не окупались бы закупками двигателей для выполнения перспективных космических программ. Получать готовые двигатели из России оказалось выгоднее во всех отношениях и для "Локхид Мартин", и для НПО Энергомаш, и для российских предприятий, участвующих в производстве двигателей РД180. НПО Энергомаш продолжает быть единственным изготовителем двигателей РД180, по состоянию на середину 2014 г. в США поставлено более 70 двигателей, из них в апреле этого же года состоялся 51-й успешный подряд пуск РН "Атлас" с двигателями РД180. В июне этого же года состоялся 52-й успешный пуск. Это выдающийся

технический результат и НПО Энергомаш по праву гордится им.

Я несколько увлѣкс изложением истории создания двигателя РД180, который, казалось бы, не имеет отношения к работам по РН Н1. Но это не совсем так. Двигатель был разработан в качестве конкурента двигателю НК-33 и в этом проявилась его причастность к теме Н1. Так что опосредованно можно считать, что двигатель НК-33 оказал влияние на дальнейшее развитие отечественного ракетного двигателестроения.

Посчитав эту ремарку извинением за несколько затянувшееся отступление от основной тематики, вернемся к истории "второй" жизни двигателя НК-33.

*(Окончание следует.)*

**ИНФОРМАЦИЯ**



**2 июля 2014 г.** совершил успешный полѣт демонстратор БЛА "ЦИАМ-рекорд" с первой энергетической установкой на топливных элементах пригодной по своим удельным характеристикам к применению на борту ЛА, полностью отечественной разработки. Топливная батарея для ЭУ разработана по техническому заданию ЦИАМ в Институте проблем химической физики РАН (Черноголовка), металлокомпозитный водородный баллон высокого давления (300 атм) - ООО "Элина-Т" (Зеленоград).

С учётом первых в России построенных ещё в 2010 г. БЛА "ЦИАМ 80" и "ЦИАМ 80-2" с энергоустановками на основе импортных водородных топливных элементов "Аэропак" сингапурской фирмы "Horizon" новый демонстратор является третьим успешным отечественным летательным аппаратом, энергия для полѣта которого вырабатывается электрохимическим генератором электрической энергии - топливным элементом.

В дальнейшем предполагается продолжение лѣтных испытаний де-

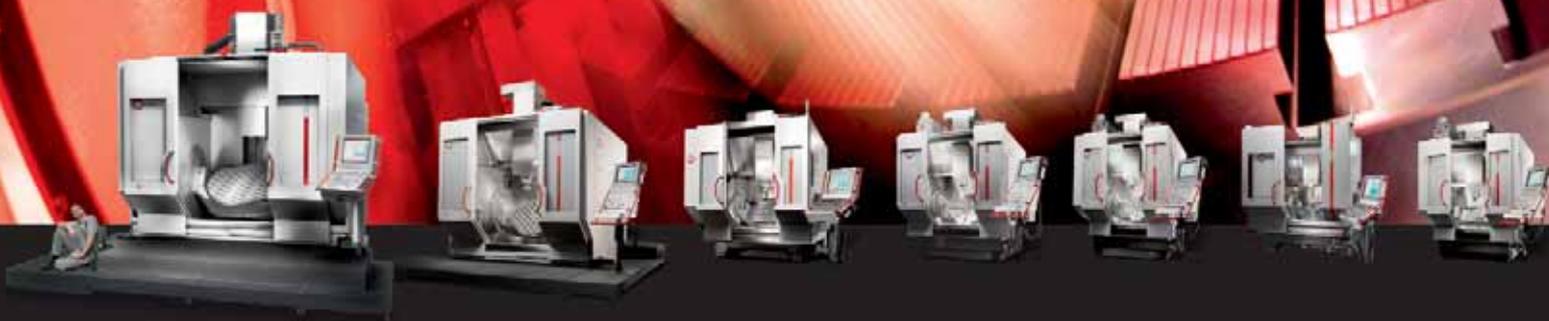
монстратора БЛА "ЦИАМ-рекорд" с целью достижения рекордной для мини-БЛА продолжительности полѣта. Для этого, правда, придѣтся решить целый ряд сложных технических вопросов: аппарату необходим водород высокой чистоты, сжатый до давления не менее 300 атм. С этим сейчас в России проблема. И хотелось бы, конечно, иметь на борту газовый редуктор полегче.

**Инф. ЦИАМ**



# Полный вперед!

с 2,5 тоннами в 5 осях



Фирма Hermle - ведущий изготовитель 5-осевых обрабатывающих центров - расширяет свою производственную программу: наши высочайшая точность, надежный сервис и компетентность в области автоматизации теперь позволяют обрабатывать заготовки весом до 2500 кг.

[www.hermle-vostok.ru](http://www.hermle-vostok.ru)

Представительство «Хермле ВДЭ АГ» в Москве · ул. Полковая д.1, стр. 6 · 127018 Москва, Россия · Тел: +7 495 221 83 68 · [info@hermle-vostok.ru](mailto:info@hermle-vostok.ru)



# ПО ТОРНОЙ ДОРОГЕ РАКЕТОСТРОЕНИЯ МЫ ШЛИ В НОГУ

ОАО "НПО Энергомаш им. академика В.П. Глушко":

**Вячеслав Фёдорович Рахманин**, главный специалист, к.т.н., лауреат Государственной премии СССР  
**Владимир Константинович Чванов**, главный конструктор, д.т.н., лауреат Государственных премий СССР и РФ

(Окончание. Начало в № 1, 2 - 2014)

Постановка на боевое дежурство стратегических ракет третьего поколения практически уравнивала ракетно-ядерный потенциал США и СССР. Но в сфере создания ракетного вооружения остановиться на достигнутых технических характеристиках в конце XX века означало отстать от вероятного противника если не в количестве боеголовок, то в обеспечении их доставки в цель, т.е. в возможности преодоления постоянно совершенствующейся противоракетной обороны (ПРО).

Учитывая эти обстоятельства, в конце 70-х годов в КБЮ были проведены проектно-конструкторские проработки новой МБР тяжёлого класса. Главной особенностью этой ракеты являлась её повышенная неуязвимость в условиях нанесения ядерного удара по позиционному району или на активном участке полёта. Новую ракету предполагалось создать путём модернизации последней разработки КБЮ - ракеты 15А18УТТХ. Для обеспечения нового качества требовалось провести комплекс работ по повышению стойкости всех систем и элементов ракеты, включая двигатель первой ступени, разработанный в КБЭМ. А это вызывало некоторую неуверенность - возьмётся ли КБЭМ за эту работу? В этот период времени КБЭМ (в отличие от 60-х годов) действительно было перегружено работами по созданию двигателей для первой ступени РН "Энергия" и для обеих ступеней РН "Зенит". О разработках этих двигателей будет изложено ниже, здесь же следует сказать, что создание РН "Зенит" и блока "А" для РН "Энергия" велось в КБЮ и его руководители имели полное представление о драматической ситуации в КБЭМ. Всё это так, но и оставить без повышения стойкости к воздействию поражающих факторов ядерного взрыва двигатель первой ступени было нельзя, это нарушало принцип равностойкости систем ракеты, а без выполнения этого требования создание новой ракеты теряло смысл.

Зондирование возможной реакции главного конструктора КБЭМ В.П. Радовского на предложение КБЮ участвовать в создании новой ракеты взял на себя И.Г. Писарев, имеющий дружеские отношения с В.Ф. Рахманиным. Он позвонил ему и объяснил сложившуюся ситуацию. Рахманин в тот период времени занимал должность зам. главного конструктора КБЭМ по серийному производству двигателей и курировал работы на ЮМЗ и в КБЮ. Проникшись важностью предлагаемых работ, Рахманин посоветовался с ведущими работниками серийного отдела, составил примерный

план выполнения предстоящих работ и доложил Радовскому о звонке из КБЮ и свои предложения по ведению предлагаемых работ силами серийного отдела. Под "клятвенное" заверение Рахманина не отвлекать на эти работы основные отделы КБЭМ кроме расчётного Радовский согласился на участие КБЭМ в разработке новой МБР, получившей впоследствии обозначение 15А18М (Р-36М2) и наименование "Воевода". Ещё одним условием Радовского было требование максимально локализовать сведения о проводимых работах в серийном отделе и, по возможности, не информировать об этом В.П. Глушко, т.к. тот на фоне трудностей с отработкой двигателя для РН "Энергия" мог воспротивиться проведению работ по МБР "Воевода".

Согласие на совместные работы с КБЮ было дано и в ноябре 1981 г. КБЭМ получило техническое задание на модернизацию двигателя, а в августе 1983 г. вышло правительственное постановление на разработку МБР 15А18М. Техническая документация была разработана в КБЭМ, экспериментальные двигатели изготавливались и испытывались на ЮМЗ при активном участии специалистов КБ-4 КБЮ. Стендовая отработка двигателя завершилась в 1986 г. На вооружение ракета 15А18М была принята в 1988 г. и до сих пор находится в эксплуатации.

Многие участники разработки ракеты были отмечены государственными наградами, среди них работник КБЮ ведущий конструктор ракеты С.И. Ус был удостоен звания Героя Социалистического труда, а зам. главного конструктора КБЭМ, ведущему конструктору разработки двигателя В.Ф. Рахманину присвоено звание лауреата Государственной премии СССР.

МБР 15А18М стала последней боевой ракетой, разработанной КБЮ совместно с КБЭМ. По своим боевым, эксплуатационным и энергетическим характеристикам эта ракета до сих пор является лучшей ракетой в мире в своём классе. На этом завершается наше



Один из двигателей первой ступени Р-36М2



МБР Р-36М2 (15А18М) "Воевода"



Доставка Р-36М2 к шахте



Установка Р-36М2 в шахту



МБР Р-36М2 в полете

изложение истории совместных работ КБ "Южное" и КБ Энергомаш по созданию ракет боевого назначения. Но не только в этой области работали эти предприятия. Заметный след они оставили и в истории создания космических ракет-носителей.

В новейшей истории принято называть 4 октября 1957 г. - дату запуска первого в истории человеческого общества искусственного спутника Земли - началом космической эры. Бесспорно, это так. Но "одна ласточка весны не делает".

Ракета среднего класса Р-7, используемая для запуска различных космических аппаратов, а затем и пилотируемых кораблей, не могла обеспечить возрастающие с каждым годом потребности в космических запусках. Для удовлетворения этих нужд нужны были ещё носители, желательнее относительно дешёвые в производстве и эксплуатации и в больших количествах. Эффективным решением этой злободневной задачи стало предложение руководства ОКБ-586 создать космический носитель путём установки второй ступени на находящуюся в серийном производстве одноступенчатую ракету. Так появилось первое в нашей ракетной технике конверсионное использование боевых ракет.

Первой космической ракетой, разработанной в ОКБ-586, стала двухступенчатая РН 11К63 или "Космос-2". В качестве первой ступени этой ракеты использовалась боевая ракета Р-12 (8К63), на второй ступени устанавливался разработанный в 1958-1960 гг. в ОКБ-456 двигатель 8Д710, работающий на топливе кислород и НДМГ. Состав топлива позволял получать самый высокий для двигателей открытой схемы удельный импульс тяги - 350 с. Этот двигатель разрабатывался для третьей ступени РН Р-7, но в связи с токсичностью горючего и задержкой наземной отработки на этой ракете не применялся.

Ракета 11К63 находилась в эксплуатации с 1962 г. по 1977 г. и успешно использовалась для запуска космических аппаратов по программам "Космос" и "Интеркосмос".

Во второй половине 60-х годов КБ "Южное" активно занималось созданием космических ракет на базе ранее разработанных боевых ракет семейства Р-36. Так, на базе ракеты 8К67 в течение 1964-1967 гг. была разработана двухступенчатая ракета 11К69, получившая наименование "Циклон-2", а в 1966 г. начались работы по созданию трёхступенчатой РН 11К68 ("Циклон-3"). Обе ракеты оснащены двигателями, разработанными в КБЭМ. В базовую конструкцию двигателей боевых ракет были внесены изменения, от-

ражающие условия работы двигателей в составе космических ракет.

Ракета 11К69 принята в штатную эксплуатацию в 1975 г., а ракета 11К68 - в 1980 г., обе успешно выполняли космические задачи до 2004 г.

В начале 70-х годов в советском космическом ракетостроении произошли существенные изменения. На фоне провала Лунной программы с использованием ракетно-космического комплекса Н1-Л3 В.П. Глушко разработал и предложил новую концепцию разработки космических ракет. В её основу он положил хорошо освоенную методику применения модульных двигателей. Сложившаяся практика комплектования каждой новой ракеты вновь разрабатываемыми двигателями приводила к существенным затратам времени и материальных средств на их создание. Концепция Глушко предусматривала разработку универсального модульного двигателя, который используется в качестве двигательного блока как единичного, так и для "связки" двигателей в ступень ракеты. Такие модульные двигатели последовательно проходят стендовую, а затем и лётную отработку в составе ракеты лёгкого класса, что существенно снижает стоимость их отработки. Напомним, что именно такой порядок работ был успешно использован при отработке ракеты Р-14 и Р-16.

Опираясь на эту концепцию, Глушко предложил разработать ряд космических ракет среднего, тяжёлого и сверхтяжёлого класса, позволяющих решать любые перспективные космические задачи. Эта программа развития советской космонавтики получила поддержку у политического руководства страны, и для её реализации было организовано НПО "Энергия", директором и генеральным конструктором которого в мае 1974 г. был назначен Глушко.

Первой в предложенном к разработке ряде ракет стала двухступенчатая РН "Энергия", на первой ступени которой устанавливались четыре модульных двигателя 11Д521 тягой у земли 740 тс каждый. Применение модульного двигателя было соблюдено, однако, для полной реализации концепции требовалось разработать вспомогательную ракету, на первой ступени которой устанавливался двигатель типа 11Д521. И такое решение было найдено.

В этот период времени КБЮ активно вело проектно-конструкторские проработки новых космических ракет от лёгкого класса 11К55 до тяжёлого класса 11К37. В процессе этих работ вышло предложение объединить идею создания модульного двигателя для



Подготовка РН "Космос-2" к старту на космодроме Капустин Яр



РН "Циклон-3"

РН "Энергия с разработкой КБЮ новой ракеты. Так в 1976 г. появился проект космической ракеты 11К77, получившей впоследствии наименование "Зенит".

Двигатели для этой ракеты - 11Д520 и 11Д123 на первой и второй ступенях - поручалось разработать КБЭМ. Рабочие параметры и технические характеристики этих двигателей традиционно для двигателестроительной школы академика Глушко были выбраны на пределе возможного достижения для того времени. Размерность двигателя 11Д520, его параметры и применение схемы с дожиганием кислородно-керосинового газа привели к длительной доводке, сопровождающейся многочисленными авариями. Традиционные для ЖРД сложности с обеспечением устойчивого горения в камерах сгорания к середине 70-х годов научились успешно преодолевать, но при разработке двигателя 11Д520 (11Д521) столкнулись с возгоранием конструкции кислородного насоса и тракта окислительного генераторного газа. В качестве одной из действенных мер для устранения возгорания, в среде конструкторов КБЭМ родилась идея разделения четырёхкамерного двигателя 11Д520 на четыре однокамерных МД-185. Для РН "Зенит" такая замена не вызывала трудностей, но переход от четырёхкамерного модульного двигателя к однокамерному приводил к установке на первой ступени РН "Энергия" 16 модульных двигателей вместо четырёх. Такое количество двигателей существенно снижало надёжность первой ступени, что получило подтверждение при аварийных пусках РН Н1. На недопустимость такого увеличения двигателей на РН "Энергия" неоднократно указывал Глушко.

Тем не менее, в отсутствие В.Ф. Уткина в КБЮ приняли решение с целью ускорения создания РН "Зенит" установить на первую ступень четыре двигателя МД-185. Компоновка этих двигателей в хвостовом отсеке проводилась с участием некоторых работников КБЭМ. Однако это решение Уткин отменил, пристыдив своих сотрудников за неверие в возможность отработки двигателя 11Д520 коллективом КБЭМ, который в течение многих лет успешно разрабатывал двигатели для КБЮ. И коллектив КБЭМ и на этот раз не подвёл своего многолетнего головного разработчика. Стендовые испытания



В.Ф. Уткин

двигателей обеих ступеней были успешно завершены, и 13 апреля 1985 г. состоялся первый пуск РН "Зенит".

В 1988 г. РН "Зенит" была принята в эксплуатацию. За создание двигателя второй ступени 11Д123 начальник конструкторского отдела, ведущий конструктор разработки двигателя В.К. Чванов был удостоен звания лауреата Государственной премии СССР. Учитывая большую трудоёмкость и высокую стоимость РН "Энергия" надёжность модульного двигателя для блока "А" этой ракеты продолжала отрабатываться на стенде и при лётной эксплуатации РН "Зенит". Такая методика позволила успешно провести 15.05.1987 г. и 15.11.1988 г. лётные пуски РН "Энергия", второй - в составе МКС "Энергия-Буран". За участие в разработке, изготовлении и испытаниях модульного двигателя первой ступени РН "Энергия" главный инженер завода Д.Д. Деркач, ведущий конструктор разработки двигателя М.Р. Гнесин и начальник отдела лётных испытаний Д.Е. Астахов были удостоены звания лауреатов Ленинской премии.

После развала СССР РН "Энергия" оказалась невостребованной, а РН "Зенит" продолжил лётную эксплуатацию как по российским космическим программам, так и по международной программе "Морской старт". НПО Энергомаш продолжает изготавливать и поставлять двигатели первой ступени, которые после проведения модернизации получили наименование РД171М. Двигатели второй ступени изготавливаются на ЮМЗ, конструкторы НПО Энергомаш регулярно проводят плановый авторский надзор на заводе-изготовителе. Ведутся совместные работы и по продлению сроков эксплуатации двигателей в составе ракеты "Воевода". На сегодняшний день этим, пожалуй, исчерпываются все совместные работы.

Время неумолимо сокращает количество ветеранов КБ "Южное" и НПО Энергомаш, совместно творивших историю советской ракетной техники. Чаще всего они встречаются на торжествах, посвящённых юбилейным событиям, и эти встречи воскрешают в памяти годы их молодости, горячие денёчки бурного развития самой современной и наукоёмкой техники.



Установка двигателя РД171М на РН "Зенит"



Пуск ракеты "Зенит-3SL" с пусковой платформы "Морского старта"



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ • INTERNATIONAL FORUM

**ТЕХНОЛОГИИ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ**  
ENGINEERING TECHNOLOGIES 2014

# ОБОРОНЭКСПО | 2014

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И ФОРУМ  
ВООРУЖЕНИЯ • ТЕХНОЛОГИИ • ИННОВАЦИИ

## ПОВЕРКА ОТРАСЛИ

## 13-17 АВГУСТА

**Оборонно-промышленный комплекс демонстрирует последние достижения на приоритетных направлениях**



Вооружение и техника ПВО.  
Ракетно-космическая техника.  
Высокоточное оружие.



Системы боевого управления и связи.  
Средства радиоэлектронной борьбы  
и информационной безопасности.



Средства разведки.  
Беспилотные летательные аппараты и комплексы.  
Роботы и робототехника.



Ракетные и артиллерийские системы и комплексы.  
Автобронетанковая техника и вооружение.  
Вооружение ВВС и ВМФ.



Инновационные материалы и технологии  
в оборонной промышленности.

*И многое другое, чем гордится сегодня ОПК...*

**ОРГАНИЗАТОРЫ**



МОСКВА • ЖУКОВСКИЙ  
АЭРОДРОМ РАМЕНСКОЕ • ТВК «РОССИЯ»

[www.oboronexpo.com](http://www.oboronexpo.com)

# РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ОТНОШЕНИЙ ЗАНЯТОСТИ МОЛОДЕЖИ

"Академия труда и социальных отношений":  
**Сергей Юрьевич Иванов**, доцент  
**Андрей Сергеевич Иванов**, научный сотрудник

*В статье рассматриваются региональные аспекты нестандартной занятости молодежи. Особое внимание обращается на роль субъектов социального партнерства в регулировании отношений нестандартной занятости. Предлагается комплекс мер по повышению уровня социальной защиты молодежи на региональном рынке труда.*

*The article focuses on the regional aspects of precarious youth employment. Particular attention is drawn to the role of the subjects of social partnership in the regulation of precarious employment relationships. Proposes a set of measures to improve the social protection of youth on the labor market.*

**Ключевые слова:** нестандартная занятость, молодежь, социально-трудовые отношений, трудовые траектории, рынок труда, договорные обязательства.

**Keywords:** non-standard employment, youth, social and labor relations, labor trajectories, labor market, contractual obligations.

В глобализирующемся мире диверсификация отношений занятости приобретает особое значение и превращается в одно из ключевых преимуществ конкурентоспособных отношений на региональных рынках труда. От нее во многом зависит способность региональных рынков труда приспосабливаться к изменяющейся ситуации. Безусловно, экономический рост приводит к установлению новых пропорций и новой сбалансированности в использовании рабочей силы в регионах. В контексте установления инновационных форм межрегионального взаимодействия происходит массовая индивидуализация форм, режимов и условий занятости, формируется новая структура трудовых траекторий молодежи. Гибкость используемых трудовых траекторий, профессиональная и социальная мобильность молодых, умение найти свое место в изменяющейся системе социально-трудовых отношений, безусловно, повышает не только уровень их конкурентоспособности, но и увеличивает трудовые риски.

И все же в ряде регионов продолжает сохраняться дисбаланс спроса и предложения рабочей силы, имеет место нехватка местных трудовых ресурсов, несоответствие объемов и профилей подготовки выпускников потребностям рынка труда, дефицит рабочей силы в отдельных отраслях экономики. Наблюдаемая в регионах диверсификация отношений занятости во многом является следствием неустойчивой национальной экономики, недостатка финансово-экономических ресурсов у предприятий, задержки выплаты заработной платы и ее невысокий уровень, отсутствия гибкой системы государственного регулирования занятости, скрытой безработицы и т.д. Диверсификация занятости, особенно в ее "неформальных" формах (неполная занятость, сверхурочная занятость, временная занятость, занятость на основе гражданско-правовых договоров, занятость на основе лизинга и др.), может негативно влиять на развитие человеческих ресурсов, защиту прав и интересов молодежи на рынке труда. В российской экономике "неформальная" занятость нередко приобретает формы ухода от легальных трудовых практик, "экономии" работодателями издержек на персонал. Зачастую она приводит к серьезной деформации социально-трудовых отношений.

Не стоит забывать, что специфические возможности, связанные с особенностями модернизируемой экономики, позволяют некоторым предприятиям интенсивно использовать стихийные формы занятости, обеспечивающие их успешную адаптацию к текущей ситуации. Несомненно, неполная занятость позволяет предприятиям удержаться "на плаву" и в ряде случаев сохранить квалифицированный персонал. Особенно это актуально, когда речь идет о градообразующих предприятиях, мо-

нопрофильных поселениях, военно-промышленных комплексах. И другое дело, когда региональный менеджмент сознательно пытается оправдать свою неэффективность.

Оценка складывающейся ситуации в сфере занятости пока вызывает, что её нестандартные формы в региональном разрезе во многом носят системный характер. Низкий уровень официальной заработной платы и социальной защиты заставляют молодых людей искать иные формы дохода, перемещаться между различными регионами. Не исключением являются случаи, когда трудоустраиваемая местная молодежь зачастую предоставлена сама себе и вынуждена искать место работы самостоятельно в меру своих представлений и возможностей. Практически юноши и девушки демонстрируют терпимое отношение к неформальным и теневым формам занятости. В то же время приходится констатировать исключение полной зависимости молодежи только от государственного сектора занятости.

Несмотря на предпринимаемые органами региональной власти меры по секвестированию и легализации теневого сектора занятости молодежи, он не исчез. По оценкам экспертов, теневой сектор российской экономики составляет приблизительно 15..20 % от ВВП, а потери доходной части бюджета из-за ухода бизнеса в тень - примерно 3 трлн руб [1]. Практически нестандартные формы занятости для работодателей не являются чрезмерной экономической нагрузкой на работодателей. В определенной мере они для них предпочтительнее и экономически оправданы.

Не секрет, что на "нестандартных" рабочих местах чаще всего работают представители социально-незащищенных групп молодежи. Нестандартно занятая молодежь существенно проигрывает занятым в режиме полного рабочего дня по уровню заработ-



ной платы, стабильности занятости, уровню социальной защиты.

Несмотря на имеющиеся ограничения, как считают профильные эксперты, навряд ли в ближайшее время удастся переломить ситуацию. Отраслями преимущественного распространения неформальной занятости молодежи чаще всего выступают: торговля, общественное питание и строительство. При этом большая часть неформально занятых аккумулируется в крупных городах. Наибольшая доля таких работников наблюдается среди местных жителей (60 %), далее идут представители стран ближнего зарубежья (25 %) и жители других регионов РФ (15 %). Складывающаяся отраслевая структура неформальной занятости свидетельствует о том, что осуществляемая в последнее десятилетие модернизация связана с "уходом" государства из традиционных сфер занятости [2, 3].

Встречающиеся сегодня в регионах неправовые практики молодежной занятости нередко связаны с наличием целой группы факторов риска, в их числе: нестабильная социально-экономическая ситуация; рассогласование движения рабочей силы и инвестиционных потоков; несоответствие профессионально-квалификационной структуры спроса и предложения рабочей силы; слабый корпоративный менеджмент; размывание института адаптации молодежи к рынку труда; недостаточность существующих социальных гарантий занятости и практически платности многих официальных бесплатных услуг для молодежи; высокий уровень фактической безработицы в молодежной среде; снижение социальной ответственности работодателей.

Ситуация обостряется и трудностями личного плана, с которыми сталкиваются некоторые менее успешные молодые люди: барьеры при получении образования, невысокий уровень материального положения в семье, неудовлетворительный социально-психологический климат в семье и т.д. Зачастую низкий уровень начальной заработной платы заставляет молодых работников переориентировать свою трудовую активность и обращаться к дополнительной занятости, уезжать из регионов. Практически можно говорить об укоренении различных форм нестандартной занятости среди региональной молодежи. При этом не всегда проблемы могут быть решены в другом регионе, конфликтность может проецироваться и на межрегиональном уровне.

С другой стороны, нестандартная занятость существенно уменьшает социальную мобильность молодежи. Причины тому обусловлены складывающимся существующим миграционным порядком, спецификой обеспеченности жильем, ментальностью отдельных групп населения, недостаточной профессиональной мобильностью.

Свобода работодателей в использовании труда молодежи, в том числе студенческой, и неограниченное применение "неформальных трудовых договоров", гражданско-правовых контрактов снижает уровень социальной защиты человека труда, делает социально-трудовые отношения менее предсказуемыми.

Интересно отметить, что трудовые траектории нестандартной занятости молодежи во многом определяются доминирующими мотивами. Зачастую доминанта материальной мотивации при отсутствии необходимого профессионального опыта может нивелировать любые демпинговые условия, предоставляемые работодателем.

Интерес представляют результаты анкетного опроса, проведенного Центром социологических исследований Института профсоюзного движения ОУП ВПО "АТиСО" при участии и под руководством авторов "Трудовая адаптация студенческой молодежи" (2012-2013 гг.). Всего в опросе приняло участие 649 студентов выпускных курсов гуманитарных и технических вузов Москвы. Репрезентативность социологического исследования обеспечивалась моделью стратифицированной выборки с квотным отбором единиц наблюдения. Точность выборки +1 %.

Данные опроса фиксируют достаточно высокий процент опрошенных молодых людей, которые совмещают работу и учебу. Примечательно, что по оценкам ИС РАН (2010 г.), исследовавших вторичную занятость в целом по РФ, более 39 % студентов



старших курсов так или иначе работают. Причем большая часть неработающих студентов старшекурсников согласились бы на работу, если бы им удалось ее найти [4]. Практически все студенты, которые искали дополнительный заработок, нашли его, в том числе и те, кто обращался в службу занятости. Общее количество неработающих студентов выпускных курсов достаточно небольшое.

Так, в ходе анкетирования респондентов просили ответить на вопрос: "Если Вы работаете, то что к этому Вас побуждает?" Ответы респондентов распределились следующим образом.

Причины, заставляющие студенческую молодежь работать, в % опрошенным	
Оценочные позиции	Всего
1. Необходимость обеспечивать себе средства к существованию	25
2. Желание иметь свои личные деньги	23
3. Желание лучше овладеть изучаемой профессией	11
4. Работа позволяет устанавливать контакты и налаживать связи, которые могут пригодиться	11
5. Надо помогать родителям	10
6. Желание быть среди интересных людей	6
7. Необходимость платить за учебу	5
8. Необходимость обеспечивать собственную семью	5
9. Надо платить за жилье	3
10. Другое	1

Таблица 1

Примечательно, что каждый четвертый респондент указал на то, что работает из-за необходимости обеспечивать себе средства к существованию. 23 % обосновывали необходимость работы желанием иметь свои личные деньги. Значимая доля респондентов указывала на мотивацию, непосредственно связанную с будущей профессией: "лучше овладеть изучаемой профессией", "востребованность в профессиональной сфере", "приобретение опыта работы", "установление деловых связей" (22 %).

Как можно заметить, значимая доля молодежи связывает свою работу в первую очередь с необходимостью поддержания своего материального положения, и лишь во вторую очередь - с повышением своего профессионального уровня.

Очевидно, что при недостаточно высокой конкурентоспособности молодежи на рынке труда, замедления темпов социально-экономического развития юноши и девушки вынуждены искать наиболее приемлемые формы нестандартной (вторичной) занятости, которые позволяют обеспечить достойный уровень жизни. Причем приоритетная установка на достижение материального благополучия часто является основной причиной заниженной профессиональной адаптации и ростом безработицы среди молодежи.

Данные опроса позволяют выделить особенности современной профессиональной подготовки студенческой молодежи, а также установить связь "работы и учебы". Практически отмечаемая "суженная" стратегия профессионального становления не может расцениваться как положительная тенденция в профессиональном самоопределении молодежи. Симптоматично, что в числе причин вторичной занятости отмечаются следующие: "сразу не планировали работать по специальности", "не могли

найти соответствующую работу по специальности".

В то же время можно констатировать, что спрос молодежи на "стандартные" формы трудовых отношений носят ограниченный характер. Во многом это связано с тем, что государство не всегда содействует вступлению молодежи на рынок труда. При этом главной причиной наличия нестандартной занятости остается неадекватность законодательной базы в данной области.

Многие проблемы по адаптации молодежи на рынке труда перекладываются на непрофильные социальные институты, в том числе в сфере образования. Практически оказались разрушенными структуры, которые отвечали за интеграцию молодежи в трудовую жизнь. На этом фоне существующие "общественные" формы работы с молодежью оказываются малорезультативными. Преимущества российского образования: фундаментальность, системность, индивидуальный подход, разнообразие образовательных учреждений и программ практически размываются ориентацией на коммерческий успех и эффективность.

Несомненно, организация эффективной занятости молодежи в разрезе проводимой регионами социально-экономической политики - сложная и многоплановая задача, которая находится на стыке интересов бизнеса, профсоюзов и государства. Ими в этом направлении проводится большая работа. Осуществляемое сегодня партнерское взаимодействие ведется по различным направлениям, в их числе: социально-трудовая адаптация молодых людей; профессиональная подготовка и повышение квалификации; профессиональная ориентация; профессиональное обучение; организация профессиональной консультационной работы и т.д. Однако этих мер явно не достаточно.

Очевидно, что удовлетворение потребностей современной региональной экономики в рабочей силе должно осуществляться путем привлечения специалистов из других регионов, развития внутренней трудовой миграции, оптимизации иностранной рабочей силы. Значимость в современных условиях приобретают профилактические меры по формированию трудовых траекторий молодежи. Отдельно социальным партнерам в рамках классического образования стоит предусмотреть программы по профессиональной адаптации будущих специалистов. Анализ текущей ситуации показывает, что дефицитом являются и мероприятия по выявлению неиспользованных способностей молодежи, вовлечения их в более разветвленную систему разделения труда и легализации занятости.

Многочисленные исследования показывают, что потенциал государственного сектора занятости молодежи носит ограниченный характер. Затруднительным является оценка эффективности затрачиваемых средств на подготовку специалистов, а также статистического учета положения молодежи на рынке труда. Поэтому перспективы видятся в создании единой базы данных занятости различных категорий слабозащищенной молодежи.

Целесообразным является более широкое использование практики заключения трехсторонних договоров "вуз - студент - организация". Имеются все основания полагать, что этот менее затратный вариант будет особенно востребован в условиях нестабильной экономики. На наш взгляд, стоит существенно увеличить государственные субсидии на подготовку молодежи и осуществлять ее на самих предприятиях. Укрепление связей сообщества работодателей с системой профобразования, центрами содействия трудоустройству позволит сократить существующий в регионах дисбаланс спроса и предложения на рынке труда.

Все вышеперечисленное позволяет говорить о необходимости проведения государством активной политики на рынке труда. Однако из выделяемых сегодня региональными бюджетами средств на ее реализацию явно недостаточно. В этой связи важно увеличить финансирование системы среднего профессионального образования, в особенности обновления учебно-производственной базы. Заметим, что сегодня решение этих проблем отдано на откуп и без того перегруженной системе высшего образования, что безусловно, не может приносить ожидаемый эффект.

Очевидно, что в современных условиях необходимо обеспечить гибкие региональные рынки труда, не только чтобы предлагать рабочие места выпускникам школ, но и сделать так, чтобы первое временное рабочее место можно было рассматривать как переходный этап к более стабильной работе. Особенно важным здесь является мотивированное участие самих работодателей, их материальная заинтересованность, например, через уменьшение налоговой нагрузки на бизнес. Учитывая, что многие из них все еще не уверены в том, что будут нанимать достойных молодых специалистов, актуальными также являются субсидии, которые могут стимулировать работодателей нанимать низкоквалифицированных безработных молодых людей. В то же время на законодательном уровне следует проработать инициативы по закреплению прав и гарантий молодых в части гарантированного рабочего места и распределения.

Приоритет нами видится в развитии практики совмещения работы и учебы молодежи, как это используется, например, в ряде стран: США, Швейцарии, Голландии.

Нестандартная занятость во многом связана с невыполнением работодателями ряда партнерских обязательств по обеспечению достойных условий и эффективности труда. Встречающиеся нарушения договорных обязательств, практически стали нормой для российского рынка труда. К этому добавляется то, что социально-трудовые договоры носят по времени ограниченный характер и практически усекают горизонт принимаемых управленческих решений.

Вполне очевидным шагом здесь является повышение качества посреднических услуг, а также эффективности государственного и профсоюзного контроля в отношении устройства молодежи на работу, в особенности наименее защищенных категорий, обладающих низким потенциалом трудоустройства.

Для того чтобы не допустить снижения уровня жизни молодых людей и сползание их в сектор атипичной занятости чрезвычайно важно распространить на них действие комплексной системы социальной защиты. В этой связи можно отметить меры по выделению дополнительных средств из федерального и регионального бюджета для того, чтобы выплачивать дополнительное пособие по безработице лицам с небольшим трудовым стажем, включая молодежь [5].

Качественный прорыв в разрешении проблем, связанных с нестандартной занятостью молодого поколения, можно достичь и на основе государственного субсидирования инновационного предпринимательства с учетом реализации современных стандартов ответственного ведения бизнеса, развития новых механизмов реализации прав собственности.

Перспективы видятся в использовании международной правоприменительной практики. Однако во многих странах уже приняты соответствующие законы, позволяющие регулировать нестандартную занятость и защищать права нестандартно занятых работников. В российском трудовом законодательстве на работодателя, к сожалению, не возлагается ответственность за сохранение переводимым в режим неполного рабочего времени установленной заработной платы, к примеру, в объеме пропорциональном сокращению продолжительности рабочего времени.

Гибкое сочетание стандартной модели социально-трудовых отношений работников с обеспечением их защищенности, участвующих в нестандартных формах занятости, находит свое отражение в международном праве. В частности, в Конвенции МОТ № 181 допускается регулирование трехсторонних отношений. В документе устанавливаются общие правила регулирования отношений между пользователями заемного труда, агентствами и работниками.

Принятая в 1997 г. МОТ Рекомендация № 188 "О частных агентствах занятости" содержит положение о том, что работникам в соответствующих случаях должен предоставляться трудовой договор, в котором определяются условия работы. При этом работник должен быть обязательно проинформирован об условиях труда прежде, чем он приступит к работе [6].

Вместе с тем в российском законодательстве, наряду с практическими проблемами оформления заемного труда, нерешены проблемы, связанные с повышением ответственности как частных агентств занятости, так и самих работодателей при использовании заемного труда. Заметим, что в Конвенции МОТ № 181 декларируется как ответственность, так и санкции. К числу последних, например, относится запрет частных агентств занятости. Заметим, что профсоюзная сторона неоднократно выступала с законодательными инициативами об ограничении практики заемного труда.

И еще один важный момент, связан с тем, что сегодня все больше и больше молодых людей выходят из официальной статистики по найму рабочей силы. В этой связи, как мы считаем, социальным партнерам необходимо существенно расширить линейку показателей занятости молодежи. **!**

**Литература**

1. Чиновники взялись за теневой сектор [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.vedomosti.ru/finance/news/17268881/400-mlrd-rub-ili-za-reshetku#ixzz2t5bkVwAs>

2. Социология неформальных отношений: экономика, политика, культура / Коллективная монография под редакцией В.А. Давыденко - Тюмень: Тюменский государственный университет. Кафедра экономической социологии. Изд-во "Вектор-Бук". 2005.

3. Синявская О.В. Неформальная занятость в современной России: измерение, масштабы, динамика [Текст]/ О.В. Синявская. -М.: Pomatur, 2005.

4. Родионова А.В. Позитивные и негативные аспекты трудовой занятости российских студентов - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.civisbook.ru/files/File/Rodionova.pdf>

5. Работа для молодых [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://oecd.ru/zip/Jobs.for.Youth.pdf>

6. Кривой Я.В. К вопросу о легализации заемного труда [Текст] / Я.В. Кривой //Гарантии реализации прав граждан в сфере труда и социального обеспечения. Практика применения трудового законодательства и законодательства о социальном обеспечении. - М., 2006. - С. 441.

Связь с автором: [enwalker@bk.ru](mailto:enwalker@bk.ru)

**ИНФОРМАЦИЯ**

Компания Jaguar Land Rover объявила о подготовке к выпуску нового семейства двигателей Ingenium - легких дизельных и бензиновых двигателей с турбонаддувом, обеспечивающих низкий уровень выбросов вредных веществ. Двигатели будут отличаться лучшими в классе показателями крутящего момента, мощности, а также уровня шума и вибраций.

Блоки для двигателей семейства Ingenium предполагается изготавливать из алюминиевых сплавов. Эти блоки имеют одинаковый диаметр цилиндра, ход поршня, межцилиндровое расстояние и рабочий объем одного цилиндра, равный 500 куб. см.

В конструкции применена технология снижения трения. В первом двигателе Ingenium, который пойдет в серийное производство, а именно в дизельном моторе AJ200D рабочим объемом 2,0 л трение уменьшено на 17 % по сравнению с текущими аналогами. Все

двигатели линейки Ingenium оборудованы системой центрального непосредственного впрыска топлива высокого давления, а также системой регулировки фаз газораспределения и технологией "старт-стоп". Двигатели пройдут испытания, эквивалентные 8-летнему циклу, в которых предусматривают различные тесты на прочность и долговечность, включая 72 000 ч на динамометрическом стенде и почти 4 млн км пробега по дорогам.

На разработку новых технологий, включая семейство двигателей Ingenium, компания Jaguar Land Rover инвестировала 40 миллионов фунтов в развитие инженерного центра в Уитли. **!**



# XIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2014

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

# 18 - 21 НОЯБРЯ

**ОРГАНИЗАТОР**  
Международный выставочный центр

**ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:**  
Министерства промышленной политики Украины  
Украинской Национальной Компании "Укрстанкоинструмент"

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

## ФАБРИКА ОФСЕТНОЙ ПЕЧАТИ



# 5

красок  
за 1 прогон



## САМОЕ



современное  
печатное  
оборудование  
из Японии



ТИРАЖИ  
от **250** экз.



**УНИКАЛЬНЫЕ**  
ТЕХНОЛОГИИ  
ПЕЧАТИ И ОТДЕЛКИ

## ОТДЕЛКА



**ОТРИСКОВ**  
трафаретной  
печатью

г. Москва, ул. Авиамоторная, д.2  
Тел. (495) 362-1079,  
362-2072, 745-0820

После 20 лет успешного производства полиграфической продукции наша типография выходит на рынок дизайнерских мыслей с воплощением их в изделия, отвечающие требованиям времени.

От простого и строгого дизайна до изысканий, присущих только душе художника. **Печать малых тиражей** (от 200 экземпляров) традиционным офсетным способом.

**Пятикрасочные журналы по цене четырехкрасочных.**

Печать не только яркой рекламной продукции, но и создание высокохудожественных альбомов современной живописи и скульптуры.

Все это возможно благодаря запуску суперсовременной печатной машины японского производителя **KOMORI**, обеспечивающей превосходное качество печати и наивысшую производительность.

**На вашу рекламу никто не обращает внимание?**

Мы предложим вам совместить офсетную печать с надпечатками матовыми трафаретными красками, поможем выбрать УФ лак (с голографическими блестками, рельефный, люминесцентный...), чтобы украсить обложку, и конкуренты будут вам завидовать!



 **Печать малых тиражей (от 200 экземпляров)**

 **Пятикрасочные журналы по цене четырехкрасочных**

 **Машины японского производителя KOMORI**

 **Надпечатка трафаретными красками**

Мы будем рады услышать вас!

Тел.: (495) 362-10-79,  
(495) 362-20-72

**Стоимость изготовления полноцветного буклета А3**

тиражом 200 составляет 4800 руб  
тиражом 500 составляет 5400 руб  
тиражом 5000 составляет 16400 руб  
тиражом 10000 составляет 25800 руб  
тиражом 20000 составляет 43800 руб  
тиражом 30000 составляет 61500 руб  
тиражом 50000 составляет 93000 руб

**Стоимость изготовления полноцветного журнала объемом 100 страниц, включая обложку**

тиражом 200 составляет 72000 руб  
тиражом 500 составляет 81200 руб  
тиражом 1000 составляет 94800 руб  
тиражом 3000 составляет 212400 руб  
тиражом 5000 составляет 298200 руб  
тиражом 10000 составляет 481800 руб

**Постпечатная отделка УФ лак А2/А3 (1+0)**

5000 экз. всего 10500 руб  
20 000 экз. всего 33000 руб  
50 000 экз. всего 82500 руб



# ЛЕДОКОЛЫ РОССИИ

## АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ

### “ЛЕНИН”

**Виктор Сергеевич Шитарёв,**  
капитан дальнего плавания

(Продолжение. Начало в 1, 2 - 2014)

Применение на ледоколе в качестве парогенератора атомного реактора определило основные принципы, положенные в основу проекта ЭУ в целом, состав механической установки и характеристики оборудования. Новизна проектируемой ЭУ, а также особенности её эксплуатации на ледоколе заставили подчинить основные решения обеспечению необходимой прочности, надёжности и долговечности. Для обеспечения этих требований особое внимание было уделено вопросам резервирования оборудования. На ледоколе было установлено три автономных атомных реактора, два из них обеспечивали работу главных турбин с нагрузкой около 80 %. Установка трёх реакторов со значительным запасом по паропроизводительности при трёх гребных винтах и четырёх главных турбогенераторах позволила отказаться от каких-либо резервных средств движения ледокола.

Для обеспечения бесперебойной подачи конденсата, охлаждающей воды и масла соответствующие насосы имеют стопроцентный резерв. Парогенераторы получают питание от параллельно работающих питательных насосов, так что в случае аварийной остановки одного из них остальные автоматически увеличивают производительность до необходимого уровня.

Питание энергетической установки электроэнергией осуществляется от двух автономных турбогенераторных электростанций. Для получения электроэнергии в период разводки и расхолаживания реакторов предусмотрен резервный дизель-генератор и в качестве аварийного источника электроэнергии для важнейших потребителей два аварийных дизель-генератора с автоматическим запуском.

Для обеспечения бытовых нужд судна паром при бездействующей атомной парогенераторной установке предусмотрена вспомогательная установка из двух водотрубных котлов на жидком топливе.

Атомная парогенераторная установка обусловила необходимость применения ряда специальных механизмов и устройств. Для обеспечения высокой маневренности энергетической установки ледокола, с учётом повышенной инерционности парогенераторной установки, создана специальная система автоматического травления избытков пара на главные конденсаторы. Для предохранения последних от повреждения в составе системы травления предусмотрены дроссельно-увлажнительные устройства, осуществляющие снижение давления и температуры стравливаемого пара. Охлаждённый в специальных пароохладителях пар непосредственно к общесудовым потребителям не подаётся, а поступает в специальные генераторы бытового пара-испарителя третьего контура.

Такая схема полностью устраняет возможность попадания в бани, души, прачечные, систему отопления и кондиционирования воздуха греющего пара, загрязнённого радиоактивными продуктами, в случае аварийного нарушения герметичности парогенераторов и попадания в цикл "пар - конденсат" теплоносителя первого контура.

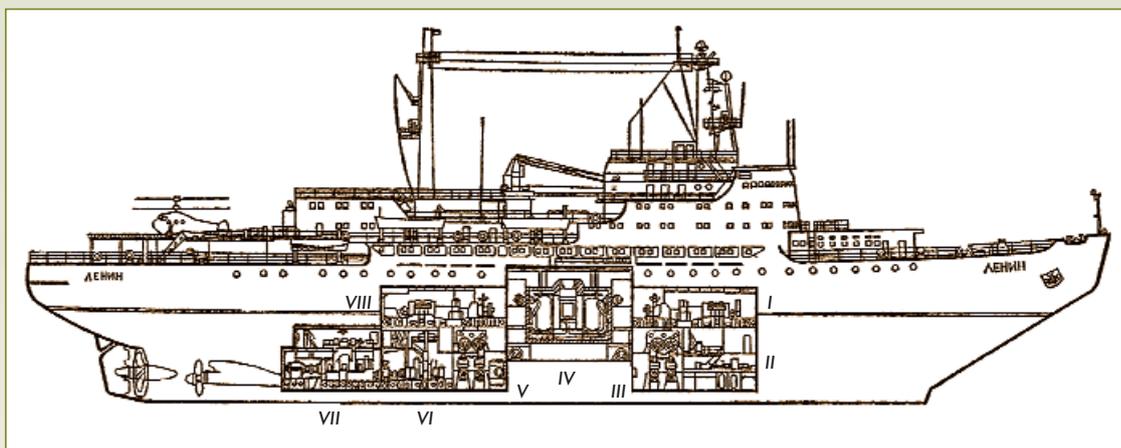
Характерные для атомной парогенераторной установки значительные остаточные тепловыделения после выведения установки из действия потребовали создания специальной системы расхолаживания. Конденсатор-охладитель этой системы используется также для сброса воды и пара при разводке парогенераторной установки и травления избытков пара на стоянке при бездействующих главных конденсаторах.

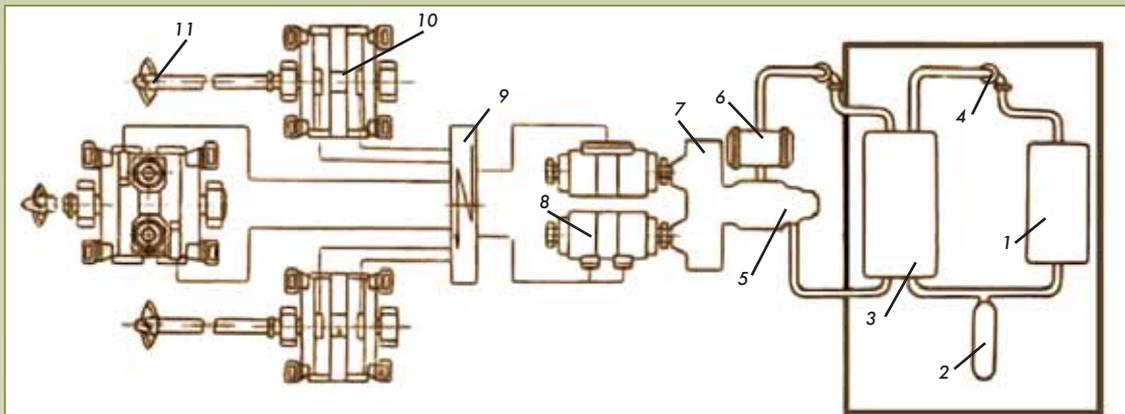
Механическая установка размещена в нос и в корму от отсека парогенераторной установки. Расположение механического оборудования носовой группы, включающее помещение главных турбогенераторов, отделение вспомогательных механизмов и носовую электростанцию выполнено двухъярусным I, что позволило сократить длину машинных отделений и основных магистралей, а также улучшило условия работы основных насосов благодаря увеличению подпора на всасывающих патрубках.



Макет атомной парогенераторной установки АЛ "Ленин"

Схема расположения энергетических помещений АЛ "Ленин":  
I - турбогенераторное отделение;  
II - носовая электростанция;  
III - носовое отделение вспомогательных механизмов;  
IV - атомная парогенераторная установка;  
V - кормовое отделение вспомогательных механизмов;  
VI - отделение бортовых электродвигателей;  
VII - отделение среднего электродвигателя;  
VIII - кормовое турбогенераторное отделение





Первая главная энергетическая установка ледокола "Ленин". На ледоколе установлены три реактора 1 со стабилизаторами давления 2 в первом контуре. Замедлителем и теплоносителем служит обычная вода под давлением около 200 атм. Вода реактора подается в парогенераторы 3 при температуре около 325 °С циркуляционными насосами 4. В парогенераторах получается пар второго контура давлением 29 атм и температурой 310 °С, который приводит в действие четыре паровых турбогенератора 5. Отработавший пар проходит через конденсаторы 6. Реакторы, парогенераторы и насосы активной зоны окружены защитой из слоя воды и стальных плит толщиной 300...420 мм. 7 - редукторы. 8 - электрогенераторы. 9 - система распределения электроэнергии. 10 - гребные электродвигатели. 11 - винты

Главные турбогенераторы расположены по два в двух турбогенераторных отделениях на нижней палубе. Под турбогенераторами на платформе размещены их конденсаторы, а в трюме - вспомогательные механизмы и испарительные установки.

Вспомогательные электрогенераторы установлены в двух автономных электростанциях. Носовая электростанция расположена в трюме под главными турбогенераторами; кормовая электростанция - на платформе под валопроводами. В носовой электростанции размещено три вспомогательных турбогенератора, а в кормовой - два турбогенератора и один резервный дизель-генератор. Гребные электродвигатели размещены в двух смежных помещениях. Отделение бортовых электродвигателей расположено под кормовыми главными турбогенераторами.

Главные питательные турбонасосы установлены в трюме под парогенераторной установкой по три насоса в двух бортовых помещениях. Работа механической установки ледокола с часто и резко меняющейся нагрузкой исключала возможность применения развитой регенеративной тепловой схемы с отбором пара от главных турбин.

В результате была принята простая схема с подогревом питательной воды отработавшим паром вспомогательных механизмов (циркуляционных, конденсатных и питательных насосов). Прочие вспомогательные механизмы выполнены с электрическим приводом. Использование отработавшего пара вспомогательных механизмов предполагалось также в испарительных установках. Конденсатно-питательная система предусматривает деаэрацию питательной воды в термомеханических деаэраторах, одновременно являющихся смесительными подогревателями питательной воды. Для снижения температуры конденсата перед питательными трубопроводами за деаэраторами установлены обратные охладители. Дополнительный подогрев питательной воды после обратных охладителей деаэраторов осуществляется в поверхностных подогревателях.

Обеспечение максимальной надёжности как основное требование, положенное в основу при проектировании механической установки, обусловило применение таких схем включения оборудования, при которых гарантировалась бы непрерывная подача электроэнергии к вспомогательным механизмам и устройствам парогенераторной установки, к резервным масляным насосам главных и вспомогательных турбогенераторов и гребных электродвигателей при любых условиях эксплуатации энергетической установки. При этом основным условием надёжности признавалось наличие на всех режимах работы двух независимых источников энергии. Например, на режиме полного хода

при работе трёх атомных реакторов и четырёх главных турбогенераторов это условие обеспечивалось путём создания двух автономных групп: 1) один реактор - один главный турбогенератор - электростанция; 2) два реактора - три главных турбогенератора - электростанция.

Для обеспечения требуемой автономности парогенераторы реакторов разных автономных групп включаются на независимые паровые магистрали, питательные насосы и вспомогательные трубопроводы получают пар от обслуживаемого ими реактора. Поскольку такой принцип включения существенно усложнил эксплуатацию и приводил к неравномерной нагрузке реактора, в дальнейшем был осуществлён переход на работу парогенераторов на кольцевую паровую магистраль с питанием парогенераторов также из кольцевой питательной магистрали.

Проведённые испытания показали, что парогенераторная установка имеет значительную тепловую инерцию, позволяющую в сочетании с другими мероприятиями избежать сколько-нибудь значительного парения давления пара в кольцевой магистрали при кратковременном выключении одного из реакторов. Управление энергетической установкой централизовано и осуществляется из специального поста энергетики и живучести, либо из отделений гребных электродвигателей и с ходового мостика ледокола. Каждый реактор управляется одним оператором с отдельного поста, оборудованного необходимыми приборами контроля, сигнализации и управления. Для предотвращения возможности повышения нагрузки главных турбогенераторов выше уровня, обеспечиваемого нагрузкой парогенераторной установки, в системе управления предусмотрено специальное устройство ограничения мощности на гребных валах. С любого из постов управления мощность гребных электродвигателей может изменяться в пределах, ограниченных установкой ограничителя мощности в посту энергетики и живучести.

При необходимости выйти на более высокий уровень мощности первоначально поднимается нагрузка реакторов и избытки пара тратятся через систему автоматического травления на главные конденсаторы. Затем ограничитель мощности переводится в положение, соответствующее новому верхнему пределу нагрузки. При

Контрольный пульт реакторов АЛ "Ленин"



необходимости снижения нагрузки на длительный период вначале в новое положение переводится ограничитель мощности, а затем уже снижается нагрузка реактора. Такая система не ухудшает маневренности механической установки, так как в период частого маневрирования поддерживается избыточная производительность парогенераторов и при сбросе нагрузки избытки пара стравливаются.

Испытания энергетической установки ледокола проводились в три основных этапа: швартовные испытания у причала Адмиралтейского завода; испытания на специально оборудованной базе и сдаточные испытания в Балтийском море. Запуску парогенераторной установки предшествовала тщательная проверка и наладка всех её обслуживающих механизмов, систем и устройств. Подача пара и электроэнергии в этот период осуществлялась с берега.

После ввода в действия атомных реакторов испытания продолжались с подачей пара и электроэнергии от парогенераторной установки и судовой электростанции. Береговая подстанция использовалась как резервный источник питания.

Испытания на специально оборудованной базе проводились с целью наладки и проверки системы электродвижения ледокола при работе винтов по швартовной характеристике. Для восприятия развиваемого ледоколом упора база была оборудована специальным упорно-причалным устройством, способного удерживать ледокол при работе на передний и задний ход на мощности около 50 % от полной. Всесторонние испытания энергетической установки у стенки завода, а затем на базе позволили успешно в течение одной недели провести все ходовые режимы и сдать ледокол в опытную эксплуатацию.

Водо-водяные атомные реакторы, установленные на ледоколе, показали себя весьма надёжными и удобными в эксплуатации. Основное оборудование механической установки также работало безотказно. Опыт наладки, испытаний и эксплуатация ЭУ атомного ледокола "Ленин" в навигацию 1960 года выявил работоспособность установки и показал, что основные технические решения, заложенные при проектировании и постройке, являются правильными.

К исполнению своих прямых обязанностей - проводке караванов транспортных судов в морях Советской Арктики атомоход "Ленин" приступил в декабре 1959 г. Впервые о проблемах атомной энергетики я стал писать с 1984 года. Тогда атомоходу "Ленин" исполнилось 25 лет. В декабре по случаю этой знаменательной даты Мурманским морским пароходством Минморфлота, которое эксплуатировало судно на правах судовладельца проводилась научно-техническая конференция, где я был аккредитован в качестве спецкора от журнала ЦК ВЛКСМ "Техника - Молодё-

жи". В конференции принимали участие видные советские учёные; руководство Министерства морского флота, известные морские специалисты, корабель, военные. Особых проблем я не испытывал, так как уже тогда имел Диплом на морское звание капитан дальнего плавания и, как говорится, оказался среди моряков своим парнем.

Об участниках этой конференции можно говорить много и с огромным уважением, взять хотя бы президента Академии Наук СССР Анатолия Петровича Александрова, которого я тогда увидел первый раз и так близко. Его доклад был выслушан с величайшим вниманием; Николай Сидорович Хлопкин и др. Одним словом, со многими авторитетами отечественного атомного судостроения довелось мне побеседовать в те, теперь уже далёкие дни. Имена Б.Г. Пологих, И.И. Африканкантова, А.М. Шаматова, Е.Н. Черномордика, Б.Е. Клопотова, К.В. Складенко, А.А. Судавного, И.С. Дробкина, Р.Ю. Фреймана, А.Н. Василевского, А.П. Калинина, и других замечательных специалистов останутся в истории отечественного судостроения.

Надо сказать, что, сойдя со стапелей Адмиралтейского завода, атомоход сразу же попал в надёжные руки опытных ледовых капитанов. Это Герои Соцтруда П.А. Пономарёв, Б.А. Соколов - известные всей стране. Прекрасно и плодотворно работали на судне инженеры-механики К.К. Долгопалов, А.К. Следзюк, кандидат технических наук; И.К. Мочешников, В.А. Мизгирев; старшие инженеры-механики атомной паропроизводящей установки (АППУ) Н.Р. Гурке, В.В. Каратеев А.И. Селянко. Конечно, я привёл далеко не полный список людей вложивших свои знания, талант и опыт в дело становления атомного флота России. Благодаря усилиям этих замечательных людей атомный флот смог безаварийно работать продолжительное время. На атомных ледоколах не было ни одного радиационного инцидента, который создал бы серьёзную угрозу экипажам атомоходов и окружающей среде.

На атомоходе "Ленин" выполнен огромный комплекс научно-исследовательских работ. С АППУ первого поколения судно успешно эксплуатировалось 6 первых арктических навигаций продолжительностью 140 - 160 суток каждая. Так же была подтверждена проектная автономность плавания в 210 суток на одной зарядке ядерного топлива. Затем была сделана модернизация ледокола, и в 1970 году он вышел в Арктику с АППУ второго поколения. После основательной обкатки новые реакторы стали устанавливаться на более мощных ледоколах поздней постройки - "Арктика", "Сибирь" и др. Свою надёжность эти АППУ доказали в экстремальных условиях плавания в Восточном секторе Арктики в 1983 г.

После проводки судов



П.А. Пономарёв



Б.А. Соколов

Выводы однозначны: АППУ надёжна и безопасна в работе; обеспечивает стабильность энергетических процессов на всех диапазонах мощности обеспечивая высокую маневренность ледокола; все системы ядерной энергетической установки (ЯЭУ) обеспечивают безопасный режим работы; биологическая защита абсолютно надёжна; принятые в эксплуатацию водно-химические режимы обеспечивают надёжную работу АППУ. Что же это за водно-химические режимы?

Как нам уже известно, на атомных ледоколах установлены водо-водяные реакторы. Вода первого контура нагревается в активной зоне атомного реактора, там вырабатывается пар с высокой степенью перегрева и давлением более 200 атмосфер. Столь высокие параметры пара требуют высокой степени очистки питательной котельной воды. Даже незначительное содержание солей в воде вызовет возникновение накипи, что неизбежно выведет контур из строя.

Пар из первого контура нагревает воду во втором, там образуется пар для использования в судовых потребителей - турбогенераторов - турбогенераторов судовой энергетической установки, вспомогательных механизмов и т.д. Его параметры более низкие - температура перегрева 310 °С и давление 28 атмосфер.

Чтобы надёжно заработало атомное сердце ледокола, чтобы связать воедино различные вспомогательные механизмы на атомоходе организована служба КИПиА, то есть контрольно-измерительные приборы и автоматика. Когда АЛ "Ленин" только вступал в эксплуатацию наши морские вузы не готовили специалистов такого профиля. Морьякам всё приходилось начинать с нуля. Вторая беда - все приборы и оборудование были спроектированы для береговых атомных электростанций и как они себя поведут в море, при качке и ударах корпуса о лёд - никто не знал.

На "Ленине" служба КИПА была организована ещё в период его постройки в 1958 году. В её состав были включены 17 специалистов высокой квалификации, но все они были подготовлены для работы на береговых атомных электростанциях. Со временем они сильно охладели к тяжёлой морской профессии и к началу 1962 г. их оставалось на судне только трое. Руководством атомного флота было принято решение - сформировать службу КИПиА из моряков. За дело взялись электромеханики Б.Я. Бражников, А.П. Разумов, Е.А. Кузнецов; старшие электрики И.С. Костюк, Н.Н. Старшов, В.А. Ившин; старший инженер-оператор О.М. Хованский; старшие машинисты М.А. Мухамеджанов, М.Н. Дмитриев; инженер-радионавигатор В.С. Устинов. Из "стариков" остались начальник службы В.П. Иванов; старшие инженеры В.М. Соловьёв и В.Н. Морозов.

Так морякам пришлось одновременно и работать, и учиться. К 1962 г. особенно проявились "детские болезни" установленных на атомоходе приборов. Но и моряки были тоже "не лыком шиты", за период с 1962 по 1966 годы службой КИПиА было подано и внедрено самостоятельно 27 рационализаторских предложений, которые позволили значительно улучшить работу всех систем атомохода. А в период с 1970 г. по 1975 г. было подано и внедрено 90 рационализаторских предложений. В результате повысилась работоспособность систем автоматизации, а их ресурс увеличился более чем в три раза.

Надо сказать ещё об одной миссии атомохода "Ленин", он стал "Кузницей кадров" атомного ледокольного флота. Например, экипаж построенного за "Лениным" нового атомохода "Арктика" более чем на

80 % был укомплектован бывшими ленинцами. В своё время противники атомного ледокольного флота говорили, что атомоход "Ленин" не имеет особых преимуществ перед дизель-электрическими ледоколами типа "Москва". Заметим, что эти ледоколы мощностью по 22 000 л.с. неплохо зарекомендовали себя на трассе СЕВМПРПУТИ. Почему же атомоход, мощность которого в 2 раза больше, так не замечен? С этим вопросом я как-то подошёл к известному ледовому капитану, Герою Соцтруда, Юрию Сергеевичу Кучиеву, чей авторитет весьма высок. Он начинал когда-то службу на ледоколе "Ермак" четвёртым помощником капитана. За время долголетней службы он поплавал на многих ледоколах, в том числе и на "Ленине".

На мой вопрос Юрий Сергеевич ответил, что ледоколы типа "Москва" действительно хорошо работали в припайном льду, когда ледовое поле ровное как стол. Но в тяжёлых многолетних льдах они значительно уступали атомоходам, которые спроектированы для работы именно в тяжёлых многолетних льдах, и корпуса их имеют обводы такие, чтобы ледокол преодолел успешно такие льды.

Транспортные суда "Обь", "Лена", "Индирикка", а также пришедшая им на смену серия транспортов типа "Наварин", успешно работали с ледоколом "Ленин" без каких-либо проблем. Но "Ленин", если можно так сказать, появился немного раньше своего времени. Канал за ним забивали прочные и большие льдины, чтобы их раздвигать своим корпусом мощности ЭУ транспорта иногда не хватало. Поэтому сразу за "Лениным" шёл ледокол типа "Ермак". Он измельчал лёд в канале, и транспорта благополучно следовали в караване.

Три гребных двигателя атомохода "Ленин" развивали общую мощность 39 200 л.с. и работали по схеме 1 : 2 : 1. Бортовые двигатели имели мощность по 9800 л.с., а средний - 19 600 л.с. Кстати, изначально предполагалось строить атомоход с четырьмя винтами - четвёртым должен был быть гребной носовой винт. Но затем проект был пересмотрен и "Ленин" получил схему из трёх кормовых гребных винта. Мощность 19 600 л.с. передали на средний винт, что должно было увеличить пропульсивный к.п.д. движителя. Дело в том, что бортовые гребные винты работают в скошенном водяном потоке, что снижает их к.п.д. Средний же винт одинаково обтекается и с правого, и с левого бортов, что немного увеличивает его к.п.д. На современных атомохода гребные винты расположены по схеме 1 : 1 : 1, т.е. на каждый винт подаётся одинаковая мощность.

Какие же выводы извлекли проектировщики, анализируя опыт эксплуатации "Ленина". Прежде всего, выяснилось, что для уверенной работы в многолетних льдах мощность ледокола недостаточна, поэтому атомоходы, построенные после "Ленина" имели мощность уже в 75 000 л.с. Мощность ЭУ транспортных судов, следующих в канале за атомоходом недостаточна. Прочность их корпусов должна быть увеличена. При участии экипажа атомохода корабельщики решили ряд важных проблем, в частности - удалось продлить непрерывную эксплуатацию каждого атомохода до одного года. П

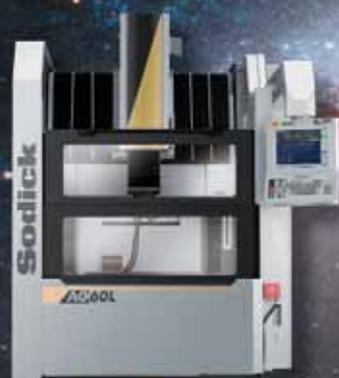
(Продолжение следует.)

Когда и где работал первый в мире атомный ледокол



Использованы фото сайта <http://aviator-ru.livejournal.com/48928.html>

# Sodick



## **35000** линейных электроискровых станков в эксплуатации

(почти **600** в России, Украине и др. государствах  
бывшего СССР; на 12.2013 г.)

Единственный в мире изготовитель электроискровых (электроэрозионных) станков с проверенными временем плоскопараллельными линейными двигателями (ЛД).  
Производство электроискровых линейных станков (станков с ЛД) с 1998 г.  
Все линейные станки Sodick, включая самые первые 1998-1999 гг., по настоящий момент сохраняют неизменную точность позиционирования!

Испытанные пятнадцатью годами эксплуатации плоскопараллельные ЛД, разработанные для ЭИ станков, и ЭИ станки, сконструированные специально под плоскопараллельные ЛД. Собственная разработка, опытно-конструкторские работы, а также производство ЛД, Nd-Fe-B магнитов и систем управления для ЛД. Собственные системы компьютерных ЧПУ, ПО и CAD/CAM.



Точность позиционирования:

гарантия **10** лет

Впервые в отрасли!

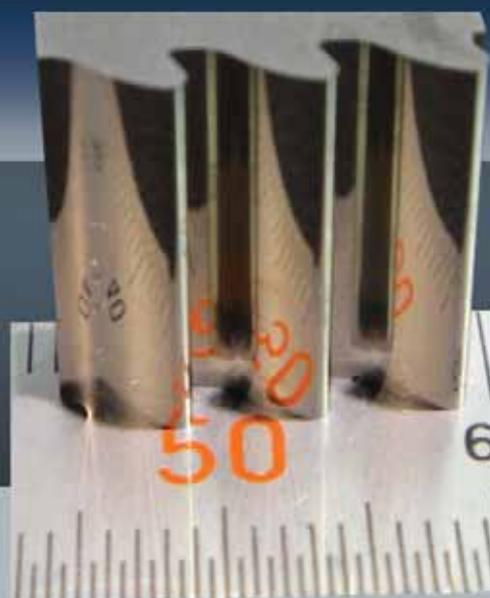
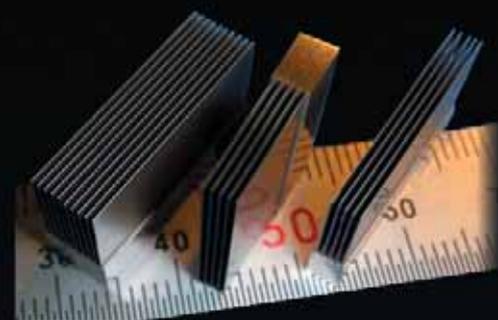
## **60 лет опыта производства ЭИ станков!**

# НАНОШЕРОХОВАТОСТЬ

Шероховатость  $Ra = 0,006$  мкм  
( $Rz = 50$  нано = 14-й класс!)  
на серийном линейном  
вырезном станке в масле!

## Sodick

[www.sodick.ru](http://www.sodick.ru)



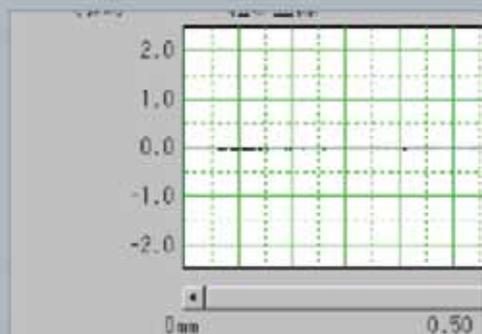
## AP250L

Рекордное зеркальное выхаживание  
до уровня  $Rz = 50$  нанометров;

Сверхточная вырезка твердых сплавов  
без выпадения кобальта;

Прецизионная вырезка тонкой проволокой  
высоких пуансонов.

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В МАСЛЕ =**  
**= ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В ВОДЕ**



Параметр	Значение	Единица
Ra	0.0061	мкм
Ra(1)	0.0072	мкм
Ra(2)	0.0068	мкм
Ra(3)	0.0062	мкм
Ra(4)	0.0060	мкм
Ra(5)	0.0043	мкм
Rz	0.0578	мкм
Rz(1)	0.0600	мкм
Rz(2)	0.0440	мкм

## Рекорд отрасли!

