

Двигатель

Научно-технический журнал

№ 1 (91 + 243) 2014

ДВИГАТЕЛЬ

Основан в 1907 г.

**Второй век
авиационного винта
в России
стр. 2,**

**Международный форум
двигателестроения
ВДНХ, 15-18 апреля
Новая серия выставок**



ДВИГАТЕЛЬ
Июль в 1997 г.

2007 2005 2004



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,
МГУ 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.,
гл. научный сотрудник ФГУК "Политехнический музей"

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

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

Дмитриев В.Г., д.т.н.,
вице-президент корпорации "Иркут"

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 МГУ 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
Международной инженерной академии

Заместитель главного редактора

Дмитрий Александрович Боев

Ответственный секретарь

Александр Николаевич Медведь, к.т.н.

Финансовый директор

Юлия Валерьевна Дамбис

Редакторы:

Александр Аркадьевич Гомберг,

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

boeff@yandex.ru

aib50@yandex.ru

www.dvigately.ru

Электронная версия журнала (2006-2012 гг.)
размещается также на сайте Научной электронной
библиотеки www.elibrary.ru и включена в индекс РИНЦ

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

ООО "Редакция журнала "Двигатели" ©

генеральный директор Д.А. Боев

зам. ген. директора А.И. Бажанов

Ответственность за достоверность информации и наличие в материалах фактов, не подлежащих разглашению в открытой печати, лежит на авторах публикаций.

Мнение редакции не всегда

совпадает с мнением авторов.

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

Журнал "Двигатель", рекомендован экспертными советами ВАК по техническим наукам, по истории, 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.

Пер. № 018414 от 11.01.1999 г.

16-й (108-й) год издания.

Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати" Москва.

Тираж 5 000 экз.

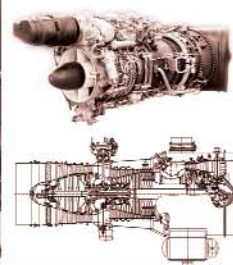
Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная.

ДВИГАТЕЛЬ®
научно-технический журнал

СОДЕРЖАНИЕ

- 2 75 лет НПП "Аэросила".
Компетентность и компетенции**
Беседа с С.Ю. Сухоросовым
- 6 Надёжное фрезерование титана**
- 7 МАИ собирает на ИА студентов и выпускников
аэрокосмических вузов**
Д. Стрункина
- 8 Отчётное собрание Авиакосмической секции
Российской инженерной академии
в ЦИАМ им. П.И. Баранова**
И.М. Иванова
- 10 АО "МОТОР СИЧ" - надёжный партнер**
- 12 Новая беспрецедентная линейка
электроэрозионных станков для аэрокосмической
отрасли и прецизионной обработки**
- 14 Устранение критических частот вращения роторов
газотурбинных двигателей с помощью
регулирования жесткости опоры**
Ю.Б. Назаров, А.Ю. Потапов
- 18 И танки наши быстры**
К юбилею Н.И. Троицкого
- 19 Крепкие руки науки**
К юбилею О.Н. Фаворского
- 20 Шумим, братец, шумим...**
Ю.Д. Халецкий
- 22 Российскому двигателю ПД-14 быть!
Этап макета перспективного отечественного
двигателя пройден успешно**
Б.К. Усачёв
- 24 Одноцилиндровые двигатели многоцелевого
назначения**
- 25 Дизель-генераторная установка ДГУ5-П27.5-ВМ-1**
- 28 Разработка двигательной установки системы
ориентации разгонных блоков на экологически
чистых компонентах топлива**
В.Ю. Пиунов, В.И. Морозов, М.В. Мальцев
- 30 Турбулентность. Волны Толмина - Шлихтинга**
Ю.М. Кочетков, Н.Ю. Кочетков
- 34 Проблематичное начало и драматический конец
разработки ракеты-носителя Н1**
В.Ф. Рахманин
- 40 По торной дороге ракетостроения мы шли в ногу**
В.Ф. Рахманин, В.К. Чванов
- 44 К натурфилософии ударных волн**
В.А. Белоконь
- 52 Этноколористический потенциал наименований
декоративных камней**
А.Т.-Г. Керимова
- 54 Ледоколы России. Атомный ледокол "Ленин"**
В.С. Шитарёв





75 ЛЕТ АЭРОСИЛА

КОМПЕТЕНТНОСТЬ И КОМПЕТЕНЦИИ

В этом году – юбилей Ступинского научно-производственного предприятия "Аэросила". Его руководитель, генеральный директор ОАО "Аэросила" Сергей Юрьевич Сухоросов любезно согласился ответить на несколько вопросов, которые задал заместитель главного редактора журнала "Двигатель" Дмитрий Александрович Боев. Разговор получился интересным и несколько неожиданным. Наше изначально "юбилейное интервью" быстро пошло в сторону совершенно практической. Полагаю, это не может не вызвать интереса у наших читателей.



"Двигатель": Сергей Юрьевич! Исполняется 75 лет со дня основания вашего предприятия, скажите, на чём держится эта "ваша вселенная"?

С.Ю. Сухоросов: Вы выбрали интересную аналогию. Как и положено всякой уважающей себя вселенной, наша держится на трёх основных китах. Прежде всего, это проектирование и производство самых разнообразных авиационных винтов и винтовых движителей для аэромобильной техники различного вида и назначения, далее, это разработка и выпуск шариковинтовых преобразователей – мощных силовых передаточных механизмов для современной авиатехники и, наконец, производство вспомогательных силовых установок (ВСУ) для летательных аппаратов различного назначения.



Разработкой воздушных винтов мы занимаемся с 1939 года, когда, как принято сегодня говорить, "для замещения импорта" авиационных винтов, их разработки и производства, на базе строящегося в то время Ступинского металлургического Авиакомбината № 150, было организовано наше ОКБ. 75 лет мы с честью исполняем своё предназначение: все советские самолёты летали на отечественных винтах нашей разработки и все винтовые самолёты последнего времени разрабатывались с нашим участием.

С 1962 года мы ведём разработку и производство силовых шариковинтовых преобразователей, которую поручили

нашему предприятию в связи со строительством в СССР самолётов изменяемой геометрии крыла.

А ещё в ноябре 1956 г. Ступинское винтовое ОКБ получило задачу разработки источника энергии на борту самолёта: вспомогательных силовых установок (ВСУ), обеспечивающих автономный запуск его маршевых двигателей, а также питание сжатым воздухом и электроэнергией различных систем самолёта. Это направление нашей работы сегодня имеет особое значение, а потому хотелось бы остановиться на ней особо.

Первым полноценным вспомогательным ГТД (ВГТД) ступинцев явился ТА4, разработанный совместно со специалистами ЦИАМ на эквивалентную мощность 80 л.с. Спарка двигателей ТА4ФЕ мощностью до 165 л.с. эксплуатировалась с 1963 г. на самолёте "Антей" Подтвердив свою способность создавать работающие ВСУ, наше ОКБ стало получать заказы от генеральных конструкторов – разработчиков самолётов. С.В. Ильюшин заказал для своего нового дальнемагистрального самолёта Ил-62 разработку ВСУ с высокими параметрами. Обязательным требованием было выставлено наличие патентной защиты конструктивной схемы созданного по этому заказу двигателя ТА6. А в 1969 году, по заданию А.Н. Туполева, двигатели Ступинского ОКБ обеспечили эксплуатацию ещё одного своего двигателя: ТА8 на самолётах Ту-134, продаваемых в том числе и за рубежом.

В 1981 году новый ВСУ: ТА12 прошёл Государственные стендовые испытания и был установлен на самолёты Ан-124"Руслан", Ан-225 и Ан-74, а его вариант (ТА12А) – на самолёты Ту-154М, Ту-160, Ил-76МД. На основе базовой конструкции ТА12 начались работы над глубокой модификацией двигателя ТА12-60 с повышенным отбором электроэнергии переменного тока до 60кВА по которой в 1996 году был получен первый на предприятии Сертификат типа. Кстати, в 2005 г. было оформлено дополнение к данному Сертификату типа и в результате ТА12-60 стал первым отечественным вспомогательным двигателем, реализующим эксплуатацию по техническому состоянию по второй стратегии.

"Двигатель": Скажите пожалуйста, да неужели же весь парк самолётов советского времени обеспечивало одно ступинское предприятие?

С.Ю. Сухоросов: Ну, конечно нет! У нас, как это делается и во всём мире, проводилась разработка конструкции, выпускались установочные серии, и отработанное производство, с технологической оснасткой и, зачастую, с оборудованием – передавалось на серийные заводы. В случае с ВСУ ТА6, в таком качестве выступило уфимское предприятие "Гидравлика". Следующую нашу модель: ТА8 передавали в серию Калужскому двигателю заводу,



но в связи с возросшей нагрузкой его другими заказами, переориентировали производство на ту



Винт СВ-27 с САУ



управления воздушными винтами серийно выпускают на предприятии "Агрегат" в г. Сим. Воздушные винты АВ-72 и АВ-60К для самолётов Ан-24 и Ту-95 производят наши соседи в "СМПП". Так что, как видите, география широкая.

В 1985 году даже была сделана попытка передать часть функций разработчика ВСУ в ОКБ "Гидромеханика", чтобы снять с Ступинского ОКБ нагрузку по разнообразию номенклатуры разработок: тогда здесь как раз сосредоточились на решении проблемы винтовентиляторов. К сожалению, эту попытку нельзя назвать очень успешной. На поприще разработок ВСУ это ОКБ оказалось малоэффективным: появилось много замечаний у разработчиков самолетов, и с 1990 года все ВСУ мы опять разрабатываем сами.

ТА6А разработки НПП "Аэросила" производимый "УАП Гидравлика"



В 1985 году даже была сделана попытка передать часть функций разработчика ВСУ в ОКБ "Гидромеханика", чтобы снять со Ступинского ОКБ нагрузку по разнообразию номенклатуры разработок: тогда здесь надо было сосредоточиться на решении проблемы винтовентиляторов. К сожалению, эту попытку нельзя назвать очень успешной. На поприще разработок ВСУ это ОКБ оказалось малоэффективным: появилось много замечаний у разработчиков самолетов, и с 1990 года все ВСУ мы опять разрабатываем сами.

Своими силами мы ведём конструкторское сопровождение собственных разработок - двигателей, винтов, гидромеханических регуляторов, других агрегатов - выпускаемых серийными заводами.



ТА14-130

За это время в области малоразмерных газотурбинных двигателей КБ разработана линейка ВГТД. Это ТА14, на который в декабре 2001 г. был получен Сертификат типа, ТА18-100, сертифицированный в 2002 г., и различные модификации ТА18-200, прошедшие сертификацию в 2006-2012 годах. Многолетний опыт разработки и эксплуатации, достижения в проектировании высокоэффективных компрессоров и турбин и в освоении новых технологических процессов их производства, позволили коллективу двигателистов ОАО "НПП "Аэросила" выпускать для ВСУ малоразмерные специализированные ГТД, соответствующие самым современным требованиям.



ТА18-100

освоении новых технологических процессов их производства, позволили коллективу двигателистов ОАО "НПП "Аэросила" выпускать для ВСУ малоразмерные специализированные ГТД, соответствующие самым современным требованиям.

"Двигатель": В наше время стало крайне популярным "раскладывать по полочкам" способности и узкую специализацию отдельных предприятий. Появился даже специальный целнопереводной, но прижившийся термин: "центры компетенции". Компетенция по литью, по сварке, по лопаткам, по беспилотникам, по камерам сгорания. Можно ли сказать, что в России таким центром компетенции по ВСУ является "Аэросила"?

С.Ю. Сухоросов: Если принимать за основу международно принятый порядок установления таких

же "Гидравлику". Воздушные винты АВ-68 для самолетов Ан-12, Ил-18, Ил-32 производятся серийно предприятием "Гидроагрегат" в г. Павлово-на-Оке. Гидравлические САУ, разрабатываемыми нами для

центров, то есть опыт разработок и признание как разработчика партнёрами по кооперации и регистрирующими органами, то "Аэросила", имеющая 55 лет опыта работы над такого рода изделиями, признанная Авиарегистром как разработчик ВСУ, как разработчик воздушных винтов, прошедшая процедуру сертификации, одобрение, признание изготовителей авиатехники, несомненно, является таковой. И на этот факт никоим образом не влияет - входит ли предприятие в какие-то объединяющие структуры: концерны, корпорации, тресты или нет. Опыт работы и способность к творческому выполнению заданий, надёжность в конце концов - свойство коллективов предприятий, их стиль.

Вы знаете, "Аэросилу" часто обвиняют в монополизме. Говорят: "Вот вы монополисты в разработке воздушных винтов, монополисты в разработке ВСУ". Я против монополизма, но я - за профессионализм. Непонятно, почему, не имея ни опыта проектирования, ни задела работы - серьёзные с виду люди берутся стать "центром компетенции" именно в ВСУ, а не в какой-либо другой области, например самолётостроении, создании танков или, скажем, в печении кренделей с маком? Чтобы обладать компетенцией необходимо быть компетентным, значит быть профессионалом. И в этой части мы готовы помочь, включиться в работу, объединить усилия, с целью создать конкурентоспособный продукт, но не управлять финансовыми потоками

"Двигатель": Скажите, но ведь выпуск авиатехники в нашей стране многократно сократился по сравнению со временами, которые Вы только что вспоминали. Есть ли возможность каким-то образом участвовать в мировой кооперации, или нам как и во всей авиации светят только массовые закупки зарубежного производства? В частности: как обстоят дела с ВСУ?

С.Ю. Сухоросов: Ну, понимаете, жить можно по-разному - и всё это будет жизнь. Мы находимся в ситуации, когда объём самолетов, производимых нашей промышленностью, занимает незначительную долю мирового рынка. Есть, скажем, такая точка зрения: "Создавать новые ВСУ следует с прицелом на западный рынок. Это выгодно, потому как он - большой. И самолётов там много. Однако, это же не пустое поле: там уже работают, и чтобы выйти на этот рынок, надо иметь товар, сертифицированный по его законам, удовлетворяющий требованиям, стандартам и качеством этого самого западного рынка. И второй момент - сегодня этот рынок занят и чтобы зайти на него нужно вступить в жёсткую конкуренцию потеснив западного, а точнее Американского производителя".

Не будем сразу говорить, пораженческая ли это точка зрения, или нет - её адептами принята основополагающая идея: пусть западные разработчики научат нас разрабатывать продукт, создадим совместный продукт и с ним выйдем на западный рынок (приведут нас "за ручку" на свой рынок), загрузим свои производственные мощности, а заодно и обеспечим потребность отечественного рынка.

Приверженцами описанной идеи была разработана такая последовательность действий: так как в основном рынок ВСУ за-



Участок испытания композитных винтов



Судно на воздушной подушке с винтами АВ-83т НПП "Аэросила"



Вспомогательная силовая установка e-APU60 для вертолёта Agusta производства компании Microturbo



нят американскими предприятиями (которые вряд ли будут в восторге от появления кандидата в возможные конкуренты), обращаемся в европейскую фирму имеющую компетенцию разработчика малоразмерных газотурбинных двигателей и признанную EASA - который сертифицирует разработчиков в Европе, с предложением о разработке ВСУ по написанному в России ТЗ для самолётов, проектируемых ОАК, с техническими характеристиками, конкурентоспособными для Boeing и Airbus. Далее - выходим на Boeing и Airbus с предложением принять такое ВСУ. И пусть это ВСУ, разработанное в Европе, составит конкуренцию американским ВСУ.

На нашем рынке проводим валидацию АРМАК, получаем локализацию производства желательную с "правом конфигурации", чтобы применить для российской ВСУ российские материалы. Но при этом: так как основной рынок всё-таки остаётся зарубежным, наш серийный завод будет участвовать в производстве европейских ВСУ, разработанных на Западе в части поставки узлов и деталей, изготовленных по чертежам компетентного разработчика из материалов, сертифицированных для европейского рынка. А собирать двигатели будут, скажем, во Франции.

И, как говорилось раньше в завершение таких историй: *"И в воздушных - благорастворение Господне!"*

"Двигатель": Звучит всё как-то по-наполеоновски. Вся предыдущая история взаимоотношений показывает что западный рынок не очень охотно пускает нас на свой рынок. Тем более работать с Аэросилой, как с компетентным разработчиком ВСУ означает предоставить вам доступ к своим разработкам. История кооперации с французами по двигателю SAM146 показывает что западные двигателисты достаточно ревностно охраняют свои ноу-хау. Неужели вы считаете что возможно преодолеть этот барьер?

С.Ю. Сухоросов: Вы абсолютно правы. Конечно, маловероятно, чтобы конкурирующие разработчики объединились и выпустили бы общий продукт. Но я и не говорил, что это - планы "Аэросилы". Для того, чтобы реализовывать такие многоходовые комбинации нужно иметь не только сильную финансовую и государственную поддержку, но и высокий авторитет и возможность воздействия на европейский рынок. Это одна из прорабатываемых форм участия в международной кооперации новыми менеджерами. В частности одна из дочерних структур Ростеха - Концерн "АО", в управлении которому были переданы 36 предприятий авиапрома, развивающий у себя на их основе компетенции, недавно заявивший о намерении развить у себя компетенцию ВСУ, продвигает такую концепцию как перспективную. И всерьёз.

Получается очень занятная комбинация: Россия даёт деньги зарубежному разработчику, чтобы он разработал ВСУ и помог выйти на рынок с предложениями к Boeing и Airbus. Это, без сомнения, заманчивое предложение. Почему кто-то должен против этого возражать? Но остаётся какое-то назойливое сомнение: с какой стати фирме вдруг захочется 100% локализацию отдать в Россию? А уж мечты о полной конфигурации, переданной заводу-производителю - чтобы заводские технологи на свой страх и риск что-то меняли в фирменной конструкции, которую при этом разработчик признал бы за свою - это уже какая-то совсем не научная фантастика. Кроме того, надо учитывать высокий риск политической составляющей. Осложнение международных отношений с Евросоюзом может повлечь за собой то, что у нас останется серийное производство без сопровождения разработчиком и без европейских комплектующих.

Полагаю, что компетенцию надо развивать свою, а не как в описанной схеме: иностранного производителя, но за наш счёт. Иначе, это бесперспективно и ничего не даёт нашей промышленности. До тех пор, пока мы будем помогать европейцам завоевывать европейский и мировой рынок, с нами будут дружить. Тем более, что им это явно нужно: сегодня как разработчики они не слишком сильны, иначе их изделия стояли бы на самолётах лидирующих производителей, на которые наши мечтают с их же помощью прорваться. Но, как только скажем, что хотим сами (с их помощью) работать на этих рынках, то, скорее всего, резко пе-



ВГТД ТА14-038

рестанем быть желанными.

Интересы нашего производителя - какой бы он не был - иностранной фирме-разработчику совершенно безразличны. Им интересно с нашими деньгами обеспечить расширение своего присутствия на европейском и, по возможности, проникновения, на наш, российский рынок. А если при этом им откроется доступ и к оборонному заказу - через 100-процентную локализацию и установку выпущенной техники на летательные аппараты военного назначения - интерес у любой фирмы выявится совершенно неподдельный.

"Двигатель": А есть ли у самой "Аэросилы" предложения по работе с зарубежными партнёрами?

С.Ю. Сухоросов: У нас разработано тоже несколько нестандартное предложение. Но, как бы это сказать, с несколько "зеркальным" подходом. Сегодня Европа страдает из-за того, что для их высокоспециализированных производств нет работы. И это при том, что эффективность и качество работ у них весьма высоки. Надо не в России организовывать сборочные производства иностранных разработчиков, а напротив, организовывать выпуск тех продуктов, по которым у нас высокая компетенция в Европе, загружая их рабочие места.

Сегодня мы уже ведём переговоры с европейскими компаниями с предложением организации производства ВСУ по российской документации. Тех ВСУ, которые разработаны нами в Ступино.

Если взять уровень разработки ВСУ, то то, что делается сейчас в "Аэросиле" вполне конкурентоспособно с тем, что производят ведущие американские разработчики: Honeywell, либо Hamilton Sundstrand, признаваемые во всём мире, ибо в Ступино привыкли сравниваться и конкурировать с лучшими мировыми образцами. И это сравнение идёт на равных и без форы.

"Двигатель": "Аэросила" не входит в гос. корпорации и существует на сбыте той продукции, которую сама выпускает. А каковы ваши отношения с крупными государственными и ассоциированными структурами?

С.Ю. Сухоросов: Действительно, наше предприятие не входит в состав государственных интегрированных структуры ни в Ростех, ни в ОДК, ни в ОАК. Государство участвует в управлении нашим предприятием, сохраняя за собой право "золотой акции". Последнее, кстати говоря, немало защищало нас в "лихие девяностые". Многие наши заказчики и подрядчики в такие структуры входят, но есть и те, которые не входят ни в какие структуры.

Идею формирования в послесоветской России концернов и корпораций нельзя было признать нездоровой: в конкурентной борьбе на международной арене приходилось бороться с транснациональными корпорациями, победить которые в одиночку, не обладая прежними ресурсными возможностями СССР, невозможно. Но такая конструкция требует и





ВГТД ТА18-100



ВГТД ТА 18-200

макроэкономических методов стратегического управления, мощного системного анализа рынков сбыта и поставок комплектующих, работы на местных и международных биржах и много ещё чего. Такие системы развить достаточно долго, они "дороги в изготовлении", индивидуальны под каждый концерн или ассоциацию и весьма затратны в работе - пока не начнут приносить прибыль. А у нас же от новых структур требовалась эффективность и окупаемость если не сразу со дня создания, то в весьма короткие сроки. Понятно, что проще всего этого добиться оперативной перестройкой находящихся в подчинении предприятий за счёт снижения их накладных расходов. В результате все расходы входящих в конгломераты предприятий попали под жёсткий контроль (что, кстати говоря, до невозможности усложнило отчётную структуру таких образований и вызвало к жизни невиданные по размеру и влиятельности плановые и бухгалтерские отделы, которые теперь... зачастую и определяют их лицо!). В результате жёсткого администрирования, объединяющие структуры объявившие строгий запрет на самостоятельную деятельность предприятий в части реализации продукции и закупок материалов, резко сократили оперативность производства. От многих директоров предприятий можно услышать сетование: "если раньше закупка комплектующих на предприятии состояла из четырёх операций: заявка на оборудование - счёт - деньги - товар и отчётная документация по затратам, то теперь, чтобы приобрести что-то у ассоциированного предприятия, приходится проходить по вдвое более длинной цепочке: расчёт и договоры ведутся с головной организацией, а она уже такие же расчёты ведёт с предприятием-изготовителем. Это - время, это - лишние траты и это - полностью утраченная гибкость и оперативность работы". В результате страдают авиакомпании эксплуатирующие российскую авиатехнику, т.к. для них оперативность это деньги. И мы вынуждены отходить от старых партнёров, попавших в столь жёсткие условия, и искать альтернативных поставщиков, в результате страдают и наши интересы и наших партнёров.

Вот только один пример. В прошедшем году мы неожиданно перестали получать детали по действующему контракту от нашего давнего партнёра, серийного уфимского предприятия "Гидравлика", которое вошло в недавно созданный концерн, куда были переданы многие агрегатные заводы. Причина? - Запрет на прямые договора. Объем недопоставленной нам продукции составил около 100 миллионов рублей. Мы были поставлены в крайне тяжёлые условия с выполнением контрактных поставок. Как-то мы "вырулили" - с болью, с кровью, с сокращением объёмов своих экспериментальных работ. Перестроив графики поставок с заказчиками свои контрактные поставки по этому году (и в том числе - гособоронзаказ) мы всё же закры-

ли. Кто от этого выиграл? Никто. Все проиграли.

Сегодня Аэросила ежегодно выпускает более сотни ВСУ, и для того, чтобы можно было высвободить свои мощности для опытных работ, необходимо несколько разгрузиться от серий, переложив часть программы выпуска на заводы, готовые к этой работе. У меня очень хорошее отношение к "Гидравлике". Мы с этим предприятием давно работаем как с надёжным партнёром, и все договоры с ним всегда выполнялись без штрафных санкций: всегда находили компромиссы. Произошедшее, конечно же, послужило нам уроком. В этих условиях мы вынуждены были срочно найти предприятия, на которые можно было бы переключить эти заказы. Потеряли время, которое могли продуктивно использовать создавая новую, перспективную продукцию.

"Двигатель": А что "Аэросила" может предложить в области перспективных разработок по тематике ВСУ?

С.Ю. Сухоросов: Как всегда: опыт и практическую работу. Скажем, мы исследовали совместно с ЦИАМ возможность применения газодинамических подшипников в малоразмерных газотурбинных двигателях. У нас есть разработанные проекты роторов на газодинамических подшипниках, над которыми мы работаем, наверное - уже года три. И мы уже ясно видим проблемы, которые надо решить для появления ВСУ с прорывными характеристиками.

У нас в планах очень напряжённая работа - разработка перспективного ВСУ для МС-21 с получением сертификата типа АРМАК в 2015 году. Совсем недавно состоялся конкурс Минпромторга, победителем признана "Аэросила". Необходимо в сжатые сроки разработать отечественную конструкцию: и на перспективу для более электрических самолетов и в качестве импортозамещения.

Для Министерства обороны мы ведём разработку мощного энергоузла самолета А-100, который будет отдавать в бортовую сеть электроэнергию 480 кВА.

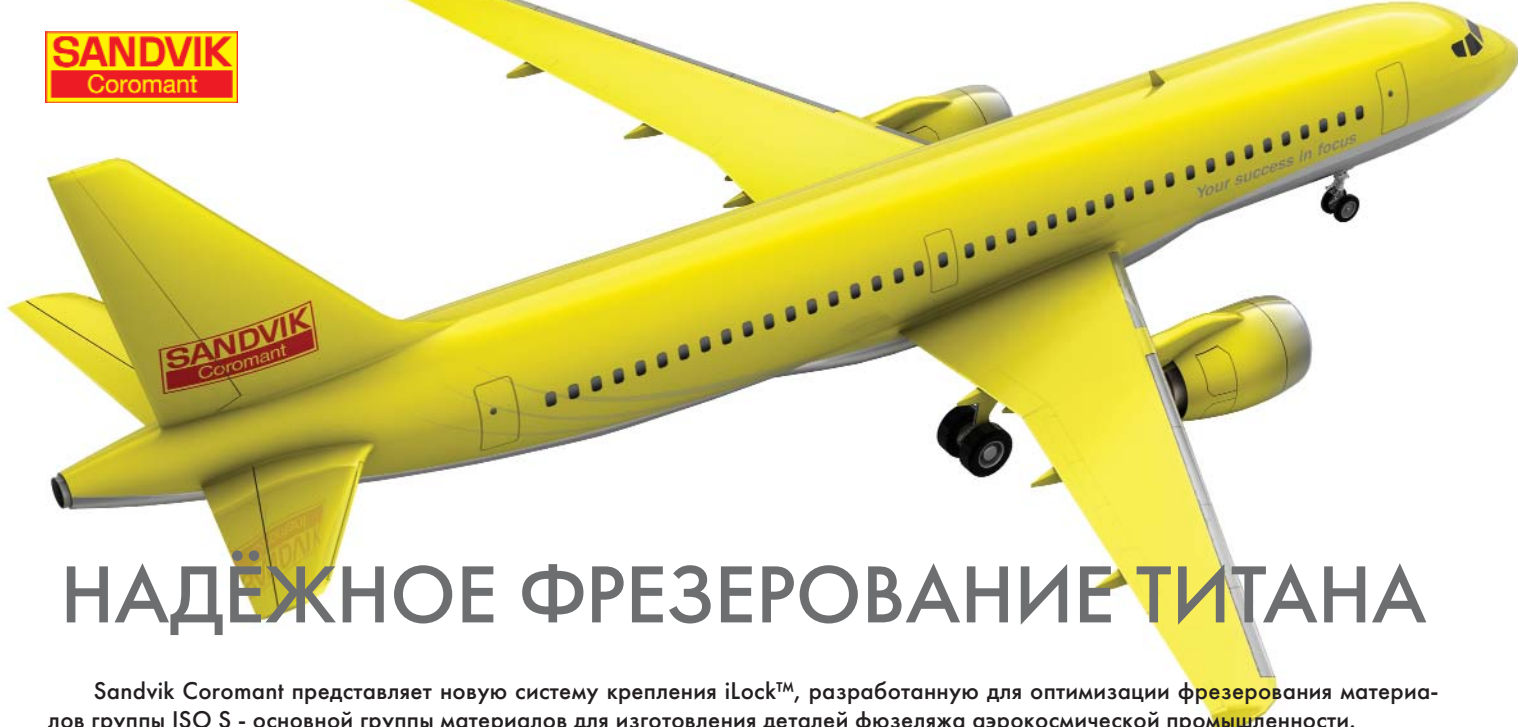
Будут продолжены разработки модификаций серийных ВСУ для применения на самолётах Ил-76, Ан-124-100, Ан-158, Ан-178, вертолётах Ми-38, Ми-28НМ.

Ну и не следует забывать, что мы продолжаем обеспечивать серийные поставки новых ВСУ (в 2014 году мы должны поставить 140 новых ВСУ), а также поддержание эксплуатации ВСУ на таких ответственных объектах, как самолёты стратегической авиации и самолёты управления делами президента.

"Двигатель": Спасибо Сергей Юрьевич. С наступающим юбилеем ваш Центр компетенции по винтам и ВСУ - Ступинское научно-производственное предприятие "Аэросила". Успешной работы Вам.

С.Ю. Сухоросов: Спасибо и Вам. И - тоже: хорошей работы и свершения планов.





НАДЕЖНОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ ТИТАНА

Sandvik Coromant представляет новую систему крепления iLock™, разработанную для оптимизации фрезерования материалов группы ISO S - основной группы материалов для изготовления деталей фюзеляжа аэрокосмической промышленности.



Новая система крепления iLock, разработанная компанией Sandvik Coromant, предназначена для оптимизации фрезерования жаропрочных и титановых сплавов

При обработке материалов группы ISO S твердосплавной концевой фрезой возникающие осевые силы резания накладывают очень жесткие требования к закреплению инструмента. Несмотря на высокое усилие зажима, в некоторых случаях инструмент вытягивается из патрона. Детали, изготавливаемые из данных материалов, являются дорогостоящими, а их обработка требует большого количества времени и смещение инструмента в патроне может стать причиной брака детали, что повлечет значительные финансовые потери.

Надежность процесса обработки является необходимым условием. Однако часто её обеспечение является причиной снижения производительности удаления материала и точности обработки. Новая система крепления iLock от Sandvik Coromant решает проблему вытягивания инструмента, не увеличивая его биение в терморатроне. Эта система крепления позволяет получать поверхности отличного качества с высокой скоростью съема материала, чего невозможно добиться, используя инструмент с традиционным креплением.

Секрет кроется в спиральной шлифованной канавке на хвостовике инструмента. Совместно с ответным пазом внутри патрона, она не допускает вытягивания фрезы даже в случае очень тяжелых условий резания. Это инновационное решение не только сокращает время обработки в 2-3 раза, но и повышает стойкость инструмента.

Совместное применение твердосплавных концевых фрез CoroMill® Plura и терморатрона с креплением iLock предотвращает вытягивание инструмента из патрона, обеспечивает высокую точность и оптимизирует эффективность удаления материала, что особенно важно при фрезеровании титана в процессе обработки деталей фюзеляжа аэрокосмической промышленности.

Для получения более подробной информации посетите сайт www.sandvik.coromant.com/ru.

О компании Sandvik Coromant

Sandvik Coromant является ведущим мировым поставщиком режущего инструмента и оснастки, инструментальных решений и ноу-хау для металлообрабатывающей промышленности. Благодаря крупным инвестициям в исследования и разработки, мы создаем уникальные инновации и устанавливаем, вместе с нашими клиентами, новые стандарты эффективности металлообработки. Наши основные клиенты представляют широкий спектр отраслей промышленности: автомобильную, аэрокосмическую, энергетическую и многие другие. В компании Sandvik Coromant работает более 8000 сотрудников, она представлена в 130 странах мира. Мы являемся частью бизнес-подразделения Sandvik Machining Solutions в рамках глобальной промышленной группы Sandvik.

МАИ СОБИРАЕТ НА ILA СТУДЕНТОВ И ВЫПУСКНИКОВ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ВУЗОВ

Дарья Стрункина, Московский авиационный университет (МАИ)



В Берлине в рамках Международной авиакосмической выставки ILA с 22 по 24 мая пройдёт Международный форум ведущих университетов аэрокосмической отрасли. На мероприятии планируется обсудить поистине животрепещущие вопросы авиационной и космической сферы, пути развития и интеграции ведущих вузов при разработке и внедрении перспективных технологий в образовании и науке.

Организатором такого амбициозного, многозадачного проекта выступил Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) при участии Минобрнауки России, Европейской комиссии по исследованиям, инновациям и науке и один из лидеров международных рейтингов вузов компания QS.

Почему МАИ выступил инициатором открытого диалога мирового сообщества и рупором идей глобализации в науке в интервью журналу "Двигатель" рассказал проректор по научной работе МАИ Вячеслав Шевцов.



- У Международного форума ведущих университетов аэрокосмической отрасли актуальный девиз "Аэрокосмический университет будущего". В МАИ уже составили своё представление, каким он должен быть, или планируется выяснить в ходе мероприятия?

- Отмечу, что в самом начале в подзаголовке к девизу форума значилось уточнение: "Аэрокосмический университет будущего (вызовы, технологии, инновации)". Это те актуальные вопросы, которые мы планируем затронуть в нашей беседе в Берлине.

Дело в том, что аэрокосмические, технические вузы и высшие школы отраслевой направленности имеют оригинальную специфику с точки зрения собственного пути развития и тех вызовов, которые стоят перед образованием. Например, в связи с внедрением новых технологий и расширением академической мобильности студентов и преподавателей растёт тенденция к универсальности образования. Тем не менее, вузам узкой специфики и отраслевой направленности реализовать постулаты мобильности и восприимчивости к широкому охвату направлений подготовки очень трудно. Поэтому мы хотим на конференции прийти к консолидированному мнению - каковы пути развития аэрокосмических вузов в связи с общими тенденциями развития образования в мире.

- Выход на международную арену сопряжён с определёнными рисками - можно просто не набрать аудиторию мероприятия. Желających много?

- Ректоры всех аэрокосмических вузов России лично подтвердили своё участие в этой конференции. Помимо вузов, надеемся, примут участие наши партнёры - Роскосмос, Объединённая авиационно-строительная корпорация, Госкорпорация "Ростехнологии" и входящая в её состав Объединённая двигателестроительная корпорация. Согласитесь, что для них это также полезное мероприятие, ведь они будут в курсе направлений и изменений в подготовке кадров не только в отечественном образовании, но и в мире. Своими силами мы привлекаем и иностранные вузы. Я лично общался с их представителями, заинтересованность есть.

Большую работу проводят и соорганизаторы форума - Европейская комиссия по исследованиям, инновациям и науке и один из организаторов ведущего рейтинга вузов, компания QS. Со своей стороны они приглашают зарубежных партнёров - работодателей и высшие учебные заведения. Надеюсь, что форум посетит руководитель QS. Участие планирует и рейтинговое агентство Webometrics.

- Как родилась идея конференции? Это связано с пресловутыми рейтингами, в которые мечтают попасть российские вузы? Или причины были другими?

- Сначала была идея просто собрать выпускников МАИ, которые живут и добились карьерных успехов за рубежом. Такой формат, с одной стороны, мог продемонстрировать уровень роста МАИ за ближайшие несколько лет, а с другой, стать отличной воз-

можностью для обсуждения направлений развития университета. В итоге, как это часто бывает, повод перерос в масштабный проект "Аэрокосмический университет будущего". Теперь аудитория более широкая - это не только выпускники, но и профессиональное сообщество, которое работает с аэрокосмическими вузами.

В мае 2014 года в Берлине пройдёт аэрокосмический салон ILA. Это настоящая удача, что мы можем провести наше мероприятие на такой престижной площадке.

Идея пригласить выпускников, однако, не повисла в воздухе. На форуме, во второй день его работы, Клуб выпускников МАИ готовит специальное мероприятие для своих членов. Приглашаем маёвцев, которые работают не только за рубежом, но и в российских компаниях. Планируется обсуждение перспектив, направлений развития университетов и программ Клуба выпускников. В том числе - создание эндаумент фонда, его наполнения, участия широкого круга выпускников в мероприятиях.

- На мероприятии планируется "презентация амбициозных проектов, реализация которых требует мировой интеграции научного, производственного и финансового потенциала стран - технологических лидеров". В этой связи два вопроса - какие это проекты и есть ли они в копилке у МАИ?

- МАИ уже участвует в ряде проектов в рамках сотрудничества со Сколково и Массачусетским технологическим институтом (MIT). В основном реализуем проекты по аэрокосмической и космической тематике. Например, одно из приоритетных направлений - жизнеобеспечение в космических полётах.

Ещё одна перспективная разработка МАИ, которую пока, к сожалению, ни Роскосмос, ни Минобрнауки России не финансирует, - проект создания сети малых спутников с целью расширения образовательных услуг для школьников и студентов вуза "СОВИК". Интерес к технологии есть за рубежом. Хотим презентовать и оценить заинтересованность.

Проект концепции освоения дальнего космоса предлагает глава "Сколтеха" Эдвард Кроули. Это довольно амбициозное, многозадачное и фундаментальное решение, которое одна страна реализовать не никогда не сможет с точки зрения его затрат. Создание такого международного проекта также будет обсуждаться на форуме.

- Насколько важно для МАИ такая конференция? Планируется ли её проведение на постоянной основе?

- На месте стоять нельзя. Нужно знакомиться с другими университетами. В первую очередь с вузами - мировыми лидерами, приобретать опыт и знакомиться с технологиями, инновациями, которые они реализуют.

Кроме того важно продемонстрировать и собственные достижения. МАИ богат своими идеями и реализованными проектами в сфере образования и науки. Если мероприятие получится, то мы надеемся, что сделаем её ежегодной. Привяжем ко всем аэрокосмическим салонам во Франции, в Англии, в России и будем проводить. Конечно, при наличии результата и заинтересованности. Посмотрим. Есть желание сделать её интересной для всех участников. **П**

ОТЧЁТНОЕ СОБРАНИЕ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ В ЦИАМ им. П.И. БАРАНОВА

Ирина Михайловна Иванова, ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"



Участники отчетного собрания секции "Авиакосмическая"

28 февраля на территории ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" под председательством генерального директора ЦИАМ, академик-секретаря секции "Авиакосмическая" Российской инженерной академии В.И. Бабкина состоялось отчетное собрание секции "Авиакосмическая" Российской инженерной академии (РИА) и Международной инженерной академии (МИА) по итогам 2013 года. В заседании приняли участие члены президиума РИА, действительные члены РИА, члены-корреспонденты РИА и МИА.

Заседание открыл В.И. Бабкин отчетом о научно-технической работе секции "Авиакосмическая". В своем докладе он сообщил о научно-исследовательской деятельности секции, научно-технических работах, выпущенных в 2013 году, о международном сотрудничестве, участии секции "Авиакосмическая" в проведении конгрессов, конференций и съездов, а также оказании содействия НИИ, НПО и КБ авиакосмического профиля в организации и проведении НИР и ОКР в 2013 г. Также на заседании был заслушан финансово-экономический отчет и отчет контрольно-ревизионной комиссии секции. О планах работы секции на 2014 год доложил действительный член РИА В.В. Горбатенко. Об издательской деятельности сообщили член-корреспондент РИА, ученый секретарь секции Э.Н. Дудар и действительный член РИА, заместитель главного ре-

дктора журнала "Аэрокосмическая техника и технология" В.Л. Калачанов. Участники собрания единогласно признали работу секции "Авиакосмическая" в 2013 году удовлетворительной.

В рамках совещания в дополнение к врученной ранее высшей награде РИА - ордену "Инженерная слава" состоялось вручение поздравительного адреса члену-корреспонденту РАН, действительному члену РИА, генеральному конструктору, заместителю генерального директора ФГУП "Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры" И.В. Бармину "за крупный вклад в развитие инженерной науки и практики, профессионального образования, консолидацию инженерно-технического и научного сообщества стран СНГ и дальнего зарубежья", а также вручение знака "Инженерная доблесть" за большой вклад в развитие космонавтики члену-корреспонденту РАН, действительному члену РИА, летчику-космонавту СССР, президенту Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК) В.П. Савиных.

Действительный член РИА, заместитель генерального директора АНТК имени А.Н. Туполева генерал-лейтенант, командующий дальней авиацией (с 1997 по 2002 г.), заслуженный летчик России М.М. Опарин подробно рассказал о зарождении, истории развития и современном состоянии Дальней авиации России,



Заместитель генерального директора АНТК имени А.Н. Туполева генерал-лейтенант М.М. Опарин

технических особенностях самолетов и их двигателей - от первого в мире многомоторного самолета "Илья Муромец" до сверхзвукового ракетноносца Ту-160. Докладчик отметил, что на сегодняшний день Дальняя авиация - это главная ударная сила Военно-воздушных сил и единственное дальнобойное высокоточное средство в руках Верховного главнокомандующего Российской Федерации. М.М. Опарин сообщил о мероприятиях, готовящихся к празднованию 100-летия Дальней авиации России. В заключение сообщения автором был продемонстрирован научно-популярный фильм, в котором рассказывалось об истории создания и становления российской эскадры воздушных кораблей.

В.Г. Довгань, академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, член-корреспондент МИА, член-корреспондент Международной академии космонавтики, заслуженный испытатель космической техники, водитель второго экипажа "Лунохода", принимавший участие в управлении работой на лунной поверхности аппаратов "Луноход-1" и "Луноход-2", рассказал о создании необычной машины и комплекса для ее испытаний - "лунодрома", о формировании наземного экипажа, его подготовке к



Генеральный директор ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" В.И. Бабкин и генеральный конструктор, заместитель генерального директора ФГУП "Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры" И.В. Бармин



Рассказывает В.Г. Довгань, академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, член-корреспондент МИА, член-корреспондент Международной академии космонавтики, заслуженный испытатель космической техники, водитель второго экипажа "Лунохода"

работе, обучении, тренировках и непосредственно об управлении движением "Лунохода-1" по поверхности Луны и сопроводил свое сообщение фрагментом документального фильма "Танк на Луне", повествующего об истории создания и работе передвижных научных станций "Луноход".

Заключительным пунктом повестки дня стало сообщение действительного члена РИА, начальника отдела ПВРД и химмотологии ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" Л.С. Яновского о 29-м Конгрессе Международного совета по аэронавтическим наукам - International Council of Aeronautical Sciences (ICAS-2014), который состоится 7-12 сентября 2014 года в Санкт-Петербурге. Л.С. Яновский отметил, что ICAS является крупнейшим авиакосмическим научным форумом, который проводится в России впервые за 50 лет деятельности организации. Членами ICAS являются такие российские предприятия, как ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова", ФГУП "ЦАГИ им. профессора Н.Е. Жуковского", ЗАО "Аэрокосмическая корпорация "Воздушный старт". В программу Конгресса будут включены

устные доклады. Предусматриваются и стендовые доклады, количество которых заранее не ограничивается. Все работы, принятые для докладов, будут включены в сборник трудов Конгресса. Также планируется организация посещения ряда научно-исследовательских центров и предприятий авиационной промышленности и институтов Российской академии наук, расположенных в Санкт-Петербурге, Москве и Московской области. Гости смогут ознакомиться с научной, экспериментальной и производственной базой исследовательских и учебных лабораторий России, встретиться с ведущими учёными и специалистами.



Начальник отдела ПВРД и химмотологии ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" Л.С. Яновский

Российская инженерная академия (РИА) - общественная академия наук, объединяющая ведущих российских и зарубежных ученых, инженеров, научно-исследовательские учреждения, вузы и предприятия. Действительными членами Академии избираются лица, обогатившие науку выдающимися достижениями или реализованными на практике инженерными разработками, имеющими высокую научно-техническую значимость, а также внесшие большой вклад в организацию одной из отраслей промышленности, науки, техники и технологии. РИА является правопреемницей Инженерной академии СССР, созданной 13 мая 1990 года при непосредственном участии Академии наук СССР, Государственного комитета СССР по науке и технике, Научно-промышленного союза СССР, Союза научных и инженерных обществ СССР, а также двадцати профильных союзных и республиканских министерств и ведомств. Российская инженерная академия состоит из 28 секций, охватывающих ключевые отрасли промышленности, и ряда советов по различным научно-техническим проблемам. Региональная структура академии представлена 38 региональными отделениями и семью центрами.



Участники отчетного собрания секции "Авиакосмическая" РИА и МИА по итогам 2013 года

АО "МОТОР СИЧ"

НАДЕЖНЫЙ ПАРТНЕР



Вячеслав Александрович
Богуславский
Президент
АО "МОТОР СИЧ"

АО "МОТОР СИЧ" – это компания, специализирующаяся на создании, производстве и послепродажном обслуживании газотурбинных двигателей для гражданской и военной авиации, промышленных газотурбинных приводов, а также газотурбинных электростанций и газоперекачивающих агрегатов с этими приводами. В последнее время мы также проводим активные работы по созданию в Украине вертолетостроительной промышленности.

Тысячи газотурбинных двигателей, изготовленных на АО "МОТОР СИЧ", поднимают в небо летательные аппараты, созданные в КБ Антонова, Бериева, Ильюшина, Камова, Миля, Туполева, Яковлева, чешской компании Aero Vodochody a.s и китайской Hongdu.

Одним из признанных критериев успешности предприятия является его участие в международных авиационных выставках. АО "МОТОР СИЧ" постоянный участник аэрокосмических салонов в России, Украине, Франции, Германии, Великобритании, Индии, Китае, Объединенных Арабских Эмиратах и других странах.

На нынешнем "Международном форуме двигателестроения - 2014" мы представляем Вашему вниманию некоторые двигатели последних лет, созданные или только создаваемые как на нашем предприятии (ТВЗ-117ВМА-СБМ1В, 1, 2, 4 и 4Е серий, МС-500В, МС-14), так и совместно с ГП "Ивченко-Прогресс" (Д-436-148ФМ, АИ-450М/М1 и АИ-450С).

С целью дальнейшего повышения летно-технических характеристик вертолетов, особенно при их эксплуатации в высокогорных районах стран с жарким климатом, на АО "МОТОР СИЧ" создан двигатель ТВЗ-117ВМА-СБМ1В, который также имеет значительно увеличенные ресурсы. Например, ресурс до 1-го капитального ремонта двигателя ТВЗ-117ВМА-СБМ1В составляет 5000 часов/5000 полетных циклов по сравнению с 2000 часов/2000 циклов у предшествующих модификаций двигателя ТВЗ-117В.

В 2007 г. АР МАК и Госавиаадминистрация Украины выдали сертификаты типа на этот двигатель.

В июле 2009 г. утвержден Акт по Государственным стендовым испытаниям турбовального двигателя ТВЗ-117ВМА-СБМ1В и в ав-

густе 2009 г. Приказом Министра обороны Украины двигатель ТВЗ-117ВМА-СБМ1В принят на вооружение.

В 2011 г. на 218-м авиаремонтном заводе в г. Гатчина были успешно завершены Государственные стендовые испытания двигателя ТВЗ-117ВМА-СБМ1В по программе Минобороны Российской Федерации.

В 2012 г. двигатели ТВЗ-117ВМА-СБМ1В успешно прошли предварительные летные испытания в составе вертолета Ми-8МТВ-5-1 на ОАО "МВЗ им. М.Л. Миля", а в апреле 2013 г. Министерством обороны Российской Федерации успешно проведены специальные совместные летные испытания указанного вертолета в Торжке.

Выполнены работы по сертификации модификаций этого двигателя, полученных обозначение ТВЗ-117ВМА-СБМ1В 4 (с воздушным запуском) и 4Е (с электрическим запуском) серий. Они предназначены для ремоторизации находящихся в эксплуатации вертолетов Ми-8Т, где новый двигатель заменит снятые с производства ТВ2-117. Это позволит улучшить летно-техничес-



Вертолет Ми-8МСБ с двигателями ТВЗ-117ВМА-СБМ1В 4Е серии

кие и эксплуатационные характеристики одних из самых распространенных в мире вертолетов.

В 2011 г. АО "МОТОР СИЧ" Авиационным регистром МАК выдано дополнение к Сертификату типа № СТ267-АМД/Д04 на маршевые двигатели ТВЗ-117ВМА-СБМ1В 4 и 4Е серий.

В 2012 г. проводились летно-конструкторские испытания турбовального двигателя ТВЗ-117ВМА-СБМ1В 4Е серии в составе модернизированного на АО "МОТОР СИЧ" вертолета Ми-8МСБ.

В июне 2013 г. на АО "МОТОР СИЧ" успешно проведены Государственные стендовые испытания двигателя ТВЗ-117ВМА-СБМ1В 4 (4Е) серии в интересах Министерства обороны Украины.

В июле 2013 г. в Государственном научно-испытательном центре Вооруженных сил Украины (Феодосия) вертолет Ми-8МСБ с двигателями ТВЗ-117ВМА-СБМ1В 4Е серии установил новый мировой рекорд, поднявшись на высоту 9150 м, что превышает высоту горы Эверест (8850 м).

В августе 2013 г. АО "МОТОР СИЧ" Авиационным регистром МАК выдано дополнение к Сертификату типа СТ267-АМД/Д06 на турбовальный двигатель ТВЗ-117ВМА-СБМ1В 2 серии с новым электронным регулятором.

Для применения в проектах новых и модернизируемых вертолетов разрабатывается двигатель ТВЗ-117ВМА-СБМ1В 1 серии - эта модификация с электронно-цифровой САУ типа FADEC.

Учитывая изменение конъюнктуры мирового вертолетного рынка, наше предприятие ведет работы по созданию семейства турбовальных двигателей нового поколения - МС-500В в классе взлетной мощности 600...1000 л.с., предназначенных для установки на вертолеты различного назначения со взлетной массой 3,5...6 тонн.

Разработка двигателей семейства МС-500В ориентирована на создание перспективных конкурентоспособных с зарубежными аналогами, надежных, легких и экономичных двигателей с малой стоимостью жизненного цикла. Компоновка базового двигателя была выбрана исходя из условия применения высоконапорного одноступенчатого центробежного компрессора со степенью повышения давления 11 при достаточно высоком КПД и обеспечении необходимых запасов газодинамической устойчивости, созданного специалистами АО "МОТОР СИЧ". До настоящего времени ни в одном отечественном КБ не смогли создать аналогичную ступень.

Двигатель МС-500В успешно прошел испытания в термокамере ЦИАМ. Близятся к завершению работы по сертификации двигателя в АР МАК, которая должна быть закончена в I квартале 2014 г.

Наш новый турбовинтовой двигатель МС-14 предназначен для ремоторизации ветерана отечественной авиации самолета Ан-2, а также может устанавливаться на другие самолеты аналогичного класса.

В августе 2013 г. АО "МОТОР СИЧ" Авиационным регистром МАК выдан Сертификат типа на маршевый двигатель МС-14.

На ГП "Антонов" начаты летно-конструкторские испытания самолета Ан-2-100 с двигателем МС-14. Их результаты наглядно демонстрируют, что новый двигатель обеспечит существенное улучшение летно-технических и эксплуатационных характеристик самолета. Это вселяет надежду, что проект ремоторизации заинтересует многих эксплуатантов самолетов Ан-2. Кроме турбовинтового двигателя разработаны и изготовлены два варианта турбовальных двигателей: МС-14ВК с выводом мощности вперед и МС-14ВМ с выводом мощности назад.

Д-436-148ФМ - модификация двигателя Д-436-148 с увеличенной до 7900 кгс взлетной тягой и тягой на чрезвычайном режиме 8600 кгс благодаря применению более эффективных узлов двигателя. Двигатель создается для установки на транспортный самолет Ан-178 грузоподъемностью 16...18 тонн, который предназначен для замены ветерана транспортной авиации Ан-12. Завершение сертификации двигателя запланировано на 2016 год.

Этот двигатель имеет перспективный вентилятор, в конструк-



Самолет Ан-2-100 с двигателем МС-14

ции которого использованы новые решения по повышению КПД, напорности и снижению шума. В сочетании с повышением характеристик основных узлов двигателя это обеспечит существенное улучшение летно-технических характеристик самолетов.

Сейчас усилия двух предприятий также сосредоточены на двигателе АИ-450М, предназначенном для ремоторизации ранее выпущенных вертолетов Ми-2, где он заменит снятые с производства ГД-350.

Параллельно ведутся работы по турбовинтовым модификациям АИ-450С и АИ-450С-2 с мощностью на взлетном режиме 400...465 и 750 л.с. соответственно, предназначенным для самолетов авиации общего назначения и учебно-тренировочных. В настоящее время изготовлен макет двигателя АИ-450С, который в апреле 2013 года на международной специализированной авиационной выставке AERO Friedrichshafen (Германия) демонстрировался в составе макета 5-местного однодвигательного самолета DA-50 TURBINE широко известной в мире австрийской компании DIAMOND AI. Также изготовлен первый двигатель и начаты его стендовые испытания. Проводятся работы по изготовлению еще трёх двигателей для стендовых и летных испытаний.

Сегодня работа нашего предприятия в полной мере соответствует критериям рыночной экономики. Большой опыт позволяет нам гибко и эффективно действовать на мировых рынках. Качество и надежность выпускаемых нами авиодвигателей подтверждена их многолетней эксплуатацией на самолетах и вертолетах более, чем в 100 странах мира.

Наша цель - производить долговечные и надежные изделия, в полной мере удовлетворяющие требованиям заказчика и создающие максимальные удобства потребителям. Мы стремимся к дальнейшему укреплению сложившегося позитивного имиджа нашего предприятия - надежного, солидного, делового партнера. **П**



АО "МОТОР СИЧ"
 пр. Моторостроителей, 15,
 г. Запорожье, 69068, Украина.
 Тел.: (+38061) 720-48-14.
 Факс: (+38061) 720-50-05.
 E-mail: eo.vtf@motersich.com
<http://www.motersich.com>

НОВАЯ БЕСПРЕЦЕДЕНТНАЯ ЛИНЕЙКА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ СТАНКОВ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И ПРЕЦИЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

20 лет компания **SARIX** предлагает лучшие решения в области микро-обработки для высокоточных электроэрозионных технологий:

- ♦ высокоточная и высокоскоростная микро-прошивка отверстий;
- ♦ прошивка микро-форм;
- ♦ 3D микро-фрезерование;
- ♦ сочетание процессов микро-прошивки и высокоскоростного фрезерования;
- ♦ сочетание процессов микро-прошивки и лазерного удаления покрытия.

В начале 2014 г. компания **SARIX** представила первые две модели из новой линейки эрозионных станков - SX200hpm и SX200aero. Эти станки объединили в себе большинство инноваций компании и были разработаны исключительно для высочайшей точности микро-3D обработки.

Станок SX200hpm предлагает улучшенные технологические возможности микро-электроэрозионного фрезерования для производителей микромеханики, микро-оснастки и микро-прессформ.

Новое поколение прецизионных цанг - **SP12** - создано для работы электродом диаметром менее 30 мкм при финишной обработке отверстий диаметром менее 40 мкм. Новый сменщик сборки электрод-цанга обеспечивает возможность полностью автоматического изменения диаметра обработки. Для дальнейшего снижения диаметра рабочего электрода разработано **четвёртое поколение системы управления** процессом электроэрозии.

Все вышперечисленное, естественно, сочетается с высочайшей производительностью и качеством обработки от **SARIX**.

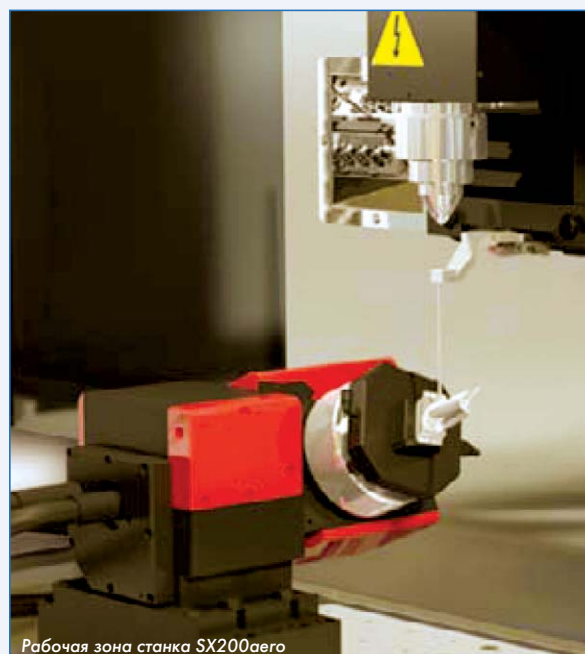
Станок SX200aero ориентирован на использование в области аэрокосмических технологий, таких как прошивка каналов охлаждения в турбинных лопатках, где успехи компании **SARIX** особенно заметны. Станок SX200aero полностью соответствует новым жестким стандартам безопасности и обеспечивает свободный и удобный доступ к рабочей зоне. Новая концепция станка и его новый дизайн предоставили еще большую гибкость в организации рабочего пространства чем ранее и открывают доступ к рабочей зоне сразу с трёх сторон. Процесс обработки дополнен встроенной системой оптического сканирования через короткие промежутки времени. Оснащение станка цангой **SP-MDC**, позволяющей зажимать электроды разного диаметра **от 0,2 до 1,5 мм**, и увеличенный ход по оси **W 400 мм** делают станок еще более удобным с точки зрения автоматизации процесса электроэрозионной микро-обработки отверстий. Обе модели предлагаются полностью со всеми необходимыми системами и диэлектрическим агрегатом, интегрированными в основание станков. Все системы управляются с помощью большого и эргономичного сенсорного пульта управления.

Широкие технологические возможности высокоскоростной прошивки отверстий обусловлены идеальной системой контроля выхода в полость, малым изменённым слоем и отсутствием дефектного слоя.

Интегрированная система оптических измерений **SX-MVS** позволяет выполнять припасовку в зависимости от качества литья лопатки или соплового блока, как при их производстве, так и при их ремонте. Размер отверстий круглого или профильного сечения контролируется в процессе прошивки самих отверстий. Особенностью системы **SX-MVS** является также контроль сквозного прожига отверстий.



SX200aero



Рабочая зона станка SX200aero

Новейшее поколение
СТАНКОВ

SARIX
MICRO EDM TECHNOLOGY

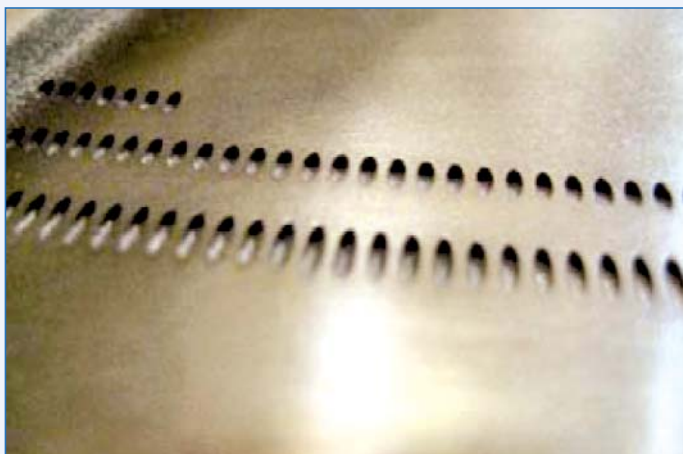
Полный доступ
к рабочей зоне с трёх сторон
Абсолютно безопасный
доступ для оператора
Встроенная система
оптического контроля
обработки



SARIX
MICRO EDM TECHNOLOGY


Высокоскоростное сверление
в особых сплавах

Технология высокоскоростного
прожига отверстий
согласно требованиям NADCAP



Программное обеспечение **SX-CAMAERO** обеспечивает весь процесс программирования симуляции обработки и непосредственно прошивки. Возможность импорта 3D-моделей позволяет в кратчайшие сроки пройти путь от проектирования до создания сложных деталей аэрокосмической тематики.

Обработка на станке **SC200aero** выполняется в соответствии с руководством калибровки станком **NADCAP**.

При разработке дизайна станка специалисты компании **SARIX** учитывали основные пожелания заказчиков. В связи с этим новый станок обладает такими технологическими преимуществами как: высокая клиенто-ориентированность, компактность, полный доступ к рабочей зоне с 3-х сторон, сенсорный пульт управления и много других специфических преимуществ. 

Никогда еще не было 3D микро-эрозионной технологии с подобными уникальными возможностями.



[WWW.sarixc.pf](http://www.sarixc.pf)

SX200aero
Aerospace 8 axis machine



 sarix.com

УСТРАНЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЖЕСТКОСТИ ОПОРЫ

ФГУП "НПЦ газотурбостроения "Салют":
Юрий Борисович Назаренко, ведущий конструктор, к.т.н.
Алексей Юрьевич Потапов, директор по НИР и ОКР

Рассматривается метод отстройки роторов на критических частотах их вращения. Это достигается за счет установки упругого элемента на опоре трансмиссии с регулируемой жесткостью, позволяющего изменять жесткостные характеристики опоры на разных частотах вращения роторов. Разработана методика установления частоты вращения ротора, при которой будет реализовываться изменения жесткости опоры.

The method of rotors regulation in case of their critical revolution frequency is presented. It can be done by location an elastic element on transmission support bearing with adjustable stiffness, which allows to change stiff characteristics of the support bearing in case of different revolution frequency. The technique of establishment the rotor revolution frequency at which will be incarnate the changes in rigidity of the support bearing is developed.

Ключевые слова: опора ротора, упругая втулка, резонанс, критическая частота, жесткость.

Keywords: rotor support bearing, elastic bush, resonance, critical revolution frequency, stiffness.

Введение

Одной из основных проблем надежности роторов газотурбинных двигателей является устранение резонанса при критических частотах вращения. Для решения этой проблемы обычно осуществляют отстройку роторов, при проведении которой смещают критические частоты вращения, т.е. выводят их из рабочего диапазона эксплуатации двигателей.

Смещение критических частот вращения роторов, при которых они теряют устойчивость, может быть осуществлено путем изменения конструкции их вращающихся элементов: массовых, геометрических, жесткостных характеристик роторов [1]. Однако внесение конструктивных изменений в создаваемые двигатели весьма затруднительно и практически не может быть осуществлено на эксплуатирующихся двигателях.

Гораздо более простым направлением управления критическими частотами является изменение жесткостей опор [2]. Однако управление критическими частотами эффективно может быть реализовано для одной критической частоты, а при эксплуатации двигателя таких частот в рабочем диапазоне его может быть несколько.

Обычно наиболее низкая критическая частота вращения роторов связана со скалочной формой колебаний, когда ротор совершает колебания без деформирования вала, а только благодаря упругости опоры. Эта критическая частота, как правило, лежит ниже рабочего диапазона, но она обязательно присуща ротору, например, в момент запуска двигателя.

Для безопасной работы двигателя данная частота должна быть как можно ниже, так как кинетическая энергия ротора в этом случае незначительна и последствия преодоления этой частоты будут минимальны. Этого можно добиться уменьшением жесткости опоры.

На более высоких оборотах ротора наблюдается его изгибная форма колебаний, которая представляет большую опасность для безопасности двигателя и желательно ее вывести из зоны рабочих частот ротора. Это можно добиться увеличением жесткости опоры.

В [3] была предложена упруго-демпферная опора турбомашин, позволяющая изменять жесткость опоры при изменении осевой нагрузки ротора. Однако в процессе работы роторной машины осевая нагрузка меняется не только при изменении оборотов ротора, а также при изменении режимов полета (например, высоты и скорости). В этом случае изменение жесткости однозначно не связано с частотой вращения ротора, что снижает эффективность регулирования работы ротора на критических частотах.

1. Упругая опора с изменяющейся жесткостью в эксплуатации при разной частоте вращения ротора

Для повышения надежности работы и срока службы двигателя предлагается новая конструкция опоры, обеспечивающая регулирование жесткости опоры в зависимости от частоты вращения ротора, что позволяет избежать резонансных колебаний на всех режимах эксплуатации двигателя.

Для решения этого вопроса при вращении внутреннего кольца подшипника и не подвижного внешнего, связанного со статором, устанавливается упругий элемент между валом ротора и внутренним кольцом подшипника.

Упругий элемент представляет собой втулку, в средней части которой выполнен центральный поясок, с радиальными выступами в направлении вала и внутреннего кольца подшипника, а по торцам имеющую пояски с выступами в одном направлении - в направлении вала (рис. 1).

Податливость втулки реализуется следующим образом. Так как центральный поясок втулки со стороны контакта его с валом ротора имеет больший радиус чем выступы торцевых поясков, он в начальный момент времени имеет зазор с валом.

Радиальная нагрузка от вала ротора передается на торцевые пояски упругого элемента, а воспринимается через выступ центрального пояска внутренним кольцом подшипника, который через ролики, корпус подшипника и силовые элементы связан со статором и является абсолютно неподвижным.

При приложении радиальной нагрузки на торцевые пояски и при ограничении перемещений центрального пояска происходит упругое деформирование (изгиб) втулки в осевом направлении и тем самым реализуется ее податливость. Для увеличения податливости втулки по образующей ее поверхности между центральным пояском и торцевыми поясками равномерно выполнены прорезы, формирующие перемишки.

Так как на втулке выполнены прорезы, то на изгиб работают только перемишки (рис. 2), обеспечивая необходимую податливость.

При работе регулируемой опоры в процессе вращения вала ротора податливость (обратная величина жесткости) опоры при

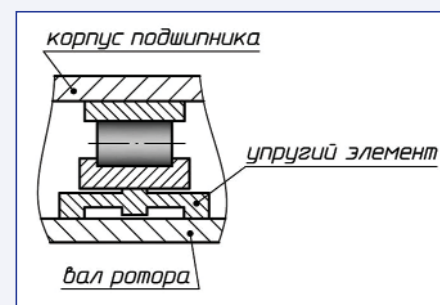


Рис. 1 Упругая втулка, изменяющая жесткость опоры в эксплуатации при разных частотах вращения ротора

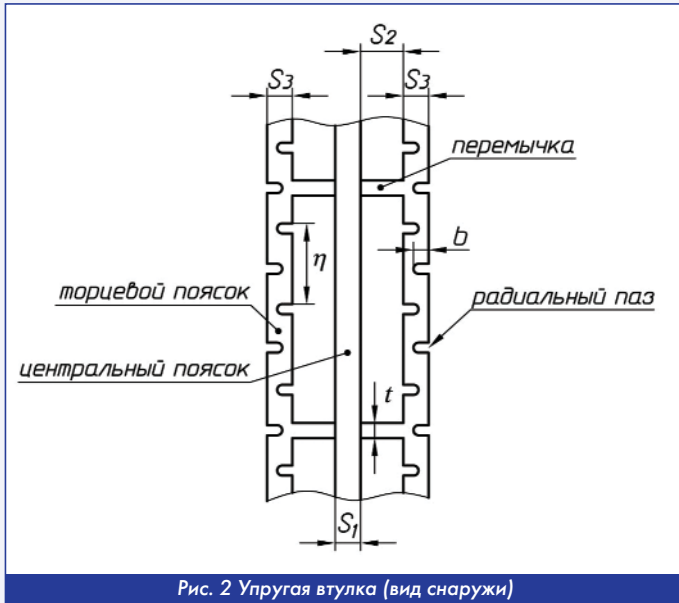


Рис. 2 Упругая втулка (вид снаружи)

малых частотах вращения складывается из податливости стандартного штатного упругого или упруго-демпферного элемента, который устанавливается между посадочным корпусом подшипника и силовыми стойками, передающими нагрузки от ротора на статор двигателя и упругой втулки.

Для реализации регулирования жесткости опоры при изменении частоты вращения втулка выполнена таким образом, что под действием центробежных сил радиальные перемещения торцевых поясков превышают перемещения центрального пояска.

В этом случае при определенной частоте вращения произойдет контакт центрального пояска с валом ротора, и нагрузка от вала ротора на внутреннее кольцо подшипника будет передаваться только через центральный поясок и жесткость упругого элемента становится практически бесконечной. Жесткость опоры тогда будет определяться только жесткостью штатного упруго-демпферного элемента опоры.

При этом между валом и центральным пояском втулки будет зазор, который допустим. В практике эксплуатации газотурбинных двигателей имеет место монтаж подшипника с зазором.

Для реализации изменения жесткости втулки на его торцевых поясках выполняют радиальные пазы (рис. 2). В этом случае радиальное перемещение торцевых поясков будет происходить только за счет цельной части пояска, не ослабленной пазами, в то время как центробежные силы будут определяться всей массой пояска. Это позволяет регулировать радиальные перемещения.

2. Методика определения частоты вращения ротора при изменении жесткости упругого элемента

Радиальное полярно симметричное деформирование центрального и торцевых поясков без учета их влияния друг на друга будет определяться действием центробежных сил поясков и связанных с ним перемычек при их вращении.

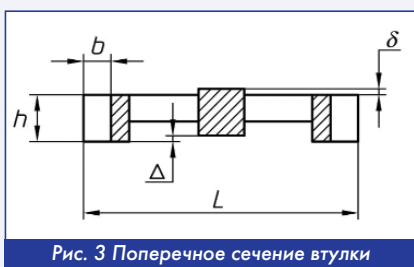


Рис. 3 Поперечное сечение втулки

При этом влияние перемычек на центральный поясок и торцевые пояски примем равными половине центробежной силы перемычек. Поперечное сечение втулки показано на рис. 3.

Равномерное деформирование центрального пояска определим приложив к кольцу погонную нагрузку от центробежных сил пояска и всей длины перемычек (по половине с двух сторон)

$$g_1 = m_1 \cdot R \cdot \omega^2 + \frac{m_2 \cdot R \cdot \omega^2 \cdot 180}{\pi \cdot R \cdot \alpha} = \frac{(\pi \alpha \cdot m_1 R + 180 \cdot m_2) \cdot \omega^2}{\pi \cdot \alpha}, \quad (1)$$

где m_1 - погонная масса центрального пояска; m_2 - масса перемычки; R - средний радиус втулки; ω - круговая скорость вращения ротора; α - угол между перемычками.

Определяя нормальные растягивающие силы в центральном пояске

$$N = g_1 \cdot R \quad (2)$$

и, используя закон Гука, окружные деформации

$$\varepsilon_\theta = \frac{g_1 \cdot R}{F_1 \cdot E}, \quad (3)$$

установим радиальное перемещение центрального пояска под действием центробежных сил

$$\begin{aligned} \Delta R_1 &= \varepsilon_\theta \cdot R = \frac{g_1 \cdot R^2}{F_1 \cdot E} = \frac{m_1 \cdot R^3 \cdot \omega^2}{F_1 \cdot E} + \frac{180 \cdot m_2 \cdot R^2 \cdot \omega^2}{\pi \cdot F_1 \cdot E \cdot \alpha} = \\ &= \frac{R^2 \cdot \omega^2}{\pi \cdot F_1 \cdot E \cdot \alpha} \cdot (\pi \cdot m_1 R \alpha + 180 \cdot m_2), \end{aligned} \quad (4)$$

где F_1 - площадь поперечного сечения центрального пояска.

При определении радиальных перемещений торцевых поясков рассмотрим случай, когда глубины пазов превышают половину ширины торцевого пояска. Этот вариант представляет наибольший интерес, так как жесткость поясков в окружном направлении существенно уменьшается, и соответственно радиальные перемещения будут возрастать.

Представим поясок в окружном направлении в виде упругого волнообразного элемента аппроксимируемого по синусоидальному закону с периодом равным шагу пазов в окружном направлении η (рис. 4).

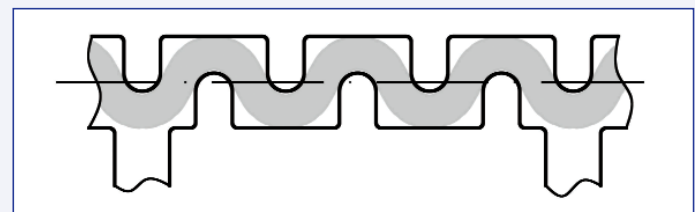


Рис. 4. Аппроксимация торцевого пояска в виде волнообразного элемента

Под действием центробежных сил в пояске в окружном направлении возникают растягивающие силы. Окружные деформации пояска можно установить, если определить окружные перемещения одного звена волнообразного элемента [4].

Для определения деформирования пояска в окружном направлении рассмотрим отдельно звено полукольца пояска, которое можно представить в виде полукольца с одинаковой жесткостью, равной жесткости с шириной $S_3 - b$ (рис. 2).

Для установления растягивающих усилий в торцевом пояске в окружном направлении определим радиальную погонную нагрузку от центробежных сил

$$g_3 = m_3 \cdot R \cdot \omega^2 + \frac{m_2 \cdot R \cdot \omega^2 \cdot 360}{2 \cdot \alpha} \cdot \frac{1}{2\pi R} = \frac{(\pi \alpha \cdot m_3 R + 90 \cdot m_2) \omega^2}{\pi \alpha}, \quad (5)$$

где m_3 - погонная масса торцевого пояска.

Нормальные растягивающие силы в торцевом пояске составят

$$N = g_3 \cdot R. \quad (6)$$

Изгибающие моменты при нагружении половины кольца двумя силами будут равны

$$M = N \cdot \rho \cdot \cos \theta, \quad (7)$$

где $\rho = b/2$ - радиус полукольца волнового звена торцевого пояска.

Неравномерное деформирование полукольца под действием двух диаметральных сосредоточенных сил установим энергетическим методом. Работа внешних сил при перемещении контура кольца Δ' в

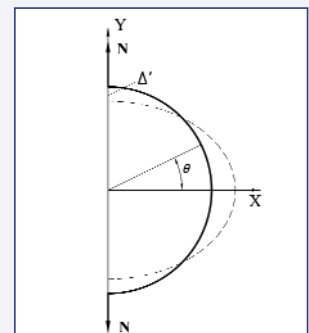


Рис. 5. Расчетная схема звена волнообразного пояска при растяжении в окружном направлении

окружном направлении от силы N равна

$$F = N \cdot 2 \Delta' \quad (8)$$

Определяя потенциальную энергию половины кольца

$$U = 2 \int_0^{\pi/2} \frac{\rho^3 \cdot N^2 \cos^2 \theta^2 d\theta}{2EJ} = \frac{0,785 \cdot \rho^3 \cdot N^2}{EJ} \quad (9)$$

и приравняв ее работе внешних сил (8), находим максимальное значение увеличения диаметра одного звена полукольца

$$\Delta = \frac{0,785 \cdot \rho^3 \cdot N}{EJ} \quad (10)$$

где $\Delta = 2\Delta'$ - растяжение одного звена полукольца.

С учетом того, что таких элементов по периметру пояска будет

$$n = \frac{360}{\beta/2} \quad (11)$$

удлинение пояска в окружном направлении составит

$$\Delta L = \frac{0,785 \cdot \rho^3 \cdot N}{EJ} \cdot \frac{360}{\beta/2} = \frac{565,2 \cdot \rho^3 \cdot N}{E \cdot J \cdot \beta} \quad (12)$$

а окружная деформация будет равна

$$\varepsilon_\theta = \frac{\Delta L}{2\pi R} = \frac{89,95 \cdot \rho^3 \cdot N}{E \cdot J \cdot \beta \cdot R} \quad (13)$$

где β - угловое расстояние между радиальными пазми с одной стороны торцевого пояска.

Радиальное перемещение пояска определится из выражения

$$\begin{aligned} \Delta R_3 &= \varepsilon_\theta \cdot R = \frac{89,95 \cdot \rho^3 \cdot g_3 R}{E \cdot J \cdot \beta} = \\ &= \frac{89,95 \cdot \rho^3 \cdot R}{E \cdot J \cdot \beta} \cdot \frac{(4\pi \alpha \cdot m_3 R + 360 \cdot m_2) \omega^2}{4\pi \alpha} \quad (14) \end{aligned}$$

где J - момент инерции волнового пояска $J = h_3(S_3 - b)^3/12$.

При определении момента инерции волнового пояска при изгибных деформациях под действием окружных растягивающих сил принималось во внимание, что основное влияние на деформации полукольца расчетного звена будет определяться сечением, расположенным под углом $\theta = 0$ (рис. 5).

Реализацию работы упругой опоры данной модификации рассмотрим на примере опоры с роликовым подшипником радиальным типоразмера 40x62x12 при максимальной частоте вращения внутреннего кольца 45 000 об/мин.

Параметры упругой втулки (рис. 2): длина - 30 мм; толщина торцевых поясков - $h = 3$ мм; S_3 и S_1 - длина (по оси) торцевых и центрального поясков - 5 и 4 мм; толщина (радиальная) и ширина (окружная) перемычек - 2 и 3 мм при шаге перемычек 45°; глубина и ширина пазов 3 и 2 мм при шаге пазов - 15°. Причем смещение пазов на противоположных сторонах равно половине шага. Высота центрального пояска при параметре $\delta = 0,2$ мм (рис. 3) составила 3,2 - Δ . Зазор Δ принимаем 10 мкм.

Расчет радиальных перемещений поясков при различной частоте вращения был произведен по предлагаемой методике и в программном комплексе "ANSYS".

Зависимость, радиальных перемещений торцевых поясков относительно центрального при различных круговых скоростях вращения ротора представлена на рис. 6.

При наличии зазора между центральным пояском и валом $\Delta = 10$ мкм посадка центрального пояска на вал и изменение жесткости опоры по предлагаемой методике происходит при частоте вращения вала $n = 68\%$ от максимальной частоты вращения, когда перемещение торцевых поясков 13,8 мкм превысит перемещение центрального

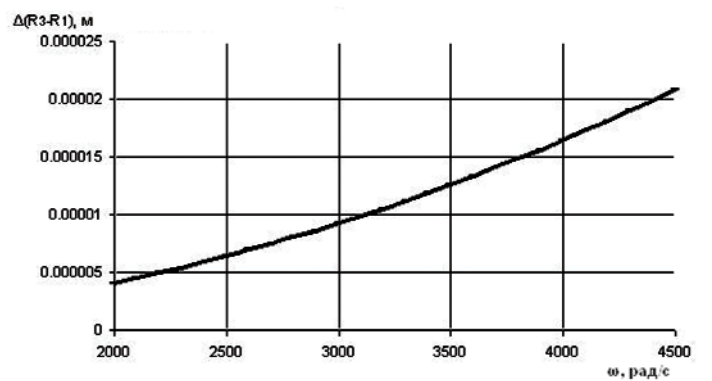


Рис. 6 Превышение радиального перемещения торцевых поясков центрального

пояска 3,3 мкм и первоначальный зазор.

Зазор, возникающий между валом и центральным пояском втулки можно компенсировать применением втулки из материала с меньшим коэффициентом линейного расширения, чем у материала вала. Так при температуре втулки и вала 200 °С и разнице коэффициентов линейного расширения $\Delta\alpha = 2,5 \cdot 10^{-6}$ [1/°С], радиальное сближение вала и втулки составит 10 мкм и зазор между ними будет ликвидирован.

Несмотря на хорошую сходимость теоретического и метода конечных элементов (3%) окончательное назначение параметров необходимо производить численными методами в программных комплексах "Ansys" или "Patran".

Выводы

Применение упругой втулки опоры ротора газотурбинного двигателя, изменяющей жесткость при вращении внутреннего или внешнего колец подшипника, на которое оно посажено, позволяет более эффективно регулировать (сместать) критические частоты вращения роторов и выводить их из рабочего диапазона, что позволяет повысить надежность работы двигателя, его безопасность и срок эксплуатации.

Литература

1. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин/ И.А. Биргер, Б.Ф. Шор, Г.Б. Иосилевич.- М.: Машиностроение, 1979. - 431 с.
2. Хронин Д.В. Теория и расчет колебаний в двигателях летательных аппаратов/ Д.В. Хронин.- М.: Машиностроение, 1970. - 411 с.
3. Патент РФ № 2303143, кл. F01D25/16, 2007.
4. Потапов А.Ю., Назаренко Ю.Б. Способ устранения проскальзывания роликов межвальных подшипников с помощью овализации кольца подшипника в эксплуатации // Двигатель, №4, 2012. - С.14-17.

Связь с автором: e-mail: nazarenkojb@rambler.ru

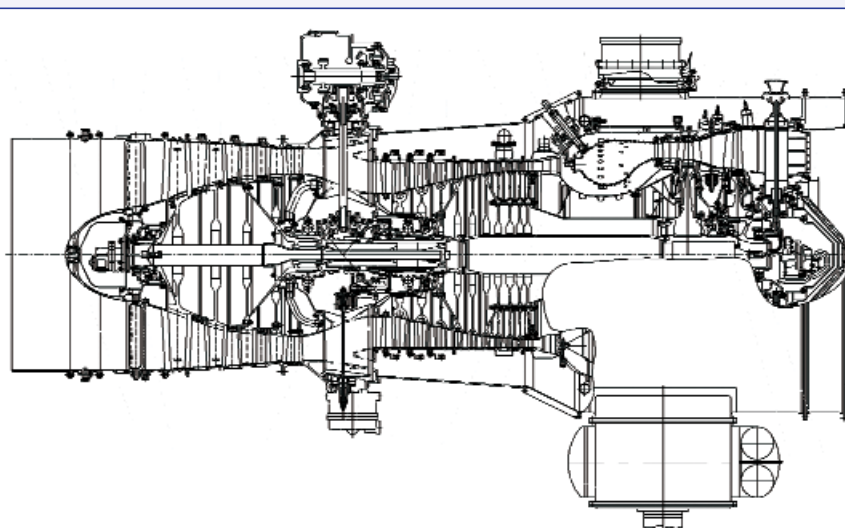


Рис. 7 Чертеж двигателя АЛ-31

Международный форум двигателестроения **2014**

15 – 18 апреля
Москва

ВВЦ, павильон №57

Тематика «МФД-2014»

авиационные и космические двигатели
двигатели для автомобилей,
тракторов, судов, подвижного состава
двигатели для газо- и нефтеперекачивающих агрегатов
двигатели для энергетических установок
электродвигатели, ветродвигатели
микродвигатели для спортивного моделизма
двойные технологии
компьютерные разработки
станкостроение
металлургия
топлива, масла, смазки
перспективные научные и
инвестиционные проекты
ремонт и
сервисное обслуживание
подшипники



Устроитель Форума:

Ассоциация «Союз авиационного двигателестроения»
Россия, 105118, г. Москва, пр-т Буденного, 19
Тел.: (499) 785-80-48, 366-09-16; факс: (495) 366-45-88
E-mail: forum@assad.ru.

www.assad.ru



И ТАНКИ НАШИ БЫСТРЫ



17 января этого года исполняется 75 лет Николаю Ивановичу Троицкому. Воспитаннику МВТУ им. Баумана (теперь - МГТУ), бесценному сотрудни- ку - от инженера (в 1961 г.) до руководителя (до 2012 г.) НИИД.

Это именно тот человек, который сделал танковый ГТД реальностью и до- вёл эту реальность до совершенства. Интересы и возможности всех произ- водителей боевых машин и двигателистов-газотурбинистов различных ОКБ и заводов увязывались именно в НИИД и конкретно - коллективом, руководимым Троицким. Знаниями, энтузиазмом и энергией Николая Ива- новича.

И когда с конца 80-х он начал руководить институтом, где работал всю жизнь, пришлось бороться и с экономическими обстоятельствами, удержи- вая "на плаву" не только родной институт, но и всю отрасль, строившую бо- евые машины. И в том, что она смогла противостоять "мусорным ветрам пе- ремен" есть немалая заслуга Николая Ивановича.

И самое главное, как полагает наша редакция: Н.И. Троицкий был одним из тех специалистов, руководителей отрасли, который с самого начала проникся нашими идеями при запуске журнала "Двигатель" и всемерно поддерживал все наши начинания. Его статьи сразу становились нашей

гордостью и бестселлерами с точки зрения читателей.

Сейчас он занимается, пожалуй, самой главной задачей нашего времени, без которой будущего нет ни у отдельно взятой отрасли, ни у кого из нас: в своей "Alma mater"- МГТУ - готовит новое по- коление инженеров. Готовит к жизни, передаёт огромный накопленный опыт и знания, влюбляет в свою работу.

Успеха Вам в этом благородном деле. Многих лет жизни. Счастья и здоровья.
Любви и уважения коллег, родных и друзей!

Редакция журнала «Двигатель»

ХІІІ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2014

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

18 - 21 НОЯБРЯ



Генеральные информационные партнеры:



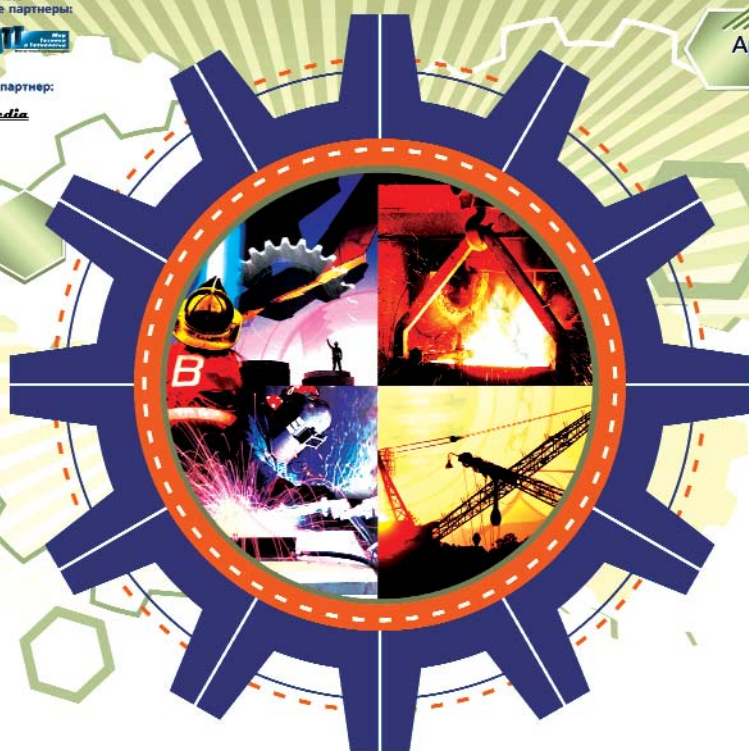
Технический партнер:



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
www.iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua



КРЕПКИЕ РУКИ НАУКИ



Олег Николаевич Фаворский - выдающийся ученый, авторитетный специалист в области энергетики, теории и конструирования реактивных двигателей. Он является автором более 200 научных публикаций, 6 книг и 60 изобретений. Основные его работы связаны с исследованиями тепловых и физико-химических процессов в газотурбинных двигателях, в наземных и космических энергоустановках, с изучением влияния авиации и энергетики на атмосферные процессы. Его книги служат основой многих курсов лекций, читаемых в различных вузах России и стран СНГ.

В настоящее время О.Н. Фаворский - директор Института энергетической политики РАН, председатель Научного Совета РАН по проблеме развития энергетики России, Совета РАН по теплофизике и теплотехнике. Заслуги Олега Николаевича высоко оценены коллегами и руководством страны. Он лауреат Ленинской премии 1982 года и Государственной премии РФ в области науки и техники 2002 года. О.Н. Фаворский - вице-президент Международной энергетической академии и Академии авиации и воздухоплавания, академик электротехнической академии, председатель Научного совета РАН по проблеме развития энергетики России и Совета по теплофизике и теплотехнике, член ряда ученых советов и редакционных коллегий

различных Российских научных журналов. Олег Николаевич ведет большую педагогическую деятельность: с 1957 года и по настоящее время преподает в МФТИ. Более 60 его учеников защитили кандидатские и докторские диссертации. Он возглавляет ведущую научную школу "Физико-химические процессы образования экологически опасных соединений в энергоустановках и реактивных двигателях", получившую в 2003 году грант Президента Российской Федерации.

Сердечно поздравляем Вас с юбилеем и желаем столь же плодотворной деятельности, крепкого здоровья, толковых учеников, а сверх того - массу интереснейших статей в нашем журнале.

Редакция журнала «Двигатель»

10-й ЮБИЛЕЙНЫЙ МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ – ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

20–22 мая '2014
Москва

ВВЦ №57

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ
ВЫСТАВКИ

MetrolExpo

Control&Diagnostic

ResMetering

LabEquipment

AutomaticSystem



СИМПОЗИУМ
«ТОЧНОСТЬ. КАЧЕСТВО.
БЕЗОПАСНОСТЬ»

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

129223, Москва, а/я 35, ул. Сельскохозяйственная д. 35, стр. 182
Тел./Факс: +7 (495) 937-40-23 (многоканальный)

www.metrol.expoprom.ru E-mail: metrol@expoprom.ru

Стратегический партнер
форума



Генеральный партнер
симпозиума



РОСМА

Генеральный партнер
выставки



ОРГАНИЗАТОР

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

СОДЕЙСТВИЕ

Аппарат Правительства Российской Федерации

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПАРТНЕРЫ

The International Bureau of Weight and Measures (BIPM)

International Organization of Legal Metrology (OIML)

The International Committee for Non-Destructive Testing (ICNDT)

С УЧАСТИЕМ

Минпромторг России, Минэнерго России, Российская академия наук, МВД России, Роскосмос, Ростехнадзор, Росздравнадзор, Фонд «Сколково», ГК «Росатом», ГК «Ростехнологии», ОАО «РОСНАНО», ОАО «РЖД», Торгово-промышленная палата РФ, Союз машиностроителей России, более 350 компаний из 11 стран мира

ЭКСПЕРТНАЯ КОМИССИЯ

ФБУ «Ростест-Москва»

УСТРОИТЕЛЬ И ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР

Компания «Вэстстрой Экспо»

ПРОГРАММА ФОРУМА

10-я Международная выставка средств измерений, испытательного оборудования и метрологического обеспечения «METROLEXPO-2014»

3-я Специализированная выставка средств неразрушающего контроля, технической диагностики, КИП и А «CONTROL&DIAGNOSTIC-2014»

3-я специализированная выставка коммерческого и технологического учета энергоресурсов «RESMETERING-2014»

2-я Специализированная выставка лабораторного оборудования «LABEQUIPMENT-2014»

2-я Специализированная выставка автоматизированных систем управления технологическими процессами «AUTOMATICSYSTEM-2014»

Московский Международный симпозиум

«ТОЧНОСТЬ. КАЧЕСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ», в рамках которого состоится Всероссийское совещание метрологов по вопросам нормативно-правового регулирования Всероссийская выставочно-конкурсная программа «ЗА ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ»

ШУМИМ, БРАТЕЦ, ШУМИМ...

"Двигатель": На прошедшей недавно 38-й сессии ассамблеи ИКАО приняты новые нормы по шуму. Проходная планка опущена ещё на 7 EPN dB по сравнению с действующими. Как это скажется на российских производителях авиатехники? Останемся ли мы игроками на мировом авиационном рынке?

Юрий Данилович Халецкий: Не считаю, что новые нормы слишком жёсткие. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) и входящий в ее структуру комитет по защите окружающей среды от воздействия авиации (КАЕП) призваны защитить население, особенно тех, кто живет в районах аэропортов. Путем планомерного ужесточения норм на шум и эмиссию вредных веществ ИКАО побуждает производителей авиационной техники к применению на новых самолетах наиболее эффективных технологий снижения шума двигателей и эмиссии вредных веществ. КАЕП никогда не принимает нормы, которые в текущий момент вообще нельзя удовлетворить.

И по вопросу "выдавливания" с рынка. Конечно, ужесточение норм можно рассматривать как инструмент выбивания конкурента с поля, если конкурент не считает одним из главных приоритетов своей деятельности производство экологически чистой продукции. Между тем, конкурентная борьба ужесточится, т.к. вскоре появится новый стандарт на выбросы CO₂.

Если формально подходить к вопросу о последствиях принятия нового стандарта по шуму, то он будет касаться только вновь сертифицируемых воздушных судов (ВС), начиная с 2018 года. А для самолетов взлетной массы менее 55 т новый стандарт по Главе 14 будет вводиться с 2021 г. Однако практика показала, что покупатели авиационной техники требуют



соответствия всем новым стандартам, поэтому производители поневоле будут модернизировать выпускаемую продукцию. Что касается российских самолетов - "Сухой RRJ", Ту-204 и 214, МС-21 - то вопрос удовлетворения этими самолетами новых требований по главе 14 технически решаем.

"Д": Сейчас Пермское ОКБ по сути, осталось единственным ОКБ в России, разрабатывающим перспективные двигатели для пассажирской и транспортной авиации. Сохранилась ли, на ваш взгляд, преемственность подходов к созданию, скажем, ПС-90А и ПД-14?

"Х": А как же без этого: есть, конечно. К сожалению, преемственность порой переходит в инертность. Конструкторы привыкли при разработке двигателя на начальном этапе решать ряд задач, куда вопросы экологии почему-то до сих пор не входят. Вот недавний пример такого не комплексного подхода к проектированию. При разработке конструкции спрямляющего аппарата вентилятора была успешно решена задача снижения веса. Позднее выяснилось, что это решение влечет значительную потерю запаса по шуму. Акустики получают некую конструкцию как данность. Их задача минимизировать шум двигателя в предлагаемых конструктором рамках. Предлагаем "сделать то-то и то-то". Отвечают: "Нет, нельзя, мы здесь другую проблему решаем". И т.д.

"Д": А есть ли перспективы у двигателя ПС-90А2?

"Х": Я думаю, его резервы по снижению шума не исчерпаны. Где их искать? В первую очередь, нужно не разбрасываться на мелочи, а обратить внимание на основной источник шума - вентилятор. Тут возможны варианты. Можно его модифицировать, можно улучшить противозумные меры на его обечайке. А можно делать и то и другое. Если самолету Ту-204СМ будет дан зеленый свет, "Авиадвигатель" доведет ПС-90А2 до требований 14 Главы. ЦИАМ готов помогать.

"Д": Вопрос "Что было раньше: яйцо или курица?" в применении к современной технике звучит как "больше расчетов, меньше испытаний - или наоборот" Ваш взгляд на идею доминирования чис-

ленных методов проектирования.

"Х": Пока во всем мире матрицу шума двигателя получают экспериментально. На мой взгляд, сегодня никакого доминирования численных методов проектирования над эмпирическими методами нет. И я, честно говоря, не слышал, чтобы кто-то всерьез провозглашал такую идею. Не верьте тому, кто с юношеским запалом утверждает, что он всё может рассчитать в аэродинамике и акустике. Но наука развивается быстро.

"Д": Существуют ли сейчас какие-то новые пути снижения шума летательного аппарата?

"Х": Есть ряд известных способов снижения шума, которые готовы для исследования. И не на простых маленьких моделях, а на узлах, элементах реального двигателя. В ЦИАМе есть стенд с заглушенной камерой, в которой установлен имитатор двигателя. На этом стенде мы ищем пути снижения шума. Вот вам технология исследований. Но она получит подтверждение только когда мы в полете, а не на открытом стенде, покажем результативность, сделаем необходимые замеры и т.д. К сожалению, как я уже говорил, ПД-14 делается в таком авральном режиме, что доля НИР в подготовках к нему очень невелика. Даже модельных исследований проводится крайне мало. А делать современный двигатель без НИРа - это уже и не проблема, а просто дилетантский подход.

"Д": В печати циркулирует мнение: коли так сложно угнаться за конкурентами, может и не выпускать внутреннего потребления самолеты, соответствующие Главе 14 ИКАО? Пусть внутри страны летают наши машины, а за рубежом - Airbus и Boeing...

"Х": Не следует забывать, что есть правила и есть практика их реализации. Перед принятием 4-й Главы ИКАО во всем мире вывели из эксплуатации самолеты, которые не удовлетворяли Главе 3. Тогда множество судов модернизировали. КАЕП этот процесс растянул на 7 лет, с 1995 г. по 2002 г. Сейчас КАЕП рекомендует не ограничивать эксплуатацию самолетов, которые удовлетворяют 4-й Главе, в течение нескольких лет. Но тот же КАЕП по настоянию европейских стран создает базу данных, в которую должны войти самолеты, либо полностью удовлетворяющие 14 Главе, либо не удовлетворяющие ей на 2 EPN dB (типа нашего SuperJet100). Причем, "условно допущенные" должны предъявить способы улучшения шумовых характеристик. И в течение трех лет, пока не будет введена 14 Глава, они обязаны "дотянуть" свои самолеты до нормы. В мировой авиационной базе все эти самолеты будут "числиться в производстве", их будут покупать. А весь остальной авиапарк окажется вне игры. Вот вам и рекомендация!

Что касается самолетов для рейсов на территории России, я считаю, что наши люди ничем не хуже европейцев или американцев и должны летать на экологически совершенных самолетах.

"Д": Как Вам видятся перспективы совместной работы ЦИАМ и ОКБ?

"Х": Хотелось бы, чтобы в результате наших совместных усилий возник мостик в завтрашний день. Ведь использовать известные сегодня технологии - значит, создавать двигатель вчерашнего дня. А наша общая задача - создать перспективу отечественной авиации. Для этого нужно постоянно пробовать что-то новое. Вот над этим надо серьезно задуматься.

Уверен: настало время думать не только о сегодняшних проблемах, а ещё и о том, чтобы страна восстановила статус авиационной супердержавы. В этом и экономическая безопасность страны, и сохранение её высокого научно-технического потенциала.



ЕДИНСТВО ВО МНОЖЕСТВЕ



ОАО «Объединенная двигателестроительная корпорация»
Россия, 121357, г. Москва, ул. Верейская, д. 29, стр. 141
Тел./факс: (499) 558-01-26
www.uecrus.com



**Объединенная
двигателестроительная
корпорация**

РОССИЙСКОМУ ДВИГАТЕЛЮ ПД-14 БЫТЬ!

ЭТАП МАКЕТА ПЕРСПЕКТИВНОГО ОТЕЧЕСТВЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРОЙДЕН УСПЕШНО

В рамках сертификации двигателя ПД-14 в ОАО "Авиадвигатель" прошел Этап макета перспективного российского авиационного двигателя для магистральной авиации 21 века. Подробнее об этом мы попросили рассказать заместителя начальника ведущего отдела двигателей семейства ПД ОАО "Авиадвигатель" Бориса Карповича УСАЧЕВА.



Весной 2013 года пермское КБ - головной разработчик двигателя ПД-14 для самолета МС-21 - подало заявку в Авиационный регистр Межгосударственного авиационного комитета (АР МАК) на получение сертификата типа авиационного маршевого двигателя ПД-14. Его разработка осуществляется в соответствии с государственной программой "Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы". В соответствии с действующими правилами сертификации авиационной техники очередным этапом работ является Этап макета. Работы проводятся макетной комиссией, утвержденной АР МАК.

Цель работы макетной комиссии - оценка полноты заявленного Сертификационного базиса - документа, содержащего перечень требований к летной годности и охране окружающей среды, предъявляемых к данному образцу Авиационными правилами; предварительная оценка соответствия конструкции двигателя требованиям Сертификационного базиса; оценка предлагаемых видов проверок и испытаний.

Работа макетной комиссии проходила в ОАО "Авиадвигатель" в конце октября 2013 года. Возглавил макетную комиссию начальник отдела двигателей и воздушных винтов АР МАК Александр Божков. В состав комиссии вошли специалисты АР МАК, АСЦ ГосНИИ ГА, ЦС "Качество" и ОАО "Авиадвигатель". Независимой инспекцией выступило 209 ВП МО России.



В рамках Этапа макета прошла работа двух секций: "Общие требования, конструкция, системы, испытания" и "Прочность, прочностные и длительные испытания, материалы, технология изготовления". В ходе работы члены комиссии ознакомились со стандовой базой предприятия, используемой при испытаниях двигателя.

Макетная комиссия рассмотрела электронный макет двигателя ПД-14, узлы и детали его натурного образца. Эксперты


оценили достаточность и полноту требований к двигателю, предусмотренных в Сертификационном базисе, разработанном "Авиадвигателем" и одобренном АР МАК; проекты планов сертификационных работ и испытаний и другую документацию.

Подводя итоги работы, члены макетной комиссии отметили, что разработка ПД-14 ведется с учетом всех требований летной годности Авиационных правил АП-33, АП-34, максимально гармонизированных с нормами ведущих авиационных стран: США - FAR-33 и Европы - CS-E. Представленные материалы, а также номенклатура сертификационных работ и испытаний позволяют разработчику доказать соответствие ПД-14 требованиям летной годности и охраны окружающей среды.

Протокол макетной комиссии утвержден генеральным директором Авиационного регистра Международного авиационного комитета Александром Донченко 8 ноября 2013 года.

Успешное завершение работы макетной комиссии дает право пермскому КБ уверенно приступить к следующему этапу - сертификационным проверкам и испытаниям двигателя ПД-14, которые будут проходить на стендах ОАО "Авиадвигатель", ОАО "НПО "Сатурн", ГНЦ РФ ФГУП "ЦИАМ имени П.И. Баранова" и в составе летающей лаборатории ОАО "ЛИИ имени М.М. Громова".

В ходе работы макетной комиссии специалисты ОАО "Авиадвигатель" и их коллеги по кооперации получили богатый методический опыт и рекомендации к дальнейшей работе.

В конце января 2014 года ОАО "Авиадвигатель" при поддержке Авиарегистра Межгосударственного авиационного комитета направило заявку в Европейское агентство по регулированию и исполнению задач в области безопасности гражданской авиации на проведение работ по валидации результатов сертификации российского двигателя ПД-14 на соответствие его типовой конструкции европейским Нормам CS-E. 





***Мудрость поколений,
ЭНЕРГИЯ МОЛОДЫХ***



ОАО «Авиадвигатель»
614990, Пермь, ГСП, Комсомольский проспект 93
тел.: (342) 281-39-07, факс: (342) 281-54-77
office@avid.ru

www.avid.ru

ОДНОЦИЛИНДРОВЫЕ ДИЗЕЛИ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ



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

ТМЗ-450Д на 90%, имеют увеличенный рабочий объем и, соответственно, более высокую мощность, такие же габаритные и присоединительные размеры. Дизели ТМЗ-520Д могут использоваться для привода минитракторов и транспортных средств малой грузоподъемности.

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наименование параметра	Величина параметра	
	ТМЗ-450Д	ТМЗ-520Д
Число цилиндров	1	
Диаметр цилиндра, мм	85	
Рабочий объем, см ³	454	520
Номинальная мощность, кВт (л.с.) при частоте вращения коленчатого вала, мин ⁻¹ :		
- 3000	7,0 (9,5)	8,5 (12,0)
- 3600	8,0 (11,0)	9,5 (13,0)
Удельный расход топлива г/кВт · ч на номинальной мощности при частоте вращения коленчатого вала, мин ⁻¹ :		
- 3000	285	
- 3600	280	
Максимальный крутящий момент, Н · м (кгс · м)	22 (2,2)	25,5 (2,55)
Масса сухая без навесных агрегатов, кг	59	60



ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДГУ5-П27.5-ВМ1

Дизель-генераторная установка ДГУ5-П27.5-ВМ1 с дизелем ТМЗ-520Д, имеющим дополнительную масляную систему охлаждения, предназначена для обеспечения электроэнергией постоянного тока бортовой сети различных машин при неработающем основном двигателе. Качество напряжения по ГОСТ В 21999-86. Обеспечивает работоспособность средств связи, комплекса вооружения, работу фильтровентиляционной установки, прицелов и приборов механика-водителя, зарядку аккумуляторных батарей. Дизель-генераторная установка может эксплуатироваться в ограниченном объеме (отсеке) при температуре окружающей среды от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$, влажности 98% и запыленности окружающей среды до 3 г/м^3 , длительность непрерывной работы - не менее 24 часов. Время запуска ДГУ при температуре окружающей среды до -40°C с использованием системы предпускового подогрева топлива и масла в картере дизеля - регламентировано и не превышает 20 мин.



СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЯ

- воздушная от центробежного вентилятора, имеется масляный радиатор.

СИСТЕМА ПУСКА ДИЗЕЛЯ

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наименование параметра	Величина параметра
Электрическая мощность, кВт, не менее	5
Напряжение, В	$27,5 \pm 1$
Тип генератора	Постоянного тока, бесконтактный, одноопорный
Двигатель	одноцилиндровый четырехтактный дизель ТМЗ-520Д/30.24У-1 с воздушным охлаждением, с уравнивающим валом и непосредственным впрыском топлива
Расход топлива на номинальном режиме, л/ч	2,2
Диапазон рабочих температур окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$	$-50 \dots +50$
Ресурс до капитального ремонта, моточас	2000
Масса без пульта управления и блока управления, кг	125





7-я международная специализированная выставка

Авиа
Космические
Технологии, современные
Оборудование 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, www.aktokazan.ru**

Научно-технический журнал

Двигатель



<http://www.dvigately.ru>
dvigatell@yandex.ru
boeff@ciam.ru
+7(495) 362 3925

Журнал о двигателях

Журнал о тех, кто создаёт двигатели

Журнал для тех, кто эксплуатирует двигатели

Журнал всем, для кого работают двигатели

111116, Российская федерация, Москва, Авиамоторная, д. 2

Издание состоит в общероссийском каталоге ВАК 2012 г. под № 747 среди журналов, рекомендованных для опубликования материалов исследований, выполненных на соискание степени кандидата и доктора наук.

В год выходит 6 номеров
Подписка в редакции:
Без ограничений.
На 2014 год - 2880 рублей
с почтовыми расходами.

Подписка в каталогах:

Подписное агентство

"МК-периодика" -

<http://www.periodicals.ru/>

Индекс 10927;

Подписное агентство

"Урал-Пресс" -

<http://www.ural-press.ru/>



РАЗРАБОТКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ РАЗГОННЫХ БЛОКОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ КОМПОНЕНТАХ ТОПЛИВА

КБ химического машиностроения им. А.М. Исаева - филиал ФГУП "ГКНПЦ им. М.В. Хруничева":
Валерий Юрьевич Пиунов, заместитель генерального конструктора
Владимир Иванович Морозов, главный специалист
Михаил Владимирович Мальцев, инженер-конструктор

Рассматриваются вопросы нового направления в проектировании двигательных установок систем ориентации разгонных блоков ракет-носителей на экологически чистых компонентах топлива.

Questions of the new direction in design of orientation propulsion system upper stage launch vehicles on environmental pure components of fuel.

Ключевые слова: *двигательные установки систем ориентации, экологически чистые компоненты топлива, разгонный блок "КВТК".*

Keywords: *orientation propulsion system, environmental pure components of fuel, upper stage "KVTK".*

В настоящее время в России по программе развития ракетной техники по критерию "эффективность-экологичность" разрабатывается ряд экологически "условно чистых" ракет-носителей (РН) "Ангара" с кислородно-керосиновыми жидкостными ракетными двигателями (ЖРД): для первой ступени - РД-191, производства ОАО "НПО Энергомаш", и РД0124, производства ОАО "КБХА", для второй ступени РН. Для вариантов тяжелого класса данных РН разрабатывается разгонный блок (РБ) "КВТК" с маршевым кислородно-водородным ЖРД РД0146Д, производства ОАО "КБХА", и двигательная установка системы ориентации и обеспечения запуска (ДУ СООЗ) на компонентах топлива азотный тетраоксид (АТ) и несимметричный диметилгидразин (НДМГ). Использование в данном РБ ДУ СООЗ на экологически "грязных" компонентах нецелесообразно, необходимо создание ДУ СООЗ для РБ "КВТК" на экологически чистых компонентах топлива.

Целесообразность использования ДУ СООЗ на кислородно-водородном топливе в составе РБ "КВТК" обусловлена прежде всего соображениями экологичности РБ в целом, а также (в перспективе развития кислородно-водородных ДУ СООЗ) - возможностями улучшения массовых характеристик РБ "КВТК".

В связи со значительными затратами энергии на испарение и высоким положительным порогом энергии активации реакции кислорода с водородом использование их в качестве компонентов топлива двигателей малых тяг (ДМТ) для использования в ДУ СООЗ возможно только в газообразном виде.

Для улучшения массовых характеристик РБ "КВТК" необходимо улучшение массовых характеристик ДУ СООЗ, в основном путём минимизации объёмов и масс её топливных баков вплоть до их полного исключения из состава ДУ СООЗ, что является весьма актуальным для кислородно-водородного топлива, вследствие его низкой плотности. Уменьшение объёмов баков ДУ СООЗ связано с разработкой систем дозаправки баков компонентами топлива от маршевого двигателя во время его работы, что позволяет использовать в составе ДУ СООЗ баки, рассчитанные на 1 сеанс работы ДУ СООЗ перед включением маршевого двигателя РБ "КВТК". Для полного исключения баков из состава ДУ СООЗ необходимо разработать системы подачи и преобразования жидких компонентов топлива, запасённых в основных баках РБ "КВТК" для питания двигателей ДУ СООЗ.

В случае же необходимости использования в составе ДУ СООЗ автономных баков с достаточными запасами компонентов топлива кроме упомянутой выше дозаправки возможны конструктивные, схемные и компоновочные решения, обеспечивающие существенное снижение объёмов и масс баков. К таким

решениям можно отнести:

- использование высокопрочных композиционных материалов, например, на основе углеволокна с пределом прочности 270...420 кг/мм² в конструкции баков для обеспечения хранения газообразных кислорода и водорода при высоких и сверхвысоких давлениях (до 500 кгс/см²), а также баллонов систем наддува;

- хранение газообразных компонентов топлива ДУ СООЗ в составе РБ "КВТК" при возможно низких температурах с целью уменьшения объёма баков;

- возможное повышение удельных импульсов двигателей ДУ СООЗ с целью уменьшения потребного запаса топлива.

Некоторые из указанных выше концепций, являющихся основополагающими в перспективе развития тематики кислородно-водородных ДУ СООЗ, требуют предварительных исследований. К ним следует отнести исследование работоспособности и характеристик композиционных материалов при криогенных температурах, уточнение коэффициентов сжимаемости газообразного кислорода и водорода при низких и криогенных температурах, экспериментальное исследование кинетики реакции во время воспламенения кислородно-водородного топлива при низких температурах и т.д.

Поэтому наименее проблематичными и наиболее близкими к реализации в настоящее время можно отнести ДУ СООЗ на газообразных компонентах топлива "кислород+водород", хранящихся в баках высокого давления ДУ СООЗ при нормальных (и близких к ним) температурах. Экспериментальные работы по двигателям таких установок в восьмидесятых годах прошлого века проводились в "КБхиммаш им. А.М. Исаева". В частности, в рамках НИР "Роса" прошел серию огневых испытаний кислородно-водородный ДМТ при температурах газообразных компонентов топлива, равных температурам окружающей среды.

Однако, очевидно, что ДУ СООЗ с полным автономным запасом газообразных компонентов топлива (схема представлена на рис. 1) свойственны наихудшие массовые характеристики, вследствие низкой плотности газообразных компонентов топлива и, следовательно, значительных размеров ёмкостей для их хранения, а улучшение этих характеристик связано с увеличением проблематичности создания ДУ СООЗ.

Газообразные компоненты топлива целесообразно подавать из ёмкостей высокого давления, выполненных из композиционных материалов. Формы ёмкостей приняты сферическими, исходя из минимальных относительных площадей их поверхности и, соответственно, масс и габаритов, а их количество определяются возможностями их компоновки в РБ "КВТК".

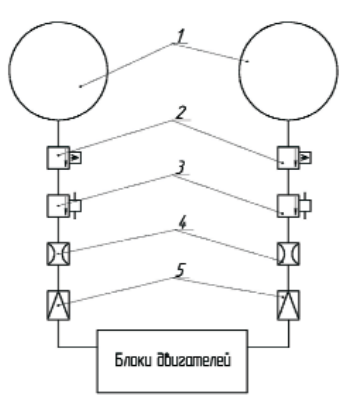


Рис. 1 ДУ СООЗ с полным автономным запасом газообразных компонентов топлива: 1 - баки с газообразными компонентами топлива; 2 - пироклапаны разделительные; 3 - электроклапаны расходные; 4 - автодрессели; 5 - редукторы

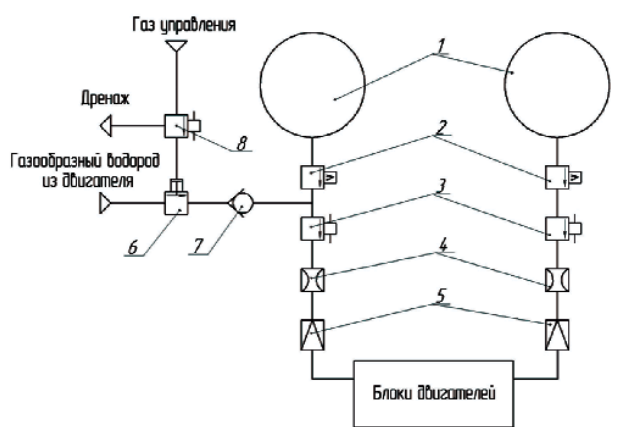


Рис. 2 ДУ СООЗ с системой дозирования горючего от маршевого двигателя: 1 - баки с газообразными компонентами топлива; 2 - пироклапаны разделительные; 3 - электроклапаны расходные; 4 - автодрессели; 5 - редукторы; 6 - клапан отсечной; 7 - клапан обратный; 8 - электроклапан управления

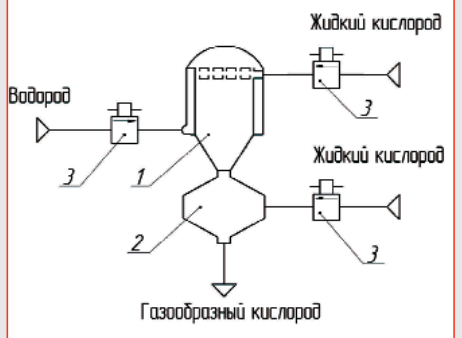


Рис. 3 Система газификации жидкого кислорода с помощью газогенератора: 1 - газогенератор; 2 - смеситель; 3 - электроклапаны расходные

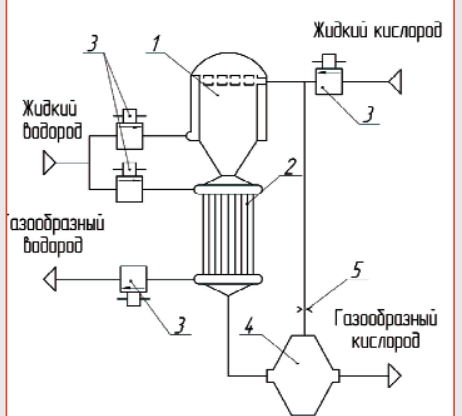


Рис. 4 - Система газификации компонентов топлива: 1 - газогенератор; 2 - теплообменник; 3 - электроклапаны расходные; 4 - смеситель; 5 - дроссельная шайба

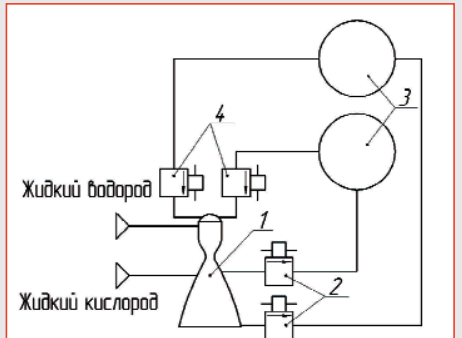


Рис. 5 Система газификации компонентов топлива за счет теплосъема с двигателей: 1 - камера сгорания; 2 - электроклапаны расходные; 3 - ёмкости-накопители газообразных компонентов топлива; 4 - электроклапаны входа

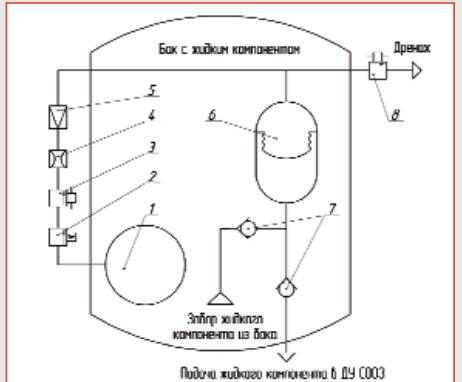


Рис. 6 Система подачи жидких компонентов топлива в систему газификации: 1 - бак с рабочим телом; 2 - пироклапан разделительный; 3 - электроклапан расходный; 4 - автодрессель; 5 - редуктор; 6 - сильфонный бак; 7 - клапаны обратные; 8 - электроклапан дренажа

Для ДУ СООЗ предпочтительна компоновка в двигательном отсеке РБ "КВТК". Однако, для уменьшения массы баков и улучшения массовых характеристик ДУ СООЗ в целом, возможно размещение баков газообразного водорода в баке окислителя РБ "КВТК" ввиду работоспособности газообразного водорода в ДУ СООЗ при температуре жидкого кислорода.

Для дальнейшего снижения массы ДУ СООЗ возможна дозаправка баков компонентов топлива от маршевого двигателя РБ "КВТК". При существующей конфигурации (состав, пневмогидравлическая схема) двигателя РД0146Д дозаправку обоих компонентов топлива реализовать невозможно (в двигателе нет систем, вырабатывающих газообразный кислород), а существенная доработка двигателя с целью обеспечения функции дозаправки газообразным кислородом ДУ СООЗ мало осуществима. Однако, возможны варианты ДУ СООЗ с полным запасом газообразного кислорода и восполняемым при дозаправке от двигателя РД0146Д запасом газообразного водорода. В этом случае в ДУ СООЗ появится дополнительная система дозаправки с соответствующей арматурой (рис. 2), а также существенно уменьшатся объемы и масса баков водорода, что приведет к улучшению массовых характеристик ДУ СООЗ.

Для уменьшения запаса газообразного кислорода возможна организация дозаправки баков путем газификации жидкого кислорода, получаемого от двигателя РД0146Д. В этом случае в ДУ СООЗ появится дополнительная система газогенерации (газогенератор, смеситель-теплообменник, арматура) (рис. 3).

Возможна подобная система газификации и для жидкого водорода, подаваемого из бака горючего РБ "КВТК". Но такие системы существенно усложняют ДУ СООЗ, повышают проблематичность создания, увеличивают стоимость разработки из-за необходимости существенной автономной отработки, как агрегатов, так и систем газификации. При этом уменьшается надежность ДУ СООЗ, ухудшаются массовые характеристики ДУ СООЗ и РБ "КВТК".

Кроме того возможна газификация обоих компонентов топлива с помощью комбинации высокотемпературного газогенератора окислительного газа и теплообменника для горючего (рис. 4). Данный вариант не исключает вышеуказанный недостаток, а также имеет значительно худшие массовые характеристики ДУ СООЗ и РБ "КВТК" из-за наличия теплообменника.

Теоретически возможна газификация компонентов топлива путём использования тепла двигателей (рис. 5), для чего камеры сгорания необходимо изготовить с рубашками охлаждения с достаточно развитыми поверхностями теплообмена. Но данная схема требует значительных экспериментальных проработок, ввиду нестабильности параметров компонентов топлива на выходе из трактов охлаждения камер сгорания при импульсной работе двигателей, характерной для ДУ СООЗ и невозможности достаточно точного поддержания соотношения расходов компонентов топлива, что приводит к увеличению гарантийных запасов компонентов топлива.

Для систем газификации с помощью газогенератора или трактов охлаждения камер сгорания потребуется организация системы подачи жидких криогенных компонентов топлива (рис. 6) в паузах между включениями маршевого ЖРД РД0146Д и сеансами работы ДУ СООЗ.

Схемы ДУ СООЗ составленные из комбинации рисунков 3 - 6 требуют дальнейшей схемно-конструктивной проработки для определения энерго-массовых характеристик с целью подтверждения целесообразности применения данных схем в РБ "КВТК".

Литература

А.А. Козлов, В.Н. Новиков, Е.В. Соловьёв. Системы питания и управления жидкостных ракетных двигательных установок, Машиностроение, 1988 г.

Связь с автором: kbhimmash@korolev-net.ru

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ.

ВОЛНЫ ТОЛМИНА - ШЛИХТИНГА

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.
Николай Юрьевич Кочетков, к.т.н.

Изложена физика возникновения волн Толмина-Шлихтинга, основанная на возбуждении собственных колебаний подвижной среды. Показаны преимущества метода малых возмущений при исследовании неустойчивых режимов ламинарных потоков. Получены новые решения уравнения Орра-Зоммерфельда для амплитудных функций и уравнения Прандтля-Глауэрта для линии тока волнового течения Толмина-Шлихтинга.

The physics of Tollmien - Schlichting waves initiation, based on the excitation of natural oscillations of the fluid is stated. The advantages of the small-perturbation method in the study of unstable laminar flow regime are shown. New solutions of Orr - Sommerfeld equation for the amplitude functions and Prandtl - Glauert equation for wave flow streamlines of Tollmien - Schlichting are obtained.

Ключевые слова: турбулентность, сопло, вихрь.
Keywords: turbulence, nozzle, curl.

Под турбулентностью можно понимать любые трехмерные течения, у которых скорости в разных направлениях либо одинаковы, либо близки, либо одного порядка. Если существует какое-то одно доминирующее направление в течении, скорость у которого намного больше скоростей в других направлениях, такое течение уже можно считать не турбулентным. Так, например, гиперзвуковые потоки имеют лишь одно направление (прямолинейное, радиальное и т.д.). Присутствие доминирующих потоков исключает молярное перемешивание и оставляет только молекулярное взаимодействие между линиями тока. Поэтому любые виды возможных движений, кроме поступательного, можно считать турбулентными видами. Это - вращение, кручение, винтовое и прочие комбинации этих элементарных движений. Особым видом турбулентного движения является волновое движение. Все перечисленные виды турбулентного движения способствуют перемешиванию или перепутыванию соседних линий тока и превращению потока в сильно отличающийся от послонного. Но! При определенных, уже известных науке условиях эти потоки могут распутаться и вернуться в упорядоченное состояние. Так, например, этому сильно способствует расширение потока и его плавность из-за сглаживания стенок, которыми он ограничен. Если теперь специально выделить из всех видов движения, как особый вид, волновое движение, то останутся всего два элементарных вида - вращение и кручение. Ну, конечно, и их устойчивые комбинации. Экспериментально уже установлено [1], что между так называемой ламинарностью, когда скорость каждой частицы определяется поступательным и тепловым движением, и турбулентностью с вихрями и жгутами, существует переходная область. Уточним, что эта переходная область и есть волновое движение. Два известных немецких ученых Вальтер Толмин и Герман Шлихтинг открыли это течение. Изучая в пограничном слое процессы перехода ламинарного потока в турбулентный, они, дополняя друг друга, аналитически определили условия устойчивости каждого из них, сосредоточившись непосредственно на переходной области. Их работы явились началом практического изучения структуры течения потока и дали возможность, наряду с пульсационным подходом, посмотреть на турбулентность как на высокопорядоченную и высокодифференцированную структуру. Появилась возможность рассматривать турбулентность не как случайный гидродинамический сценарий, а как весьма детерминированный процесс.

Линейная задача теории устойчивости

В основу исследований устойчивости ламинарного течения положен основополагающий в теории колебаний факт о том, что, если на систему воздействовать любыми сколь угодно малыми возмущениями, толчками, вибрациями и т.п., то система на них отреагирует. Если амплитуда этих возмущений будет возрастать, и реакция системы не сработает, что приведет к её раскачиванию относительно условного положения равновесия, то эта система считается неустойчивой. Если малые возмущения не способны вывести систе-

му из равновесия и перевести её в колебательное состояние, то система устойчива. При анализе устойчивости следует четко понимать, что любое рабочее тело: жидкость, газ или плазма, ограниченное поверхностью или заключенные в данный момент в некоторую конструкцию (бак, камеру и др.), будут характеризоваться своей уникальной индивидуальной степенью реакции на воздействие внешних возмущений, а именно, собственной частотой. Другими словами, если систему вывести из равновесия, то первая, самая начальная реакция на возмущение будет возвратная сила, приводящая к колебаниям, и система будет колебаться именно с этой частотой. Дальнейшие, более жесткие внешние условия могут привести систему и в другое, не обязательно колебательное состояние. Поэтому именно малые возмущения способны спровоцировать упругие ответные реакции, по поведению которых можно определить самое начало перехода в другое устойчивое, колебательное состояние. Математически такой прием воспроизведения малых возмущений реализуется учетом лишь первого члена разложения решения уравнений движения. Другие члены с высокими производными игнорируются. При этом считается, что задача о неустойчивости ламинарного течения, решается в линейном приближении. Так, в линейном приближении было получено знаменитое уравнение Орра-Зоммерфельда [2]

$$(U - c)(\varphi'' - \alpha^2 \varphi) - U'' \varphi = - \frac{i}{\alpha \cdot \text{Re}} (\varphi^N - 2\alpha^2 \varphi'' + \alpha^4 \varphi).$$

Это уравнение было выведено из уравнений Навье-Стокса и записано для амплитуды $\varphi(y)$ функции тока:

$$\psi = \varphi e^{i\alpha(x - ct)}.$$

причем функция тока была записана в самом общем виде. Здесь α - обратная величина от длины волны возмущения; U - скорость потока; c - фазовая скорость возмущения.

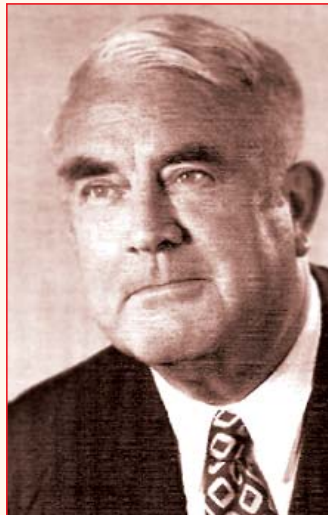
Исследование устойчивости ламинарного течения представляет собой не что иное, как задачу на собственные значения этого дифференциального уравнения, то есть поиска собственной функции $\varphi(y)$.

Первым в невязкой постановке ($\text{Re} \rightarrow \infty$) это уравнение попытался решить лорд Рейлей. Ему, после серьезного анализа удалось сформулировать две важные теоремы: о влиянии на устойчивость точки перегиба в профиле скорости у стенки и об ограничении фазовой скорости.

Решением полного уравнения Орра-Зоммерфельда впервые озаботился Вальтер Толмин. Прежде всего, В. Толмин произвел точное доказательство теорем Рейля. Далее Толмин разработал метод определения условий возникновения неустойчивости ламинарного потока. Шлихтинг, взяв за основу метод Толмина, провел обширные расчеты применительно к пограничному слою на плоской пластине. Работы этих ученых были, в основном, направлены на определение границ, при которых наступает неустойчивость. Они искали теоретически (Толмин) и расчетным путем (Шлихтинг)



Вальтер Толмин



Герман Шлихтинг

те значения чисел Рейнольдса, при которых наступает режим турбулентного течения. Ими были получены великолепные петлеобразные зависимости, характеризующие области ламинарных течений и, как им казалось, турбулентных. Почему казалось? Да потому, что эти области были не турбулентными. Они были лишь переходными. Это были области волновых течений. Поэтому ни разу не удалось получить критические числа Рейнольдса, равные или близкие к экспериментальным значениям. Полученные ими значения всегда были ниже экспериментальных. Турбулентность находилась намного правее по оси в направлении возрастания чисел Рейнольдса. Шлихтинг так объясняет это несовпадение: "При расчете на устойчивость всегда следует ожидать, что точка, в которой ламинарный пограничный слой становится неустойчивым (нейтральная точка на петлеобразной кривой), будет лежать выше по течению перехода ламинарной формы в турбулентную, так как турбулентность, возникающая вследствие нарастания возмущений, развивается именно на пути от нейтральной точки к точке перехода". Такое объяснение, к сожалению, следует считать устаревшим. Ведь Толмин и Шлихтинг так и не дошли до турбулентности. Они исследовали пограничный слой в линейной постановке, а значит, были ограничены лишь колебательными (волновыми) процессами. Поэтому можно объяснить и то, что они именно в этом направлении сделали свое замечательное открытие, носящее их имя. Это - волны Толмина-Шлихтинга. Шлихтинг позднее специально получил эти волны, демонстрируя возможность метода малых колебаний. Он вычислил собственную функцию и построил линии тока для случая обтекания плоской пластины (рис. 1).

Итак, основным предметом исследований Толмина и Шлихтинга были собственные значения - величины амплитудной функции $\varphi(y)$. Попробуем решить уравнение Орра-Зоммерфельда другим способом. Подобно лорду Релею упростим уравнение. Но в отличие от него сосредоточимся на правой части уравнения. Изначально будем считать, что полное уравнение, без упрощений, справедливо всегда. Тогда, если мы его упрощаем, например, показывая, что правая часть мала и практически равна нулю, то остается левая часть, и она равна нулю. Вспомним академика С.С. Кутателадзе, который придумал метод исчезающей вязкости. Он сказал, что ес-

ли число Рейнольдса стремится к бесконечности, то это все равно, что вязкость стремится к нулю. Тогда можно превратить уравнение Навье-Стокса в уравнение Эйлера, исключив при этом члены с вязкостью. Сделаем то же самое. Поскольку в правой части уравнения Орра-Зоммерфельда число Рейнольдса считается большим, подобно Кутателадзе будем считать исчезающе малым трехчлен, содержащий четвертую производную. А что? Ведь левая часть при этом не страдает и выводы лорда Релея не будут дезавуированы. Теперь будем решать уравнение четвертой степени относительно амплитудной функции. Поскольку оно линейное, найдем его характеристическое уравнение

$$(\rho^2 - \alpha^2)^2 = 0.$$

Видно, что это уравнение имеет четыре попарно кратных корней: два $\rho_1 = \rho_2 = \alpha$ и два $\rho_3 = \rho_4 = -\alpha$. Учитывая это, запишем полное решение для амплитудной функции

$$\varphi(y) = c_1 e^{\alpha y} + c_2 y e^{\alpha y} + c_3 e^{-\alpha y} + c_4 y e^{-\alpha y}.$$

Используя граничные условия, аналогичные Толмину и Шлихтингу [2], можно определить функцию тока для поставленной задачи.

Определение линии тока

Подобно [3, 4], решим задачу определения линии тока при установившемся течении Толмина-Шлихтинга для плоского случая. Воспользуемся уравнением Прандтля-Глауэрта. Отметим сразу, что уравнение Прандтля-Глауэрта было получено после преобразования уравнения неразрывности. Оно не содержит вязкостных членов и может быть использовано для любых видов течения, как дозвукового, так и сверхзвукового. Это уравнение "является основным в теории течений газа с малыми возмущениями скорости"[5]

$$(1 - M) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0.$$

Сформулируем граничные условия для случая Толмина-Шлихтинга, учитывая ламинарный профиль скорости у стенки

$$v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = U \frac{\partial Y}{\partial x} \text{ при } y = \delta_{nc};$$

$\varphi = U y$ - условие сдвигового течения.

Решение будем искать методом разделения переменных: $\varphi = F(x) G(y)$. Тогда получим

$$\frac{F''}{F} = - \frac{G''}{(1 - M)G} = -k^2.$$

Решением первого уравнения является колебательная функция $F = A \sin kx + B \cos kx$, второго

$$G = C e^{-\sqrt{1-M^2}ky} + D e^{\sqrt{1-M^2}ky} - \text{аперидическая функция.}$$

Для потенциала скоростей с учетом малых значений чисел Маха и краевых условий решение будет иметь вид

$$\varphi \approx U y \cos kx.$$

Согласно первому граничному условию

$$\frac{dY}{dx} = \frac{1}{U} \cdot \frac{d\varphi}{dy} = \cos kx.$$

При этом форма разделительной линии получится в виде

$$Y = (1/k) \sin kx + c.$$

Такое, достаточно грубое решение задачи, тем не менее, показывает колебательный характер линии тока при условиях близких к условиям достаточно медленных течений. Но решения предпологают не только медленные течения. Учет экспонент перед тригонометрическими частными решениями дает возможность получить более точные значения, зависящие в том числе от чисел Маха. При этом числа Рейнольдса, в принципе, могут быть достаточно высокими. Ограничением будет переход к турбулентному течению. Но эта другая задача и на сегодняшний день она не решена в достаточной степени. Ещё только предстоит найти закономерности, подобные закономерностям Толмина и Шлихтинга, которые будут справедливы не только для волновых течений в пограничном слое. Ещё также потребуется достаточно большое количество целенаправленных экспериментов, позволяющих корректно определить границу перехода от волнового течения к турбулентному.

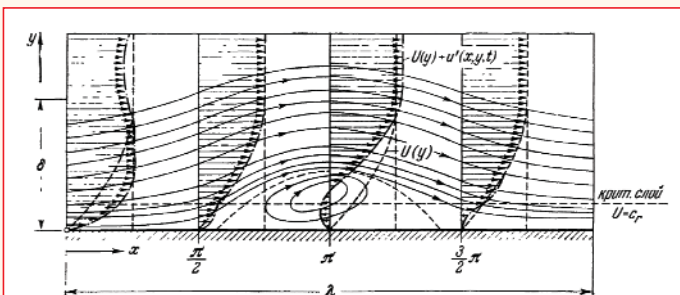


Рис. 1 Линии тока по расчету Шлихтинга

Экспериментальные факты

Итак, волны Толмина-Шлихтинга могут возникать при условии сдвиговых потоков. При этом сдвиг может быть как в течениях со скачкообразным разрывом потока [4], так и в течениях с градиентом скорости, но без разрыва. Последний случай имеет место при потере устойчивости ламинарного пограничного слоя. Действительно, резкий ламинарный профиль скорости у стенки создает в соответствии с законом Бернулли в поперечном направлении профиль давления, градиент которого направлен перпендикулярно линиям тока. Под действием этого градиента линии тока искривляются и могут приобретать волнообразный вид. Причем повышение давления наблюдается с вогнутой стороны. Этот факт был отмечен Людвигом Прандтлем и он часто является объяснением причины появления волновых течений.

Теория, основанная на предположении малых колебаний (возмущений) Толмина и Шлихтинга приводит к заключению о том, что эти волны, возникшие при определенных числах Рейнольдса, а именно при таких числах, которые соответствуют уровню собственных частот колебаний системы, содержащей в своем объеме упругий газ или жидкость, могут усиливаться под воздействием внешних колебаний. Другие колебания, которые не совпадают с собственными, будут затухать. В любом случае с помощью малых возмущений можно отметить три основных фактора, которые характеризуют ламинарное течение в области, где оно теряет устойчивость.

Первый фактор базируется на том, что при любом малом воздействии на ламинарный поток возникает реакция в системе, в данном случае в текущей среде, в виде её колебаний с собственной частотой.

Второй фактор основан на том, что если система под действием этих малых возмущений "раскачается", потеряет устойчивость, то уже можно говорить о приближении турбулентности.

Третий фактор подразумевает резкое упрощение дифференциальных уравнений Навье-Стокса. При этом они становятся линейными.

Открытые Толмином и Шлихтингом волны в тот период времени ещё не были подтверждены экспериментально. Существовали только весьма скромные расчетно-теоретические доказательства их присутствия в переходных процессах. В настоящее время также существуют весьма ограниченные, практически единичные, экспериментальные подтверждения таких течений. Но тем они ценнее и значительнее. Так, например, на рис. 2, 3 и 4 представлены последовательно фотографии, где изображены волны Толмина-Шлихтинга, полученные разными методами при различных условиях течения: во внутреннем течении в сопле, при внешнем обтекании и в струе. Интересным является то, что эта область волнового течения практически совпадает с переходной областью на кривой, полученной И.И. Никурадзе для гладких труб (рис. 5, область II) и с результатами опытов А.А. Павельева, полученных для спутных струй [4].

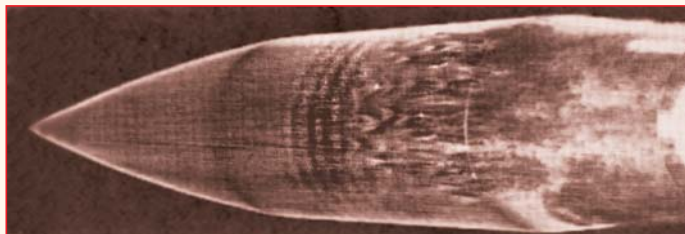


Рис. 3 Волны Толмина-Шлихтинга на поверхности снаряда (Мюллер, Нельсон, Кегельман, Морковин)

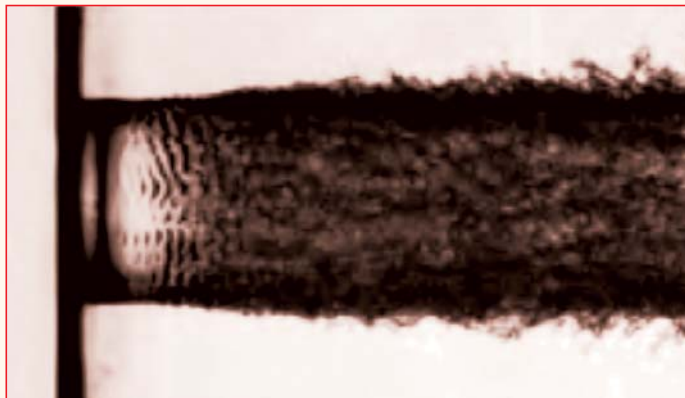


Рис. 4 Волны Толмина-Шлихтинга на поверхности струи воды (Хойт, Тейлор)

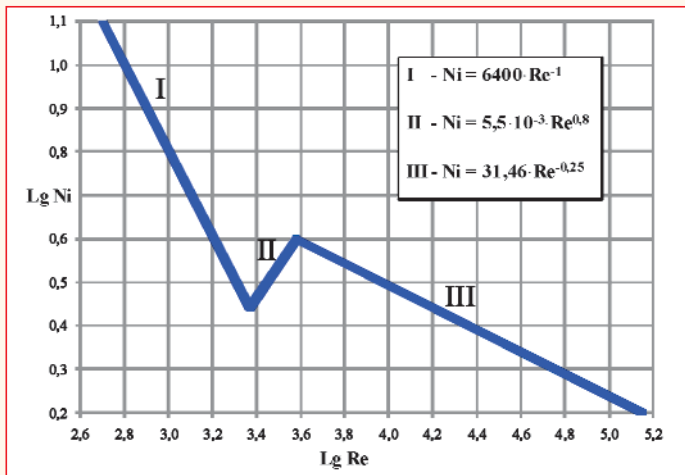


Рис. 5 Зависимость числа Никурадзе от числа Рейнольдса для гладких труб

Литература

1. Ю.М. Кочетков. Турбулентность без градиентов. // Двигатель № 5, 2006 г.
2. Г. Шлихтинг. Теория пограничного слоя. М. Наука, 1974 г.
3. J. Ackeret. Gasdynamic, Handbuch der Physik, Bd. 7. Kap. 5, Berlin, 1927.
4. Ю.М. Кочетков, Н.Ю. Кочетков. Турбулентность в РДТ. Разделительные линии. // Двигатель № 4, 2010 г.
5. Г.Г. Черный. Газовая динамика. М. Наука, 1988 г.



Рис. 2 Фото волн Толмина-Шлихтинга в трансзвуковой части сверхзвукового конического сопла



Волны Толмина-Шлихтинга в воздушном океане Земли

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

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



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)

После ознакомления с условиями, в которых разрабатывался космический комплекс Н1-ЛЗ, пришло время рассмотреть и уровень его конструктивно-технического исполнения, повлиявшего на результаты первых лётных испытаний. И начнём изложение в соответствии с ранее принятым порядком - с цитирования мнений по этому вопросу авторитетных специалистов, причастных в той или иной степени к разработке РН Н1.

А.М. Исаев, главный конструктор двигательного ОКБ-2, в конце 1966 г. в беседе с Б.Е. Чертоком так оценивал надёжность разрабатываемой ракеты Н1 с её многодвигательной первой ступенью (цитируется по книге Б.Е. Чертока "Ракеты и люди. Горячие дни "холодной войны"): "С Н1, вы, по-моему, крепко влипли. Я не хочу быть пророком. Уверен, что двигателя у Кузнецова скоро не будет. Отработать надёжность для такой ракеты, да ещё когда вы поставили только на первую ступень 30 бутылок по 150 тонн... Мне Вася Мишин и Миша Мельников расписывали эти двигатели как своё личное достижение. Якобы они убедили Кузнецова выбрать такую схему. Но я Ване Райкову больше верю. Он не разделяет их оптимизма. В 1968 г. двигателей у вас не будет".



А.М. Исаев и В.П. Глушко

Опытный двигателестроитель А.М. Исаев ещё за три года до первого аварийного пуска Н1 прогнозировал такое развитие событий. И его диагноз низкой надёжности - установка на первой ступени 30 двигателей - оказался точным.

В.Н. Орлов, зам. главного конструктора ОКБ Кузнецова, в книге "Генеральный конструктор Н.Д. Кузнецов и его ОКБ" (изд. "Волга-Дизайн", 2011) приводит оценку надёжности двигателей работниками НИИТП: "Трудно перечислить, что они говорили и писали, ругая наш двигатель. В одном из своих заявлений специалисты НИИТП пришли даже к такому выводу, что 30 двигателей силовой установки блока первой ступени абсолютно ненадёжны. Этим незамедлительно воспользовались недоброжелатели выбранной в своё время С.П. Королёвым компоновки ракетного комплекса".

Это единственная цитата, в которой автор приводит чужое мнение и по эмоциональному настрою чувствуется, что он с ним не согласен. И не поймёшь, чего здесь больше - слепой веры в непогрешимость С.П. Королёва или непонимания принципов обеспечения надёжности ракетной техники.

Академик Н.Н. Шереметьевский, генеральный конструктор ВНИИЭМ, участник работ по созданию РН Н1 (Сборник "Дороги в космос"): "Неудача Н1 была связана с тем, что на пакете устанавливалась многодвигательная система, двигатели которой имели одноразовый режим работы. Надёжность этой системы по существу, была низкой. После 4-х неудачных пусков было принято решение, на мой взгляд, правильное решение - эту работу закрыть".

Трудно, да и ненужно, что-либо добавить к этой характеристике.

Б.И. Губанов, зам главного конструктора КБЮ,



Н.Н. Шереметьевский

в 60-е годы возглавлял разработку двигателя для посадки космонавта на Луну и последующего взлёта: "Главная беда ракеты Н1 - низкая надёжность одиночных двигателей, связки двигателей и низкая эффективность системы аварийной защиты. [...] На практике доказано, что без специальной системы, чутко реагирующей на состояние каждого двигателя и своевременно не доводя до взрыва, выключающей "больной" двигатель или переводящей в "щадящий" режим его работы, применять такое количество двигателей в связке не следовало. Такой системы не было. "КОРД" не оправдал возложенных на него слабых, как теперь ясно, надежд. Выход был единственный (как сделали американцы) - уменьшить до разумного количества двигателей в связке. В.П. Глушко в этом был прав".



Б.И. Губанов

Неоднократно цитируемый нами директор ЦНИИМаш Ю.А. Мозгорин в интервью, опубликованном журналистом М. Ребровым в газете "Красная звезда" от 13.01.1990 г. (статья "А дело было так"), в качестве основной причины аварий при пусках Н1 определил несостоятельность принятого метода обеспечения надёжности. "Вначале считалось, что тридцать двигателей в одной связке - это хорошо, поскольку можно методически увеличивать надёжность такой большой связки путём отключения в полёте дефектных двигателей. При этом выключался и нормально работающий двигатель, расположенный симметрично. Однако гладко было только на бумаге

ге. Как показал опыт, система аварийного выключения "КОРД" не успевала диагностировать "заболевший" двигатель и выключить его. Двигатель взрывался. А это означало, что рушится вся идея обеспечения надёжности многодвигательной связки".

В этой же статье М. Ребров приводит оценку методики отработки двигательной установки первой ступени РН Н1 ведущим научным сотрудником ЦНИИМаш В.В. Вахниченко: "Говоря о судьбе Н1, нельзя умолчать и о том, что при создании носителя был нарушен неписанный закон ракетостроения - обязательная огневая отработка на стенде ракетных ступеней. В целях экономии времени и средств было решено не строить стенд для испытаний первой ступени, что предопределило перенос центра тяжести отработки на этап лётных испытаний. В ошибочности такого решения роковую роль сыграла недооценка масштабного фактора - большой размерности носителя, каждый пуск которого был событием в жизни отрасли. Раньше при создании малых носителей и боевых ракет многие "огрехи" наземной отработки устранялись в ходе лётных испытаний. И не беда, что для некоторых ракет требовалось провести 40-60 пусков, прежде чем они "научатся" летать. Для Н1 этот путь был непригоден. Нужен был новый двигатель с уровнем тяги, на порядок превышающим достигнутым к тому времени. Задача сложнейшая, требующая конструкторского риска, концентрации усилий, дополнительного времени. Более простым и коротким представлялся путь создания двигательной установки из нескольких десятков двигателей. То, что пошло этим путём и сыграло роковую роль в судьбе Н1".

Приведённые оценки не вызывают у меня сомнения в объективности и профессионализме их авторов, но всё-таки это взгляд со стороны. А как оценивал собственную работу и причину провала Лунной программы руководящий состав ОКБ-1 (ЦКБЭМ)? Приведём мнения по этому вопросу ряда бывших технических руководителей проекта Н1.

Б.А. Дорофеев, главный конструктор РН Н1 с 1968 г., в сборнике "Страницы космической истории" (издание ЦНИИМаш, 2001 г.) весьма кратко определил причины провала проекта Н1: "Причиной неудачного хода лётных испытаний носителя Н1 явились трудности, возникшие при создании ЖРД в ОКБ конструктора авиационных двигателей Н.Д. Кузнецова".

Главный конструктор РН Н1 мог бы вспомнить просчёты своего ОКБ, а не переводить "стрелку" на выбранного руководством ОКБ-1 смежника.

С.С. Крюков, зам. главного конструктора ОКБ-1, в статье "Блеск и затмение лунной программы" (журнал "Наука и жизнь" №4 за 1994 г.) в качестве одной из основных причин провала считает принятый порядок поставки двигателей для установки в ракетную ступень: "Методика сдаточных испытаний была такая: из партии в 6 двигателей отбирались 2 и направлялись на стенд, а оставшиеся 4 двигателя сдавались для установки в ракету без проверки их работоспособности. Такая система статистического контроля себя не оправдала, что показали первые же лётные испытания".

Анализ причин провала грандиозного проекта сводится к информации, что методика сдачи двигателей НК-15 в "товар" себя не оправдала. Это подаётся в форме констатации факта без критического отношения, хотя применение такого "контроля" позволяет устанавливать в ракету двигателя без проведения предварительных технологических огневых испытаний. А ведь именно эта безответственно принятая методика стала одной из основных причин аварий при лётных испытаниях Н1-Л3. Печально, но приходится констатировать, что такая методика была принята вопреки имеющейся в те годы практики в отечественном ракетном двигателестроении сдавать двигатели в лётную эксплуатацию только после проверки работос-

пособности каждого экземпляра двигателя проведением стендового огневого испытания.

Позднее отечественные разработчики ЖРД при создании некоторых двигателей применяли методику поставки двигателей в "товар" по результатам партийного контрольно-выборочного испытания, без проведения технологического огневого испытания каждого экземпляра. Но этому предшествовала специальная стендовая отработка, обеспечивающая гарантированную многоразовость использования двигателя и повышенный ресурс его работы, а также увеличенное количество контрольных операций, проводимых в процессе изготовления деталей, агрегатов и при сборке двигателя. Однако на все космические ракеты типа "Союз", "Космос-3М", "Протон", "Циклон", "Зенит", "Энергия" и на находящуюся в разработке РН "Ангара" двигатели устанавливались и устанавливаются после прохождения стендового огневого испытания, причём для РН "Зенит" и "Ангара" - без переборки после проведения полноресурсного стендового испытания.

С.О. Охапкин, первый зам. главного конструктора ЦКБЭМ, на совещании у С.А. Афанасьева в конце января 1968 г. так отозвался о качестве проектных работ (цитируется по книге Б.Е. Чертока "Ракеты и люди"): "Надо признать, что мы у себя действительно недостаточно глубоко прорабатываем идеологическую сторону многих вопросов. Недостаточная глубина проработки привела к тому, что на нас теперь навалился тяжелейший груз нерешённых вопросов. По Н1 ещё при Сергее Павловиче были допущены проектные ошибки, которые, к сожалению, узаконили Постановлениями. Мы получили ракету, которая по полезному грузу сильно отстаёт от "Сатурна".

Это единственная встретившаяся мне оценка проекта РН Н1, сделанная Охапкиным, хотя ему, возглавлявшему в ОКБ-1 и ЦКБЭМ конструкторское направление работ, было что вспомнить о конструкторских недоработках в ракете. Однако и это обобщающее признание свидетельствует о техническом уровне ракеты Н1.

Б.Е. Черток, заместитель главного конструктора ОКБ-1 и ЦКБЭМ, в сборнике "Страницы космической истории" (издание ЦНИИМаш, 2001 г.) указывает на проектные ошибки при разработке РН Н1: "Определённую ошибку допустили мы - проектанты. Экспедицию на Луну надо было считать и проектировать, начиная с Луны, а не с Земли. Следовало с самого начала задаться тем, какие веса высадить на Луну, какие потребуются корабли, что надо доставить и сколько человек и т.д. Американцы начали проектирование именно таким образом, после чего фон Брауну, по существу, и были заданы параметры ракеты "Сатурн-5". Мы же отталкивались от возможностей, которые, как мы считали, нам может предоставить государство на разработку такой ракеты, да ещё старались не забыть и требования военных. Первый проект тяжёлого носителя создавался под полезную нагрузку 75 т, что было явно недостаточно и лишь потом, модернизируя конструкцию, довели этот показатель до 90-95 т, хотя и этого было явно мало для надёжного решения поставленной задачи. Эта проектная ошибка нам стала ясна уже после кончины С.П. Королёва - при нём мы продолжали разрабатывать лунный носитель Н1 с такой, явно недостаточной, полезной нагрузкой.

И, наконец, серьёзной ошибкой оказался выбор двигателя. Опыт последующих лет показал, что если бы нам удалось поставить меньшее количество, но более мощных двигателей, как это сделали американцы для своего "Сатурна" и как это могли сделать и мы, но только при участии Глушко, то, вероятно, мы получили бы сразу надёжный носитель. Глушко обладал огромным опытом, которого не было у Н.Д. Кузнецова. Началась спешка, вызванная погоней за аме-



Ю.А. Мозжорин



С.А. Охапкин



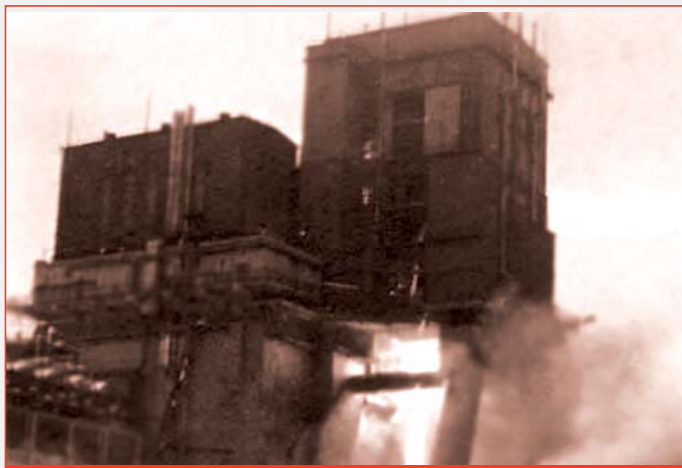
Б.А. Дорофеев



С.С. Крюков



Б.Е. Черток



Огневые испытания второй ступени Н1 в НИИХиммаше под Загорском

риканцами, на доводку двигателей времени не оставалось. И мы начали запускать новый носитель с "сырыми" двигателями".

В этих фрагментах из интервью, данного А.Д. Брусиловскому в 1996 г., Б.Е. Черток преподает пример принципиального подхода и объективности в оценках работы ОКБ-1, а также уважительного отношения к истории. К критическим замечаниям уважаемого Б.Е. Чертока добавлю, что начало пусков с "сырыми" двигателями вызвано не столько вынужденной "погоней за американцами", сколько выдачей ОКБ-1 в 1962 г. технического задания на разработку двигателей одноразового употребления без указания требований по надёжности и обязательного проведения предварительного огневого испытания. При правильно составленном ОКБ-1 техническом задании, ОКБ Кузнецова за 7 лет с 1962 г. по 1969 г. с помощью НИИ и ОКБ МОМ и МАП сумело бы создать работоспособные двигатели, что и было продемонстрировано при проведении стендовых испытаний модернизированных двигателей НК-33. Это, разумеется, не означает, что советские космонавты первыми бы ступили на Луну, но такого провала программы с первых же лётных пусков не произошло бы.

В.П. Мишин, первый зам. главного конструктора ОКБ-1 и главный конструктор ЦКБЭМ, в уже упомянутой ранее книге "От создания космических ракет к ракетно-космическому машиностроению" сделал ряд признаний в допущенных недоработках в процессе создания РН Н1 и Н1-Л3: "Методика отработки РКК "Сатурн-Аполлон" была ориентирована на отработку частей этого комплекса в наземных условиях, максимально приближенных к условиям лётной экспедиции. Для этого требовалась специальная дорогостоящая наземная экспериментальная база и минимальное количество материальной части для пилотируемых запусков. Надёжность осуществления лунной экспедиции определялась в основном наземными испытаниями."

Методика отработки РКК Н1-Л3 ориентировалась на его комплексную отработку до пилотируемых запусков при помощи автоматически управляемых комплексов. Для отработки РКК Н1-Л3 требовалось большее, чем при методике отработки РКК "Сатурн-Аполлон" материальной части и автоматически управляемых комплексов до начала полётов пилотируемых комплексов, а надёжность осуществления лунной экспедиции определялась качеством комплексной отработки автоматически управляемых комплексов, качеством изготовления и контроля частей пилотируемых РКК. Так программой отработки РКК Н1-Л3 предусматривалось до запуска пилотируемых РКК Н1-Л3 запустить двенадцать автоматически управляемых комплексов.

Уже первые запуски ракет-носителей Н1 выявили недостатки отработки одиночных ЖРД для многодвигательных установок ракетного блока "А" до заданного уровня надёжности по статистике испытаний одиночных ЖРД на номинальном режиме. Для ЖРД, предназначенных для многодвигательных установок, нужны запасы работоспособности, как по выходным характеристикам, так и по ресурсу их

работы, которые, к сожалению, в первоначальном техническом задании на разработку этих двигателей не были предусмотрены. Этот недостаток методики отработки ЖРД для многодвигательных ДУ выявился, если бы до лётных испытаний были проведены огневые стендовые испытания ракетного блока "А".

В своё время, ещё при жизни С.П. Королёва, капитальные вложения на строительство стенда не были предусмотрены из-за экономии средств. Это было одной из основных ошибок в планировании работ по программе Н1-Л3. Условия работы одиночного ЖРД в составе многодвигательной установки существенно отличаются от его работы в обычных стендовых условиях и не могут быть заменены стендовыми испытаниями одиночных ЖРД.

Руководители так называемого головного ОКБ - ОКБ-1 - и Королёв, а затем и я недооценили технической сложности и объёма работ по программе Н1-Л3, не смогли убедить вышестоящих руководителей (прежде всего Д.Ф. Устинова и Л.В. Смирнова) в нереальности устанавливаемых ими сроков реализации этой программы. Все попытки перенесения сроков пресекались.

Встретившиеся трудности по доводке ЖРД ракетных блоков "А", "Б" и, как следствие, неоднократный срыв сроков поставок этих ЖРД, породили у определённого круга людей (в первую очередь у руководящих деятелей) мнение, что Н.Д. Кузнецов, при существующем отношении к этой работе руководства МАП, до заданного уровня надёжности в ближайшее время не доведёт. Поэтому было решено прекратить работы не только по лунной экспедиции, но и по ракете-носителю Н1".

Практически все процитированные ведущие специалисты ракетостроительной отрасли единодушно указывают в качестве причины аварийных исходов при первых лётных испытаниях комплекса Н1-Л3 не отработанность двигателей, в также многодвигательность первой ступени РН Н1. Значимость четырёх подряд аварий оказалась столь велика, что они послужили поводом для прекращения работ не только по лунному комплексу Н1-Л3, но и дальнейших работ по РН Н1. Именно поводом, т.к. причина лежала глубже: утрата политической значимости полёта на Луну после успешного завершения американцами Лунной программы, неопределённость сроков окончания лётных испытаний Н1, отсутствие в ближайшей перспективе научных и народнохозяйственных полезных нагрузок и целевого использования Н1 в интересах МО.

При ретроспективном взгляде это настолько прозрачно, что не требуется приведения дополнительных аргументов или обсуждения. И всё же возьму на себя смелость утверждать, что использование "сырых" двигателей и их количество на первой ступени, превышающее разумные пределы, являются следствием главной ошибки, а для себя я её назвал стратегической, допущенной при формировании проекта РН Н1 и идеологии наземной и лётной отработки. В чём же эта ошибка? Попробую разъяснить и убедить читателя в правильности своих выводов.

В ряде книг и статей, излагающих историю создания ракеты Н1, авторы называют этот проект мечтой С.П. Королёва. Читая это, я воспринимал такое определение технического проекта как литературный приём, художественный образ. Но исследуя историю разработки РН Н1, пришёл к выводу, что термин "мечта" - наиболее точное определение истоков рождения проекта. Практически в любой творческой работе, а разработка ракетно-космического комплекса, безусловно, относится к творческим процессам, создание конечного продукта является решением поставленной задачи или достижением определённой цели. А цель отличается от мечты своей конкретностью. Все ракеты, предшествующие разработке РН Н1, имели конкретные конечные цели их создания. Так, Р-1 создавалась главным образом для технологического освоения новой для советской промышленности конструкции, установления кооперации научных организаций и промышленных предприятий, а также структуры армейских подразделений для подготовки и проведения боевых пусков ракетного вооружения. Ракета Р-2 - увеличенная вдвое дальность действия благодаря внедрению технических решений советских конструкторов. Следующая в этом ряду ракета Р-5М - первая отечественная стратегическая ракета, оснащённая ядерной боеголовкой



В.П. Мишин

От создания космических ракет к ракетно-космическому машиностроению" сделал ряд признаний в допущенных недоработках в процессе создания РН Н1 и Н1-Л3: "Методика отработки РКК "Сатурн-Аполлон" была ориентирована на отработку частей этого комплекса в наземных условиях, максимально приближенных к условиям лётной экспедиции. Для этого требовалась специальная дорогостоящая наземная экспериментальная база и

кой. Эта ракета была способна поражать базы НАТО в центральной Европе и на Ближнем Востоке. Создание на базе отечественных конструкций межконтинентальной ракеты Р-7 дало возможность наносить ядерные удары по территории США, что явилось основным фактором сдерживания неспровоцированной агрессии.

Отличительной особенностью последующих ракет Р-11, Р-12, Р-14 и Р-16 стало применение высококипящего долговременного ракетного топлива, что позволило существенно сократить время подготовки пуска боевой ракеты. При этом каждая из этих ракет имела свою область применения: Р-11 - ракета ближнего радиуса действия, Р-12 и Р-14 - ракеты среднего радиуса действия, Р-16 межконтинентальная ракета. Все вышеуказанные ракеты имели военное предназначение и разрабатывались по тактико-техническим заданиям, составленным специалистами МО. Использование ракеты Р-7 для запуска искусственного спутника Земли - это первый, выходящий за рамки лётной отработки боевой ракеты, опыт конверсионного использования ракетной техники.

Аналогично развивалась программа космических пусков. За 2 года, с 4 октября 1957 г. по 7 октября 1959 г. в космос выведено 6 объектов, причём каждый последующий космический пуск решал задачу, отличающуюся от предыдущей: запуск первого простейшего искусственного спутника Земли, запуск в космос животного (собака Лайка), выведение на околоземную орбиту научной лаборатории, вывод рукотворного объекта на околосолнечную орбиту, посадка на Луну, фотографирование обратной, невидимой с Земли стороны Луны. Американцы в этот период времени тоже приступили к изучению околоземного пространства, но с некоторым отставанием и их успехи выглядели существенно бледнее на фоне советских достижений.

В обстановке международного признания приоритета СССР в осуществлении научно-технических космических программ любое предложение дальнейшего развития этого направления принималось на "ура". Так 23.06.1960 г. появилось Постановление: "О создании мощных ракет-носителей, спутников, космических кораблей и освоения космического пространства в 1960-1967 годах", которым предусматривалось выведение на околоземную орбиту объектов массой 40...50 т и в дальний космос массой 10...20 т. О целевом назначении объектов не упоминалось. Так мечта С.П. Королёва получила государственную поддержку.

Однако не все причастные к разработке отечественной ракетной техники были заражены эйфорией от космических успехов. На представительном совещании в сентябре 1960 г., в котором участвовали руководители ракетостроительной отрасли, главные конструкторы, представители Академии наук СССР и Министерства обороны, заместитель начальника ГУРВО генерал А.Г. Мрыкин в своём выступлении поставил вопрос: *"...для каких целей предназначаются разрабатываемые тяжёлые корабли и каково их применение для военных целей? Считаю необходимым также определение научных целей кораблей"*. На эту явную недоработку указывали и другие авторитетные участники совещания.



А.Г. Мрыкин

Отсутствие востребованной полезной нагрузки, по сути, девальвировало актуальность создания нового средства выведения. Это понимали не только специалисты ракетной отрасли, но и высшие партийно-правительственные структуры. Вскоре это понимание нашло отражение в одном из последующих постановлений Правительства, которым поручалось Министерству обороны, АН СССР и оборонным промышленным комитетам проработать вопрос применения нового средства выведения и его полезных нагрузок для военных, народнохозяйственных и научных целей. Как показала история создания РН Н1, выполнение этого поручения затянулось до августа 1964 г., когда на высшем государственном уровне, под давлением успехов американцев в Лунной программе, было принято решение "Луну американцам не отдавать!" Но до этого в течение 4-х лет разрабатываемая ракета не имела определённого целевого предназначения. Вернее, предложения об использовании РН Н1 были, их изложили в выпущенном в 1962 г. эскизном проекте, но и там они имели общий характер и при их многочис-

ленности не было выделено первоочередных одного-двух "ударных" предложений, отвечающих требованиям текущего времени.

Проектной ошибкой оказалось первоначально предложенная грузоподъёмность в 40...50 т, что стало следствием отсутствия целевой полезной нагрузки. Это пришлось исправить при разработке эскизного проекта - масса нагрузки была увеличена до 75 т, хотя, как показали последующие события, и эта масса оказалась не оптимальной.

Столкнувшись с ситуацией, когда предложенная к разработке ракета не имеет целевого назначения, авторы предложения, а это был Совет главных конструкторов во главе с С.П. Королёвым, для дальнейшего продвижения идеи создания тяжёлого носителя вынуждены были искать другие веские аргументы, делавшие их предложение привлекательным для государственных структур и, в конечном итоге, для политического руководства страны. Хотя сама идея создания носителя, способного выводить в космос нагрузки массой в десятки тонн получила государственную поддержку, но этого было явно недостаточно для успешного прохождения проекта Постановления по реализации технического проекта через финансовые и промышленные "фильтры".

В СССР на трассе продвижения любого значимого научно-технического проекта оборонного назначения перед его выходом на утверждение правительством стояли три "фильтра" - Минфин, Госплан и Минобороны. Эти организации фильтровали проекты по критериям стоимости, потребной трудоёмкости и продолжительности разработки.

За неимением целевого востребования нового носителя и, соответственно, мощного лоббирования этого проекта со стороны Министерства обороны - главного заказчика и потребителя в то время ракетной техники - и Академии наук СССР, авторы предложения избрали путь, позволяющий, по их мнению, если не обойти, то уверенно просочиться через критерии "фильтрующих" государственных структур.

Анализ затрат при создании новой ракеты показывает, что значительное количество средств затрачивается на проведение технического перевооружения производства, на разработку новых технологий, на строительство или модернизацию испытательных стендов. Кроме того, на начальном этапе создания новой ракеты проводятся научно-исследовательские работы, в процессе которых изыскиваются или проверяются новые конструкторские решения, позволяющие обеспечивать повышенные, как правило, технико-эксплуатационные требования к новой ракете. Вот эти статьи затрат и стали источником экономии средств, потребных для создания РН Н1. Создать качественно новый ракетно-космический комплекс при минимуме затрат - очень убедительный аргумент для любого финансиста и организатора производства. А для чего он нужен - это вопрос для заказчиков - военных и учёных.

Разработку этой ракеты пытались вести по инерции предыдущих работ, как бы накатом достичь революционного по значимости результата, двигаясь эволюционным путём. Создав МБР Р-7, действительно выдающуюся для того времени ракету, её разработчики считали, что овладели всеми премудростями в ракетостроении, но не учли значимости масштаба нового проекта. Это была общая ошибка членов СГК и в первую очередь С.П. Королёва, ставшего к этому времени признанным лидером отечественного ракетостроения. Разработчики РН Н1 пренебрегли философским законом "Количество переходит в качество". В нашем случае масштаб нового проекта требовал другого эксклюзивного в истории создания ракетной техники подхода к его реализации.

Любые принятые решения следует оценивать по конечному результату. А результат показал, что принятая погоня за дешёвизной была стратегической ошибкой Совета главных конструкторов. Главной характеристикой нового проекта должно было стать обеспечение требуемой надёжности, в обиходе - качества продукции, а не её дешёвизна. Стоит ли напоминать, что дешёвый товар качественным не бывает? Заявляемые на разработку РН Н1 малые затраты закономерно создавали у руководящих государственных структур иллюзию простоты решаемой задачи. Такая оценка поддерживалась го-

ловным разработчиком РН, а отсюда естественно вытекали предлагаемые рекордно короткие сроки выполнения работ, нашедшие отражение в первом же Постановлении по теме Н1.

Отдав приоритет максимальному использованию существующего технологического оснащения и производственно-испытательной базы, главные конструкторы ракетных систем и в первую очередь ОКБ-1 существенно ограничили своих проектантов и конструкторов в свободе выбора новых конструкторских решений, что привело к разработке ряда нерациональных конструкций.

Так на ракете появились сферические топливные баки, нерационально использующие пространство внутри отсека, ограниченно-конической внешней обечайкой, размерность ЖРД первой ступени ограничили тягой 150 тс, что привело к необходимости установки вначале 24-х двигателей, а затем увеличить их количество до 30. Сократить такое количество двигателей можно было только существенным увеличением тяги единичного двигателя, но для изготовления камер ЖРД тягой 500...600 тс в промышленности не имелось технологического оборудования, его нужно было изготавливать заново, а это дополнительные деньги и время, что противоречило идее продвижения проекта. Для экономии средств (а чем ещё можно объяснить такое решение?) отказались от принятого в отечественном ракетном двигателестроении обязательного проведения огневого технологического испытания каждого экземпляра двигателей перед их установкой в ступень ракеты. И не с целью ли "замазать" эту непростительную ошибку, в техническом задании на разработку двигателей НК-15 не указали требуемую надёжность единичного двигателя?

Из допущенных ошибок на этапе формирования подходов к разработке РН Н1 наибольшую известность получило отсутствие стенда для огневых испытаний в сборе всей первой ступени. Напомним, что зам. главного конструктора ОКБ-1 по лётной отработке ракет Л.А. Воскресенский, по свидетельству Б.Е. Чертока в книге "Ракеты и люди", неоднократно ставил вопрос о необходимости строительства такого стенда. На это С.П. Королёв отвечал, что на создание стенда денег не дадут, а если будем настаивать - закроют всю тему Н1. Это ли не свидетельствует об избранном методе продвижения решения о разработке Н1?

Есть ещё одно аналогичное свидетельство, оставшееся вне вни-

мания исследователей истории создания РН Н1. В процессе обсуждения вопроса о выборе ракетного топлива на предложение В.П. Глушко использовать АТ и НДМГ, оппоненты ссылались на дороговизну производства этих компонентов топлива, в то время как имеющие уже широкое применение в ракетной технике жидкий кислород и керосин стоят существенно дешевле, что при больших расходах топлива в ракете Н1 даёт значительную экономию. И никаких ссылок на токсичность топлива, предложенного В.П. Глушко. Об этом свидетельствуют протоколы заседаний главных конструкторов в начале 1960-х годов. Довод о неприемлемости предлагаемого Глушко топлива для Н1 по причине токсичности появился в печати много лет спустя, когда некоторым "историкам" потребовалось найти техническое объяснение причины, по которой Глушко было отказано участвовать в разработке двигателя для РН Н1.

В тот же период стали приписывать В.П. Глушко предложение установить на ракету Н1 двигателя тягой 600 тс, работающем на токсичном топливе. По этой версии С.П. Королёв ему отказал и предложил Н.Д. Кузнецову разрабатывать кислородно-керосиновый двигатель, но, учитывая его неопытность, согласился на разработку двигателя тягой 150 тс. Кто читал начальные главы цикла моих статей об истории Н1, тот должен помнить, что на этапе создания эскизного проекта РН Н1 ОКБ Глушко и ОКБ Кузнецова параллельно разрабатывали проекты двигателей тягой 150 тс на различных компонентах топлива. Предложение Глушко использовать двигатель тягой 640 тс появилось значительно позднее и не для ракеты Н1, а для УР-700, разрабатываемой в ОКБ Челомея.

Можно привести ещё ряд примеров, когда новые технические решения были принесены в жертву экономии средств и времени. Внешне это выглядело как новый творческий подход к разработке ракетной техники, но обеспечивал ли он технический прогресс в одном из наиболее наукоёмком направлении техники? Как реализовался такой подход на практике, наглядно показали результаты первых лётных испытаний комплекса Н1-Л3.

В следующей, я надеюсь, последней статье цикла, будут рассмотрены технические обстоятельства, приведшие к прекращению дальнейших работ с РН Н1. **П**

(Продолжение следует.)



Н1 на пути к Луне - мечта С.П. Королёва



XVII Московский международный Салон
изобретений и инновационных технологий

АРХИМЕД

1 - 4 апреля 2014 г.

Москва, Россия,

Конгрессно-выставочный центр «Сокольники»,
павильон №4



Организаторы Салона:

ООО «ИнновЭкспо»

Департамент науки, промышленной политики и
предпринимательства города Москвы

При поддержке:

Администрации Президента РФ;

Правительства города Москвы;

Всемирной организации интеллектуальной собственности.

Соорганизаторы и партнеры:

Министерство обороны РФ;

Министерство образования и науки РФ;

Федеральная служба по интеллектуальной собственности;

Российская академия наук; ТПП РФ, МТПП;

Союз машиностроителей России; ООО «Союзпатент»;

Всероссийское общество изобретателей и
рационализаторов;

Международный инновационный клуб «Архимед»

- изобретения
- полезные модели
- промышленные образцы
- инновационные проекты
- товарные знаки
- Всемирный форум изобретателей
- Международная научно-практическая конференция по правовой охране результатов интеллектуальной деятельности
- Международный университет изобретателя



Заявки на участие в **17 Московском международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2014»** принимаются до 25 февраля 2014 г. по адресу: 105187, г. Москва, ул. Щербаковская, д.53, к.В, ООО «ИнновЭкспо».

Тел./факс: +7(495) 366-1465, +7(495) 366-0344

www.archimedes.ru, www.innovexpo.ru

E-mail: mail@archimedes.ru, mail@mosvoir.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

Юбилей - это всегда возможность бросить ретроспективный взгляд на прожитые годы, пройденные пути-дороги, вспомнить яркие достижения и досадные неудачи, а также друзей-товарищей, с которыми шли в одном строю по жизни.

Юбилей коллектива конструкторов ГП "КБ "Южное" им. М.К. Янгеля" для ветеранов НПО Энергомаш им. академика В.П. Глушко - возможность ещё раз воскресить в памяти свои молодые годы, вспомнить горячие, трудные и одновременно радостные дни "конвейерной" разработки самых современных для текущего времени образцов ракетной техники. И вспомнить друзей-днепропетровцев, с которыми в самые плодотворные годы советского ракетостроения наши коллективы работали в тесном творческом содружестве, не рядом, а вместе, разделяя все радости и горести, не выясняя, кто больше преуспел в успешных достижениях или виноват в досадных неудачах.

Оба коллектива шли рука об руку по грани технических возможностей и часто наши технические разработки опережали научные достижения. В таком алгоритме трудно жить и работать, но энтузиастам-разработчикам ракетной техники это доставляло неподдельную радость первопроходцев, они работали, в прямом смысле создавая для себя трудности в технических заданиях на разработку ракет и их энергетических сердец - ЖРД, а затем общими усилиями успешно преодолевали эти трудности и создавали образцы мирового класса.

По подсчётам авторов статьи за 60 лет в КБ "Южное" разработано и сдано в эксплуатацию с учётом модификаций более 20 жидкостных ракет боевого и космического назначения. И все эти ракеты оснащены двигателями, разработанными в Химках, коллективом НПО Энергомаш. Об этих работах и полученных результатах достаточно подробно, с приведением технических параметров и характеристик созданных ракет и двигателей, а также с указанием фамилий людей, вложивших свой талант и душу в творческий процесс разработки новой техники, изложено в нескольких книгах, изданных в России и Украине. Мы же в этой статье ограничимся воспоминаниями о нескольких, по нашему мнению, ключевых моментах в совместных работах КБ "Южное" и НПО Энергомаш. Может быть кому-нибудь из читателей покажется, что изложенные фрагменты истории не содержат новизны и не являются ключевыми, но мы считаем, что они достаточно полно характеризуют взаимодействие наших коллективов и возглавляемых их М.К. Янгеля, а затем В.Ф. Уткина с В.П. Глушко и В.П. Радовским в различных обстоятельствах и в разные исторические этапы развития ракетостроения.

Всякое большое дело имеет свою предысторию. Как строительство здания начинается с закладки фундамента, который потом практически не видим, так и организации КБ "Южное" предшествовали события, не имеющие целевого назначения создать Опытное конструкторское бюро, получившего со временем всемирную известность.

Первая боевая ракета дальнего действия (БРДД) Р-1 была разработана в головном институте создававшейся в стране ракетостроительной отрасли НИИ-88 под руководством главного конструктора "изделия № 1" С.П. Королёва. В соответствии с Постановлением СМ СССР от 13.05. 1946 г. эта ракета создавалась как конструкторская копия ракеты А-4 (Фау-2) из отечественных материалов и на отечественном технологическом оборудовании. В истории советского ракетостроения принято считать, что такой подход к изготовле-

нию первой в Советском Союзе БРДД указывает на опосредованную цель такого решения: создать кооперацию научных организаций и промышленных предприятий, а также освоить новые технологии и производство новых материалов. Всё это так, но ракета Р-1, а затем и её модернизированный вариант Р-2, были приняты на вооружение Советской Армии, и это потребовало их производства в количествах, превышающих производственные возможности завода при НИИ-88, на котором шло изготовление первых экземпляров. Требовался завод для их серийного изготовления. Для определения завода по производству Р-1 и последующих БРДД в 1951 г. была организована Государственная комиссия во главе с министром вооружения Д.Ф. Устиновым. В эту комиссию был включён заместитель главного конструктора ОКБ-1 по конструкции ракет В.С. Будник. После длительного и всестороннего анализа пригодности промышленных предприятий и городов, в которых они располагались, выбор пал на новый, организованный в 1944 г. автозавод в Днепропетровске. При выборе учитывался научно-промышленный потенциал города и имеющиеся трудовые ресурсы. Предложения комиссии Д.Ф. Устинова получили положительную оценку и 9.05.1951 г. вышло постановление СМ СССР о передаче автозавода в состав министерства вооружения и перепрофилировании этого завода с 1.06.1951 г. под выпуск ракет дальнего действия. Завод получил обозначение - № 586.



Д.Ф. Устинов



В.С. Будник



Установка Р-1 (точной копии немецкой А-4)

Когда создавался автозавод, его административно-технический персонал комплектовался молодыми, но уже зарекомендовавшими себя на других заводах инженерами. Однако их знания и производственный опыт были далеки от технических вопросов, возникающих при изготовлении ракетного вооружения. Учитывая эти обстоятельства, на министерском уровне было принято решение организовать конструкторское сопровождение изготовления ракеты Р-1 опытными инженерами из состава ОКБ-1 С.П. Королёва и ОКБ-456 В.П. Глушко. Для этой цели приказом министра выделялось 20 человек из ОКБ-1 и 5 человек из ОКБ-456. Возглавить этот "десант" было поручено при его согласии В.С. Буднику, остальной состав также при личном согласии о переводе на завод № 586 должен был подобрать сам Будник. Привлекательным фактором для переезда на постоянное жительство и работу в Днепропетровск были сохранение работы по специальности с хорошей перспективой дальнейшего роста, некоторая прибавка в зарплате, выделение в скором времени жилплощади, немаловажным обстоятельством для того времени являлось также проживание в южной части Украины, где сельскохозяйственная продукция дешевле по сравнению с привозной в Подмосковье.



С.П. Королёв и В.П. Глушко

Из работников ОКБ-456, выразивших желание выехать в Днепропетровск, В.П. Глушко сам выбрал требуемых пять человек. В это число вошли:

- Н.С. Шнякин - работал под руководством Глушко в ОКБ-РД (Казань) руководителем техбюро по серийному производству двигателей РД-1 и РД-1ХЗ, в ОКБ-456 - в должности зам. главного конструктора по серийному производству;

- И.И. Иванов - с 1941 по 1945 гг. работал в Казани в качестве вольнонаёмного техника-конструктора, под личным руководством В.П. Глушко разрабатывал чертежи камеры сгорания двигателей РД-1 и РД-1ХЗ. Одновременно он учился на вечернем факультете Казанского авиационного института. В 1945 г. на вновь организованной в КАИ кафедре жидкостных ракетных двигателей (зав. кафедры - В.П. Глушко) И.И. Иванов первым в стране защитил диплом инженера-механика по ЖРД;

- супружеская пара М.Д. Назаров и Л.М. Назарова - занимались разработкой ТНА и агрегатов автоматики;

- М.Р. Гнесин - выпускник МАИ 1949 г., специализировался по сборке двигателя ракеты Р-1;

- Н.И. Сидельников - специалист в области пневмогидроиспытаний узлов и агрегатов ЖРД.

Инженерный состав направляемых на серийный завод специалистов от двигательного ОКБ показывает, что Глушко подобрал коллектив, способный в профессиональном отношении комплексно "закрыть" все вопросы изготовления двигателей.

12 июля 1951 г. вышел приказ министра, которым В.С. Будник назначался главным конструктором завода № 586, в августе 1951 г., после переезда в Днепропетровск Н.С. Шнякин был назначен заместителем главного конструктора завода. Они возглавляли Отдел главного конструктора, который довольно быстро пополнялся выпу-

сками МАИ, КАИ, МВТУ, ЛВМИ, ХАИ и других технических вузов. Освоение изготовления коллективом завода новой, ранее неизвестной конструкции ракеты и, особенно, её двигателя шло очень трудно. Директивно назначенные сроки поставки боевого вооружения срывались. Правительственным решением для оказания организационно-технической помощи была создана "пожарная" команда на главе с министром Д.Ф. Устиновым. В состав этой команды были включены ведущие работники КБ, заводов и министерства вооружения. Министр Устинов постоянно находился на заводе № 586, по вечерам по телефону докладывал о состоянии с освоением изготовления ракеты Л.П. Берия, который от СМ СССР курировал это направление. Во время кратковременных отъездов Устинова из Днепропетровска его замещал зам. министра К.Н. Руднев. Члены "пожарной" команды на заводе выполняли работу цеховых мастеров, технологов, начальников цехов. Так, будущий министр МОМ С.А. Афанасьев, в ту пору ведущий работник главного технического управления министерства вооружения, исполнял обязанности начальника цеха по производству двигателя. Для оказания технической помощи "на месте" на завод № 586 часто приезжали С.П. Королёв, В.П. Глушко и их заместители: от ОКБ-1 - В.П. Мишин и М.К. Янгель, от ОКБ-456 - В.А. Витка и В.И. Курбатов, а также ведущие работники этих ОКБ. Общими усилиями технология производ-



К.Н. Руднев



С.А. Афанасьев

ства ракет была освоена и работа постепенно из ненормированной непрерывной в течение нескольких месяцев перешла на упорядоченную трёхсменную с выходным днём в воскресенье.

В середине 1952 г. Отдел главного конструктора был реорганизован в серийное конструкторское бюро (СКБ), в составе которого функционировал конструкторский отдел № 302 во главе с заместителем главного конструктора завода Н.С. Шнякиным, а также лаборатория № 17 по испытаниям агрегатов пневмогидросистемы во главе с Н.И. Сидельниковым.

К этому времени в составе СКБ работало около 100 молодых инженеров и техников, получивших образование в области ракетной техники. Такой коллектив не мог довольствоваться рутинной работой по обслуживанию производства, главной заповедью которой являлось "ни шагу в сторону" от требований утверждённой конструкторской документации. Тем более, что о потребности создания новой ракеты буквально при всяком удобном случае твердили военные заказчики ракетного вооружения, которых не устраивала низкая боеготовность ракет, создаваемых ОКБ-1 Королёва с использованием жидкого кислорода. Но наличие постоянной даже реальной цели не означает возможность скорого её достижения. Для успеха всегда требуется проведение подготовительной работы. Уверенность в способности вести собственную разработку пришла к коллективу СКБ после успешного усовершенствования технологии изготовления, конструкции и улучшения эксплуатационных характеристик ракеты Р-1. Работа получила положительную оценку у заказчика, а ракеты - обозначение Р-1М.



Подготовка Р-12 к пуску

В конце 1952 г. В.С. Будник принял решение приступить к разработке ракеты на высококипящем долгохранимом топливе. Эти работы были поддержаны военным ведомством и 13 февраля 1953 г. вышло постановление СМ СССР, в котором СКБ завода № 586 поручалось разработка новой боевой ракеты среднего радиуса действия Р-12 (8А63). Правительственным постановлением предписывалось создать ракету на топливе азотная кислота (АК) и керосин дальностью 1500 км, с массой боевого заряда 100 кг. Начать лётные испытания планировалось в августе 1955 г.

С целью консолидации материалов по созданию этой ракеты министр вооружения Д.Ф. Устинов в апреле 1953 г. подписал приказ о передаче заводу № 586 материалов научно-исследовательской работы "Исследование вариантов ракет дальнего действия с применением топлив на основе высококипящих окислителей", выполненной в НИИ-88. В этих исследовательских работах принимало участие и ОКБ-456 в части проработки конструкции двигателей, работающих на различных высококипящих компонентах ракетного топлива. Передача материалов из НИИ-88, включающих разработку двигателя, послужило основанием для дальнейшего участия ОКБ-456 в разработке новой ракеты Р-12 на заводе в Днепропетровске.

В июле 1953 г. эскизный проект будущей ракеты Р-12 был завершён, он получил предварительное одобрение у заказчика Управления Вооружённых сил СССР. Однако проведение дальнейших работ в рамках конструкторского бюро, обслуживающего производство ракет на серийном заводе, вызывало сомнение в возможности выполнения правительственного постановления. И В.С. Будник в январе 1954 г. обратился к Д.Ф. Устинову с развёрнутым письмом, в котором убедительно доказывал необходимость создания на базе заводского СКБ автономного ОКБ для разработки боевых ракет с применением высококипящего топлива. Это предложение совпало с созревшим в правительственных кругах мнением о необходимости рассредоточения разработчиков ракетной техники из Московского научно-производственного "куста". Одновременно решался и назревший вопрос разрушения монопольного положения ОКБ-1 Королёва путём создания альтернативного ему ОКБ в Днепропетровске.

Обращение Будника к Устинову послужило конкретным основанием для выпуска правительственного постановления от 10 апреля 1954 г. об организации Особого конструкторского бюро № 586. Однако ожидаемого назначения главным конструктором ОКБ-586 не произошло. В течение трёх месяцев номинальным руководителем ОКБ был директор завода № 586 Л.В. Смирнов. 9 июля 1954 г. начальником и главным конструктором ОКБ-586 был назначен М.К. Янгель, В.С. Будник - его первым заместителем, Н.С. Шнякин - главным конструктором завода № 586. Он же одновременно возглавлял в ОКБ-586 серийное направление работ, которое по-прежнему было закреплено за конструкторами ОКБ-586. В обеспечение этих работ в ОКБ продолжал функционировать отдел № 302, который возглавил И.И. Иванов.

М.К. Янгель пришёл в ракетостроение из авиации. После окончания в 1937 г. МАИ он работал в ОКБ Поликарпова, в 1938 г., с февраля по сентябрь, стажировался на авиационных фирмах в США, затем продолжил работу у Поликарпова. И так до января 1945 г., когда он переходит в ОКБ В.М. Мясищева. В 1948 г. Янгеля направляют слушателем в Академию авиационной промышленности для повышения квалификации руководящих работников авиационной техники, которую он окончил с отличием в марте 1950 г. и получил направление в ракетную промышленность, в НИИ-88. К



М.К. Янгель. 1937 г.

работе в должности начальника отдела ОКБ-1 приступил в июне 1950 г. Дальнейшее передвижение Янгеля по служебной лестнице в НИИ-88 происходит с калейдоскопической скоростью и неожиданностью. В июле 1951 г. он назначается заместителем С.П. Королёва, в мае 1952 г. - директором НИИ-88, в октябре 1953 г. переводится на должность главного инженера-заместителя директора НИИ-88. Не будем здесь излагать причины столь неожиданных перемещений Янгеля. Это тема широко освещена в мемуарной литературе. Единственной целью нашего краткого изложения биографических сведений о М.К. Янгеле является желание показать наличие у него опыта работы на административно-технических должностях и степень его готовности для работы главным конструктором ракетного ОКБ.

Согласившись возглавить ракетное ОКБ, Янгель отчётливо представлял пути развития как всего отечественного ракетостроения, так и стоящую перед новым ОКБ первоочередную техническую задачу. Он понимал, что по результатам первой же выполненной ОКБ-586 разработки всё научно-техническое сообщество и высшие партийно-государственные органы будут оценивать технические возможности коллектива ОКБ и его руководителя и что для завоевания достойного места в ряду предприятий ракетной техники нельзя допустить, чтобы "первый блин", "выпекаемый" ОКБ-586, был "комом". Для успеха нужно было создать ракету конкурентоспособную, а ещё лучше, превышающую по техническим характеристикам разрабатываемую в ОКБ-1 стратегическую ракету Р-5М.

Работая директором, а затем главным инженером НИИ-88, Янгель имел возможность познакомиться с техническими характеристиками ракеты Р-5М, знал он и основные результаты научно-исследовательской работы, переданные из НИИ-88 в СКБ завода № 586 для их использования при разработке ракеты Р-12. Став главным конструктором ОКБ-586, он познакомился с разработанным эскизным проектом ракеты Р-12. Сравнение боевых характеристик Р-12 и Р-5М показало, что ракета Р-12, имея незначительное преимущество по дальности действия, уступает по мощности тротилового боезаряда ядерной боеголовке ракеты Р-5М. Было ещё одно достоинство у ракеты Р-12 - высококипящее топливо обеспечивало высокую боеготовность. Но мощность ядерной боеголовки перекрывала все достоинства предлагаемой к разработке Р-12. Так что разрабатываемая ракета Р-12 не могла стать флагом нового ОКБ. Нужно было вносить в проект коррективы. И Янгель их предло-



Сравнение размеров ракет

жил: обеспечить дальность действия 2000...2100 км, ввести автономную бортовую систему управления, отказавшись от сложной системы наземной радиокоррекции траектории полёта, применить термоядерный заряд, более мощный, чем ядерный у Р-5М, и всё это при сохранении ранее обещанной высокой боеготовности.

Реализация новых характеристик осуществлялась поэтапно. В марте 1955 г. выпущен эскизный проект первого этапа, в котором были реализованы повышенная дальность и боевое оснащение ядерным зарядом. Этот эскизный проект был одобрен главными институтами министерств Вооружённых сил и оборонной промышленности. 13 августа 1955 г. вышло правительственное постановление о разработке ракеты Р-12 (индекс 8К63). В октябре 1955 г. выпущен эскизный проект второго этапа, в котором были реализованы остальные характеристики, предложенные Янгелем.

Постановлением от 13.08.1955 г. разработка двигателя 8Д59 для Р-12 поручались ОКБ-456. Это поручение не было неожиданным для ОКБ-456. Работы по использованию в ЖРД высококипящего топлива были начаты в 1952 г. в плане выполнения совместно с НИИ-88 соответственной НИР. Для проведения этой работы были спроектированы и изготовлены экспериментальные двигатели, огневые испытания которых позволяли определиться с принципами конструирования ЖРД на новом топливе и установить целесообразность использования окислителя на основе азотной кислоты АК-27И в сочетании с углеводородным горючим ТМ-185.

Эти работы легли в основу разработки двигателя в соответствии с правительственным постановлением от 13 февраля 1953 г.

Однако новые энерго-эксплуатационные характеристики ракеты Р-12, предложенные Янгелем, требовали внесения серьёзных изменений в уже имеющуюся конструкцию двигателя. В.П. Глушко с пониманием воспринял предложения начинающего главного конструктора ОКБ-586 и принял новое техническое задание без возражений.

По опыту создания двигателей для ракеты Р-7, двигатель 8Д59 имел 4 камеры, создающих тягу на земле 65 тс (в пустоте - 74 тс), а также привод турбины продуктами разложения перекиси водорода. Управление полётом ракеты осуществлялось газовыми рулями, установленными на выходе газов из камер и небольшими аэродинамическими стабилизаторами.

Двигатель успешно был отработан на стенде в ОКБ-456 и передан в серийное производство. Первое огневое испытание состоялось в марте 1957 г. на стенде в НИИ-229 (Загорск, ныне Сергиев Посад), а 22 июня 1957 г. был проведён первый и успешный пуск ракеты Р-12 с полигона Капустин Яр. Серийное производство ракет Р-12 велось на четырёх заводах, всего было изготовлено более 2300 ракет, это было самое массовое производство БРДД. В марте 1959 г. ракета Р-12 была принята на вооружение. Так "колчан баллистических стрел" Советской армии пополнился ещё одной боевой единицей. Наличие находящихся на вооружении стратегических ракет Р-5М (принята на вооружение в июле 1956 г.) и Р-12 (межконтинентальная ракета Р-7 находилась на завершающей стадии лётных испытаний) послужило основани-

ем организации 17 декабря 1959 г. в составе Советской армии нового вида Вооружённых Сил СССР - Ракетных войск стратегического назначения (РВСН) во главе с заместителем министра обороны Главным маршалом артиллерии М.И. Неделиным.

Разработанная молодым коллективом ОКБ-586 в творческом содружестве с другими предприятиями и в первую очередь с ОКБ-456 ракета Р-12 стала новой страницей в истории отечественного ракетостроения. Это было признано на всех научно-технических и административных уровнях.

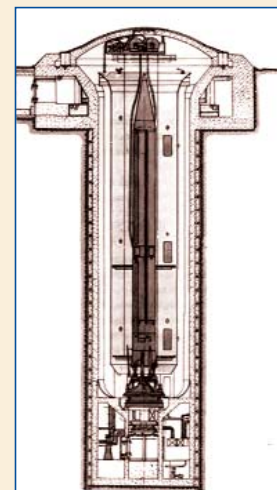
За создание стратегической ракеты Р-12 ОКБ-586 и завод № 586 были награждены орденами Ленина, многие работники отрасли получили государственные награды. Главный конструктор ОКБ-586 М.К. Янгель, его первый заместитель В.С. Будник и директор завода № 586 Л.В. Смирнов стали Героями Социалистического труда, а начальник конструкторского отдела ОКБ-456 В.П. Радовский и ведущий конструктор по производству двигателя В.И. Лаврентец-Семенов были удостоены звания лауреатов Ленинской премии. Следует, видимо, указать, что В.П. Глушко, его заместители и ряд ведущих работников ОКБ-456 были ранее, в 1956 и 1957 гг., достойно награждены за создание Р-5М и пуск первого спутника Земли.

Применение высококипящего топлива решило задачу обеспечения высокой боеготовности ракеты, однако оставался ещё один отрицательный фактор, присущий БРДД того времени - уязвимость их наземного стартового положения при нанесении противником удара по ракетной позиции.

Для обеспечения защищённости ракетного вооружения, находящегося в состоянии готовности для боевого использования, в 1959 г. началась разработка шахтных пусковых установок. Первой ракетой, пригодной для боевого дежурства в шахте, стала ракета Р-12. Кооперация предприятий, участвовавших в разработке Р-12, модернизировала свои системы из расчёта возможности использования ракеты для пуска, как с наземных, так и шахтных установок. ОКБ-456 также провело необходимые конструкторские изменения и уточнило циклограмму запуска. Ракета Р-12 стала унифицированной и получила обозначение Р-12У. На вооружение была принята с 1963 г., снята с вооружения - в 1988 г. в соответствии с Договором о ликвидации ракет средней и малой дальности.

По боевым и эксплуатационным характеристикам ракета Р-12 в то время являлась лучшим отечественным образцом ракетного вооружения в классе средней и малой дальности. Однако она существенно уступала по дальности действия американским ракетам этого класса, размещённым в Турции и Италии: ракета "Юпитер" имела дальность 3200 км, а ракета "Тор" - 2800 км. Такое положение дел просто обязывало Янгеля приступить к разработке следующей ракеты, позволяющей "накрывать" практически все цели, находящиеся в Европе, Малой Азии и в северной части Африки. Предложение разработать силами ОКБ-586 ракету, в последствии получившей обозначение Р-14 (индекс 8К65), дальностью 4500 км, было принято, и в третьем квартале 1956 г. ОКБ-586 выпустило предэскизный проект одноступенчатой ракеты. Но создание ракеты Р-14 не решало главной для СССР стратегической задачи того времени - угрозы нанесения ответного ядерного удара по территории США. Для этого требовалась ракета межконтинентальной дальности. И такая ракета Р-7 разрабатывалась в ОКБ-1 под руководством С.П. Королёва. Но эта ракета традиционно для ОКБ-1 работала на кислородном топливе с вытекающими из этого последствиями: низкая боеготовность и громоздкие, легко поражаемые стартовые позиции. Военное ведомство продолжало настаивать на создании межконтинентальной баллистической ракеты (МБР), работающей на высококипящем долгохранимом в баках ракеты топливе.

(Продолжение следует.)



Шахтное стартовое сооружение ракеты Р-12У



Двигатель РД-214 (8Д59)

К НАТУРФИЛОСОФИИ УДАРНЫХ ВОЛН

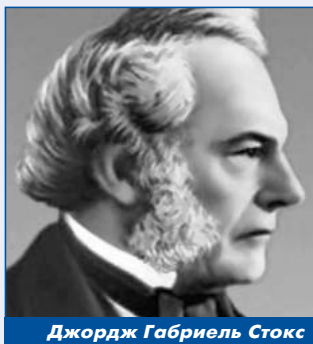
Валентин Анатольевич Белоконов, выпускник ФТФ МГУ/МФТИ, член Нац. Комитета теоретич. и прикл. механике, академик Академии космонавтики

физика ударных волн в газоподобных средах. Их взаимодействия со средой. Перспективы применения. The physics of shock waves in gaslike environments. Their interactions. Various applications.

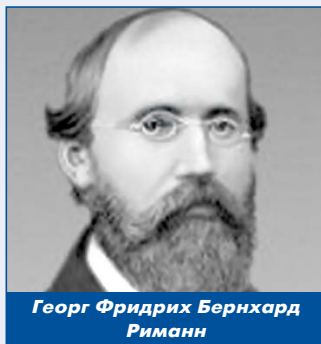
Ключевые слова: ударные волны, энтропия, информация, имплозия, тепловая смерть вселенной, необратимость.

Keywords: *shock waves, entropy, information, implosion, heat death of the Universe, irreversibility.*

Теория ударных волн создавалась такими классиками как Стокс (1848), Риманн (1860), Рэнкин (1870), Гюгонио (1887), барон Рэлей (1910), Тэйлор (1910, 1939), Буземанн (1928-1942), Гудерлей (1942), фон Нойманн (1942-1944), Осватич (1944), а также Л.И. Седов (1944-1946) и Мотт-Смит (1951). Детальная история этого восстановима по работам, приведенным в нашей хронологии.



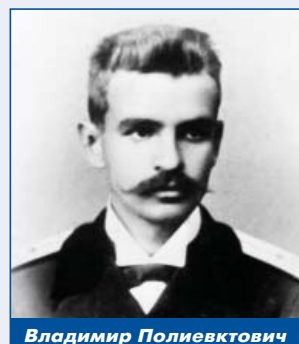
Джордж Габриель Стокс



Георг Фридрих Бернхард Риманн



Уильям Джон Макуорн Ренкин



Владимир Полиевктович Костенко

Для принципиального понимания фундаментальных термодинамических особенностей ударной волны - этого вечно актуального процесса - достаточно рассмотреть стационарный фронт ударной волны в средах, описываемых уравнением состояния совершенного газа, внутренняя энергия которого

$$E \equiv p/\rho(C_p/C_v - 1) \equiv p v / (\gamma - 1) \equiv (f/2) p v, \quad (1)$$

при $v \equiv 1/\rho$; $\gamma = C_p/C_v \equiv 1 + 2/f$, где f - число степеней свободы молекул среды в равнораспределительном приближении [Sommerfeld, 1949]. Для "перпендикулярно замагниченной" плазмы $\gamma = 2 = f$ [Альфвен, 1949].

Течение сквозь локально-стационарный ударный фронт описывается невязкой ($Pr = 0$) эволюцией вдоль "прямой Рэля" согласно эйлеровским уравнениям сохранения (при $d/dt \equiv 0$) потока массы, потока импульса и потока полной энергии, конкретное выражение для начального состояния которой пока игнорируется:

$$\begin{aligned} \rho v &= \text{const}', \\ p + \rho v^2 &= \text{const}'', \\ E + \rho v + u^2/2 &= \text{const}''', \end{aligned} \quad (2)$$

откуда следует соотношение "ударной адиабаты" [Рэнкин 1870, Гюгонио 1887]:

$$\Delta E = -(1/2)(\rho_2 + \rho_1)\Delta v, \quad (3)$$

согласно которому даже бесконечно интенсивная "квазистационарная" ударная волна способна только к весьма ограниченному сжатию среды - **в отличие от волны "звуковой"**, сжимающей среду по закону изэнтропной адиабаты Пуассона или изотермы. Волны Пуассона любой амплитуды принципиально нестационарны в одномерном случае. Пока ограничимся упоминанием нетривиальной аналогии между нестационарным одномерным и стационарным двумерным течениями [Буземанн 1929, 1940].

§1. Специфический эффект ограниченности ударного сжатия выводится простейшим способом из такой асимптотики адиабаты Рэнкина-Гюгонио:

$$E_2 \gg E_1, \text{ или } \rho_2 v_2 \gg \rho_1 v_1. \quad (4)$$

Для сжатия, по определению: $v_2 < v_1$, значит $\rho_2 \gg \rho_1$, т. е.

$$E_2 - E_1 = -(1/2)(\rho_2 + \rho_1)(v_2 - v_1) \Rightarrow -(1/2)\rho_2(v_2 - v_1) \quad (5)$$

на том, что здесь конкретный начальный вид функции $E_1(p, v)$ можно считать пренебрежимым, сказывается нечто фундаментальное: информация о доскачковом состоянии среды стирается в соответствии с ростом энтропии как меры дезинформации [Толмен, 1938], "вопреки" Теореме Лиувилля [Пуанкаре 1906/08].

Итак, даже бесконечно интенсивная ударная волна дает ограниченное **ударно-адиабатическое необратимое сжатие** среды $\{(1) \text{ и не только}\}$, поскольку в итоге получается совершенный газ:

$$\rho_2/\rho_1 \equiv v_1/v_2 \Rightarrow (\gamma_2 + 1)/(\gamma_2 - 1) \equiv f_2 + 1. \quad (6)$$

Здесь подразумевается и случай изменения γ от γ_1 к γ_2 (например, от $\gamma_1 = 7/5$ для воздуха до $\gamma_2 = 5/3$ или $4/3$ для плазмы при достаточно сильных взрывах). Подобная асимптотика позволяет эмпирически определять "экстремальные" уравнения состояния сред.

Если $M_{sh} = f$, то практически неограниченное сжатие возможно последовательностью N скачков согласно формуле $\rho_N/\rho_1 = f^N$ для последовательности скачков одинаковой интенсивности, что оптимально [Осватич 1944; Линдл 1995/98, 2012; Шторм 2012].

Для любых амплитуд ударной волны справедлива классическая формула Гюгонио (где подразумевается, $\gamma = \gamma_1 = \gamma_2$)

$$\begin{aligned} \frac{\rho_2}{\rho_1} &= \frac{(\gamma-1) + (\gamma+1) \frac{P_2}{P_1}}{(\gamma+1) + (\gamma-1) \frac{P_2}{P_1}} = \frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)} \left[1 + \frac{2}{M_{sh}^2 (\gamma-1)} \right] \equiv \\ &= \frac{f+1}{1+f/M_{sh}^2}; \quad P_2/P_1 = (2\gamma M_{sh}^2 - \gamma + 1) / (\gamma + 1), \end{aligned} \quad (7)$$

где число Маха ударного фронта $M_{sh} \equiv D/a_1 \equiv$



Джеффри Инграм Тейлор



Адольф Буземанн в 1935 г.



Леонид Иванович Седов

$\equiv D\sqrt{\rho_1/\gamma p_1}$, а D - скорости распространения ударного фронта относительно невозмущенной среды, где скорость звука a_1 . 50 % максимального сжатия достигается при $M_{sh} = \sqrt{f}$, а при $M_{sh} = f$ получается совпадение: $\rho_2/\rho_1 = f$ [Белоконь, 1953].

Пуассоновская **изоэнтропическая адиабата** соответствует **асимптотическому нестационарному беспредельному сжатию (обратимому!)**

$$\rho_2/\rho_1 \equiv (P_2/P_1)^{1/\gamma} \rightarrow \infty, \text{ при } P_2/P_1 \rightarrow \infty, \gamma \equiv \text{const} \quad (8)$$

Практически [Шторм 2012] комбинация упомянутых адиабат позволяет достигать плотностей $\approx 600-800 \text{ г/см}^3 (\approx 10^{11} \text{ атм.})$ DT - "начинки" капсул лазерного термояда.

§2. Фундаментальным фактором, ограничивающим ударно-волновое сжатие, является здесь возрастание энтропии во фронте ударной волны (**в итоге не зависящее от конкретного механизма диссипации и локальной неадиабатичности**).

Малоинтенсивная ударная волна слабо повышает энтропию S среды. При числе Маха фронта ударной волны $D/a_1 \equiv M_{shock}$, когда $M_{shock}^2 - 1 \equiv \epsilon \ll 1$, имеем

$$\frac{S_2 - S_1}{C_v} \equiv \frac{1}{12} \left(1 - \frac{1}{\gamma^2} \right) \left(\frac{P_2}{P_1} - 1 \right)^3 = \frac{2}{3} \frac{\gamma(\gamma-1)}{(\gamma+1)^2} (M_{shock}^2 - 1)^3 \quad (9)$$

Даже столь малое возрастание энтропии принципиально в качестве фактора стирания информации о динамической предыстории формирования ударной волны, т.е. игнорирования ансамбля таких возможных предысторий. Уместно напомнить, что адиабатический рост энтропии подразумевает возрастание фазового объема рассматриваемой подсистемы: $\Delta \Gamma \equiv \exp S/k \rightarrow \rightarrow \equiv M_{sh}^2$ поскольку для высокоинтенсивной ударной волны [Oswatitsch, 1976]

$$(S_2 - S_1)/C_v \equiv \ln[1 + (M_{shock}^2 - 1)2\gamma(\gamma+1)] \rightarrow \approx 2 \ln M_{shock} \rightarrow \infty, \quad (10)$$

что и делает такой процесс однократного сжатия малоэффективным.

Итак, здесь рост энтропии не только приводит к игнорированию специфики исходной среды, но и явно противоречит Великой Теореме Лиувилля. Данный парадокс был принципиально разрешен в начале XX-го в. публикациями Анри Пуанкаре, впервые предложившего отличать энтропию "мелкозернистую" от крупнозернистой, отображающей так называемое фазовое перемешивание.

Поскольку одномерная гидрогазодинамика описывается тождеством Гиббса в приближении локального термодинамического равновесия (\neq термостатике!), т.е. при мгновенной температурной релаксации

$$dE = TdS - pdv, \quad (11)$$

степень сжатия для сред $E = C_v T$ такова:

$$\rho_2/\rho_1 = (\rho_2/\rho_1)^{1/\gamma} \{ \exp[-\Delta S/C_v] \}, \quad (12)$$

откуда очевидна роль возрастания энтропии вообще и для свойств ударно-волнового адиабатического в итоге сжатия.

Следует уточнить, что в волне Пуассона $TdS \equiv 0$, а в структуре ударной волны (скажем - на уровне модели Навье-Стокса) $TdS > 0$ для втекания в ее структуру и $TdS < 0$ для вытекания при соблюдении в итоге $\Delta Q \equiv 0$.

§3. Подытоживая сказанное, имеем.

Ударная волна: только необратимое сжатие, но ограниченное; скорость - только сверхзвуковая; профиль - только монотонный, стационарный. Эта стационарность соблюдается при условии относительно малой толщины фронта ударной волны по сравнению с иными характерными протяженностями течения, хотя для достаточно слабой волны протяженность структуры ее фронта достаточно велика.

"Звуковая" волна: и сжатие, и разрежение - оба обратимые и принципиально неограниченные; скорость - только звуковая; профиль - плавный, всегда нестационарный (разрывы - только второго рода) вплоть до превращения в ударную волну, аналогично возникновению цунами.

Среди неклассических уравнений состояния нелишне отметить $E = 2,7nkT$, и $S = 3,6kn$, где $n = \langle n_{phot} \rangle = \approx 20T^3 \text{ К}$ - это средняя плотность фотонов, что актуально для "экстремальных" технических процессов с доминирующим тепловым излучением, а также соответствует атмосферам некоторых звезд - ударным волнам "Сверхновых".

В работах астрофизиков упоминаются "бесстолкновительные скачки", структура фронта которых остро дискутируется. Производство энтропии этими скачками пока не столь ясно. В частности, здесь нет внятного понимания относительной роли разных диссипативных факторов, обеспечивающих соотношение Рэнкина-Гюгонно. Ограничимся упоминанием двух механизмов соответствующих ударно-волновой диссипации:

- фотонный перенос тепла [Белоконь ДАН, 1972];
- "ландавское затухание" [школа Роальда Сагдеева с 1960-х годов].

§4. Создатели математических основ гидродинамического описания газовой динамики (Даламбер, Эйлер, Стокс, Риман, Рэнкин, Рэлей) осознавали, что описываемая ими "сплошная среда" реально состоит из молекул, существование которых игнорируется гидродинамической сглаженностью. Без такой сглаженности аппарат математического анализа неприменим. Иными словами, они создали модель редуцированного континуального описания газодинамических течений, оказавшуюся удивительно продуктивной практически, несмотря на дезинформационное игнорирование молекулярного строения реальной газодинамической субстанции.

Правда, сглаженность гидродинамического (эйлерового) описания в этой континуальной модели оказалась необязательной из-за неизбежности "самоорганизации" разрывов: ударных волн. Иными словами, редуцированность эйлеровского описания, предполагавшего математически удобную "сплошную среду", обернулась парадоксальной потребностью постулирования разрывов первого рода, т.е. мгновенных переходов между состояниями континуальной "сплошной среды". Здесь - опять игнорирование релаксационных процессов, с утративанием молекулярной информации. Математические трудности эйлеровского описания ударных волн вуалировались термином "обобщенное решение", а также - введением δ -функции Хэвисайда-Дирака.

Но развитие теоретической физики дает неожиданный повод считать гидродинамическое редуцированное континуальное описание не просто допустимой практически полезной удачной моделью.

Статистическая термодинамика Гиббса позволяет рассматривать континуальное эйлеровское описание как принципиально и фундаментально корректное. Иными словами, принципы статистической термодинамики уже сами по себе подразумева-

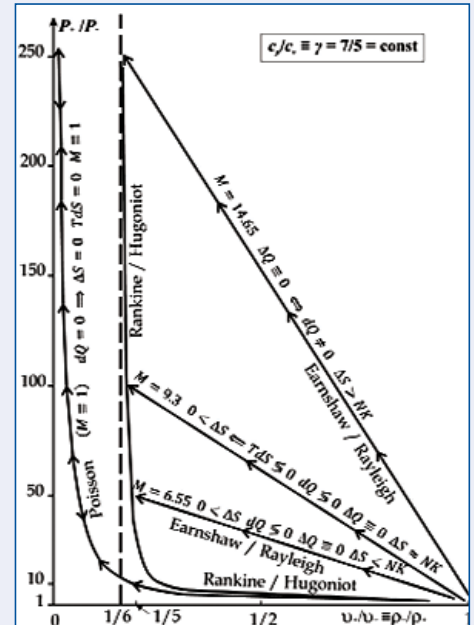


Рис. 1. Иллюстрация термодинамических различий между адиабатами.

Принципиальное различие этих адиабат: в изэнтропической волне эволюция среды вписывается в адиабату Пуассона, происходя вдоль ее кривой; вдоль ударной адиабаты эволюция не идет, а происходит по PV плоскости - в данном случае по "прямой Рэля" ($Pr = 0$).

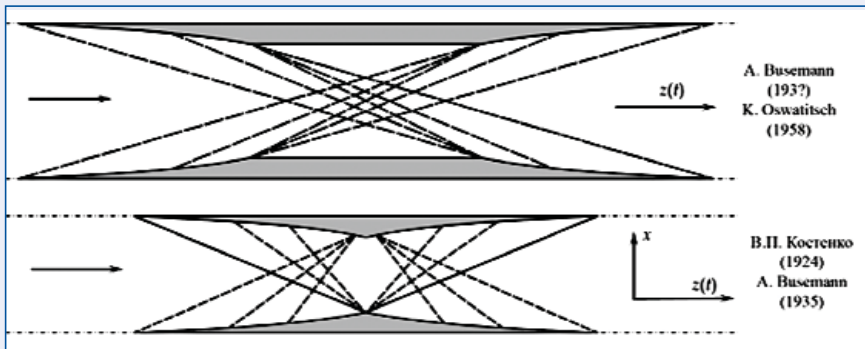


Рис. 2. Гиперзвуковой и умеренно сверхзвуковой бипланы Буземанна при фиксированных числах М.

К опровержению авторитетов - кромки профилей предельно остры. По этому поводу см. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц: МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД §113, Москва 1944, 1953/54 Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц: ГИДРОДИНАМИКА §122, Москва 1986

Согласно Ландау (§ 122) "Простые соображения показывают, что при обтекании произвольного тела сверхзвуковым потоком, перед телом непременно возникает ударная волна". Термин "непременно" был убран Лифшицем после кончины Ландау - не без настояний автора данной статьи (лето 1984 г.), указывавшего на примеры течений, противоречащие этому классическому курсу, распространенного на европейских и азиатских языках. Поиск алогизмов "простых соображений Ландау" - полезное упражнение для студентов.

Совет преподавателю: дайте задание отыскать в дальнейших аргументах Ландау логический прокол, существование которого связано с последующим текстом автора.

Между тем, на конгрессе памяти Вольты (Рим 1935 г.) классик газодинамики Адольф Буземанн продемонстрировал конфигурацию из двух профилей крыла - "БИПЛАН БУЗЕМАННА" - сверхзвуковое обтекание которой не сопровождается возникновением "головной" ударной волны, а в приближении невязкой сжимаемой жидкости сверхзвуковое обтекание происходит совершенно безударно. Этот класс сверхзвуковых течений является своеобразным зазвуковым аналогом "парадокса Даламбера-Эйлера" (XVIII век)...

Кстати, в силу известной аналогии (пусть не вполне точной) между волнами на поверхности "мелкой" воды и волнами сверхзвуковых течений, можно ожидать соблюдения "парадокса Буземанна" для корректно сконструированного катамарана, волновое сопротивление которого ничтожно.

Однако, в 1924 г. в Петрограде издается книга "Теория корабля" В.П. Костенко, предполагающего именно такой принцип минимизации волнового сопротивления кораблей - катамаранов и тримаранов, обводы их корпусов вызывают такую систему волн сжатия и разрежения, которая на воде дает минимизацию волнового сопротивления. А в газодинамическом аналоге - в эйлеровом приближении это дает полную ликвидацию волнового сопротивления - поскольку предотвращает формирование ударных волн.

На данной иллюстрации (где $C_p/C_v = 3$ ради простоты) в схеме Костенко-Буземанна сжатие происходит на центрированных простых волнах - либо в такой системе слабых скачков, которая является аналогом простой центрированной изэнтропической волны.

Между тем, согласно курсу теорфизики (1944, 1954, 1986 §110) Ландау-Лифшица, ударно-волновой аналог простой изэнтропической центрированной волны сжатия считается как бы противостественным, хотя уже с 1944 г. именно такой аналог стал известен, затем практически реализуется в качестве оптимального течения входных (intake) сверхзвуковых диффузоров ВРД - согласно работам классиков - Адольфа Буземанна, Клауса Осватича и Архипа Люльки.

ют истинность континуальности "сплошной среды". Эта континуальность превращается из гениального методического трюка в натурфилософскую сущность.

Статистико-термодинамическая категория энтропии корректно заменила слишком детальное описание среды, во многом сменив парадигму реальности кинетического описания. Точное вычисление энтропии основано на принципиальной неточности детально-механического описания. Модели того, что называют "сплошной средой", для слишком многих задач принципиально игнорируют "точное" молекулярное описание, которое в свою очередь уже обновлено квантовой механикой с ее волновой идеологией, тем более - с утверждением гайзенберговского "принципа неопределенности".

Итак, редуцированное континуальное описание не менее строго обосновано натурфилософски, чем "детальное" кинетическое, поскольку диагностика среды принципиально интерпретируется и предсказывается на основе статистической термодинамики, в которой точное вычисление энтропии и температуры, не говоря о массовой плотности, не нуждается в знании деталей на молекулярном уровне.

Недаром Хэвисайд повторял студентам: "Чтобы хорошо поесть, я не нуждаюсь в знании механизма пищеварения".

§ 5. О красоте в натурфилософии и натурфилософии красоты

По мнению Бурбаки, математические открытия нередко приводят к формулам, которые как бы в результате предопределения вполне укладываются в аналитическое описание физических процессов. Пример этому - "Треугольник Паскаля". Эта элементарная модель математической статистики приводит к формуле для абсолютно иных параметров и переменных, описывающей детерминированную механику реверберации ударных волн в совершенном газе. Назовите это, если угодно, мистикой.

Но разве не предпочтительнее рассмотреть иную категорию: натурфилософский принцип красоты.

Игнорируя формулировки (от Платона до Гайзенберга) "что такое красота", ограничимся тем, что называют "указательным определением".

ЭПИЛОГ (перспективная проблематика)

I. Строгий (не столь остроумно упрощенно-модельный как у Мотт-Смита) аналитической теории ударных волн пока нет. Значит, нет и достаточно глубокого понимания этого распространенного в Природе и актуального явления, которое характеризуется экстремально быстрым ростом энтропии среды. Здесь - слово за неравновесной статистической термодинамикой. Экспериментальный материал здесь обогащается и такими методами как лазерное сверхточное зондирование структур фронта ударной волны плюс прогресс в численном моделировании на суперкомпьютерах.

II. Ударные волны в плазме - от космической (в том числе внутризвездной) до лабораторной и "заводской" (термоядерные реакторы и специспытания) остаются во многом "белым пятном" теории. Яркий пример - пример "бесстолкновительных скачков", то есть поиск своеобразного эквивалента свободного пробега "обычных" молекул - но чего-то еще в той или иной плазме. Здесь пока приходится утешаться пионерскими работами таких умов как Сагдеев и Тайдман.

Ясно, что качество описания ударных волн связано с качеством теории плазмы. Здесь еще придется ожидать ясности, ограничиваясь вычислительным и натурным экспериментом, толкая их интуитивно.

III. Естественным ожидаемым прогрессом являются исследования релятивистских скачков, где успех принадлежит Джоржу Чеплайну (George Chapline, LLNL), не говоря о наших теоретиках Имшеннике и Морозове.

Здесь и проблемы обобщения нерелятивистских моделей, так и недоделки самой релятивистской термодинамики несмотря на попытки таких как Паули и Толмен, а также Мёллер.

IV. Ударные волны в специфически квантовых системах - от скачков при столкновении атомных ядер и иных элементарных частиц до ударно-волновых процессов в начальной стадии Большого Взрыва, а также при генерации гравитационных волн.

V. Изобретательское творчество: наступит и прикладной прогресс - вплоть до новейших направлений в двигателестроении.

Модели стационарной Вселенной, подразумеваемые космологическими сценариями Больцмана и Эйнштейна, основаны на гипотезе о вечности такой Вселенной. Но тогда максимум ее энтропии уже достигнут. Впрочем, такие суждения очевидно опровергаемы наблюдениями астрономов-современников Больцмана, не говоря об Эйнштейне. Таков был фундаментальный па-

радокс космологии до зарождения сценария расширяющейся Вселенной. Это оказалось связанным с возможной ролью астрофизических ударных волн.

В сентябре 1932 г. в Кэмбридже (Англия) на заседании Международного Астрономического Союза выступил Артур Эддингтон, выдвинувший еще в 1920 году идею термоядерного горения звезд. Вот фрагмент его речи: "Первый намек на модель расширяющейся Вселенной содержится в статье, опубликованной в ноябре 1917 года профессором де Ситтером (W. de Sitter). Релятивистская модель Вселенной была впервые опубликована Эйнштейном за два года до этого".

Более чем через 40 лет трижды Герой Соцтруда Я.Б. Зельдович в ГАИШе (МГУ) убеждал астрофизиков, что расширение Вселенной вполне могло начинаться из холодного ее состояния - вопреки модели Горячего Начала, проповедуемой Георгом Гамовым. Признаюсь, что я по достоинству оценил эту тираду одного из создателей нашего термоядерного оружия, поскольку для него Вселенная должна быть подобием водородной бомбы. Он считал, что именно таким образом энтропия Вселенной нарабатывается уже после начала ее расширения. По-моему, загадка энтропии окружающей нас Вселенной Зельдовичем так и не была раскрыта. Жду - возражат: первым автором убедительного сценария происхождения энтропии Вселенной следует считать того же Артура Эддингтона. Не хотелось бы скрыть от читателя, что в научной школе Лан-

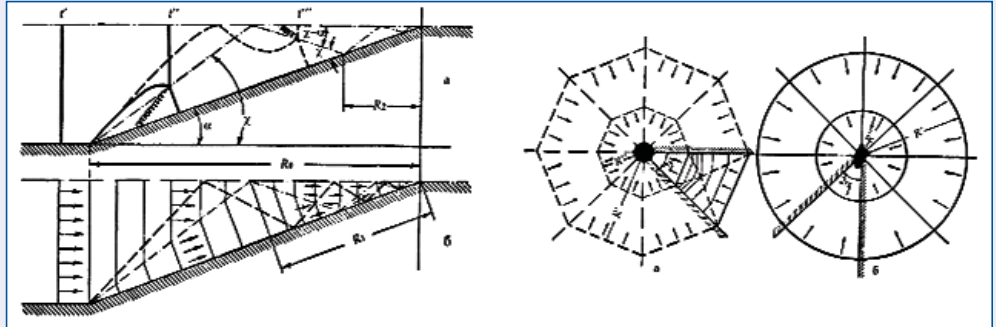


Рис. 3. Две разновидности имплозии ударной волны [ЖЭТФ № 1, 1965].

а - этапы:

f' - плоский невозмущенный ударный фронт;

f'' - после образования маховской ножки первого поколения, которая растет под углом и отраженной волны, присоединенной к углу (за невозмущенным фронтом течение сверхзвуковое в системе координат вершины угла);

f''' - после исчезновения первоначального фронта, когда $R > R_1$ и возникла маховская ножка второго поколения с системой отраженных волн (жирный пунктир). Спираль между тройной точкой и стенкой - контактный разрыв.

б - положение ударного фронта в последовательные времена. Тонкий штрих-пунктир - траектория тройной точки, жирный пунктир - система отраженных волн в момент достижения ударным фронтом вершины полости. Стрелки указывают направление распространения ударного фронта в различные времена.

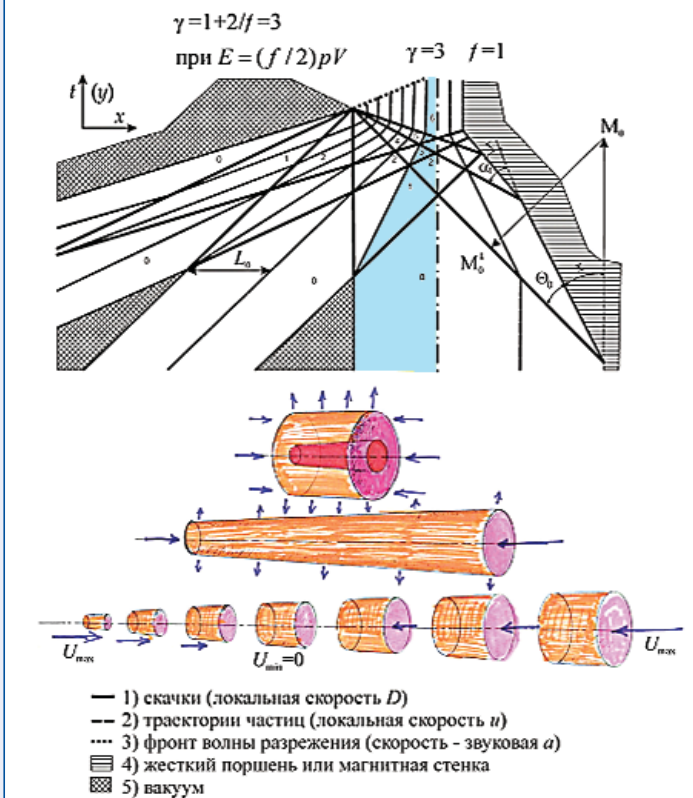
.....
Аналогия между круговым (Гудерлеевским) "схлопыванием" и вхождением в клиновидную полость (по Покровскому).

а - воображаемое всестороннее "схлопывание" многоугольного ударного фронта: возмущения не могут сильно нарушить симметрию процесса (черное пятно),

б - воображаемое вхождение в клиновидную полость: возмущения (роль которых символизируется пятном) могут сильно разрушить симметрию процесса, препятствуя достижению высокой скорости "схлопывания", т.е. очень высокой плотности энергии, но умеренно высокой плотности массы.

Обобщение задачи Гюгоиона дает неизэнтропический аналог инвариантов Римана

© Валентин А. Белоконов, Москва, Россия 1973



дау, к которой причислял себя и Зельдович, считалось изысканной шуткой называть Эддингтона "великим патологом". Между тем, на странице 25 книги "The Expanding Universe", изданной Эддингтоном в 1933 году, утверждается, что предельно большая скорость расширения Вселенной существовала с самого начала нашего нынешнего мироустройства: "Для теоретической полноты мы должны добавить гипотезу о возможности существования (до начала расширения) нашей Вселенной в состоянии коллапса (имплозии)... Это подразумевает большую скорость расширения как результат имплозии, за которой должен был бы следовать разлет материи. Насколько мне известно, такая модель не отстаивается никем".

В упомянутой задаче, моделируемые галактики группируются, соударяясь плашмя с генерированием реверберации ударных волн при стискивании каждого внутреннего слоя соседними. При таком сценарии событий наступает эра мощной генерации энтропии Вселенной с доминированием теплового излучения. И пози-

Рис. 4. Упрощенная картина: вместо перспективного множества фрагментов термоядерной капсулы изображено всего лишь $N = 7$. Здесь $\gamma = 3$ или $f = 1$. Фрагменты (например, термоядерной капсулы) выстраиваются слева направо, где они сами стыкуются, сжимаются ударными волнами (результатирующий взрыв может происходить за кормой космического корабля). Такая схема принципиально удобна для инициирования ионами ускорителя или "ударным термоядом". Исходная величина продольного критерия $\langle \rho R \rangle$, здесь слабо снижается, а поперечное значение $\langle \rho \rangle$ быстро возрастает. Здесь вакуум граничит с субтанцией, обладающей достаточными силами сцепления, пренебрежимыми после первой ударной волны. Число новых состояний $k = N - 1$. Максимальное сжатие составляет $\rho_k/\rho_0 = (k + f)!/k! f! \dots$

Разве не паразитально, что в точности такая же формула фигурирует в математической статистике (классическая задача "треугольника Паскаля")

.....
 Здесь строго соблюдается неизэнтропический аналог инвариантов Римана: $u \pm fa = \text{const}$ (Riemann 1859); $u \pm fD = \text{const}$ (В. Белоконов 1973) по мере ослабления скачков асимптотика $u \pm fa$, если сжатие стремится к бесконечному.



Рис. 5. Проект гиперзвукового ЛА, разработанного согласно теории Буземанна [1978 D. Kuchemann]

ция Зельдовича почти неинтересна.

Кинематически это аналогично группировке электронного пучка в клистроне.

Абсолютно иное совпадение состоит в одинаковости формул - для максимального сжатия (здесь - галактической) материи $(f + k)!/f!k!$

- с классической формулой математической статистики: "Треугольник Паскаля", а также - в Больцмановской формуле энтропии.

В случае столкновения галактик $k =$ числу контактов между галактиками, равное числу галактик минус единица. f уже фигурировало в данной статье для уравнения состояния совершенного газа: $f \equiv 2E/pv$ равно числу степеней свободы молекулы среды.

Натурфилософское рассмотрение "сущности" ударной волны автор обосновывает следующими суждениями.

Пусть читатель сравнительно молод и достаточно любознателен. Тогда актуален следующий вопрос: насколько адекватно воспринимаются следующие фрагменты описания ударной волны.

В отличие от объектов, в которых рост энтропии приводит к некоему подобию тепловой смерти, ударная волна имеет то, что осмысленно считать стационарным механизмом "самоомолаживания".

Энергия ударной волны имеет внешний (в итоге - поршнеобразный) источник, но для ее самоорганизации и поддержания устойчивой стационарности требуется не только приток энергии как таковой. Необходима и достаточно высокая упорядоченность, что подразумевает низкоэнтропийность поступающей энергии. Это от-



Рис. 6. Эрвин Шрёдингер - один из основных классиков квантовой физики.

Рисунок известного историка науки и техники Александра Кривомазова.

части гарантируется сверхзвуковой скоростью распространения ударных волн, само существование которых иначе невозможно.

В полном, буквальном, очевидном соответствии со Вторым Началом термодинамики - чем интенсивнее ударная волна, тем сильнее такая волна уничтожает (стирает, но скорее перерабатывает) информацию об исходном состоянии среды, в которую волна проникает. Иначе говоря, среда проникает в ударную волну при соответствующем выборе системы координат.

Уместно задаться вопросом: не поддерживает ли ударная волна свою упорядоченную стационарность за счет впитывания упорядоченности исходного состояния окружающей среды по принципу "порядок переходит в порядок". При этом обработанная волной высокоэнтропийная среда отбрасывается.

Теперь, после некоторого обдумывания прочитанного, читателю рекомендуется заглянуть в этапную книгу Эрвина Шрёдингера "What is Life?". В этом 100-страничном произведении, которое студенты ФТФ МГУ нашего потока считали чем-то вроде карманной Библии, имеются параграфы 57, 59, 60, 66. Здесь Шрёдингер знакомит с проблемой, которая известна как "Минимум сложности возникновения жизни". Шрёдингер объявляет необходимым следующий критерий: *живое питается отрицательной энтропией*. В ходу также термин "негаэнтропия". Ударная волна может трактоваться как псевдоживое entity, питающееся отрицательной энтропией, поскольку информация (по Бриллюэну) трактуется как отрицательная энтропия. Кстати, сам Шрёдингер уточнял, что "живое питается свободной энергией", величина которой явно зависит от отрицательной энтропии: $F \equiv E - TS$, где $E =$ внутренней тепловой энергии. Но для ударной волны здесь не хватает кинетической энергии окружающей среды...

На уровне натурфилософской "Минимальной сложности возникновения жизни" интересен следующий тезис: в природе действуют предпосылки возникновения жизни. Такое можно усмотреть в радикальной "Теории монад" Лейбница.

Благодаря формированию ударных волн, сопротивление тел на сверхзвуке ниже, чем при изэнтропическом обтекании: ударная волна работает как своеобразный двигатель.

Далее, сочетание свойств грозового разряда с сопутствующей ударной волной приводит к самоорганизации фантастического объекта - шаровой молнии. Таковую вблизи наблюдал автор данной статьи, осмелившийся через 35 лет высказаться, что шаровая молния - первая попытка природы создать сознательный организм.

Считаю приятным долгом выразить благодарность за неформальный интерес к данной работе Т.В. Баженовой, В.А. Битюрину, Л.С. Гвоздевой, Б.И. Каторгину, Р.И. Нигматулину, А.И. Климову, О.В. Руденко, А.А. Рухадзе, Л.Е. Стернину, В.А. Фокееву. В особенности - А.Т. Фоменко и В.М. Чепкину.

Весьма ценна и техническая помощь Татьяны Руденко. **П**

Селективная хронология исследований ударных волн

1870 W. Rankine: Trans. Roy. Soc. CLX, Part II, p. 277. "On the Thermodynamic Theory of Waves of Finite Longitudinal Disturbance".
 1875 Ernst Mach: Discovery of irregular Shock Reflection [Мизес 1958].
 1887/89 H. Hugoniot: J. Ecole Polytech. Vol. 58, 1-125.
 1902 W. Gibbs: Elementary principles of statistical mechanics, YAEUniiv
 1906 Henri Poincare: Journ. Phys. theor. appl., 4 ser. 5, 369. Перевод в т. III избранн. труды, М.: "Наука", 1974.
 1910 Baron Rayleigh: Proc. Royal Soc. A, vol. LXXXIV, pp. 247...284. "Aerial plane waves of finite amplitude".
 1920 Arthur Eddington: Nature (Гипотеза о термоядерном горении звезд)
 1922 R. Becker: Zeitschr. Physik, b. 8, s. 321.
 1924 В.П. Костенко: "Теория корабля", Красный Морфлот, Петроград (катамаран - прототип Биллана Буземанна).
 1925 E. Borel: Mecanique statistique classique. Paris.
 1926 A.S. Eddington: "Internal constitution on stars", Cambridge.
 1928/29 Adolf Busemann: ZAMM b. 9, n. 6 (стреловидное крыло, точная теория скачков на клине, конусе и их неоднозначность).
 1933 Arthur Eddington: "Expanding Universe", Cambridge.

- 1935 Arthur Eddington: *New Pathways in Science*, Cambridge.
- 1935/72 A. Busemann: доклад на Конгрессе памяти Вольты, Рим. (в т.ч. "Биплан Буземанна").
- 1938 R. Tolman: "The Principles of Statistical Mechanics", Oxford.
- 1939/41 G. Taylor: "The formation of a blast wave by a very intense explosion", Brit. Min. Home Secur. Report. (многочисленно переиздан).
- 1940 A. Busemann: Автомодельное решение сильного взрыва, вызываемого расширением сферического или цилиндрического поршня. *Schriften Dtsch Acad. Lufo.* n 1032 и в юбилейном сборнике в честь 60-летия Седова.
- 1941 A. Eddington: "On the cause of Cepheid Pulsation", *MNRAS.* Vol.101, p. 182.
- 1942 A. Busemann: *Luftfahrtforschung*, b. 19, s. 137.
- 1942 G. Guderley: *Luftfahrtforschung*, b. 19, s. 302.
- 1942 T. Cowling: *Phil. Mag.* Vol. 33, n 61.
- 1943 A. Weise, S. Chandrasekhar, J. von Neumann (теории Маховского отражения - ссылки у Куранта - Фридрихса, 1948).
- 1944 Erwin Schrodinger (1887-1961): *What is Life?* Cambridge 1945/56.
- 1944/57 Erwin Schrodinger: *Statistical Thermodynamics.* Cambridge.
- 1944 K. Oswatitsch (Wien): оптимизация входной системы скачков для ВРД, см. Hermann (1956).
- 1944/48 R. Courant, K. Friedrichs: "Supersonic Flow and Shock Waves", NY 1948, Springer 1956.
- 1944/49 Hermann Weyl: "Shock waves in arbitrary fluids". Report reprinted in *Comm. Pure and Applied Math.* Vol. 2, s. 103...122.
- 1944/86 Л. Ландау, Е. Лифшиц: *Гидродинамика (курс Теоретической физики).* Москва, все четыре издания (1944, 1951, 1954, 1986).
- 1946 R. Tolman, X. Fine: "Shock Wave". *Rev. Mod. Phys.*
- 1946 R. Sacks: On radiative shock wave. *Phys. Ref. Vol. 69*, p. 514.
- 1946/51 R. Sauer: "Ecoulements des Fluids Compressibles", Paris (Москва, ИЛ, 1954).
- 1947/49 Арнольд Зоммерфельд: *Лекции по теоретической физике*, Leipzig Univ. ("Термодинамика и статистическая физика", Москва, 1952; "Механика деформируемых сред", Москва, 1954).
- 1948 R. Tolman, P. Fine: Irreversible Generation of Entropy. *Rev. Mod. Phys.* v 20 p 51.
- 1948 R. Courant, K. Friedrichs: *Supersonic Flow and Shock Waves*, "Interscience" 1948, Springer 1956, Москва ИЛ, 1950 (русский перевод А.С. Компанейца).
- 1949 H. Alfven & J. von Neumann: in "Problems of Cosmical Aerodynamics", Datton (US) 1951; (сокращ. русский перевод, Москва ИЛ, 1953).
- 1949 P. Jordan: *Philos. of Sci.* v 16, p 269.
- 1950 Erwin Schrodinger: *Proc. Royal Irish Academy.* v 53 A, p 189.
- 1951 H.M. Mott-Smith: *Phys. Rev.* Vol. 82, p 885...892.
- 1953 Leon Brillouin: *J. Appl. Phys.* v 24, p 1152
- 1954 С.П. Дьяков: ЖЭТФ. Т. 27, № 3.
- 1954 В. Белоконов: доклад на научной студенческой конференции (труды МФТИ, 1958)
- 1956 В.А. Прокофьев: О Структуре ударной волны в излучающей газе, *Ученые Записки МГУ "механика"*. Вып. 172, с 79. Усугубление ошибки Рэнкина [1870, Рэйли 1910].
- 1956 R. Hermann: "Supersonic Inlet Diffusers", Minneapolis; Москва, ФМ 1960. Детализация идей Осватича - 1944.
- 1956 C. Evans, F. Evans: *J. Flu. Mech.* Vol. 1, n 1, p. 4.
- 1956 В.А. Белоконов: "Природа", АН СССР № 12. Ударные трубы для астрофизики.
- 1957 H. Liepmann, A. Roshko: *Elements of Gasdynamics*, NY-L, Wiley (Москва ИЛ 1960).
- 1957 Г. Голицын, К. Станюкович: ЖЭТФ. № 12 (изомагнитный скачок)
- 1957/62 Leon Brillouin: *Science and Information Theory*, Acad. Press, NY.
- 1958 R. Marshak: *Ph. Flu.* Vol. 1. n1, p. 24 jan./febr.
- 1958 R. von Mises: "Mathematical Theory of Compressible Fluid Flow", NY; Москва ИЛ 1961.
- 1958/59 В. Белоконов: Труды МФТИ, вып. 1 / ЖЭТФ. Т. 36, с 341.
- 1959 В.А. Белоконов: Сообщение на семинаре К.Е. Губкина (сектор физики взрыва ИХФ АН СССР): идея вывода о "существовании" скачка (фронта ударной волны), исходя из усреднения по "перехлесту" опрокидывающейся изэнтропической волны сжатия. Доклад был повторен на Всесоюзном Совещании по МГД [Латвия, Рига, 1962].
- 1959/60 J.H. Nuckolls: paper on the laserless impact microfusion, LLL California. Declassified by 1999.
- 1960/61 Ф.Л. Черноушко: ПММ. Т. 24. в 5/т25 в 2
- 1960/62 В.А. Белоконов: Доклады на МГД, - конференции, Рига.
- 1961 Л.П. Кудрин: ЖЭТФ. Т. 40, с. 1134.
- 1961 В.А. Белоконов: Тезисы докладов Советской Гравитационной конференции, МГУ.
- 1962 Leon Brillouin: *Science and Information Theory.* NY 2nd Ed. (1st 1956).
- 1962 The effects of atomic WEAPONS, NY-Toronto-London.
- 1962/82 R. Kidder: LLNL ICF papers.
- 1962 В.А. Белоконов: Труды МФТИ, Оборонгиз, Москва.
- 1962 В.С. Имшенник: ЖЭТФ. Т. 42, с. 236.
- 1963 К.В. Брушлинский, Я.М. Каждан: Об автомодельных решениях..., УМН. Т. 18, n. 2.
- 1964 Max Born: *Natural Philosophy of Cause and Chance*, Oxford.
- 1964 В.А. Белоконов: Обобщенная оценка ширины ударного фронта, ПМТФ, Новосибирск.
- 1965 В.А. Белоконов, А. Петрухин, В. Проскурняков.: ЖЭТФ № 1 (Многоугольная имплозия маховских отражений).
- 1966 R. Sauer: *Nicht stationers Probleme der Gasdynamik*, Berlin/NY. Москва, 1969.
- 1967 В.А. Белоконов: Задачи термодинамики ударных волн, ОПМ АН СССР, препринт и диссертация.
- 1968 В.А. Белоконов: Конгресс по механике, МГУ (опубл. в 1972 г., ДАН).
- 1969 R. Gross: "School of Enrico Fermi", course XLVIII, Varenna, AP NY-London, 1971.
- 1969 Сборник "Materials under unusual conditions", NY-L, Wiley.
- 1970 К.Е. Губкин в сб. "Механика в СССР за 50 лет"



Рис. 6. Адольф Буземанн, 1955 .
 После изобретения стреловидного крыла в 1929 г подтолкнул своего аспиранта Гудерлея к открытой публикации в начале 40-х годов ключевой работы по имплозии ударной волны, что помогло американцам создать плутониевую бомбу. К концу войны был главным помощником Вернера фон Брауна по гиперзвуковой аэродинамике. В преклонном возрасте запатентовал теплозащитные плитки для Шаттла.



Рис. 7. Нильс Бор и его ученик Лев Ландау на празднике "День Архимеда" на физфаке МГУ в 1961 году.

Будучи не в силах представить себе фантастический размах Советского "атомного шпионажа", Нильс Бор наивно видел в Ландау главу нашего проекта "А-бомбы".

Хотя определённый вклад Ландау в ядерный проект имел место.

В свою очередь Ландау оказался... учителем Эдварда Теллера. Именно с Теллером Ландау пишет свою первую статью о структуре ударных волн.

1970 Л.И. Седов: Механика сплошных сред, т. 1.
 1970 В.П. Коробейников: Задачи точечного взрыва. Труды МИАН им. Стеклова.
 1970/73 J.G. Linhart: Nuclear Fusion. Vol. 10, n. 3; Vol. 13, n. 3.
 1971 Werner Heisenberg: "PHYSICS AND BEYOND", NY-London.
 1971 D. Tidman, N. Krall: "Shock waves in collisionless plasmas", NY-London, Wiley.
 Изложение работ П.З. Кордеева.
 1972 Y. Liepman, Erik Storm et al: J. Fluid Mech. (Имплозия скачка в конической полости).
 1972 Adolf Busemann: Ann. Rev. Fluid Mech., Cambridge.
 1972 В.А. Белоконов: Доклады АН СССР. Т. 202, № 6, с. 1296. (Английский перевод APoS некорректен!)

1972/76 J.H. Nuckolls et al: papers on ICF. LLN California.
 1973/75 В.А. Белоконов: Доклады АН СССР. Т. 222, № 3, с. 575.
 1974 G. Whitham: "Linear and Nonlinear Waves", NY-London. Рус. перевод Москва, 1976.
 1976 K. Oswatitsch: Grundlagen der Gasdynamik, Wien.
 1976 T.A. Weaver: The structure of supernova shock wave, Astrophys. J.Suppl., October.
 1976 G. Chapline et al: LLNL papers on the relativistic structure of radiative shocks.
 1976 Bazhenova T.V., Fokeev V.P., Gvozdeva L.G.: On various forms of Mach reflection and its transition to regular reflection. // Acta Astron.



Рис. 8. Комикс художницы Габриэль, популярно объясняющий принцип формирования "Отступающей ударной волны", приводящей к остановке потока субстанции. Это - презент автору статьи профессора Рихарда Куранта (Richard Courant), ученика великого немецкого математика Дэвида Гильберта (лето 1969 г., Москва, ВЦ АН СССР)

Vol. 3, № 1/2.
 1976 В. Белоконов, Ю.Ильинский, Р. Хохлов: "Лазерный синтез элементов", Письма в ЖЭТФ. 20 ноября.
 1977 В.А. Белоконов: Лазерный термояд - новый этап. УФН №. 500.
 1977 В.А. Белоконов, О.В. Руденко, Р.В. Хохлов: Акустический журнал АН СССР, август.
 1978 Препринт № 39: Часть I. (В. Белоконов, А. Забродин, А. Свалов, Я. Каждан, Р. Хохлов); Часть II. (В. Белоконов). ОПМ АН СССР.
 1978 D. Kuchemann "Aerodynamic design of aircraft", London
 1978 V.A. Belokogne: pap. Conf. ENERGY, Italy (Plenum Press NY, 1983).
 1978 И.Е. Забабахин, В.А. Симоненко: ПММ т. 42, в. 3.
 1980 В.С. Имшенник: Кумуляция ударных волн..., ПМТФ. п. 6, 10-19.
 1982 А. Свалов: Примеры точных решений сферического сжатия. Известия АН, МЖГ № 6, 176-179.
 1983 В. Белоконов: Доклады АН СССР, № 1.
 1984 Н. Климишин: Ударные волны в оболочках звезд, Москва, ФМ.
 1985 Lecture notes in physics - N 255: RADIATION HYDRODYNAMIC in stars and compact object; s. Woosley, T. Weaver v 91-120. C. Fransson. p. 141...165
 1985 Т. Баженова, Л. Гвоздева, В. Фокеев: Нестационарное взаимодействие ударных и детонационных волн, М. "Наука".
 1985 В.А. Белоконов: Всесоюзная конф. "Взрыв и детонация", Таллинн.
 1985 A. Hewish et al: Strong interplanet. shocks. NATURE, March 11.
 1986 А. Куликовский: Нелинейные волны в упругих средах. МИАН.
 1988 Е. Забабахин, И. Забабахин: "Кумуляция и ее границы", Москва: "Наука".
 1988 W. Broud: NY TIMES, March 31 (Zenturion/Halite LLNL, LANL Program).
 1989 Н. Кузнецов: УФН. Т. 159, № 3.
 1989 В. Ляхов, В. Титаренко, В. Поддубный: Воздействие ударных волн и струй..., Москва: Машиностроение.
 1989 Т. Aki, F.A. Higashino: "Numerical study on implosion of polygonal interacting shocks and consecutive explosion in a box". Current Topics in Shock Waves. 17th Intern. Symposium on Shock Waves and Shock Tubes, 1989, AIP Conference Proceedings 208, N.Y., 1990.
 1989 В.А. Белоконов: "Генерирование гравитационных волн течениями ультравысокого сжатия" в Сборнике "Экспериментальные тесты теории гравитации". Изд. МГУ.
 1990 L. Prandtl, K. Oswatitsch, R. Wiegart: Fuhredurch die Stromungslehre.
 1990 Hans Bethe: On Supernova, Rev. Modern phys. 62. Pp. 801...66.
 1991 В.Гусев О биплане Буземана. Уч. записки. ЦАГИ
 1995 О.В. Руденко: О пилообразных ударных волнах и затухании информации с дальностью распространения N-волн. УФН.
 1995 R. Rouds: "Dark Sun", NY-London.
 1995 Герман Смирнов: Владимир Полиевктович Костенко 1881-1956. М. "Наука".
 1995 D. Young, E. Corey: Global EOS for the hot dense matter. J. Appl. Phys. Vol. 78, 3748.
 1995/98 J. Lindl: "Inertial Confinement Fusion", Springer, NY-Berlin. Полезное изобилие ссылок.
 1996 A. Caruso, V. Pais: New impact fusion, Nucl. Fus. Vol. 36, № 6.
 1997 Т. Баженова, Л. Гвоздева и др.: Ударные волны в реальных газах, Москва.
 2000 Bill Gunston: Russian Aircraft, Oxford. (В т.ч. - роль А. Люльки)
 2000 S. Bouquet et al.: On radiative shock, Astroph. J. suppl., April.
 2001 Valentine A. Belokogne: "The Radiative Substructure in the Intense Shocks", (and refs in it) 3 Workshop on Magneto-Plasma Aerodynamics, Moscow, April 2001, Proceedings, IVTAN, Moscow.
 2002 N. Apazidis et al: "An experimental and theoretical study of converging polygonal shock waves". Shock Waves 12: 39-58.
 2002 Valentine A. Belokogne: "Slamming... Book" (Multiimpact Fusion) Principle of Plasma Supercompression for the Space Propulsion // In: 4th Workshop on Magnetoplasma Aerodynamics for Aerospace Applications, Moscow, Russia, 9-11 April, 2002, pp. 369...376.
 2004 А. Конюхов, А. Лихачев, А. Опарин, С. Анисимов, В. Фортвов: ЖЭТФ. Т. 25, № 4.
 2004 В.Я. Нейланд и др.: Асимптотическая теория сверхзвуковых течений вязкого газа. М., ФМ.

2005 V.A. Belokogne: Assessment of fusion powered flying machine, XV Intern. Moscow. Conf. MHD Energy conversion. Proceed. V. 3.

2005 М. Баско, С. Гуськов и др.: (в сборнике "Ядерный синтез с инерционным удержанием"), М. ФМ.

2006 R. Paul Drake: High-energy-density physics. Springer.

2007 V.A. Belokogne: Intern. Workshop Magn. Plasma Aerodynamics, Moscow, ИИТ (ИВТ) RAS.

2008 Я.Б. Зельдович, Ю.П. Райзер: Физика ударных волн и высокотемпературных явлений, ФМ Лит. (3-е издание).

2008 Galen Gisler: Tsunami simulations, Ann. Rev. Fluid Mech. Vol. 40, Cambridge U.P.

2008 В.А. Белоконов: доклады на Третьей школе-семинаре по магнитоплазменной аэродинамике, ИВТАН.

2009 В.А. Белоконов: "Волны катамарана Костенко как прототип...", 6-ой Международный Аэрокосмический конгресс (август, МГУ), тезисы с. 308...309.

2009 Б.Каторгин, Л. Стернин и др.: Прикладная газовая динамика, МАИ.

2010 А.Н. Крайко: Теоретич. газ. динамика - классика и современность, Москва, ТОРУС.

2011 V.A. Belokogne: 10 International Workshop on Plasma Aerodynamics, Moscow, March, 2001, Proceedings, ИИТ (ИВТРАН).

2011 В. Фортон, А. Чарахчян и др.: о кумуляции ударной волны в конечной полости, заполненной малоплотным веществом, J.Appl. Phys. № 5.

2011 А.Н. Крайко: ПММ (РАН), № 5.

2011 Ю.П. Райзер: Введение в гидрогазодинамику и теорию ударных волн для физиков, Долгопрудный (МФТИ).

2011 John Lindl: Conference LLNL paper on NIF/NIC Program.

2012 Erik Storm: Warsaw Conf. on ICF, September.

2012/13 Л.Г. Воздева, С. Гавренков: ЖТФ (Письма) т. 38, в. 12./ ЖТФ т. 83, в.8.

2013 S.Presse, et al: Principles of maximum entropy..., Rev. Mod. Physiks. Vol.85 p 1115 (July - September)

2013 М. Perlin, W. Choi, Z. Tian: Breaking Waves..., Ann. Rev. Fluid Mech. V. 45.

2013 В.А. Белоконов: Стендовый доклад на конференции 11 WSMPA, ОИВТ РАН, Москва.

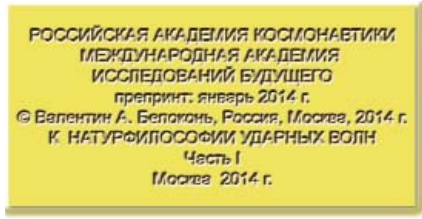
2013 Р.И. Нигматулин: Механика сплошных сред, МГУ. в т.ч. Введение в "Нанотермоид".

2013 В.С. Имшенник и др.: УФН, (апрель). Неадекватная категоричность критики "Нанотермоида".

2013/14 С. Блинныеков, А. Толстых и др.: Цикл работ о всьшках "Гипер-сверхновых" излучающих до 10^{38} ватт

2014 В.А. Белоконов: Инженерная физика (ИОРАН), № 1, № 4.

2014 А. Крайко, Н. Тилляева: ПМТФ № 2.



Связь с автором: +74994453881



Рис. 9. Утопическая схема авиаконструктора Роберта ди Бартини: 200-метровый (при ширине 100 и наибольшей толщине примерно 5 метров) 100 000-тонный сверхзвуковой безударный экраноплан (1944 г.) для 2030-2050 гг., аналог биплана Буземанна. Взамен ГПВРД возможен индукционный двигатель. Не исключён и "марсианский вариант" применения. Нижняя прецизионная плоскость являет собой примерно 10 000 - километровой протяжённости жёлоб или тоннель.

ПАМЯТЬ



21 января на 67-м году жизни скончался известный в ракетной отрасли учёный, специалист по проблемам прочности ракетных двигателей и механики деформируемого твёрдого тела, кандидат технических наук Владимир Игоревич Бубнов.

В 1971 г. В.И. Бубнов окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана по кафедре выдающегося учёного механика чл.-корр. АН СССР В.И. Феодосьева, после чего до конца своих дней проработал в Центре Келдыша. Фунда-

ментальные знания, полученные им на лекциях проф. Л.И. Балабуха, С.А. Алексеева, В.И. Усюкина и др., были глубоко освоены и послужили основой для творческого роста молодого инженера, который с самого начала трудовой деятельности брался за решение важных практических задач прочности ракетных двигательных установок и успешно решал их. Приобретая практический опыт и совершенствуя знания в области вычислительных методов решения задач прочности, В.И. Бубнов создавал оригинальные программы для ПВЭМ, позволившие занять достойное место численным методам в расчётно-теоретическом анализе прочности конструкций двигательных установок. Практические задачи, которыми занимался В.И. Бубнов, были связаны с отработкой РДТТ, ЭРДУ, ЯЭРДУ, ЖРД. Широкая научно-техническая эрудиция и проявившийся блестящий талант инженера известны специалистам ведущих двигательных КБ и НИИ отрасли. В.И. Бубнова знали как учёного, имеющего

собственный взгляд на проблематику прочности ДУ. Методики расчёта термонапряжённого состояния "горячих" узлов двигателей при многопараметрическом нагружении для двигателей многократного использования и расчёта динамического состояния составных роторов ТНА с учётом нелинейности упругого сопротивления подшипников и жесткости корпуса не имеют себе равных в отрасли по эффективности и продуктивности решения конкретных задач.

В последние годы Владимир Игоревич интенсивно работал по обеспечению прочности турбокомпрессора генератора-преобразователя тепловой энергии перспективных космических систем мегаваттного класса.

В.И. Бубнов - Лауреат премии Ленинского комсомола, отмечен правительственными и отраслевыми наградами.

Друзья и коллеги по совместной работе глубоко скорбят о его кончине и приносят свои глубокие соболезнования родным и близким.

ЭТНОКОЛОРИСТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НАИМЕНОВАНИЙ ДЕКОРАТИВНЫХ КАМНЕЙ

Анна Тофика-Гызы Керимова, аспирантка ФГБОУ ВПО "Станкин"

В статье анализируется этноколористический потенциал использования цвета на примерах декоративных камней, способствующий развитию определенных качеств личности.

There is analyzed ethnocoloristic potential of use of color on examples of the decorative stones, promoting development of qualities of the personality in article.

Ключевые слова: декоративные камни, этноколористика, этноколористический потенциал, цвет, общество, этнокультурные примеры.

Keywords: decorative stones, ethnocoloristic, ethnocoloristic potential, color, society, ethnocultural examples.

Собирательным термином, объединяющим все камни, которые используются как в качестве украшения, так и для производства камнерезных изделий, является поделочный (декоративный) камень. На практике данное определение часто применяют как синоним "драгоценного камня" из-за отсутствия между ними четкого разграничения.

В России принято различать: 1) камни, применяющиеся в ювелирных изделиях, 2) поделочные, предназначенные для производства камнерезных изделий (шатулок, ваз и т.п.), 3) промежуточную группу ювелирно-поделочных камней.

Предложенная в 1973 г. В.Я. Киевленко классификация камней (уточнена в 1983 г.), действует и в настоящее время, будучи основной, в свою очередь, на классификации академика А.Е. Ферсмана, в которой присутствуют все природные камни, с которыми ювелиры сталкиваются в работе [3]: 1-я группа - ювелирные (драгоценные) камни; 2-я группа - ювелирно-поделочные камни; 3-я группа - поделочные камни [1]. В предложенной классификации камни расположены в порядке убывания их стоимости.

Современная общепринятая классификация минералов представлена классами, т.е. отличающимися по химическому составу, которые, в свою очередь, делятся на подклассы и группы, что удобно для изучения камней, ибо каждый класс включает в себя минерал и его разновидности, образуя как бы семейства (таблица 1).

Внешний вид поделочных камней, изделий из них, вошедших в обиход современного человека, их детальное изучение способствуют более точному и глубокому пониманию этимологии цветообозначений, лежащих в основе такого нового научного направления, как этноколористика.

Этноколористика - комплексная дисциплина о цвете, включающая систематизированную совокупность данных физики, физиологии, психологии и смежных с ними областей, изучающих природный феномен цвета, и совокупность данных философии, эстетики, теории и истории искусства, этнографии, филологии, изучающих цвет и его применение в народной художественной культуре [4].

Различная семантика цвета камня использовалась для развития определенных качеств личности и известна с прошлых веков.

Работы камнерезов украшают интерьеры дворцов - культурно-историческое наследие прошлых веков; стиль и техничность воплощения изделий согласованы с общим живописным убранством помещений, а в создании рисунков и чертежей для работ камнерезов принимали участие выдающиеся зодчие - А.Н. Воронихин, К.И. Росси, И.И. Гальберг, А.П. Брюллов, К.А. Тон и др.

С открытием уральских малахитов и лазуритов Прибайкалья

началась эпоха искусства русской мозаики - облицовка сложнопрофильных изделий из белого или черного мрамора, змеевика, подобранного тонкими плитками по узору малахита или бархатисто-синего лазурита.

С VIII-IX вв. н.э. богатство этноколористического решения изделий сочеталось с обилием белого жемчуга различных форм и размеров. Несмотря на значительное влияние разных культур для искусства обработки камней, например, в Индии, и в наши дни характерно богатство цветосложных орнаментальных композиций, оставшихся почти неизменными с прошлых веков.

В Китае искусство резьбы по камню известно со II тысячелетия до н.э., а церемониальное оружие с гравированным узором (ножи, топоры) времени династии Инь (XVI-XI вв. до н.э.) выточено из зеленого нефрита предгорий Куньлуна. Средневековые резчики Китая в изысканных формах скульптурных композиций XVI-XVII вв. передавали тончайшие цветовые нюансы природной окраски розового кварца, аметиста (из месторождений Центрального Китая), нефрита и бирюзы.

Техника резьбы по нефриту, считавшемуся священным, известна племенам майя с IX в. до н.э. Древнейшая перуанская культура Чавин (середина II тысячелетия до н.э. - IV в. н.э.) оставила украшения из бусин лазурита и бирюзы, декоративные блюда, выточенные из крупных океанических раковин, инкрустированные бирюзой. Украшения более позднего времени представлены сложными ожерельями с хорошо отполированным розовым кварцем и др. Разнообразие цвета, тонкая передача его оттенков присущи работам мастеров культуры Наска (I тысячелетие н.э.).

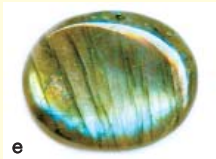
Искусство глиптики (резьбы по драгоценным и поделочным камням) классического периода V-IV вв. до н.э. представлено геммами на агате, сердолике, ониксе, сюжеты и композиции которых брались с образцов современных им скульптур и миниатюр; в них подчеркнуты пластичность и совершенство человеческого тела, гармония природы.

Современный человек, используя при выборе одежды определенные цвета, часто обращает внимание на украшения из драгоценных, декоративных камней, гармонирующие с его внешним обликом. Однако в наше время символика цветообозначений вступила в активную фазу и рекламируется средствами массовой информации. Например, к основным характеристикам камней красного, оранжевого цвета/оттенка относятся красота, изящество, артистизм. Так, в настоящее время в Калининграде создают картины из янтарной крошки, что является доказательством данного утверждения. В соответствии с мнениями

Классификация минералов по классам [5]

Тип (класс)	Наименование камней
Самородные элементы	Алмаз, золото, сера, ртуть
Сульфиды	Пирит, сфалерит, галенит, киноварь, аурипигмент
Галогениды	Флюорит, галит, нашатырь
Оксиды и гидроксиды	Корунды, шпинель, хризоберилл, халцедон, опалы, кварц, магнетит, гематит, рутил
Карбонаты	Малахит, мраморный оникс, азурит, кальцит, родохрозит, арагонит
Сульфаты	Гипс, целестин, барит, шеелит
Фосфаты	Апатит, варисцит, бирюза
Силикаты	Оливин, гранаты, циркон, топаз, берилл, турмалин, жадеит, тальк, слюды, полевые шпаты, лазурит
Органические вещества	Янтарь, окаменевшая древесина, жемчуг

Таблица 1



российских психологов, оранжевый цвет помогает сосредоточиться и направить энергию на достижение конкретной цели [2], а также способствует сохранению ясного сознания и привычке к аккуратности.

Результаты этноколористического интервью [4] свидетельствуют, что среди минералов, пользующихся наибольшим спросом у потребителя, популярность свойственна, например (по степени убывания), камням оранжевого цвета - "янтарю", который напоминает желтый топаз и на Севере России называется "камнем солнца" [2] (46 % опрошенных), "алмазу" (41,4 %), "топазу" (8,6 %), "тигровому глазу" (2,8 %), "оранжевому кальциту" (0,5 %), "цитриновому кварцу" (0,4 %), "селиниту" (0,3 %). Опрос проводился среди 116 респондентов - жителей российских городов (59 женщин и 57 мужчин в возрасте от 31 до 62 лет).

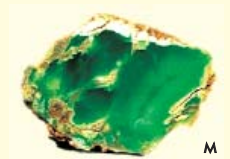
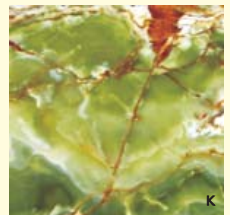
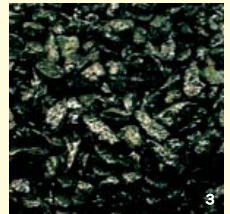
Этноколористические примеры употребления цвета в наименованиях декоративных камней (таблица 2) свидетельствуют не только об их лечебных свойствах, но и содержат этнопсихологический контент.

Таким образом, следует отметить, что цвет во все времена играл важную роль в системе человеческого мировосприятия. Симпатии и антипатии, возникающие у человека при восприятии цвета, используемого в каком-либо предмете, пробуждаются глубинными, подсознательными процессами, прежде всего, благодаря тому, что каждый цвет или оттенок содержит в себе некоторое количество энергии и информации, влияющей на индивидуума (чаще всего - без его ведома). Между тем, этому опосредованному влиянию принадлежит значительная роль в формировании характера человека, его настроения и темперамента, т.к. указывает на то, что этнокультурное поведение представителей различных социумов может быть выражено в профессии, общественной деятельности, образовании, культуре и искусстве, быте, социальном окружении личности. При этом следует отметить, что необходимым условием этнокультурного развития личности является рост межэтнических коммуникаций, этнокультурной образованности индивида, что способствует нивелированию этноцентризма, имеющего место быть в современном обществе.

Литература

1. Буканов В.В. Цветные камни: Энциклопедия. - СПб.: Otava Book Printing (Финляндия Ltd), 2008. - 416 с.
2. Землянская А. Т.-Г. Цвет и реклама: учебно-практическое пособие. Серия "Изучаем этноколористику". - М.: Граница, 2012. - 208 с.
3. Невмержицкая Е.В., Землянская А. Т.-Г. Цвет и поделочные камни: учебно-практическое пособие. Серия "Изучаем этноколористику". - М.: Граница, 2012. - 276 с.
4. Невмержицкая Е.В. Этноколористическое интервью: учебно-практическое пособие. - М.: Граница, 2012. - 128 с.
5. Стоун Д. Все о драгоценных камнях. - СПб.: Кристалл, 2008. - 176 с.

Связь с автором: zemlyanskaja.a@yandex.ru



Этноколористические примеры использования декоративных камней [3]

Наименование	Этноколористическое значение
Аванторин зеленый (а)	Использовался в индийской йоге для стимуляции сердечной чакры, укрепления зрения и развития интеллекта. Является талисманом игроков
Аванторин розовый (б)	Использовался в индийской йоге для стимуляции сердечной чакры, укрепления зрения и развития интеллекта. Является талисманом путешественников
Агат серый (в)	Используют для изготовления бус, колец, серег, брошей и сосудов. В прошлые века из агатов делали инталии - камни с резным узором, использовавшиеся для печати. Древние мастера резали из агатов камни с выпуклыми изображениями
Жадеит (зеленый) (г)	На Востоке используется в качестве амулета свыше 6000 лет - считается кастровым камнем брахманов - индуистских жрецов, применявших его для духовных практик. Особо почитаем в Китае, т.к. наличие из него украшений у владельцев дома свидетельствуют о высоком достатке и положении в обществе семьи. Лучший комплимент китайской женщине - "Ты красива, как жадеит". В древней Мексике считался средством, исцеляющим от смертельных болезней. В древности считалось, что камень воздействует на природу, может вызвать или прекратить дождь. Поэтому жадеит является талисманом тех, чья работа связана с сельским хозяйством и выращиванием растений. В китайской, тибетской медицине используется как энергетический стабилизатор. Может снять утомление с глаз, полезен при лечении близорукости
Кварц розовый (д)	На Востоке называют "камнем сердца" (например, в Индии считают, что он соответствует сердечной чакре и воздействует на сердце созерцающего его человека, наполняя его любовью). В современной практической магии иногда применяется для выявления в жилище зон с повышенной негативной энергией
Лабрадор (черный, лунный камень) (е)	У народов русского Севера принято считать: если положить под порог дома или квартиры камешек лабрадора, воры не смогут взломать двери
Мрамор каррарский (белый) (ж)	Снимает стресс, помогает обрести крепкий сон. Для славянских народов - камень, избавляющий от беспричинных страхов
Мрамор черный (з)	В качестве талисмана или амулета носят люди, которые в силу своей профессии должны часто общаться (врачи, учителя и др.). С помощью мраморных шариков лечат радикулит, заболевания горла, сердца и сосудов
Оникс белый (и)	В качестве талисмана (фигурки, крупные вазы, шкатулки, столешницы и др.) символизирует чистые помыслы; ограждает от низких соблазнов, помогает сохранять высшие идеалы
Оникс зеленый (к)	Считался священным камнем у ацтеков доколумбовой Америки. В Древней Индии - символ везения и удачи. Камень уверенных в себе людей, умеющих настаивать на своем
Оникс черный (л)	Древние шумеры, египтяне и индусы делали из черно-белых ониксов глаза для статуй, обтачивая камни так, чтобы на белом фоне выделялся черный "зрачок". Используется как материал для резки различных бытовых фигурок. Камень - талисман, способный оградить своего хозяина от негативных воздействий
Халцедон зеленый (м)	Как и многие камни, обладающие зеленой окраской, благотворно влияет на органы зрения

Таблица 2



ЛЕДОКОЛЫ РОССИИ

АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ

"ЛЕНИН"

Виктор Сергеевич Шитарёв,
капитан дальнего плавания

Закладка АЛ "Ленин" и последующее его строительство

Сегодня минуло уже 58 лет с тех пор, когда 24 сентября 1956 г. легла на стапель Адмиралтейского завода первая корпусная секция первого в мире атомного (атомохода) ледокола (АЛ) "Ленин". А уже в декабре 1959 г. он приступил к выполнению своих прямых обязанностей - проводке транспортных судов в морях Советской Арктики. АЛ появился не случайно - бурное развитие народного хозяйства в северных районах Советского Союза потребовало создания мощного ледокольного флота, способного осуществлять ускоренную проводку караванов транспортных судов по трассе Северного морского пути (СЕВМОРПУТЬ), продлить период навигации и расширить трассу благодаря использованию более высоких широт. В отличие от своих современников, работавших на обычном топливе и обладавших незначительной автономностью по запасам топлива, атомоход в полной мере удовлетворял всем требованиям, которые предъявлялись к полярным ледоколам. Атомоход, обладающий энергетической установкой (ЭУ) большой мощностью и, практически, неограниченным районом плавания, ознаменовал своим появлением эпоху применения новейшей техники в решении поставленных задач.

АЛ "Ленин" - первое в мире судно торгового флота с атомной энергетической установкой (АЭУ). Его создание стало возможным лишь благодаря грандиозным успехам отечественной науки и техники, поставленным на службу человечеству в мирных целях. В создании атомохода принимали участие судостроители и машиностроители, физики и медики, моряки и электротехники, - большой контингент советских учёных, инженеров и конструкторов, техников, рабочих и эксплуатационников. Сотни заводов, фабрик и других промышленных предприятий Советского Союза создавали и поставляли оборудование для атомохода.

Первый год работы атомохода "Ленин" в суровых условиях Арктики полностью подтвердил его отличные ходовые качества, что является лучшим доказательством того, что строители атомохода успешно справились с ответственным заданием Правительства Советского Союза.

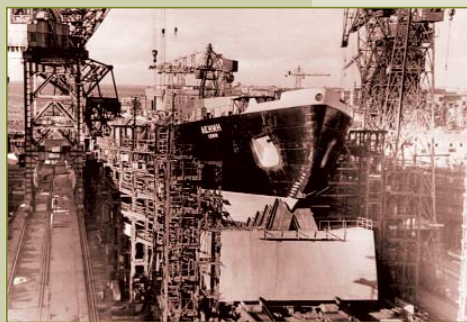
Первая арктическая навигация АЛ "Ленин" завершилась полным успехом, так была открыта новая страница в истории освоения Арктики, положившая начало широкого применения атомной энергии на морском транспорте. В проектировании и строительстве АЛ принимали участие десятки научно-исследовательских институтов, конструкторских организаций и свыше пятисот предприятий всей страны. Правительство Советского Союза высоко оценило работу создателей атомохода. В приветствии ЦК КПСС и Совмина СССР учёным, конструкторам, инженерам, техникам, рабочим, морякам и всем коллективам, участвовавшим в создании АЛ "Ленин", говорилось: *"Трудящиеся Советского Союза одержали новую крупную победу в деле использования атомной энергии в мирных целях, создав первый в Мире атомный ледокол. Ледокол "Ленин" намного превосходит по своей мощности и возможности длительного плавания все существующие ледоколы. Создание атомного ледокола открывает новые возможности в освоении богатств Советской Арктики и дальнейшего развития народного хозяйства северных районов нашей страны"*.

Надо отметить, что атомный богатырь создавался не на "пустом месте". Ко времени постройки атомохода "Ленин" уже имелся значительный опыт проектирования и постройки ледоколов. В течение последних лет отработывалась оптимальная форма носовой оконечности корпуса ледокола, которая в основном определяет ледокольные качества судна. Различные формы носовой оконечности испытывались в ледовом опытовом бассейне и в натурных условиях. Большое внимание уделялось конструкции корпуса, подвергающегося воздействию необычно больших давлений при ломке льда особенно в носовой и кормовой оконечностях корпуса. Был сделан анализ прочности бортового набора корпуса и ледового пояса наружной обшивки плавающих и спроектированных ледоколов отечественной и иностранной постройки. Были изучены и проверены в эксплуатации специальные устройства и системы. В процессе проектирования и постройки ледокола советскими учёными, конструкторами и работниками судостроительной промышленности были решены многие сложные технические вопросы и проблемы. Вот основные из них:

1. Создание АЭУ большой мощности, включающей атомные парогенераторы и турбогенераторы с хорошей управляемостью и живучестью в тяжёлых условиях качки, вибраций и ударных нагрузок, с обеспечением радиационной безопасности.

2. Постройка целиком сварного корпуса ледокола, обладающего хорошими ледокольными качествами, высокой прочностью и повышенной непотопляемостью.

3. Создание ряда автоматических систем, обеспечивающих процессы управления, регулирования и контроля взаимосвязанных элементов энергетической установки судна.

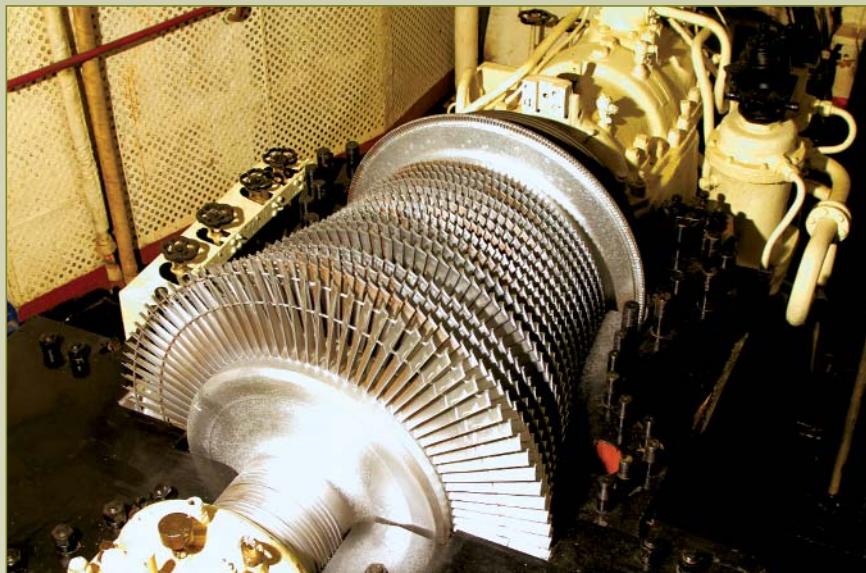


4. Создание комплекса жилых и служебных помещений совместно с обслуживающими их системами, обеспечивающего максимальные удобства для команды в условиях необычной длительности плавания и наличия АЭУ.

Энерговооружённость ледокола (отношение мощности ЭУ к полному водоизмещению), была доведена до 2,75 л.с. на тонну, что почти в полтора раза превышало энерговооружённость обычных ледоколов. Основные размерения были избраны с условием наличия на судне АЭУ и эксплуатационных требований. Выбранное отношение длины к ширине (4,5:1) обеспечило ледоколу высокую маневренность, как во льдах, так и на чистой воде. Ледокол прекрасно слушался руля, как на полном, так и на самом малом ходу (до 3 узлов - 5,5 км/ч). Эта высокая маневренность оказалась как нельзя кстати при проводке транспортов в тяжёлых ледовых условиях. Неоднократно АЛ "Ленин" оказывал застрявшие в тяжёлых льдах суда, проходя в нескольких метрах от них. Вот основные размерения АЛ "Ленин": длина наибольшая 134 м; ширина 27,6 м, как видим, здесь его можно отнести к мелкосидящим ледоколам; водоизмещение 16 000 т; мощность, подводимая на гребные винты 44 000 л.с.; скорость хода на чистой воде 18 узлов (33,3 км/ч); упор винтов, на переднем ходу в швартовном режиме испытаний 330 тс; полная паропроизводительность парогенераторов 360 т/ч; параметры пара - температура 310 °С, давление 28 атм.; паропроизводительность вспомогательных котлов 10 т/ч, а мощность вспомогательных электростанций 6200 кВт. Автономность плавания 1 год.

Ледокольные обводы корпуса отрабатывались с учётом опыта ледоколостроения и результатов испытаний в опытовом бассейне и на натуре. Выбранная форма носовой оконечности корпуса обеспечила судну высокую проходимость в сплошных льдах. Его кормовая оконечность обеспечивает проходимость ледокола на заднем ходу и надёжно защищает руль. Специальная выемка в надводной части кормы используется для буксировки судов вплотную ("на усах") при форсировании тяжёлых сплошных ледяных полей. При преодолении таких льдов ледокол обычно идёт с осторожностью на малых ходах, чтобы не повредить корпус проводимого судна. Во время проводки большого каравана речных судов с Запада на Восток в тяжёлых льдах в 1960 году неоднократно приходилось "брать на усы" как по одному, так и по несколько судов. Во время этой проводки ледокол "Ермак", имея "на усах" целый караван речных судов сам застрял во льду. Тогда "Ленин" "взял на усы" самого "Ермака" и вместе с его караваном вывел их на чистую воду.

На "Ленине" мощность главных турбогенераторов распределена между тремя гребными винтами в отношении 1:2:1. При установке винтов фиксированного шага, практически невозможно иметь оптимальные режимы для ходового и швартовного режимов. Поэтому при разработке винтов основное вни-



Одна из паровых турбин АЛ "Ленин"

мание было уделено получению максимального упора в швартовном режиме, близком к режиму работы винтов при ходе во льдах.

Ориентировочные расчёты проходимости во льдах, выполненные по данным специально проведённых натурных испытаний ледокола "Илья Муромец", показали, что при выбранном упоре 330 т, ледокол может продвигаться непрерывным ходом в сплошном ледяном поле толщиной более двух метров. Во время навигации ледокол неоднократно совершал переходы по чистой воде на волнении, при этом судно показало хорошие мореходные качества. Бортовая качка была весьма плавной. Этого удалось добиться благодаря удачному расположению на ледоколе атомного и механического оборудования. Отсек с парогенераторной установкой общей массой более 3000 т приподнят над вторым дном на высоту 5,7 м, главные турбогенераторы размещены на нижней палубе, а не на втором дне, как обычно принято. Такое расположение позволило снизить метацентрическую высоту примерно вдвое против её значений на существующих ледоколах, увеличить период собственных поперечных колебаний до 12 с и в результате резко уменьшить бортовую качку.

Корпус ледокола "Ленин" по своей конструкции, в частности по системе набора, значительно отличается от других ледоколов отечественной постройки. Днище, борта, внутренние палубы, платформы и верхняя палуба в оконечностях набраны по поперечной системе

Паропроводы машинного отделения. Внизу паровая турбина



Ледокол "Ленин" "взял на усы" очередное судно





Грот-мачта.
Она же вентиляционное устройство отсека парогенераторов

Пост управления энергетикой атомохода: реакторами, парогенераторами, гребными электродвигателями

набора, а верхняя палуба в средней части корпуса - по продольной системе. Размер шпации 800 мм. По бортам на всю длину судна от второго дна до жилой палубы установлены промежуточные шпангоуты, со шпацией 400 мм. Основные и промежуточные шпангоуты в районе настила второго дна до жилой палубы изготовлены из сварных тавровых профилей. Набор носовой и кормовой оконечностей имеет веерное расположение, шпангоуты здесь установлены перпендикулярно обшивке. Наружная обшивка здесь имеет ледовый пояс, выполненный из стали повышенной прочности. Для восприятия возможных случайных ледовых нагрузок пояса ниже и выше ледового пояса также имеют повышенную прочность.

Корпусная сталь для ледокола очищалась химическим и дробеструйным методами. Широко применялась фотооптическая разметка корпусных конструкций. Корпус ледокола был способен выдержать любые сжатия льда в арктических морях. В арктическую навигацию 1960 года ледокол "Ленин" проходил битые льды большой толщины непрерывным ходом и с разбега раскалывал торосистые перемычки из многолетних

льдов. При этом огромные льдины подминались скуловой частью корпуса и всплывали за миделем, отдельные льдины проходили под килем. Непотопляемость ледокола обеспечивалась одиннадцатью основными поперечными водонепроницаемыми переборками (ВНП), которые разделяли корпус на водонепроницаемые отсеки (ВНО). Ледокол оставался на плаву при затоплении двух любых смежных ВНО. По своей архитектуре "Ленин" представлял собой гладкопалубное судно с умеренной седловатостью, удлиненной надстройкой и двумя мачтами. На открытой части шлюпочной палубы размещались катера и спасательные шлюпки, а в кормовой части - взлётно-посадочная площадка и ангар для вертолёта. Дымовая труба отсутствует, но зато грот-мачта имела большие размеры, которые определялись условиями обеспечения вентиляции отсека парогенераторов. Кран, установленный на левом борту в районе миделя, использовался при перезарядке атомных реакторов. Поперечный люк в палубе располагался под грузовой стрелой крана в районе над реакторами.

Применение АЭУ определило особенности внутреннего расположения энергетических помещений. На миделе судна от двойного дна до шлюпочной палубы было расположено оборудование атомных парогенераторов. На судне нет больших топливных бункеров. Обычное топливо предусмотрено в небольших количествах лишь на случай стоянки во время ремонта и перезарядки реакторов. В нос и в корму от парогенераторов находятся отсеки главных турбогенераторов. Далее к носу расположена носовая электростанция и помещение насосов. В корму за помещением главных турбогенераторов расположены гребные электродвигатели и кормовая электростанция. Четыре непрерывные палубы и две платформы образуют просторные твиндеки, в которых располагаются креновые, балластные и топливные цистерны (до нижней палубы), различные кладовые, различные служебные помещения и каюты экипажа.

На нижней жилой и верхней палубах по бортам между главными продольными водонепроницаемыми переборками и каютами проложены магистральные коридоры для удобного сообщения с основными помещениями по длине ледокола. В верхней части магистральных переходов выделено пространство для прокладки трубопроводов и кабельных линий.

Креновая и дифференциальная системы обслуживаются двумя пропеллерными электронасосами со средней производительностью по 4000 т/ч. Управление насосами автоматизировано и производится из поста энергетик и живучести.

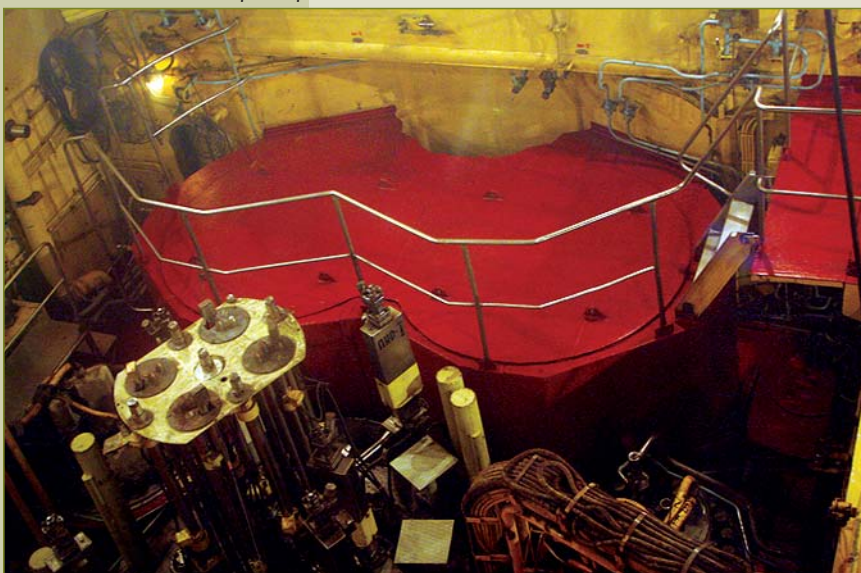
Наличие вертолёта потребовало оборудования в его корме взлётно-посадочной площадки, устройства большого ангара и хранилища топлива со специальной системой приёма и выдачи горючего, специальных средств противопожарной защиты.

В течение первой полярной навигации ледокол плавал без вертолёта, пользуясь данными ледовой разведки арктической авиации. Самолёты авиаразведки поднимались в воздух при самых неблагоприятных метеоусловиях, держали постоянную радиосвязь с судами и регулярно сбрасывали на палубу ледокола вымпелы с подробными картами ледовой обстановки.

Применение атомной энергии на ледоколе надо считать исключительно целесообразным, так как при практически неограниченном районе плавания создаются, по сути дела, идеальные условия работы. При проектировании и постройке атомной установки осо-



Левый реактор



бое внимание уделялось обеспечению максимальной надёжности и долговечности всех её элементов, безопасности и удобства её эксплуатации.

Для АЭУ были выбраны наиболее стабильные, безопасные и простые в работе реакторы водо-водяного типа, в которых теплоносителем и замедлителем служит вода под высоким давлением. Характерной особенностью водо-водяного реактора является высокая прочность его узлов, рассчитанных на большое внутреннее давление, что обеспечивает выполнение основного требования к ледокольной ЭУ - способность выдерживать воздействие вибраций, ударных нагрузок и качки.

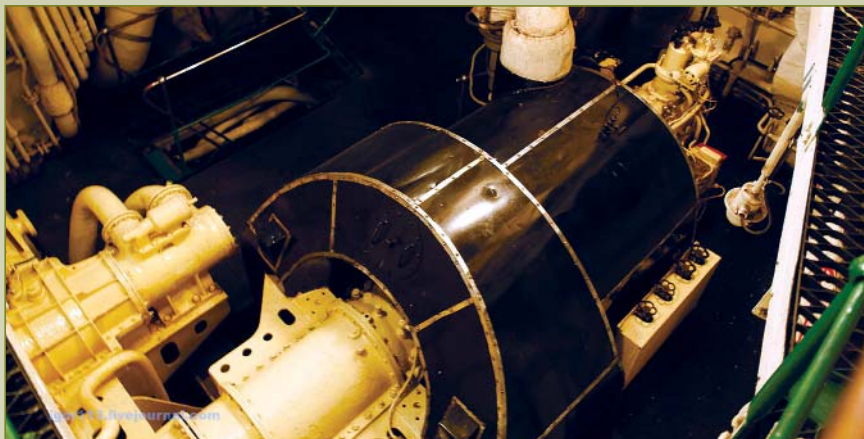
Исходя из учёта сотрясений и вибраций корпуса при работе ледокола в тяжёлых льдах, для оборудования атомной парогенераторной установки были выработаны соответствующие требования по его вибро- и ударостойкости. Всё оборудование и приборы после изготовления проверялись на вибростендах. В условиях арктической навигации оборудование работало безотказно. Особо следует отметить высокое качество сварки трубопроводов и систем первого контура, работающих при давлении до 200 атм., выполненной сварщиками Адмиралтейского завода с применением аргоно-дуговой сварки и использованием современных методов контроля сварных швов.

На атомоходе было установлено три реактора, при этом предусмотрен обычный для ледоколов резерв общей паропроизводительности в 20...25 %. В случае выхода из строя одного из реакторов ледокол, практически, не теряет хода. Кроме того, наличие третьего реактора позволяет производить своевременный профилактический осмотр и ремонт установки и даёт большую эффективность в использовании горючего.

С момента выхода из Балтийского моря и до окончания навигации реакторы обеспечивали паром все нужды ледокола. Во время проводки караванов, особенно при околке судов, мощность главных турбогенераторов менялась часто и в больших пределах - от 10 до 85 %. При профилактических осмотрах оборудования работали два реактора, третий находился в "горячем" резерве. Безотказно работала автоматическая система травления избытков пара на главные конденсаторы.

Турбоэлектрическая установка. Принципиальная схема установки имеет некоторые особенности, связанные с применением атомной энергии. Эти особенности нашли отражение в работах морских специалистов. Также следует отметить, что каждая из четырёх турбин через одноступенчатый редуктор связана с двумя параллельно установленными электрогенераторами постоянного тока.

При системе электродвижения на постоянном токе удалось сравнительно просто осуществить питание трёх гребных электродвигателей от четырёх турбогенераторных агрегатов, работающих при постоянной скорости вращения. Для гребной электрической установки постоянного тока применено напряжение 1200 В, до сих пор не встречающееся в практике судостроения. Генераторы двухякорные, мощностью по 1920 кВт на каждом якоре при напряжении 600 В и числе оборотов 595 об/мин. с самовентиляцией по замкнутому циклу через воздухоохладители. В одном генераторе каждого агрегата оба якоря соединены параллельно и представляют собой одну электрическую машину мощностью 3840 кВт. Таким образом, каждая турбина через редуктор как бы вращает три

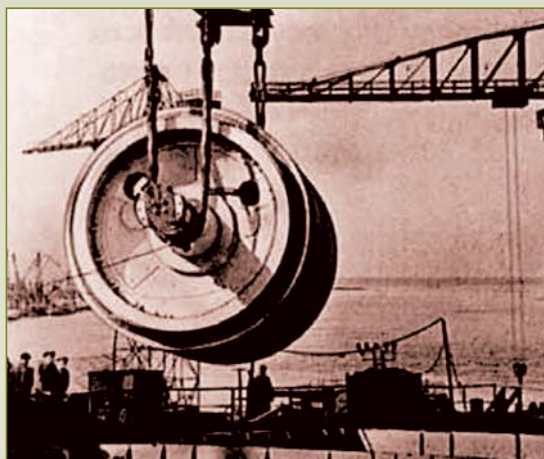


Внешний вид паровой турбины



Редуктор.

Слева от него паровая турбина. Справа - два электрогенератора



Установка гребного электродвигателя на АЛ "Ленин"

генератора: два по 1920 кВт и один 3840 кВт.

Главные электродвигатели - двухякорные, защищённого исполнения с принудительной вентиляцией по замкнутому циклу через воздухоохладители. Средний электродвигатель длительной мощностью 19600 л.с. и напряжением 1200 В на якоре. Бортовые гребные электродвигатели длительной мощностью по 9800 л.с. также с напряжением 1200 В. Возможные варианты работы гребной ЭУ осуществляются при помощи самостоятельных избирательных переключений для каждого генератора.

Итак, постройка атомохода "Ленин" и его успешное плавание в первом полярном рейсе - событие планетарного масштаба. Оно показало всему Миру пример наиболее разумного и благородного использования атомной энергии в мирных целях.



(Продолжение следует.)

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!

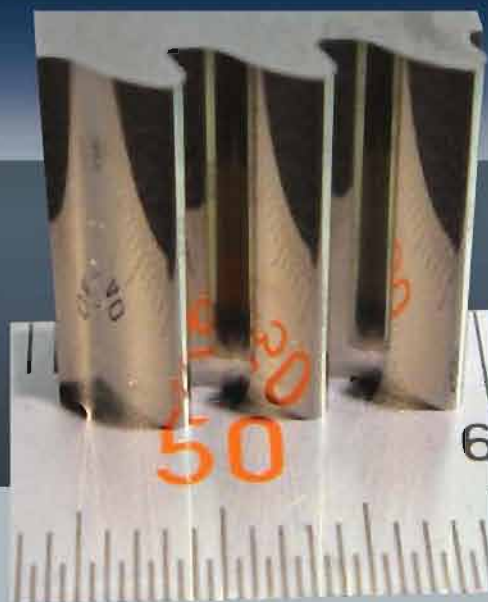
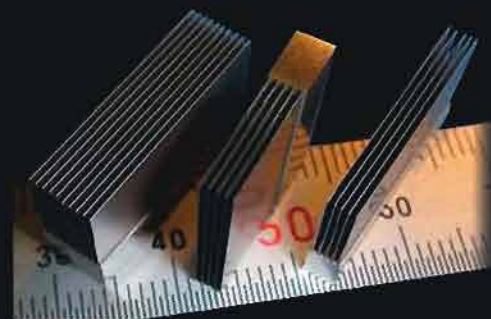
60 лет опыта производства ЭИ станков!

НАНОШЕРОХОВАТОСТЬ

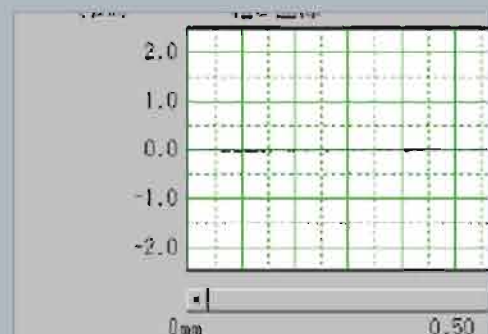
Шероховатость $Ra = 0,006$ мкм
($Rz = 50$ нано = 14-й класс!)
на серийном линейном
вырезном станке в масле!

Sodick

www.sodick.ru



AP250L



パラメータ名	値	単位
Ra	0.0061	μm
Ra(1)	0.0072	μm
Ra(2)	0.0066	μm
Ra(3)	0.0082	μm
Ra(4)	0.0060	μm
Ra(5)	0.0048	μm
Rz	0.0578	μm
Rz(1)	0.0800	μm
Rz(2)	0.0440	μm

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

Сверхточная вырезка твердых сплавов
без выпадения кобальта;

Прецизионная вырезка тонкой проволокой
высоких пуансонов.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В МАСЛЕ =
= ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В ВОДЕ

Рекорд отрасли!



CoroMill® Plura

Высокопроизводительные твердосплавные концевые фрезы
от Sandvik Coromant



 **iLock™**
FOR YOUR CONCEPT