

Двигатель

Научно-технический журнал

№ 6 (84 + 243) 2012



Приоритетным в вертолётостроении должно считаться прежде всего внедрение новых разработок, выполненных на современном уровне конструкции и технологии, оснащённых современными двигателями.

Условием сохранения школы конструирования должно быть применение имеющегося опыта к новым конструкциям. стр. 2 - 4



Редакционный совет

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

Бабкин В.И., к.т.н.,
ген. директор ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"

Багдасарьян Н.Г., д.филос.н.,
профессор МГУ им. М.В. Ломоносова,
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Богуслаев В.А., д.т.н.,
председатель совета директоров 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.

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.,
зам. руководителя Комиссии по оборонно-
промышленному комплексу РСПП

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"

Ставровский М.Е., д.т.н.,
проректор по научной работе
РГТУ имени К.Э. Циолковского (МАТИ)

Троицкий Н.И., к.т.н.

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

Чепкин В.М., д.т.н.,
зам. ген. директора НПО "Сатурн" по НИОКР

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

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.

Валентин Алексеевич Шерстянников, д.т.н.

Литературный редактор

Дмитрий Павлович Войтенко

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 инфор-
мации и наличие в материалах фактов, не
подлежащих разглашению в открытой печати,
лежит на авторах публикаций.

Мнение редакции не всегда
совпадает с мнением авторов.

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

Журнал "Двигатель", рекомендован экспертными
советами ВАК по техническим наукам, по исто-
рии, экономике, философии, социологии и куль-
турологии в числе журналов, в которых должны
быть опубликованы основные научные результа-
ты диссертации на соискание ученой степени док-
тора и кандидата наук. Индекс 28377 в общерос-
сийском каталоге 2008 г.

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

Per. № 018414 от 11.01.1999 г.

14-й (106-й) год издания.

Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати" Москва.

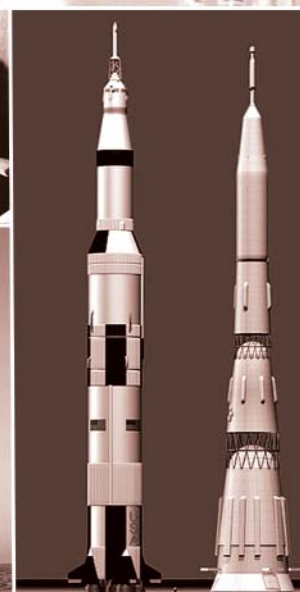
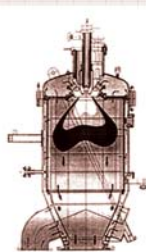
Тираж 5 000 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

- 2 Российское вертолетостроение сегодня и приоритеты на будущее**
А.Г. Самусенко
- 5 К 100-летию юбилею Георгия Петровича Свищёва и открытию памятной доски в ЦИАМ**
В.И. Бабкин
- 6 Научно-техническая конференция по камерам сгорания ГТУ в ЦИАМ**
- 6 Проблемы разработки технологий малоэмиссионного горения и создания малоэмиссионных камер сгорания в газотурбостроении**
О.Н. Фаворский
- Премия "Авиастроитель 2011 года"**
- 9 Повышение уровня моделирования лопаточных машин в системе математической модели ГТД**
А.С. Дрыгин, А.А. Евстигнеев, А.С. Полев, Ю.А. Эзрохи
- 12 "Авиадвигатель": ускоренная адаптация молодым специалистам обеспечена**
- 13 Из стенограммы заседания основателей ЦИАМ в Парткоме института, 1957 г.**
Г.П. Свищёв
- 13 Памяти А.Г. Романова**
- 14 Перспективы разработки авиационных двигателей большой тяги**
Д.А. Боев
- 18 Повышение эффективности решения инженерных задач при использовании технологий MSC.Software и вычислительной системы ARBYTE с графическими процессорами NVIDIA**
А.Ф. Георгиев, Д.А. Якунин
- 22 Поведение роторов на критических частотах вращения при овализации дорожки качения роликового подшипника**
Ю.Б. Назаренко
- 24 Влияние конденсации высокотемпературного окислительного газа в зоне криогенного кислорода на низкочастотную устойчивость ЖРД**
И.М. Кошелев, Д.С. Мартиросов, А.И. Колбасенков
- 28 Определение перепада давления на форсунке керосина с различной концентрацией добавки полиизобутилена с использованием метода регрессионного анализа**
А.И. Коломенцев, А.Н. Хохлов, В.П. Ташев
- 30 Турбулентность. Синхронизация автоколебаний в ЖРД**
Ю.М. Кочетков
- Памяти В.В. Червакова**
- 32 Проблематичное начало и драматический**
- 34 конец разработки ракеты-носителя Н1**
В.Ф. Рахманин
- 42 Мощность множества и обобщение кардинального числа натурального ряда**
А.И. Касьян
- 44 К предпосылкам модели шаровой молнии**
В.А. Белоконов
- 46 Традиции и новации в аспекте приоритетов столичной молодежи**
А.А. Логвинов
- 48 Результаты этноколористического интервью по выявлению отношения славянского этноса к цветовой символике государственных флагов**
С.М. Геращенко
- 50 Дореволюционные железнодорожные жетоны - свидетели истории и предмет элитного коллекционирования**
А.В. Барановский
- 52 Паруса-крылья**
В.С. Шитарёв



РОССИЙСКОЕ ВЕРТОЛЕТОСТРОЕНИЕ СЕГОДНЯ И ПРИОРИТЕТЫ НА БУДУЩЕЕ

Алексей Гаврилович Самусенко, генеральный конструктор ОАО "МВЗ им. Миля"

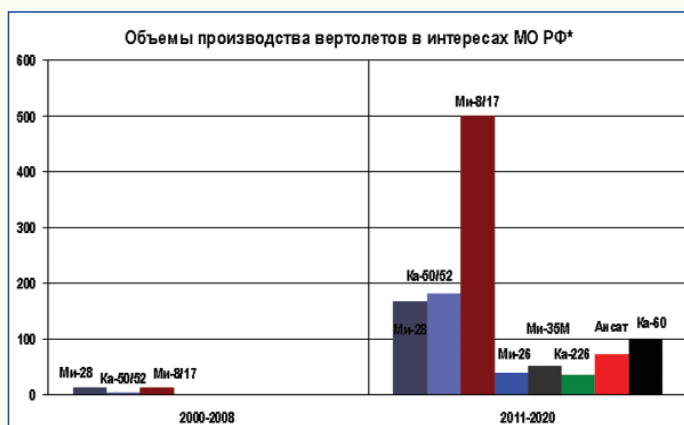
Для того, чтобы понять современное состояние российского вертолестроения, надо учесть то, что предшествовало ему по времени. Не новость, что производство авиационной техники - процесс длительный. Не менее 5-7 лет проходит от решения о запуске в разработку новой модели летательного аппарата до его выпуска в небо. И примерно таков же предшествующий период исследовательских и опытных работ, особенно если мы говорим о новом поколении техники. В 90-х годах XX века практически полностью прекратилось государственное финансирование НИОКР. А это было время перехода во всём мире производителей к пятому, а в некоторых образцах и к шестому поколению летательных аппаратов (в вертолётной технике это также было новое поколение - четвёртое). Такими действиями закладывалось отставание наших производителей от зарубежных конкурентов.

В это же время практически полностью прекратилась закупка авиационной, в том числе вертолётной, техники в интересах вооружённых сил РФ. В результате, предприятия, производящие такую технику, полностью лишились основного источника финансирования. Одновременно с тем произошло сокращение объёмов работ в гражданском секторе. Сменой экономических основ существования государства определилась избыточность парка авиатехники и, как следствие, отсутствие в стране спроса на гражданские машины.

Наша промышленность оказалась сейчас в весьма неблагоприятном организационном положении: с одной стороны сохраняется административный централизм (а с созданием крупных хол-

дингов он усиливается и даже перерастает советские масштабы, где всё-таки отдельные ОКБ имели собственные интересы и "право голоса"), а с другой стороны, совершенно неритмичным и ненадёжным является государственное финансирование. Таким образом, управление отраслей дезинтегрируется, а финансирование их, напротив, остаётся централизованным. Такого рода система обладает весьма невысокой инвестиционной привлекательностью. Кроме того, собственные финансисты не привыкли вкладывать деньги в долгосрочные проекты, а зарубежные чаще всего тем или иным способом уже завязаны на конкурентные нам производства и вложение в нашу промышленность для них выглядит плохим бизнесом.

Самое неприятное, что случилось в реальных областях промышленности (и в том числе - в вертолестроении) в конце XX века, это потеря опытных кадров на всех этапах производства: и проектирования, и создания, и обслуживания техники. Потери в кадровом потенциале, происходившие с начала 90-х годов (эти процессы продолжают в немалой степени и по сегодня) во многом лишили нас научных, конструкторских и технологических школ, преемственности в производстве. Проблемами стали дефицит квалифицированных кадров, снижение культуры производства, сокращение элементной базы, прекращение выпуска ряда комплектующих. Многие производственные процессы, державшиеся на передаче опыта работниками прошли уже "точку невозврата" и при необходимости применения их проще создать заново на новой материальной и опытной базе, чем восстанавливать существовавшее.



К началу XXI века оказалось, что при всех описанных влияющих факторах, отрасль в финансовом плане, как ни странно, выжила. Не без потерь, но существует. Это в основном определилось востребованностью тех образцов техники, что пошли в производство перед началом "перестроечных" процессов и активно экспортировались. Мы сильно сдали свои позиции в это время, но не потеряли их. Благоприятная экспортная конъюнктура поддерживала серийные заводы, а через них и ОКБ. Отрасль доказала свою состоятельность. Это определило возможность возобновления государственного финансирования НИОКР и позволило начать восстанавливать утраченные "приоритеты и кондиции" разработчиков. К сожалению, сказались последствия кризиса 90-х годов: крайне затянулись работы по начатым в это время проектам (например, по вертолёту Ми-38). И в само это время не было начато ни одной новой разработки - важнейших составляющих восстановления отрасли.

К сожалению, сложилась тяжелая ситуация с вертолетными двигателями. Основные разработки вертолетных двигателей пришлось на 60-е годы прошлого столетия; все серийно выпускаемые сегодня вертолеты оснащены двигателями 60 - 70-х годов. С начала 80-х годов по настоящий момент были подняты в воздух 7 новых типов вертолетов; за тот же период доведены до стадии летных испытаний на вертолете всего два новых двигателя: ТВ-О-100 (программа закрыта, серийно не производится) и РД-600. Начиная с 90-х годов государственное финансирование программ вертолетных двигателей было прекращено. Основной разработчик этого типа авиационной техники, С-Петербургское ОАО "Климов" сильно лихорадило в кадровом и административном плане, а сейчас оно вообще в процессе реконструкции. Крупнейший завод по выпуску вертолетных двигателей остался при разделе страны на территории Украины. И хотя кооперация отрасли с ним всецело поддерживается, административные органы страны не слишком склонны взаимодействовать с соседями. Опыт сотрудничества с западными двигателестроительными компаниями пока весь оказался негативным. Тем не менее, по этому пути всё ещё пытаемся двигаться.



ТВ7-117В

определены программы ТВ7-117 и ВК-800.

В последние годы произошли дальнейшие подвижки в финансовых отношениях государства и производителей авиатехники. Так, официально объявлена переориентация МО РФ с финансирования новых разработок новой техники в пользу закупок готовой серийной техники. Это означает, что собственные военные перестают поддерживать отечественного разработчика техники и будут считать на равных и поддержанных своими правительствами и международными концернами зарубежных производителей и ослабленных десятилетиями организационно-финансовой неразберихи собственных. При этом, предполагавшиеся (при прошлом министре обороны) увеличения закупок дела не поправляли: весьма мощная коррупционная составляющая такого стиля ведения дел, при которой наши производители однозначно проигрывали, оставляла их "вне игры".

На возможности финансирования гражданских разработок, в связи со вступлением в ВТО наложены существенные ограничения. Правду сказать, вот это-то ущемление наша хронически недофинансируемая промышленность может как раз и не почувствовать!

С другой стороны, наметился рост объемов работ в россий-

ском гражданском секторе и, как следствие, заказов на вертолеты. Эти заказы, хотя и достаются по большей части отечественным производителям (заказано, например, 79 Ми-171 для "ЮТЭЙР" и "ГАЗПРОМ-АВИА"), но не в полном объеме, вследствие ограниченного типажа предложений. В выпуске отечественных вертолетов сделан упор на большие машины (грузоподъемности Ми-8 и большей) и практически отсутствует серийный выпуск вертолетов малой грузоподъемности. В результате чего, эта нехватка восполняется зарубежными закупками.

Ситуация очень напоминает положение в советском автопроме в середине 80-х гг. прошлого века. К тому времени заводами ЗиЛ, ГАЗ, КамАЗ, БелАЗ, МАЗ были выпущены отличные грузовики, грузоподъемностью 5 т и выше, но когда потребовались небольшие разъездные перевозчики - от 1,5 до 3 т, пришлось срочно закупать "Фордики" и запускать линию лицензионных американских "Газелей".

Но и такой заказ, позволяя отрасли выжить, существенно не меняет положения в силу крайней незначительности объема работ по новым проектам. И это понятно: заказчику требуется та техника, в потребительских качествах которой он может быть уверен. В значительной мере это положение касается и вертолетного двигателестроения: многие даже и заявленные образцы новых двигателей не идут в серию.

Нужно сказать, что мировой кризис отрицательно сказался и на наших зарубежных конкурентах. Интересно, что при всех заявленных в области вертолетостроения новациях, ряд последних западных разработок (Sikorsky S-92, Agusta-Westland AW-139 и AW-169, Eurocopter EC-175 и некоторые более ранние машины) отличает относительный "технический консерватизм". Так, например, фюзеляж S-92 имеет традиционную полумонококовую конструкцию и изготовлен в основном из алюминиевых сплавов. Композиционные материалы применены весьма умеренно, несмотря на проведенную экспериментальную программу (ACAP S-75) и широкое применение композитов в конструкции фюзеляжа вертолета RAH-66A COMANCHE. Некоторой новизной в фюзеляже AW-139 является применение трех-слойных сотовых панелей (аналогичный подход реализован на Ми-38) и композитной хвостовой балки. Весьма интересной тенденцией последних западных разработок является отказ от считавшихся перспективными бесшарнирных и бесподшипниковых винтов. В результате, несущие винты перечисленных



Втулка несущего винта вертолета S-92



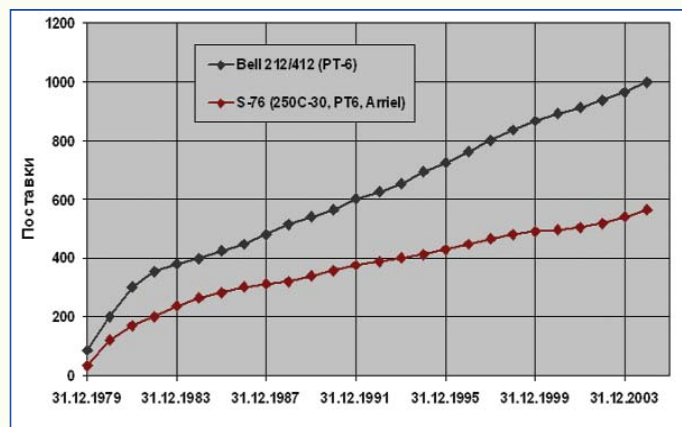
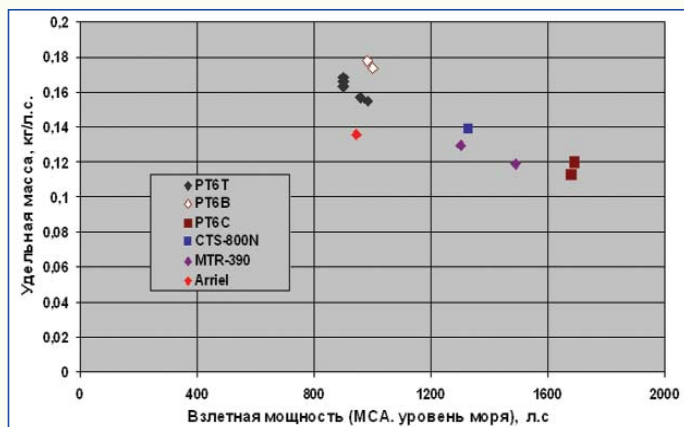
Втулка несущего винта вертолета AW-139



Втулка несущего винта вертолета EC-155



Втулка несущего винта вертолета EC-120



машин имеют лопасти из композиционных материалов и титановые втулки с эластомерными подшипниками (такого рода подход характерен для российских Ми-28 и Ми-38). И, наконец, все перечисленные машины, кроме S-92, имеют шарнирные рулевые винты. Всякие игры с жестко установленными финестронами сейчас не модны. Заказчик, в данном случае, как и у нас - диктует моду на технику.

Несколько затягивается запуск широко анонсированной в последнее время техники. Так Еврокоптер обещает выпустить свой скоростной вертолет X-4 на 2-3 года позже обещанного 2015 г., поскольку занимается более детальной проработкой отдельных элементов конструкции (Helicopter International, Volume 33, Number 5, March - April 2010). Разработчики решили более основательно подойти к запуску столь необычной машины.

Нужно отметить, что при заключении контрактов на поставку вертолетной техники вовсе не обязательно, что выигрывает тендер техника с самыми лучшими параметрами. Маркетинговые исследования показывают, что действуют очень много не чисто технических факторов: развитость дилерской и технической сети поставщика, рекомендации пользователей, ранее приобретших эти машины и даже реклама. Так, эксперты утверждают, что в основном этими причинами обусловлено, что двигатели

PT-6 фирмы General Electric, устанавливаемые на вертолеты Bell и Sikorsky, имеют больший объем продаж, чем аналогичные двигатели Snecma. Хотя в ряде случаев, характеристики последних могут быть выше.

Полагаю, что для России приоритетными работами в вертолетостроении должно считаться прежде всего - внедрение новых разработок, выполненных на современном уровне конструкции и технологии. Конечно же, для них должны быть разработаны современные двигатели. В разработках обязаны быть учтены требования современного рынка. И надо что-то думать - что делать с нависающей дамокловым мечом кадровой проблемой. Для этого - внедрять новые производственные технологии (как в проектировании, так и в производстве), активнее привлекать к этому делу грамотную и талантливую молодежь, использовать возможности многоопытных сотрудников отрасли. Внутриотраслевым приоритетом должно стать сохранение школы проектирования, как ключевого звена технологии. Преемственность поколений по-прежнему является одной из основных проблем российского вертолетостроения. Условием сохранения школы должны стать новые разработки, применение существующего опыта работ к новым конструкциям.



Публикуется по выступлению на 10 московском Вертолетном форуме в МАИ, 28 ноября 2012 года

К 100-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ ГЕОРГИЯ ПЕТРОВИЧА СВИЩЁВА И ОТКРЫТИЮ ПАМЯТНОЙ ДОСКИ В ЦИАМ



Владимир Иванович Бабкин, генеральный директор ЦИАМ им. П.И. Баранова

Есть такие люди, само существование которых настолько изменяет обстоятельства, в которых им приходилось действовать, что время, в которое им довелось жить ассоциируется у потомков с их личностью. И это воспринимается ими как само собой разумеющееся. Как единственно возможное.

Георгий Петрович Свищёв стал начальником ЦИАМ в конце 1954 г.



Автор статьи, дочь и внучка Г.П. Свищёва у памятной доски Георгию Петровичу

Тогда происходил коренной поворот направленности всех научных работ и переориентация их с так хорошо знакомых поршневых моторов на новые и неизданные ГД. И для этого был необходим человек, хорошо знакомый с проблемами авиационной отрасли, с опытом руководящей работы в научном институте и, с другой стороны, не слишком обременённый "предыдущим опытом" работы с поршневыми. Таким было и пожелание ученых института к выходящей администрации: больше внимания уделять организации научных исследований. Заместитель директора ЦАГИ Г.П. Свищёв, как виделось, подходил для этой роли как нельзя лучше. И все без малого пят-

надцать лет последующей его деятельности начальником ЦИАМ показало правильность этого предположения.

Сразу по приходу Георгия Петровича в разы вырос объём экспериментальных исследований. Увеличилось разнообразие и сложность экспериментального оборудования. Тураевская экспериментальная база, которую начали создавать предшественники Г.П. Свищёва на посту начальника института, его стараниями обрела знакомый нам вид. Меньше чем через год после начала руководства ЦИАМ Г.П. Свищёвым были введены в эксплуатацию высотные стенды первой очереди НИЦ ЦИАМ. В том числе машинный зал ВКС - её сердце. Большинство построенных при нём стендов до сих пор служат науке. Исследования начались с первых наших серийных двигателей - АМ-5, ВК-1, самого массового Р11-Ф300 для знаменитого МиГ-21, а затем и уникального Р15Б-300 для крылатых ракет и уникального перехватчика МиГ-25. В 1966 году начаты уникальные испытания силовой установки самолета Ту-144 с обдувом воздухозаборника.

За период с 1957 г. по 1967 г. на высотных стендах филиала ЦИАМ проведены исследования и доводка порядка 45 различных типов двигателей. Практически все двигатели, создаваемые в стране и многие иностранные, прошли проверку на тураевской базе ЦИАМ. Учёные ЦИАМ в конце 50-х годов установили тот объём испытаний, который считается теперь классическим во всём мире и который не минует ни один новый двигатель. Это испытания в высотно-скоростных и климатических стендах, ресурсные испытания, поузловые испытания отдельных систем двигателя. И строго сохраняемой традицией стало непременно исследование всех новых авиадвигателей в Тураево. Это сохраняется и сейчас. Все новые моторы проходят Тураевскую обкатку.

Соответственно новой тематике научно-исследовательских работ изменилась и структура института. Тот ЦИАМ, который мы знаем сейчас, сформировался именно при Георгии Петровиче. В 1958 г. на московской площадке ЦИАМ введена в строй первая ЭВМ "Урал-1" с быстродействием 100 операций в секунду. В 1961 г. заработала М-20 с быстродей-

ствием 20 000 оп./с. Это были уникальные для своего времени возможности, сильно подвинувшие расчётные возможности научных исследований. А в 1959 г. была разработана первая автоматизированная цифровая система сбора и обработки показаний датчиков на 256 каналов. С тех пор автоматизация эксперимента - кредо ЦИАМ.

Монография "Расчет на прочность реактивных двигателей", вышедшая в 1955 г. (И.А. Биргер, Р.С. Кинашвили, С.В. Серенсен и др.) до сих пор считается во всём мире наиболее классической и все исследования последующих лет только дополняли и развивали описанные в ней принципы. Выход книги создал возможности для разработки и утверждения учёными ЦИАМ норм прочности ГД, повсеместно применяемых и по сей день.

Теория современных реактивных двигателей начала достраиваться и обретать современные формы на основах, заложенных Б.С. Стечкиным, одним из основателей ЦИАМ. Целый ряд принципиально новых положений, ранее не существовавших, внесены в неё учёными ЦИАМ в период руководства Георгия Петровича. Уже с 1957 г. начались исследования комбинированных двигателей для больших (гипер-) скоростей полета на криогенных топливах (ГПВРД). А в 1958 г. под руководством Р.И. Курзинера начата разработка основ теории ГПВРД, базирующейся на энергетических принципах с использованием представления о химических, равновесных газозводушных течениях. В 1959 г. выходит классическая монография Г.Г. Черного "Течения газа с большой сверхзвуковой скоростью". С 1968 г. развернуты работы по исследованию рабочего процесса, параметров, характеристик и областей применения ГПВРД, которые победно завершились в 1991 г. первыми в мире летными испытаниями ГПВРД.

С 1961 г., по указанию Г.П. Свищёва, учёные ЦИАМ начали активно заниматься исследованием работы ЖРД и его компонентов (автоматики, ТНА), различными режимами работы. Для этого была организована специальная лаборатория. Её сотрудники исследовали двигательные установки и ракет-носителей, и систем ЗУР.

В 1962 г. по инициативе Г.П. Свищёва (совместно с В.М. Акимовым) организованы систематические исследования надежности авиационных ГД, по результатам которых через два десятилетия смогли выйти на эксплуатацию двигателей по техническому состоянию.

В 1963 г. совместно с ЦАГИ разработано руководство по выбору и проверке запаса устойчивости авиационных двигателей.

По инициативе Георгия Петровича в ЦИАМ в 1956 г. начал издаваться весьма популярный в авиационной промышленности СССР полный справочник "Иностранные авиационные двигатели". Всего книга выдержала 13 изданий, последнее из них - в 2000 году.

В 1957 г. начальнику ЦИАМ Г.П. Свищёву за успешное выполнение заданий правительства по созданию новой авиационной техники присвоено звание Героя Социалистического Труда. Он очень гордился этой заслуженной наградой. Она была единственной, с какой его привыкли видеть и ежедневно, и при торжественных случаях. В том же году Г.П. Свищёв избран членом-корреспондентом АН СССР.

А в 1968 г. Г.П. Свищёву (в то время уже год как начальнику ЦАГИ), в числе коллектива учёных была вручена Государственная премия СССР за разработку и результаты внедрения новых методов доводки авиационных ГД в высотно-скоростных условиях на специально созданной экспериментальной базе (филиале ЦИАМ).

Тем самым Георгий Петрович показал, что при всей специфичности наших институтов главным остаётся одно: честное и ответственное выполнение своего долга учёного - долга перед коллегами, перед страной, перед наукой.



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КАМЕРАМ СГОРАНИЯ ГТУ В ЦИАМ



В начале декабря 2012 года в Центральном институте авиационного моторостроения им. П.И. Баранова прошла очередная IV межведомственная научно-техническая конференция "Проблемы разработки низкоэмиссионных камер сгорания ГТУ" (МЭКС). Конференция была посвящена работам, выполненным за 2 года в области низкоэмиссионных камер сгорания.

В работе конференции приняли участие 25 организаций из России и Украины: отраслевые организации (14), организации РАН (3), отраслевые институты смежных отраслей (3), ВУЗы (5). Участвовали также представители заинтересованных ведомств: ОАО "Газпром", ИНТЕР РАО ЕЭС, ОДК, ОАО "ЭСК "Союз" и другие. За два дня конференции было заслушано и обсуждено 24 доклада.

Конференцию открыл Председатель Оргкомитета конференции, генеральный директор ЦИАМ В.И. Бабкин. Вводный



доклад (представленный далее в журнале) сделал академик О.Н. Фаворский.

Выступающими рассматривались такие актуальные темы создания МЭКС, как: проблемы расчета эмиссионных характеристик, термоакустической доводки, разработки альтернативных схем организации низкоэмиссионного горения, разработки, доводки и опыта эксплуатации МЭКС с горением бедных, предварительно перемешанных топливо-воздушных смесей.

По сравнению с предыдущей конференцией, состоявшейся в 2010 г., отмечается прогресс в разработке и внедрении низкоэмиссионных технологий в промышленных ГТУ и увеличение объема работ по созданию методик расчета эмиссионных характеристик.

Если на предыдущих конференциях в эксплуатации находилась только одна ГТУ с удовлетворительной низкоэмиссионной камерой сгорания, ГТК-10, разработанная в ОАО "Теплофизика", г. Уфа, то к этой конференции в опытной эксплуатации находились уже три малозэмиссионные камеры сгорания: на ГТУ Д-336 (ЗМКБ "Прогресс, Запорожье, Украина). ДГ-80 (ГП "Зоря-Машпроект", Николаев, Украина) и НК-38СТ (ОАО "Кузнецов", Самара). В стадии внедрения на ГТУ-25П (ОАО "Авиадвигатель", Пермь) находится МЭКС разработки ФГУП ЦИАМ. Все указанные ГТУ находятся в опытной эксплуатации.

Состоявшийся обмен мнениями специалистов был весьма продуктивным и полезным. Участники конференции в своих выступлениях отмечали научную и техническую пользу проведенной конференции.

Следующая конференция намечена на ноябрь - декабрь 2014 года.



ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ МАЛОЭМИССИОННОГО ГОРЕНИЯ И СОЗДАНИЯ МАЛОЭМИССИОННЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ В ГАЗОТУРБОСТРОЕНИИ

Олег Николаевич Фаворский, академик РАН

Последние 20-30 лет в мире очень распространилась версия причины потепления климата из-за деятельности человечества и в первую очередь, увеличения выброса углекислого газа. Но при этом, при безусловной полезности улучшения местной экологии, увязка CO₂ и климата ошибочна. Уже более 15 лет неоднократно и различными специалистами говорится о том, что в балансе лучистых потоков Солнце-Земля-Космос роль CO₂ на два порядка ниже паров воды, т.е. парниковый эффект от количества CO₂ почти не зависит. При этом величина последнего определя-

ется температурой океана, а она связана как с величиной солнечного излучения, так и внутриземной активностью. До сих пор и количественных данных о суммарных эффектах, определяющих температуру воды, наука не имеет и по выделению CO₂ из земных недр сведений практически нет.

Мало того, в последние годы появились исследования геологов, показывающие (по анализу состава кернов земли), что в многолетних периодических циклах изменения температуры на Земле, соответствующее изменение концентрации CO₂ следует за тем-

пературой, а не наоборот как полагают борцы за климат.

Летом 2012 г. опубликована очень интересная статья академика Иванова М.В., биолога, занимающегося миром бактерий. Он показывает, что при "выделении" человечеством в год около 35 млрд т CO_2 , бактерии океана выделяют до 50 млрд т, и столько же земные. Таким образом, о влиянии CO_2 на климат говорить бессмысленно, тем более разрабатывать и создавать установки по захоронению CO_2 .

Однако климат и местная экология - это разные явления, и борьба за последнюю, безусловно необходима. Так ещё в 80-е годы XX века при анализе заболеваемости многими болезнями жителей около аэропорта Еревана (он в окружении гор) выяснилось превышение их порога почти в 10 раз по сравнению с удалёнными сёлами. Это было толчком в борьбе за экологию авиации в СССР. Другой свежий пример: в ноябре 2012 г. в Санкт-Петербурге около 2 тысяч футбольных болельщиков собрались в универсаме и через полчаса начались обмороки (от избытка CO_2). Поэтому, хотя как известно, автотранспорт почти везде определяет местную экологию, необходимо обеспечивать улучшение интересующих нас газотурбинных двигателей в авиации - для экологии аэропортов и в энергетике - для электростанций и газоперекачки.

Итак, говоря о местной экологии - составе воздуха, которым мы дышим, надо, прежде всего, говорить о продуктах сгорания в виде окислов азота, особенно NO_2 , окиси углерода CO , окислов серы и др. Именно поэтому в газотурбинных двигателях последние годы совершенствование процесса горения в камере, кроме просто полноты сгорания и потерь давления газа в ней, направлено на контроль состава продуктов сгорания и обеспечение его стабильности на всех режимах работы. Это - основная тема нашей конференции.

Первые десятилетия, развитие ГТД требовало от камер сгорания роста температуры газа, полноты сгорания, малых гидравлических потерь и хороших температурных полей на выходе. Массовое применение газотурбинных установок в качестве энерго- и механических приводов, начавшееся во второй половине прошлого века потребовало от разработчиков ГТУ именно из экологических соображений перехода на низкоэмиссионные камеры сгорания.

Зарубежными фирмами разработки технологий низкоэмиссионного горения в камерах сгорания газотурбинных установок были развернуты в начале 80-х годов. В середине девяностых появились низкоэмиссионные камеры сгорания (НКС). В конце девяностых (через 15-18 лет после начала работ), первые "экологически чистые" газотурбинные установки поступили на рынок. Ведущим зарубежным фирмам "Дженерал Электрик", "Роллс-Ройс", "Алстон", "Сименс", "Мицубиси" потребовалось вложить сотни миллионов долларов в разработку этой сложнейшей технологии. Известны три принципиальные схемы организации процесса горения: исходная факельная (диффузионная), с предварительным смешением и каталитическая.

В настоящее время наибольшее развитие получила технология сжигания бедных, предварительно перемешанных топливо-воздушных смесей, в английской аббревиатуре LPP. По этой технологии созданы практически все низкоэмиссионные камеры сгорания ведущих зарубежных фирм. Следует отметить, что главным источником информации при доводке элементов НКС (горелки, жаровой трубы) служили только результаты экспериментальных исследований. Это было, и до сих пор является следствием отсутствия достоверной теории расчёта кинетики горения предварительно перемешанных топливо-воздушных смесей.

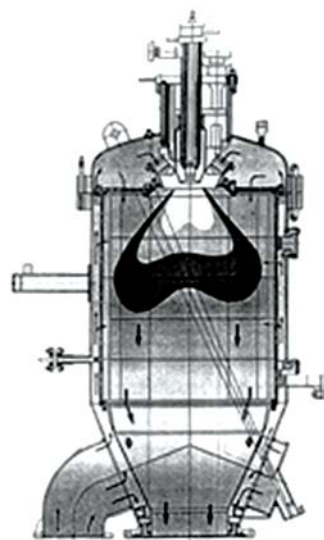
Выявление кинетических механизмов воспламенения и горения различных топлив, а также механизмов образования экологически опасных соединений в камерах сгорания энергетических установок и двигателей различных транспортных систем позволяет не только правильно предсказать такие важные характеристики как пределы устойчивого горения, температуру и время задержки воспламенения, скорость распространения пламени, длину зоны энерговыделения, эволюцию концентраций различных компонентов, но и ещё на стадии проектирования оценить эмиссию газооб-



разных загрязняющих атмосферу соединений (NO_x , CO , CO_2 , SO_x , HNO_2 , HNO_3 , H_2SO_4 , органика, C_nH_m) и аэрозольных компонентов (сажевые частицы, сульфатные и органические аэрозоли, конденсационные следы). Именно поэтому построению детальных реакционных механизмов, адекватно описывающих сложные взаимосвязи между различными соединениями, участвующими в химических или физико-химических процессах при горении органических и неорганических топлив, уделяется в последние 20 лет особое внимание. Важную роль эти вопросы играют не только при создании энергоэффективных низкоэмиссионных камер сгорания для энергетических установок и авиационных двигателей, но также и новых типов двигателей внутреннего сгорания. В последние годы возникли несколько новых направлений в организации горения, которые требуют дополнительных усилий по изучению кинетики протекания цепных реакций и образования экологически опасных соединений.

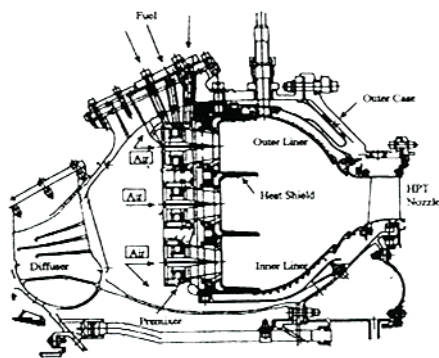
К этим направлениям сегодня, кроме наиболее распространённого сжигания природного газа, относятся:

- горение синтетических и альтернативных топлив, включая биотоплива;
- горение сложных композитных топлив: попутные нефтяные газы, продукты пиролиза и реформинга тяжёлых углеводородных топлив, авиационные керосины.



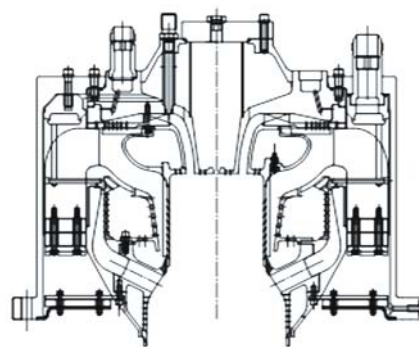
Применение горелки и жаровой трубы больших размеров ($D_g = 300$ мм, $D_{жт} = 700$ мм, $L_{ж.т.} = 1300$ мм) позволило существенно расширить границы бедного срыва пламени, снизить выбросы NO_x на природном газе до 9 ррт и обеспечить устойчивый процесс горения при доле пилотного топлива $>3\%$.

Схема выносной МЭКС ГТУ ТНМ 1303-10 компании "Сименс". Двухтопливная одnogорелочная низкоэмиссионная камера сгорания с керамической облицовкой жаровой трубы



Фронт с горелками малого размера регулируется при изменении мощности с помощью подачи (отключения) топлива в различные группы горелок. Устойчивость горения обеспечивается за счет установки четверть волновых резонаторов

Кольцевая МЭК с многорелочным фронтом ГТУ LM-6000 компании GE



Оригинальная многостадийная схема сжигания бедных смесей. Развитая система давления пульсаций в воздушном и топливном подводящих трактах МЭК и в жаровой трубе. Объем поглотителей превышает объем жаровой трубы

МЭК с развитой системой поглощения пульсаций давления ГТУ Trent 60 компании Rolls-Royce

Кроме того, добавились:

- горение, стимулированное низкотемпературной неравновесной плазмой, в том числе и низкотемпературное сжигание ультрабедных топливоздушных смесей;

- плазмохимический пиролиз, газификация и сжигание низкокалорийных топлив.

Эти направления включают целый комплекс исследований, а именно, анализ элементарных реакций квантово-химическими методами, построение новых реакционных механизмов не только для описания воспламенения и горения, но и формирования различных экологически опасных компонентов (NO_x , N_2O , HNO_2 , HNO_3 , H_2SO_4 , органика, SO_x , H_2SO_4 , CO , CO_2 , полиароматические углеводороды, сажевые частицы, диоксины), численное моделирование процессов горения и главное - проведение экспериментальных исследований как кинетики протекания реакций, так и самих процессов горения в камерах сгорания.

В настоящее время большинство ведущих фирм и исследовательских центров проводят системную работу по разработке кинетической теории горения. Главной особенностью таких работ является параллельное проведение расчётных и экспериментальных исследований. Главной целью последних служит обеспечение расчётных моделей эмпирическими зависимостями и данными для идентификации расчётных моделей. При этом экспериментальные исследования отмечаются большой информативностью, получаемой широким применением лазерных методов исследования. Например, такие исследования в центре им. Гленна (США) проводятся уже на протяжении более чем шести лет на специально разработанной экспериментальной камере сгорания, имеющей квадратное поперечное сечение. Стенки камеры сгорания прозрачные с четырёх сторон. Специальные лазерные системы измеряют мелкость распыливания, поля скоростей, распределения концентраций CH , OH , CO_2 . Впечатляет информативность лазерных методов - экспериментально получают поля параметров, аналогично расчётным.

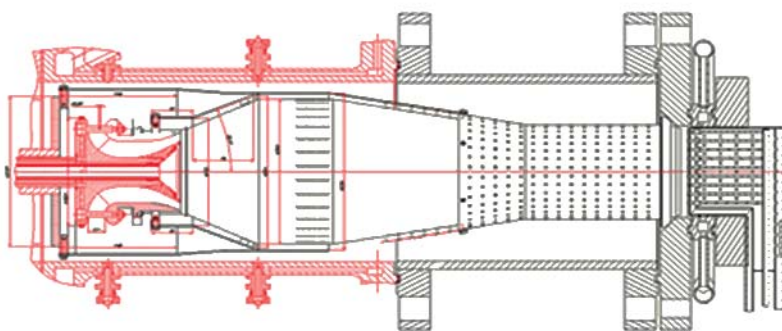
Такие исследования являются серьёзной базой для развития методов расчёта кинетических характеристик камеры сгорания.

Проблема вибрационного горения в НКС является острой проблемой, заметно тормозящей разработку технологий низкоэмиссионного горения и создания работоспособных конструкций камер. Как показывает опыт фирм, решение проблемы вибрационного горения занимает большую часть всего времени по доводке НКС. В настоящее время практически отсутствуют методы расчёта границ вибрационного горения для низко- и высокочастотных колебаний давления.

Созданная в ЦИАМ программа "Аэрокамб" даёт вероятностную оценку возникновения термоакустических колебаний. Это авторская программа, к сожалению пока не доступная для широкого круга разработчиков. Необходимо разрабатывать такие программы расчёта, которые не только могли достоверно прогнозировать частотные диапазоны термоакустических колебаний, но и давали бы в руки исследователей инструмент по предотвращению колебаний давления. Нужно предусмотреть возможность переноса результатов стендовой доводки НКС на реальный двигатель, имеющий другие граничные условия на выходе из камеры сгорания. Помимо методов пассивного подавления колебаний давления путем организации диссипации энергии колебаний на различных демпфирующих устройствах, необходимо разрабатывать методы предотвращения вибрационного горения путём управления генерацией энергии колебаний. Эти направления расчётно-экспериментальных исследований являются весьма актуальными, они являются важной составляющей перспективных исследований. Развитие методов расчёта кинетических характеристик и характеристик вибрационного горения низкоэмиссионных камер сгорания является одной из важнейших ближайших задач.

Отсутствие достоверных методик расчёта основных характеристик низкоэмиссионных камер сгорания, таких, как уровень эмиссии NO_x и CO , границ вибрационного горения - не позволяет прогнозировать характеристики НКС при начале её разработки. Эти свойства камеры проявляются лишь в процессе её экспериментальной доводки. Многофакторность влияния на указанные характеристики давления, температуры, состава смеси, степени и качества гомогенизации топливо-воздушной смеси, доли пилотного топлива, граничных условий на выходе из камеры сгорания делает такую доводку интуитивно-эмпирической. Практическое отсутствие стендов с натурными параметрами по давлению и температуре превращает доводку в многоступенчатый процесс с непредсказуемым результатом. Практически отсутствует банк систематизированных и обобщённых данных для различных типов горелок и камер сгорания, без которого невозможно

Одногорелочная трубчатая МЭК с горелкой без закрутки газа и с центральной SOT больших размеров, существенно расширяющей границы бедного срыва пламени. Устойчивость горения достигнута без подачи пилотного топлива



МЭК, разработанная в ЦИАМ для ГТУ с $\pi_k = 30$

хотя бы приблизительно ориентироваться при доводке низкоэмиссионных камер сгорания. Поэтому, в настоящий момент требуется разработка научных основ методик создания и доводки НКС, которая на основе разрабатываемых методов расчёта эмиссионных характеристик, границ вибрационного горения и обобщения экспериментальных данных предоставила бы разработчикам НКС обоснованный путь получения заявленных характеристик НКС в реальные сроки.

Основные исследования и разработки технологий низкоэмиссионного горения за рубежом и у нас проводились для газозо-воздушных топливных смесей. Систем низкоэмиссионного горения жидкого топлива в "сухой" схеме разработано немного. Хорошо известна двухтопливная горелка АЕУ фирмы "Алстом Пауэр". Она обеспечивает эмиссию NO_x на номинальном режиме без впрыска воды на уровне 20...40 ppт. Известны разработки жидкостных низкоэмиссионных горелок фирмы "Солар". Остальные фирмы, например, "Дженерал Электрик" для снижения эмиссии широко используют впрыск воды.

В последнее время многие зарубежные исследовательские центры стали разрабатывать альтернативные LPP схемы, такие как схему непосредственного впрыска жидкого топлива в объёме "бедного" процесса LDI, и организацию горения по принципу "богато-бедного" горения

В первом случае жидкое топливо впрыскивается в камеру сгорания с расходом, обеспечивающим состав смеси для низкоэмиссионного горения. Благодаря повышенному давлению горючего и интенсивной закрутки потока воздуха (при угле установки лопаток завихрителя до 60°) перемешивание быстро испаряющегося жидкого горючего завершается уже на расстоянии 5...8 мм от плоскости огневого днища. Дальнейший процесс горения протекает уже

как горение предварительно перемешанной смеси. По данным работ американского центра им. Гленна такая схема при своей простоте реализации обеспечивает весьма низкую эмиссию NO_x .

Аналогичные результаты получены на схеме "богато-бедного" горения, которая, несмотря на более сложную схему организации рабочего процесса, даёт удовлетворительные результаты по снижению эмиссии NO_x .

Специалисты России и Украины, приступившие к разработкам низкоэмиссионных камер сгорания с большим отставанием, в настоящее время к новым схемам только присматриваются, а работы по ним находятся на начальной стадии.

Особо я хотел бы остановиться на каталитической КС, отработанной ЦИАМ с Институтом катализа СО РАН (академик Пармон В.Н.), на катализаторах в десятки раз дешевле полладия и с ничтожной эмиссией NO и CO (~ 1 ppт). Но очевидно, что такая камера реальна для сравнительно маломощных наземных ГТУ.

Необходима в России более широко и интенсивно развернуть работы по исследованию новых схем организации рабочего процесса и на жидком топливе, что позволит решить не только проблему создания НКС для ГТУ (а у нас на газоперекачке и электроэнергетике уже более 3000 ГТУ), но и разработать НКС для авиационных ГТД, уровень эмиссии которых пока существенно уступает иностранным. Это является приоритетной задачей на ближайшее время.

Для выполнения этих объёмных и длительных исследований требуются квалифицированные кадры. Привлечение молодых специалистов в эту интереснейшую сферу научных исследований, создание для них комфортных условий работы, стимулирование результатов их исследований является важнейшей задачей для руководителей предприятий и исследовательских центров. **А**



КОНКУРС

Союз авиапроизводителей

6 декабря 2012 г. подведены итоги конкурса "Авиастроитель года" за 2011 год.

Несмотря на вековую историю авиационной промышленности России, подобный конкурс проводился впервые.

Учредителями конкурса выступили: НП "Союз авиапроизводителей", ОАО "ОАК", ОАО "УК "ОДК", ОАО "Вертолеты России" и ЗАО "АКБ "Новикомбанк". Генеральный партнер:

Государственная корпорация "Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)". Официальные партнеры: ОАО "Авиатехприемка", ОАО "Уралэлектромедь" (дочернее предприятие ОАО "УГМК") и ОАО "Каменск-Уральский металлургический завод". Конкурс проводится при поддержке Правительства г. Москвы, ГК "Ростехнологии" и Союза машиностроителей России. Церемонию награждения открыл Председатель Оргкомитета и Экспертного совета конкурса, генеральный директор ФГУП "ЦАГИ" Борис Алешин.

Конкурс проводился по 14 номинациям.

В номинации "За создание новой технологии" победителем стал ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова"; на 2-м месте - Евгений

Феофилов (ОАО "Камов"); 3-е место - у Аиды Хурумовой (ФГУП "НИИСУ"). Победителя и лауреатов поздравили депутат Государственной Думы Федерального собрания РФ Сергей Штогрин и президент, генеральный конструктор ОАО "РПКБ" Гиви Джанджава.

Поздравляем коллектив отдела авиационных приводов, руководимый Виктором Васильевичем Головановым, чья работа по системе диагностики редукторов, агрегатов приводов вертолётов различных типов, а также коробок приводов агрегатов двигателей, позволяющей предотвратить отказы, в том числе аварийные, принесла институту диплом победителя. Желает дальнейших успехов на ниве внедрения самых современных технологий в отечественном авиастроении. **А**



ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН В СИСТЕМЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГТД



ГНЦ ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова":

Алексей Сергеевич Дрыгин, старший научный сотрудник, к.т.н.

Александр Александрович Евстигнеев, научный сотрудник

Анатолий Сергеевич Полев, начальник отдела, д.т.н.

Юрий Александрович Эзрохи, начальник сектора, к.т.н.

Разработана и адаптирована в системе газогенератора математическая модель многоступенчатого осевого компрессора, основанная на результатах экспериментальных исследований лопаточных венцов в виде зависимостей углов отставания и коэффициентов потерь от геометрических параметров на среднем радиусе струйки тока (углов установки, толщины и кривизны профиля, длины хорды, густоты), угла атаки и скорости набегающего потока. Продемонстрированы возможности изложенной методики на примере исследования влияния некоторых вторичных факторов на характеристики компрессора в системе газогенератора.

The mathematical model of the multistage axial compressor in engine core has been developed and verified. This model based on test results of compressor blade rows which deviation angles and pressure losses have been researched as functions of middle radius geometric parameters (in-stallation angles, a profile thickness and curvature, chord length, solidities and others), an attack angle and flow velocity. Developed mathematical model capabilities have been demonstrated by example research of some secondary factors influence engine core compressor characteristics.

Ключевые слова: авиационный газотурбинный двигатель, лопаточный венец, многоступенчатый осевой компрессор, расчет характеристик многоступенчатого осевого компрессора, повенцовая модель компрессора.

Keywords: aviation gas turbine engine, blade row, multistage axial compressor, calculation of multistage axial compressor performances, compressor blade row mathematic model.

В настоящее время при создании авиационных газотурбинных двигателей широко применяется математическое моделирование различного уровня сложности. Получение наиболее достоверных данных о двигателе с помощью его математической модели (ММ) зависит от детальности моделирования составляющих двигатель узлов и элементов, прежде всего лопаточных машин (вентилятора, компрессора, турбин). Наиболее распространенный способ описания этих узлов в математической модели ГТД производится с помощью характеристик, позволяющих описывать каждый элемент в целом как "черный ящик" с четко выраженными входными и выходными параметрами, что по принятой классификации [1] соответствует нулевому уровню моделирования узлов и первому уровню моделирования двигателя в целом.

Однако при математическом моделировании работы авиационного двигателя часто необходимо применять более детальное описание его узлов в системе ГТД. Задача заключается в выборе рациональных подходов к построению таких моделей и особенно способов описания вентиляторов и компрессоров в математической модели двигателя, отвечающих некоторым, во многом противоречивым, требованиям. Среди них, например, такие:

- ограничение объема алгоритмов, неизбежное при их включении в математическую модель двигателя, не должно приводить к значительной потере информации о характерных особенностях течения (потери, углы поворота, "запирание горла" межлопаточного канала и др.);

- математические модели, применяемые для определения параметров вентиляторов и компрессоров, должны быть работоспособны во всем диапазоне эксплуатационных режимов двигателя (в том числе на режимах авторотации, малого газа, запуска, для обеспечения приемистости и др.);

- при математическом моделировании процессов в узлах и элементах ГТД необходимо исключить разрывы функций и другие случаи, вызывающие нарушение устойчивости вычислительных процессов, что позволит использовать наиболее эффективные алгоритмы, основанные на решении больших систем определяющих уравнений [2].

Основная трудность состоит в том, что методы расчета, применяемые при проектировании и доводке лопаточных машин, нельзя непосредственно использовать в математической модели ГТД, так как они не удовлетворяют в полной мере перечисленным

требованиям. Развитие и совершенствование этих методов приводит к их дальнейшему углублению и, соответственно, усложнению (например, созданию трехмерных моделей), что существенно повышает информативность и достоверность получаемых результатов, но еще больше увеличивает разницу между уровнем моделирования течения в элементах ГТД и более низким уровнем моделирования двигателя в целом. Методы повенцового расчета лопаточных машин в системе двигателя, основанные на обобщении экспериментальных характеристик их лопаточных венцов, занимают промежуточное положение и позволяют, чрезмерно не усложняя ММ газотурбинного двигателя, отражать основные особенности рабочего процесса в элементах его компрессоров и турбин.

Работы по отдельным направлениям создания математических моделей высокого уровня, направленные на преодоление этой разницы, проводились в ЦИАМ [1, 3, 4], ВВИА им. Н.Е. Жуковского [5, 7], Казанском авиационном институте [6] и других организациях.

В данной работе на примере математической модели газогенератора исследовались особенности применения ММ авиационных ГТД с полным повенцовым описанием лопаточных машин в системе двигателя. При создании повенцовой математической модели турбины была использована ранее разработанная методика, изложенная в [1, 9], которая здесь подробно не рассматривается.

Для описания осевого компрессора в системе двигателя за основу был взят метод повенцового расчета его характеристик в двухмерной постановке с помощью статистических обобщений эмпирических данных, разработанный в [7] и доработанный в [8].

Исходными данными для расчета являются конструктивные геометрические параметры профиля и межлопаточного канала, а также газодинамические параметры потока во входном сечении.

Поток газа, протекающего через лопаточные венцы, заменяется совокупностью осесимметричных струек тока. Расход газа в струйке тока по длине компрессора считается неизменным. Положение струек тока в межвенцовых зазорах определяется с учетом радиального равновесия [10]:

$$\frac{c_u^2}{r} + \frac{w_s^2 \cos^2 \gamma}{2r^2} \frac{\partial (rtg\gamma)^2}{\partial r} - \frac{w_s^2}{\cos \gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial s} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}. \quad (1)$$

Первое слагаемое в левой части уравнения (1) учитывает закрутку потока, второе - наклон меридиональных линий тока, а

третье - их кривизну. Для определения величины второго и третьего слагаемого требуется построение вычислительной сетки, что значительно усложняет математическую модель компрессора и затрудняет её использование в качестве составной части математической модели двигателя. Поэтому было принято допущение о том, что меридиональные линии тока в межвенцовых зазорах имеют цилиндрическую форму ($\text{tg } \gamma = \partial \gamma / \partial s = 0$). В этом случае уравнение радиального равновесия сильно упрощается и принимает следующий вид

$$\frac{c_u^2}{r} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial r}.$$

Параметры потока в каждой струйке на её среднем радиусе перед лопаточным венцом считаются известными из расчёта предыдущего венца, а после него - определяются по обобщениям экспериментальных характеристик элементарных лопаточных венцов, при этом осевая составляющая скорости потока подбирается так, чтобы в каждой струйке тока обеспечить заданный расход воздуха. Неизвестные для каждого сечения за j -м лопаточным венцом (рис. 1) величины $r_{\text{стр},i}$ и c_{0i} , $i = 1 \dots n_{\text{стр}}$ определяются из решения системы

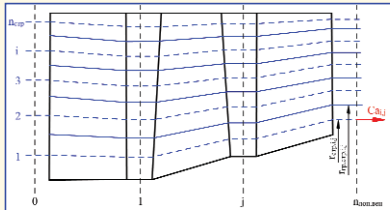


Рис. 1. Модель протекания осесимметричных струек тока через лопаточные венцы

уравнений

$$\begin{cases} G_{i,j} = G_{i,0}, \quad i = 1 \dots n_{\text{стр}}, \quad j = 1 \dots n_{\text{лоп.вен}} \\ \sum_{i=1}^{n_{\text{стр}}} G_{i,j} = G_{\text{в}}, \quad j = 1 \dots n_{\text{лоп.вен}} \\ \frac{c_u^2}{r_{\text{стр},i,j}} = \frac{1}{\rho_{\text{гр.стр},i,j}} \frac{\partial \rho_{\text{гр.стр},i,j}}{\partial r_{\text{гр.стр},i,j}}, \quad i = 1 \dots (n_{\text{стр}} - 1), \quad j = 1 \dots n_{\text{лоп.вен}} \end{cases}$$

В расчётах по изложенной выше методике могут быть использованы любые обобщенные характеристики элементарных лопаточных венцов.

Для тестирования описанной выше методики выполнены расчёты модельной ступени МС-I-A (ВНА+РК+НА, $D_k = \text{const}$), течение в которой было подробно исследовано в [11]. Результаты расчёта ступени МС-I-A по изложенной выше методике с использованием обобщенных экспериментальных характеристик элементарных лопаточных венцов, описанных в [8], представлены на рис. 2. Сплошная

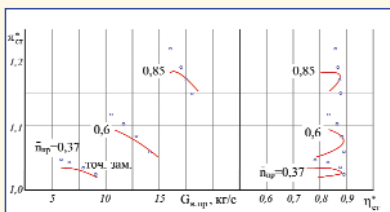


Рис. 2. Результаты расчёта характеристик модельной ступени МС-I-A без согласующих поправок

линия - экспериментальные данные, маркеры - результаты расчёта. Экспериментальные характеристики снимались только на пониженных оборотах, и как видно из рисунка, на этих, существенно отличающихся от проектного режимах работы, наблюдается значительное расхождение результатов расчёта и эксперимента.

Для согласования результатов расчёта и эксперимента были введены поправки на величину коэффициента потерь и угла отставания потока, отклонения значений которых от единицы при безотрывном обтекании лопаточных венцов не превышают 10 %; на режимах, близких к границе устойчивой работы или заклиниванию компрессора, они могут существенно возрастать. Результаты расчёта с такими поправками представлены на рис. 3.

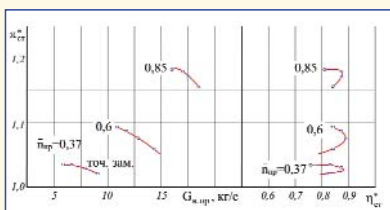


Рис. 3. Результаты расчёта характеристик модельной ступени МС-I-A с согласующими поправками

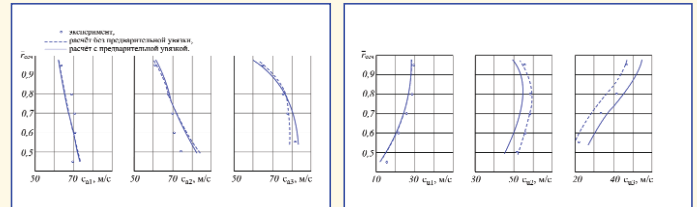


Рис. 4. Распределение кинематических параметров газового потока по высоте лопаток модельной ступени МС-I-A

На рис. 4 показано распределение параметров потока по радиусу в осевых зазорах модельной ступени МС-I-A при относительной частоте вращения $\bar{n}_{\text{пр}} = 0,37$ (окружная скорость в концевом сечении рабочих лопаток $u_k = 130 \text{ м/с}$), и $\bar{c}_{10} = 0,48$. На характеристике ступени (рис. 2 и 3) точка с такими параметрами отмечена как "точка замера".

Частным случаем рассматриваемой методики является расчёт параметров лопаточного венца только по среднему радиусу. Для определения особенностей такого подхода были выполнены расчёты 9-ступенчатого модельного компрессора (МК), по которому имеется большое количество экспериментальных и расчётных данных.

На рис. 5 приводятся распределение по ступеням МК затраченного H_z и адиабатического $H_{\text{ад}}$ напора. Сплошной линией показаны результаты расчёта по повенцовой ММ, а маркерами - проектные данные. Видно удовлетворительное совпадение результатов расчёта и проектных данных.

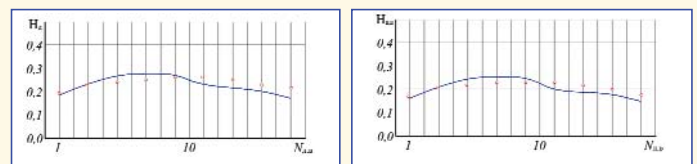


Рис. 5. Результаты расчёта характеристик лопаточных венцов МК

Для демонстрации возможностей изложенной выше методики было исследовано влияние некоторых вторичных факторов на характеристики компрессора в системе ГГ.

На рис. 6,а показано положение напорных веток МК при различной установке регулируемых направляющих аппаратов, причём эта установка может не совпадать с заданной штатной программой регулирования. Видно, что прикрытие направляющих аппаратов приводит к снижению степени повышения давления и смещению напорных веток на меньшие расходы воздуха.

Кроме того, было исследовано влияние величины радиальных зазоров в компрессоре на его характеристики. Расчёты проведены для исходного значения радиальных зазоров и увеличенного на 50 %. На рис. 6,б представлены характеристики компрессора, соответствующие разной величине радиального зазора. Напорные ветки соответствуют относительной приведенной частоте вращения $\bar{n}_{\text{пр}} = 0,9 \dots 1,0$.

Видно, что при увеличении радиальных зазоров на 50 % к.п.д. компрессора снижается на 1,5...2,5 %, происходит смещение напорных ветвей компрессора в сторону уменьшения расхода воздуха, при этом вид напорных линий также искажается. При значении $\bar{n}_{\text{пр}} = 1,0$ расход воздуха уменьшается примерно на 0,5...1 % (в области рабочих значений Δk_y). Наибольшее уменьшение расхода воздуха наблюдается для напорной ветви $\bar{n}_{\text{пр}} = 0,9$ и достигает ~2 %.

Разработанная математическая модель позволяет также исследовать влияние и других вторичных факторов на характеристики ГГ перспективных ГТД. В качестве примера было определено возможное влияние

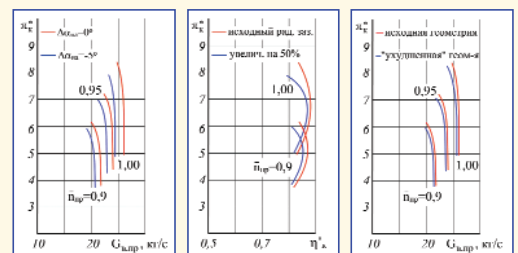


Рис. 6. Влияние вторичных факторов на характеристики МК

яние погрешности в производстве лопаток компрессора. Как известно, наиболее распространённым отклонением в процессе изготовления элементов компрессора является "утонение" кромок лопаток при полировке и фрезеровании. Это приводит к изменению конструктивных углов входа и выхода, а также к уменьшению относительной толщины профиля. Для учёта влияния этих отклонений в ММ входные конструктивные углы лопаток были увеличены на 2 %, а относительные толщины профилей уменьшены на 1 %, что является вполне вероятным диапазоном разброса соответствующих параметров в процессе производства. Результаты расчёта представлены на рис. 6,в. Видно, что "отклонение" геометрии компрессора привело к снижению его производительности и напорности. Было также отмечено некоторое снижение к.п.д.

Таким образом, из представленных выше результатов следует, что разработанная методика, в основном, правильно отражает особенности газовой динамики и может быть использована для расчёта в системе математической модели двигателя осесимметричного течения потока в компрессоре. **П**

Литература

1. Теория двухконтурных турбореактивных двигателей. / Под ред. С.М. Шляхтенко и В.А. Сосунова.-М.: Машиностроение.- 1979.
2. Минимизация в инженерных расчетах на ЭВМ.-М.: Машиностроение.-1981.
3. Бирпер И.А. Основы автоматизированного проектирования. // Изв. ВУЗов "Машиностроение".-1977.-№ 8.
4. Эброхи Ю.А. Математическое моделирование авиацион-

ных ГТД с повенцовым описанием лопаточных машин в системе двигателя. // Вопросы авиац. Науки и техники. Сер. Авиационное телестроение, 1995, № 2.

5. Егоров И. Н., Ефимов И. А. и др. Влияние управления направляющими лопатками турбокомпрессора на дроссельные характеристики двухконтурного двигателя. // Изв. ВУЗов. "Авиационная техника".- 1989.-№ 4.

6. Программный комплекс ГРАД. Описание применения. Универсальная математическая модель ГТД.- Казань.- 1988.

7. Колосов Л.С., Фомин В.Н. Расчет характеристик осевого компрессора с учетом пространственности потока. НММ по вопросам теории и конструкции ГТД. М., ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1978, стр.98-114.

8. Дрыгин А.С. Математическое моделирование многоступенчатого компрессора. НММ по рабочему процессу и характеристикам авиационных силовых установок. М., ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1996, стр.56-64.

9. Дружинин Л.Н., Швец Л.И., Ланшин А.И. Математическое моделирование ГТД на современных ЭВМ при исследовании параметров и характеристик авиационных двигателей. М., Труды ЦИАМ №832, 1979, 45 стр.

10. Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.Т. Теория и расчёт авиационных лопаточных машин. - М.: Машиностроение, 1986.

11. Аэродинамические исследования больших удлинений лопаток осевых компрессоров. / ХАИ. Технический отчёт №73040810 - 1974.

Связь с автором: 30105@ciam.ru

ИНФОРМАЦИЯ

"АВИАДВИГАТЕЛЬ": УСКОРЕННАЯ АДАПТАЦИЯ МОЛОДЫМ СПЕЦИАЛИСТАМ ОБЕСПЕЧЕНА

В 2012 году 50 выпускников ведущих пермских вузовполнили ряды сотрудников ОАО "Авиадвигатель". Для максимально быстрого включения молодых работников в производственный процесс в ноябре текущего года на предприятии стартовал традиционный курс внутрифирменного обучения, получивший неофициальное название "Курс молодого бойца".

В ближайшие три месяца молодых специалистов ожидает цикл еженедельных встреч с топ-менеджерами предприятия и специализированных экскурсий в подразделения ОАО "Авиадвигатель". Руководящий состав компании выступит с тематическими лекциями, на которых молодежь познакомится с историей предприятия, его структурой, выпускаемой продукцией, целями, задачами, перспективами развития и особенностями бизнеса по каждому из направлений деятельности. Обязательным условием и ценнейшей составляющей данного курса является личное общение молодых специалистов с первыми лицами предприятия. "Курс молодого бойца" позволяет "новобранцам" погрузиться в корпоративную атмосферу и подготовиться к плодотворной работе в коллективе предприятия.

Курс внутрифирменного обучения - лишь одно из мероприятий целенаправленной работы с молодежью, позволившей ОАО "Авиадвигатель" изменить к лучшему ситуацию катастрофического дефицита инженерных кадров, характерную для большинства российских промышленных и наукоемких предприятий.

Сегодня ОАО "Авиадвигатель" - молодое, высокообразованное, энергичное и успешное конструкторское бюро. Средний возраст сотрудников предприятия - 42 года,

45 % сотрудников моложе 40 лет, 53 % сотрудников имеют высшее образование. Ежегодно 50-70 выпускников профильных специальностей технических вузов вливаются в команду "Авиадвигателя".

Требования к уровню подготовки претендентов на вакансии довольно высоки, ведь коллективу предприятия ежедневно приходится решать сложные и нетривиальные задачи. Молодые специалисты, принятые в 2012 г., этим требованиям соответствуют: средний балл диплома "новичков" - 4,42, треть из них имеет "красный диплом".

Проблемами привлечения молодежи и преемственности опыта ОАО "Авиадвигатель" занимается почти 10 лет. Результатом молодежной политики, реализуемой на предприятии с 2003 г., стал ощутимый приток молодежи с инженерным образованием и снижением текучести в молодежной группе.

Кропотливая работа с будущими инженерами начинается задолго до их приема в штат: еще на этапе поступления в вуз для обучения на профильных специальностях отбираются наиболее способные и талантливые абитуриенты. Поощрение лучших студентов именными стипендиями "Авиадвигателя", продуманная система практики и стажировки, перенос части учебного процесса на предприятие, при-

общение студентов к корпоративной культуре - все это помогает студенту осознанно сделать выбор работодателя. Статус молодого специалиста "Авиадвигателя" для выпускника технического вуза, не имеющего опыта работы, предусматривает особую систему отбора и систему оплаты труда, дополнительные социальные льготы и преференции, наличие персонального наставника. На предприятии создана и развивается молодежная среда, используются все методы и инструменты обучения персонала, стимулирующие инновационное инженерное мышление. Молодежь получает реальный приоритет в распределении всех ресурсов предприятия.

Уникальная молодежная политика ОАО "Авиадвигатель" получила признание и одобрение на федеральном уровне: в 2009 г. "Авиадвигатель" стал победителем всероссийского конкурса "Работодатель Года молодежи: инженерные кадры для инновационной России" в номинации "Мастер-класс" за лучшую практику поддержки учебных заведений и сотрудничества с ними.

Постоянный приток молодых перспективных специалистов способствует динамичному развитию компании, обеспечивает непрерывную трансляцию производственного опыта и формирование достойной смены работников старшего поколения. **П**

ИЗ СТЕНОГРАММЫ ЗАСЕДАНИЯ ОСНОВАТЕЛЕЙ ЦИАМ В ПАРТКОМЕ ИНСТИТУТА, 1957 г.

Георгий Петрович Свищёв, начальник ЦИАМ им. П.И. Баранова



Товарищи!

Трудно подытоживать в такой волнующий вечер воспоминаний, трудно говорить о задачах института в этих условиях.

Мне кажется, что почти все присутствующие здесь на 20-25 лет моложе стали за сегодняшний вечер.

Мне хочется сказать, что существенно новым, что принесла Октябрьская революция в развитии отечественной науки (на это нужно обратить внимание) является создание отраслевых научно-исследовательских институтов, таких, как ЦАГИ, созданный в 1918 г. таких, как ЦИАМ и многих, многих других. Если мы вспомним организацию науки у нас в России до революции, то обратим внимание на то, что отраслевых институтов в сущности практически не было. Годы пятилеток, а ЦИАМ является детищем первой пятилетки, годы индустриализации страны, годы становления обороны государства на рельсы продукции отечественного производства, естественно, вызвали к жизни и создание такого сложного института, на формирование которого ушел довольно длительный отрезок времени.

Здесь очень подробно, хорошо, образно и ярко рассказывали товарищи о первом десятилетии деятельности института и о втором десятилетии его существования.

Я хотел бы обратить внимание на то, что мы живем в очень бурную, быстро развивающуюся эпоху, эпоху, когда техника необычайно быстро обновляется. Если на смену паровой машины нужны были столетия, то сейчас уже такой период, как десятиле-

тие, означает развитие техники - начало данной отрасли, бурный взлет и последующая смена. В частности, развитие авиационной и ракетной техники идет именно такими быстрыми шагами.

Надо сказать, что ЦИАМ в том виде, как он формировался в 1945 г., году окончания Великой отечественной войны [высказывание относится к 1957 году!!! (редакция)], очень быстро сумел овладеть новой отраслью двигателестроения - газотурбинным двигателем и занять весьма высокое руководящее место в этой области двигателестроения. Не будет преувеличением сказать, что немыслимо отечественное двигателестроение последние 10 лет без деятельности ЦИАМ. Мы его не можем себе представить. Здесь нет ни грамма преувеличения, потому что те кадры, которые сформировались в институте, те лаборатории, которые были созданы, та экспериментальная база, которая год от года создавалась, явились тем базисом, той основой, на которой были вскрыты основные закономерности, управляющие процессом в этих двигателях. Были созданы новые разработки по важнейшим узлам и элементам этих двигателей. Наконец, была создана просто лабораторная база, где могли испытываться двигатели в высотных условиях. В тот же период была заложена основа новой экспериментальной базы института, которая в значительной степени позволила вскрыть ряд новых закономерностей.

Осень 1957 г. ознаменовалась выдающимся событием - созданием первого советского спутника Земли, который был создан на основе баллистической ракеты. Это новая веха нашего столетия. Выдающееся создание техники и науки. Всем нам ясно, что в этих условиях возникают новые задачи перед авиационной техникой и перед нашим институтом. Я думаю, что наш коллектив с такими хорошими традициями, с большими конструкторскими кадрами, с такой закалкой, которую он имеет, успешно будет овладевать этими новыми направлениями в деятельности, которые стоят перед нашим институтом.

Деятельность института высоко была оценена партией и правительством, получили награды многие работники за создание новой, все более совершенной техники.

Опираясь на те кадры, которые у нас имеются, о которых сегодня так хорошо и тепло говорили, и учитывая те традиции, которые сохранились в институте и которые будут в дальнейшем умножаться, мы можем сказать, что мы смело смотрим в будущее нашего института, в будущее развитие нашей авиационной ракетной техники (аплодисменты).

А

ПАМЯТЬ



В начале декабря 2012 г. на 95-м году жизни скончался старейший моторостроитель России, замечательный инженер и научный работник, храбрый воин Великой войны, давний друг и автор нашего журнала и просто хороший человек Александр Григорьевич Романов.

Он был последним свидетелем и самым непосредственным участником создания в нашей стране газотурбинных двигателей В.В. Уварова Э3080 и Э3081. Если бы не война, то история мирового газотурбостроения их си-

лами была бы написана иначе.

Войну Александр Григорьевич отвоевал с самого начала и до

Победы. И с самого ее первого дня, с первого же предательского налета люфтваффе, пережитого под городом Лида, и до самых последних выстрелов, уже под Берлином и Дрезденом, он работал с авиационными моторами, находясь порою почти вровень с передовыми частями у поля боя. И когда, время от времени, сопровождая новую партию техники, ему удавалось попадать в Москву, он непременно заходил в ЦИАМ - узнать, как идут дела у Уваровской группы газотурбинистов, подышать воздухом творчества.

Александр Григорьевич длительное время был представителем ЦИАМ при Куйбышевском авиадвигательном заводе. У него получилось то, что редко кому удавалось: завоевать доверие как специалиста и товарища по работе у великого Генерального конструктора Н.Д. Кузнецова.

Турбины всех газотурбинных двигателей разных ОКБ, созданных в СССР, и их поздние наследники, несут в себе часть таланта Александра Григорьевича. И это - лучшее что может оставить о себе деятельный специалист - инженер и учёный.

Вечная вам память, глубокое сочувствие родственникам и друзьям. Спасибо, что Вы были с нами.

А

Редакция журнала "Двигатель"

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ БОЛЬШОЙ ТЯГИ



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

14 декабря 2012 г. в ЦИАМ им. П.И. Баранова прошёл Экспертный совет при Научно-координационном совете по координации, научно-техническому и организационному сопровождению реализации федеральной целевой программы "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года".

На этом совещании, проходившем под председательством Б.С. Алешина - генерального директора ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, присутствовало около трёх десятков руководителей Корпораций авиастроительной отрасли, научных институтов, административных органов, виднейших технических специалистов и экспертов.

На повестке дня стоял единственный вопрос: "Создание в России авиационного двигателя большой тяги (30 тс и более) и оценка возможности использования научно-технического задела, полученного в рамках создания авиационного двигателя НК-93".

И в решениях Экспертного совета записан за номером 5 совершенно редкостный для нашей практики пункт: "Рекомендовать ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" опубликовать в средствах массовой информации статью по тематике данного заседания Экспертного совета". Именно по этому пятому пункту появилась данная статья: в приведённом материале выводов и обобщений, не основанных на документах, не будет.

На Экспертном совете, в частности, было отмечено, что для России потребности в двигателях большой тяги ($R_{взл} = 25...35$ тс и более) связаны с перспективами создания новых дальнемагистральных пассажирских и транспортных самолетов, а также с ремоторизацией самолетов Ан-124 с целью повышения их грузоподъемности. Но определение продуктовой политики ОАО "ОАК" применительно к указанным новым самолетам в настоящее время находится на начальном этапе, что не позволяет сформулировать конкретные требования к требуемому диапазону тяги рассматриваемых двигателей.

По вопросу оценки возможности использования наработок, полученных в результате работы над НК-93 страсти бушуют уже не один десяток лет. И бытует достаточно устойчивое мнение, что это и есть тот самый "прорывной продукт", позволяющий, в случае применения, резко обогнать всех конкурентов в области авиационного двигателестроения большой мощности, но только его внедрение за чем-то кем-то тормозится: возможно, с подачи тех самых конкурентов. Вопрос создания НК-93 неоднократно рассматривался на различных совещаниях в ЦИАМ. Сейчас стало ясно, что надо соб-

рать достаточно авторитетное сообщество специалистов и, наконец, "расставить все точки над i" в этом вопросе.

Что же и как же на самом деле?

Двигатель НК-93 был заложен в конце 1980-х годов на базе освоенных к тому времени в АНТК, (позже - ОАО "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", ныне ОАО "Кузнецов") конструктивно-технологических решений по газогенератору и новых решений по винтовентилятору. Он разрабатывался взамен двигателя НК-92, создание которого было предусмотрено постановлением СМ СССР № 1309-187 от 06.12.1990 и приказом Министра авиационной промышленности № 10 от 15.01.1991 г. в обеспечение создания военно-транспортного самолета Ил-106. Двигатель должен был удовлетворять уникальным требованиям: высоким отношением взлётной тяги к тяге крейсерской (для обеспечения короткого взлёта с грунта); невысокой скорости продолжительного полёта ($M_{кр} = 0,75$) на большой высоте; короткий пробег при посадке; специальным условиям компоновки двигателя на самолёт. Этим требованиям в максимальной степени удовлетворял двигатель с закапотированным биротативным винтовентилятором (БВВ), приводимым через редуктор, со степенью повышения давления $\pi_{\kappa}^* = 1,22...1,27$ и с регулируемым углами установки лопаток. Под эту работу в Ступино был спроектирован и создан специальный перспективный винтовентилятор СВ-92 с композитными лопатками и регулятор РСВ-92, которым должен оснащаться двигатель (в реальности регулятор с двигателем не испытывался). К сожалению, и проект самолёта Ил-106 не был реализован, что, естественно, самым негативным образом отразилось и на судьбе НК-93.

Двигатели подобных схем рассматривались в 80-90 гг. зарубежными фирмами. Это, например, такие проекты, как CRISP (MTU совместно с PW) или Controfan (RR). Предполагалось, что они могут обеспечить снижение удельного расхода топлива на 10...15 %. Двигатели этих проектов обладали вдвое большей площадью входа в воздухозаборник по сравнению с ТРДД обычных схем. Эти работы были прекращены фирмами из-за сложности компоновки на самолёте и повышенного уровня шума вентилятора.

В настоящее время разрабатываются двигатели с редукторным приводом вентилятора, однако степень повышения давления во всех них существенно выше, чем у НК-93, что позволяет уменьшить диаметр и вес мотогондолы, уменьшить её внешнее сопротивление и увеличить крейсерскую скорость полёта, а также - не использовать поворотные лопатки на винтовентиляторе.

Приказом МАП № 64 1991 г. был утверждён план-график создания двигателя НК-93. Согласно этому приказу, устанавливались сроки создания двигателя - 1991-1996 гг., предъявление его на ГСИ - IV квартал 1996 г., а начало серийного выпуска - 1997 г. Приказ не был отменён. Отменили МАП. И в той экономической чересполосице, какая имело место быть, понятно, что до завершения этот приказ никто не довёл.

Опытно-конструкторские работы по двигателю были начаты без наличия достаточного научно-технического задела (НТЗ), прежде всего, по новым узлам (БВВ, "тонкая" гондола, планетарно-дифференциальный редуктор большой мощности с высоким ресурсом, система автоматического управления БВВ). Отсутствие должного НТЗ не позволило ОКБ обеспечить требуемые



Рис. 1. Н.Д. Кузнецов у своего последнего двигателя

параметры двигателя (к.п.д. узлов, массовые характеристики, работоспособность БВВ и др.).

Первый экземпляр опытного (демонстрационного) двигателя НК-93 был создан в 1991 г. Всего в доводке находились 10 двигателей, из которых два - с композиционными лопатками винтовентилятора. Суммарная наработка двигателей составляет 3600 ч.

Газогенератор двигателя в 1999 г. прошел испытания в ТБК ЦИАМ в имитируемых условиях полета ($H = 11$ км, $M_p = 0,75$). По результатам этих испытаний недоборы к.п.д. (после 8 лет доводки) составили: $\Delta\eta_{кнд}^* = 1,8 \%$, $\Delta\eta_{квд}^* = 1,4 \%$, $\Delta\eta_{твд}^* = 7,1 \%$, $\Delta\eta_{тнд}^* = 2 \%$. По результатам увязки параметров двигателя в стендовых условиях недобор к.п.д. винтовентилятора $\Delta\eta_{вв}^* = 1...1,5 \%$, к.п.д. турбины винтовентилятора $\Delta\eta_{твв}^* = 1 \%$. Из-за недоборов к.п.д. фактическая температура газа перед турбиной на взлетном режиме превысила расчетную температуру более, чем на 140°C , а удельный расход топлива на крейсерском режиме работы превысил заявленное значение на 9% (по оценке ЦИАМ).

В марте 2003 г. ОАО "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" совместно с ЦИАМ был разработан план мероприятий по повышению к.п.д. узлов и снижению температуры газа перед турбиной и определен перечень работ по доводке двигателя. Согласно этому перечню необходимо доработать практически все узлы и системы двигателя, провести комплекс доводочных работ по винтовентилятору и его системе управления, а также разработать штатную электронную систему автоматического управления (САУ) и контроля. Только при этих условиях возможно достижение требуемых показателей надежности и ресурса двигателя. Работы по указанному плану в период 2003 - 2009 гг. не проводились. На выполнение этих работ по оценке ЦИАМ потребуется 5-7 лет.

Доводка двигателя так и находится на начальном этапе, выполнено $\sim 10 \%$ необходимых работ, окончательный конструктивный профиль двигателя (типовая конструкция) до сих пор не определен. Лопаточные машины двигателя выполнены на уровне технологий 1980-х годов (с большим числом ступеней в компрессоре). Штатной САУ до сих пор нет. Масса двигателя НК-93 № 10 (по данным ОАО "СНТК им. Н.Д. Кузнецова") составляет 6364 кг вместо 5140 кг по ТЗ (превышение на 24%).

Дополнительно к сказанному: в связи с закрытием темы по Ил-106 была проведена оценка возможности применения двигателя НК-93 на других машинах схожего класса. По результатам этих работ можно прийти к выводу, что применение НК-93 с достигнутыми характеристиками привело бы к уменьшению дальности полета Ту-214 и Ил-96-300 на $7...8 \%$ по сравнению с применением на них ПС-90А.

Есть и ещё одно существенное обстоятельство, которое нельзя выбросить из рассмотрения при анализе данной тематики. Это - вопросы сертификации двигателя.

Дело в том, что сертификационный базис и планы сертификации двигателя НК-93 были утверждены в 2001 г. и в настоящее время срок действия заявки на сертификацию истек. Кроме того, в 2011 г. пересмотрены Нормы летной годности АП-33 с включением в них дополнительных требований, содержащихся в зарубежных нормах: по стойкости к забросу крупной стайной птицы, обеспечению возможности полета при определенных дефектах САУ, предотвращении вылета ротора вентилятора в направлении полета при разрушении вала и др. Изменились и требования к сертификации комплектующих и узлов двигателя. При повторном составлении заявки на сертификацию двигателя НК-93 несомненно потребуются пересмотр сертификационного базиса с учетом современных требований по обеспечению безопасности полетов, которые не учитывались при проектировании двигателя. Суммируя сказанное, становится ясно, что двигатель в существующей компоновке не может быть сертифицирован. Для проведения его сертификации необходимо было бы обновить сертификационный базис и составить новые планы сертификации.

С учетом всего выше приведенного, специалистами ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова в 2009 году было выпущено Заклю-



Рис. 2. Создатели и испытатели НК-93 в ЛПИ у летающей лаборатории

ние о состоянии работ по двигателю НК-93.

В нём, кроме выше приведенного, отмечалось, что в 2006 г. двигатель НК-93 № 10 с демонстрационной САУ был установлен на летающей лаборатории (Ил-76ЛЛ). Выполнено пять полетов: в 2007 г. - два полета Ил-76ЛЛ с неработающим двигателем НК-93 для отработки систем ЛЛ; в декабре 2008 г. - три полета ЛЛ до высоты 2000 м со скоростью $350...600$ км/ч; из них два полета при авторотирующем двигателе, третий при работе двигателя на режиме от малого газа до $0,4$ максимально-продолжительного. Ограничения по САУ не позволили получить более высокие режимы работы двигателя. Таким образом, цели летных испытаний, состоящие в демонстрации новых технических решений (регулируемый биротативный винтовентилятор с реверсом тяги, редуктор, система управления ВВ и др.) и выявлении реальных тягово-экономических характеристик силовой установки сверхбольшой степени двухконтурности в обеспечение создания научно-технического задела для перспективных авиационных двигателей, не могли быть достигнуты. Посчитали, что при имеющихся недочётах, особенно при отсутствии штатной САУ далее проводить лётные испытания нецелесообразно.

Этот вывод специалистов означает единственное: работоспособность конструкции доказана, параметры определены наземными испытаниями, а прежде, чем проводить лётные испытания и сертифицировать машину, необходимо произвести весь комплекс работ, который мы упомянули в данной статье. И попытка спекулировать на том, что данная, обладающая уникальными возможностями, конструкция, должна быть безо всяких доработок запущена в серию - не более, чем профанация и курс на бесславную гибель хорошего дела и мощные затраты средств.

Для всестороннего рассмотрения этого вопроса в 2011 г. в ЦИАМ состоялось совещание по вопросам возможных направлений использования НТЗ, созданного при разработке авиационного двигателя НК-93, и целесообразности завершения его летных испытаний. На совещании была отмечена важность обобщения и сохранения созданного научно-технического задела по узлам двигателя и перспективным конструкторским решениям: планетарно-дифференциальному редуктору большой мощности, реверсированию поворотом лопаток биротативного вентилятора, композитной гондole и ее обтеканию на различных режимах работы двигателя и др. для последующих разработок перспективных двигателей. Был сформулирован ряд предложений по возможным направлениям формирования НТЗ с использованием материальной части

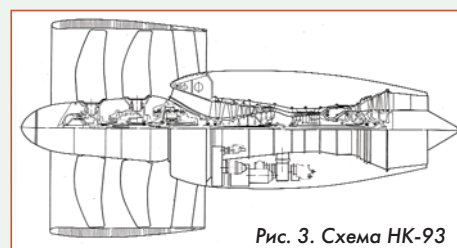


Рис. 3. Схема НК-93

двигателя НК-93 (по облегченным рабочим и статорным лопаткам вентилятора, подшипникам скольжения в редукторе, перспективным технологиям в редукторе и др.).

Генеральный директор ЦИАМ (в настоящее время - его научный руководитель) В.А. Скибин, подводя итоги совещания, предложил его участникам подготовить свои предложения по содержанию и ожидаемым результатам летных испытаний двигателя НК-93, а также целесообразности их использования в перспективных разработках с обоснованием сроков, объема подготовительных работ и стоимости. После обобщения предложений представить их руководству Минпромторга РФ и ОАО "УК "ОДК" для принятия решения.

По результатам этого совещания и был подготовлен Экспертный совет, с упоминания которого я начал эту статью. А по разработкам двигателя большой мощности совет ответил следующее. Из анализа тенденций развития мирового рынка авиационной техники следует, что для обеспечения конкурентоспособности перспективные двигатели большой тяги в период после 2025 г. должны обеспечить снижение уровня шума более чем на 20 EPNдБ (по сравнению с нормами Гл. 4 ИКАО), эмиссии NO_x - на 40...60 % (по сравнению с нормами 2008 г.), иметь наработку на выключение в полете более 300 тыс. ч, ресурс основных деталей - не менее 20/40 тыс. полетных циклов, наработку на крыле - более 15...20 тыс. ч, удельный расход топлива - на 15...20 % меньше по сравнению с уровнем двигателей 4+ поколения. Столь высокие требования предопределяют необходимость создания нового двигателя 5/5+ поколения. По мнению Экспертного совета, модификации двигателей 4 поколения (Д-18Т, НК-93, НК-32) не позволят обеспечить выполнение указанных требований.

По предварительным оценкам затраты на создание конкурентоспособного на мировом рынке двигателя в классе тяги 30...35 тс могут составить 120...150 млрд рублей (в ценах 2012 г.). Следует учитывать, что ведущие западные двигателестроительные фирмы не заинтересованы проводить работы по созданию двигателей такой тяги совместно с двигателестроительной отраслью России, т.к. ими уже созданы двигатели 5 поколения в данной продуктовой нише ("Дженерал-Электрик" - Gen X, GP 7200, "Пратт-Уитни" - GP 7200, "Роллс-Ройс" - Trent 500, Trent 900, Trent 1000) для самолетов A380, A340 и B787.

С целью минимизации рисков (экономических, технических, технологических и организационно-управленческих рисков, рисков системы ППО, рисков в продвижении продукта на рынок), связанных с реализацией Программы создания двигателя большой тяги, необходимо предусмотреть в рамках ФЦП "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002 - 2010 годы и на период до 2015 года" проведение НИР по созданию научно-технического задела (2-4 уровни готовности технологий), включая следующие направления:

- определение и оценка возможных вариантов технических обликов ТРДД нового поколения с большой степенью двухконтурности, редукторным или безредукторным приводом вентилятора, с элементами систем "интеллектуального" и "электрического" двигателя и т.д.;
- предварительное технико-экономическое обоснование Программы создания двигателей большой тяги с учетом затрат на создание новой экспериментальной и производственной базы;
- разработка рекомендаций по реализации требований ЕТОПС на > 300 мин.;
- отработка новых науч-

но-технических решений и исследования технологий на моделях и экспериментальных образцах основных элементов, узлов и систем;

- разработка требований к номенклатуре и характеристикам новых экспериментальных стендов и летающей лаборатории для отработки и испытаний двигателей большой тяги.

Экспертный совет 14 декабря 2012 г решил:

1. Рекомендовать Департаменту авиационной промышленности Минпромторга России в рамках ФЦП "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002 - 2010 годы и на период до 2015 года" провести комплексную научно-исследовательскую работу по определению рационального технического облика двигателя большой тяги с учетом его применения на новых пассажирских большой вместимости и транспортных большой грузоподъемности самолетах по требованиям, разработанным ФГУП "ЦАГИ" и ОАО "ОАК".

2. При проведении этой НИР изучить вопрос целесообразности применения перспективного двигателя большой тяги при модернизации Ан-124.

3. Указанная НИР должна базироваться на использовании научно-технического задела, создаваемого для двигателей 5/5+ поколения, и опыта, накопленного при разработке и доводке двигателя НК-93.

4. Учитывая специфические требования, предъявлявшиеся при закладке двигателя НК-93, применение в его газогенераторе технологий 1980-х годов, недовершенство всех узлов двигателя и значительное ухудшение интегральных показателей (массы, удельного расхода топлива, температуры газа перед турбиной) по сравнению с их проектными значениями, отсутствие системы управления винтовентилятором, возобновление опытно-конструкторских работ по двигателю НК-93 считать нецелесообразным...

Хочется завершить эту статью конкретизацией проблемы. Столь сложное, долгое и затратное дело, как наработка научно-технического задела не может быть задачей отдельных НИИ или даже отдельно взятой авиадвигателестроительной подотрасли. Нигде в мире так не делают. В связи с большой наукоемкостью и вкладом в развитие авиации, а также других высокотехнологичных отраслей промышленности, авиадвигателестроения его государственная поддержка должна составлять не менее 30...35 % от финансирования всей авиационной промышленности. Для оформления консолидированной позиции федеральных органов исполнительной власти и организаций по стратегическим направлениям развития отечественного авиадвигателестроения представляется необходимой разработка в 2013 - 2014 гг. новой редакции Стратегии развития газотурбинного двигателестроения в авиационной промышленности Российской Федерации на 2015 - 2020 годы и на период до 2030 года.

□

Требования к двигателям нового поколения

Двигатели 2020 - 2025 гг.

- ◆ Нарботка на выключение в полете >300 000 ч (>50 000 ч при начале эксплуатации).
- ◆ Полный назначенный ресурс: не менее 20 000 п.ч. для "горячей" части и не менее 40 000 п.ч. - для "холодной" части.
- ◆ Нарботка на посещение РП 15000...20000 ч.
- ◆ Снижение крейсерского удельного расхода топлива на 15...20 % по сравнению с зарубежными АД.
- ◆ Снижение шума на 20 EPN дБ (Гл. 4 ИКАО).
- ◆ Снижение NO_x на 40...60 % (CAEP6 ИКАО).
- ◆ Удельная трудоемкость ТО не более 0,2 часа на час полета.





**Станки,
которые
обеспечат Ваш успех,
и партнер,
которому
Вы можете доверять,-
СЕГОДНЯ И ЗАВТРА**



ООО "ХЕРМЛЕ-ВОСТОК":

Россия, 127018, Москва, ул. Полковая, 1, стр.4

Тел.: +7 (495) 627-3634.

Факс: +7 (495) 627-3635.

E-mail: info@hermle-vostok.ru

www.hermle.de



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ MSC.SOFTWARE И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ARBYTE С ГРАФИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССОРАМИ NVIDIA

Александр Федорович Георгиев,
старший технический эксперт MSC.Software RUS
Дмитрий Анатольевич Якунин,
руководитель направления САПР ARBYTE

Введение

В последние годы достаточно активно развивается направление по использованию графических процессоров (Graphics Processing Unit - GPU) в решении инженерных задач. Однако далеко не все типы графических карт позволяют проводить вычисления с использованием GPU. Для этих целей можно использовать только профессиональные видеокарты NVIDIA® серии Quadro™ и специализированные GPU-ускорители NVIDIA® Tesla™.

Компания MSC.Software - мировой лидер в разработке программного обеспечения для решения инженерных задач в области механики, термодинамики, гидрогазодинамики и др. - разработала версии программного обеспечения (MSC Nastran 2012 и Marc 2012), которые поддерживают вычисления на GPU. В MSC Nastran 2012 решение задач с использованием GPU может быть осуществлено в следующих последовательностях решений:

- SOL 101 - решение задач линейной статики;
- SOL 103 - решение задачи поиска собственных значений;
- SOL 110 - решение задачи поиска комплексных собственных значений в модальной постановке;
- SOL 111 - решение задач частотного отклика в модальной постановке;
- SOL 112 - решение задач линейной динамики в модальной постановке;
- SOL 400 - при решении задач нелинейной и линейной статики;
- SOL 200 - решение задач оптимизации (только с использованием перечисленных последовательностей решений: SOL 101, 103, 110, 111, 112, 400).

При решении вышеперечисленных задач, GPU используются только для математических операций, связанных с факторизацией разреженных матриц. Все остальные вычислительные операции производятся центральным процессором (Central Processing Unit - CPU) компьютера.

Оценки производительности вычислительной системы с устройствами GPU с использованием технологии NVIDIA® Maximus™ производились на тестовом стенде, предоставленном компанией ARBYTE, разработчиком и поставщиком решений, продуктов и услуг в области информационных технологий.

Описание конфигурации тестового стенда и режимов проведения тестирования

Рабочая станция собрана на базе модели средней линейки WS 479, которая позволяет как работать со сложными 3D моделями и проектами, так и проводить инженерный анализ конструкций.

Характеристики тестового стенда приведены в таблице 1.

Тестирование производительности вычислительной системы производилось на следующих задачах:

1. Задача линейной статики (SOL 101): рассматривалось статическое нагружение картера коробки передач грузового автомобиля.
 2. Задача нелинейной статики (SOL 400): имитация испытаний колеса на долговечность.
 3. Задачи поиска собственных значений (SOL 103):
 - модель картера коробки передач грузового автомобиля;
 - модель коленчатого вала двигателя;
 - модель "черного" кузова легкового автомобиля.
- Решение задач производилось на следующих вариантах конфигурации оборудования:

1. Только на CPU;
2. CPU + 1 GPU NVIDIA Tesla C2075;
3. CPU + 1 GPU NVIDIA Quadro 6000;
4. CPU + 1 GPU NVIDIA Quadro 6000 + 1 GPU NVIDIA Tesla C2075;
5. CPU + 2 GPU NVIDIA Tesla C2075;
6. CPU + 1 GPU NVIDIA Quadro 6000 + 2 GPU NVIDIA Tesla C2075.

Необходимо отметить, что при установке двух GPU в тестовый стенд, каждое устройство работает на шине PCI-Express со скоростью 16x. При установке трех GPU - только одно устройство может работать со скоростью 16x, а остальные два устройства работают с пониженной скоростью шин - 8x.

Тестирование показало, что если задействовать два GPU, работающих на пониженной скорости (8x), то производительность тестового стенда понижается на 5...10 % относительно производительности этого же стенда, когда GPU работают на шинах с полной пропускной способностью (16x). Конфигурации № 2 и № 3, так же, как и конфигурации № 4 и № 5, дают сопоставимые результаты, соответственно. Поэтому в данной статье приводятся результаты тестирования для следующих конфигураций:

1. Только на CPU - на графиках обозначено как "CPU";
2. CPU + 1 GPU NVIDIA Tesla C2075 - обозначение "CPU + 1 GPU";

Таблица 1

Характеристики тестового стенда	
Модель рабочей станции	ARBYTE CAD Station WS 479
CPU	Intel Core i7 3960X, 3,30 ГГц
RAM	64 Гб DDR3 1600 МГц (PC3-12800)
GPU #1	NVIDIA Quadro 6000
GPU #2	NVIDIA Tesla C2075
GPU #3	NVIDIA Tesla C2075
Твердотельный накопитель (SSD)	60 GB
Жесткий диск (HDD)	300 GB 10K об/мин
Операционная система	Microsoft Windows 7 Профессиональная 64 bit, версия 6.1.7601 Service Pack 1
Программное обеспечение	MSC Nastran 2012

3. CPU + 1 GPU NVIDIA Quadro 6000 + 1 GPU NVIDIA Tesla C2075 - обозначение "CPU + 2 GPU";

4. CPU + 1 GPU NVIDIA Quadro 6000 + 2 GPU NVIDIA Tesla C2075 - обозначение "CPU + 3 GPU".

Также исследовано влияние режимов запуска решения задач в MSC Nastran на производительность. Рассмотрены следующие режимы запуска решений задач:

1. Без использования распараллеливания в режиме SMP (Shared Memory Parallel) - на графиках обозначено как "1 поток".

2. С распараллеливанием в режиме SMP на два потока (параметр запуска parallel = 2) - обозначение "2 потока".

3. С распараллеливанием в режиме SMP на четыре потока (параметр запуска parallel = 4) - обозначение "4 потока".

Оценка производительности вычислительной системы при решении задачи линейной статики (SOL 101) размерностью 2,2 млн степеней свободы

В качестве задачи для тестирования была взята задача анализа напряженно-деформированного состояния картера коробки передач грузового автомобиля при воздействии статической нагрузки. Модель насчитывает порядка 2,2 млн степеней свободы. Модель представлена на рис. 1.

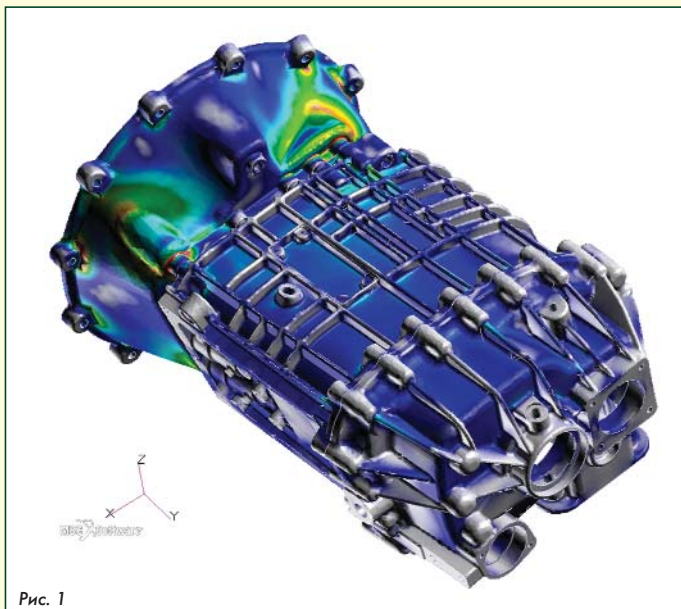


Рис. 1

Результаты тестирования (рис. 2) показывают, что при решении задачи только на CPU с использованием распараллеливания на 4 потока в SMP режиме дает до 50 % прироста производительности. Однако необходимо отметить, что в этом случае работать на компьютере (использовать другие программы) не представляется возможным из-за полной загруженности CPU.

При использовании в решении задач ресурсов GPU можно получить почти трехкратный прирост производительности (на конфигурации CPU + 1 GPU NVIDIA Quadro 6000 + 2 GPU NVIDIA Tesla

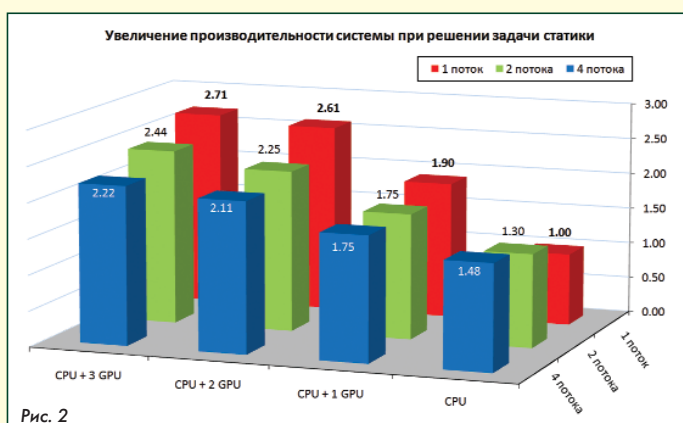


Рис. 2

C2075) и при этом загрузка CPU будет неполной, что позволит пользователю работать с другими программными продуктами - например, обрабатывать результаты решения или работать с расчетной моделью в Patran.

Использование одного GPU дало почти двухкратный прирост производительности при решении задачи статики средней размерности (2,2 млн степеней свободы).

Таким образом, если у инженера есть рабочая станция хотя бы с одним GPU, то целесообразно запускать решение задачи с использованием этого устройства, чтобы сократить вдвое время расчета и иметь возможность во время проведения расчетов эффективно работать на компьютере с другими программами.

Оценка производительности вычислительной системы при решении нелинейных задач статики (SOL 400)

Для тестирования была взята задача имитации испытаний колеса на долговечность (рис. 3). Задача решается в статической постановке. Размерность задачи составляет более 785 тыс. степеней свободы. В модели имеются контакты и большие перемещения.

Результаты тестирования с одним и двумя GPU показывают,

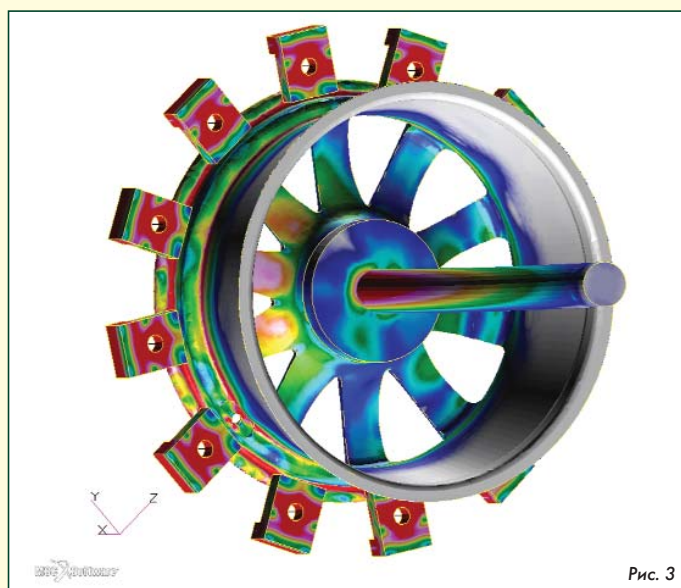


Рис. 3

что использование распараллеливания в SMP режиме при использовании GPU не является эффективным (рис. 4). Поэтому тестирование с использованием трех GPU проводилось только на CPU (без распараллеливания в SMP режиме).

В общем, характер изменения производительности вычислительной системы при решении задач нелинейной статики схож с характером изменения производительности при решении задач линейной статики: максимальное увеличение производительности (до 45 %) наблюдается при использовании трех GPU, даже использование одного GPU без распараллеливания задачи дает больший прирост производительности, чем решение задачи с распараллеливанием в SMP режиме на 4 потока.

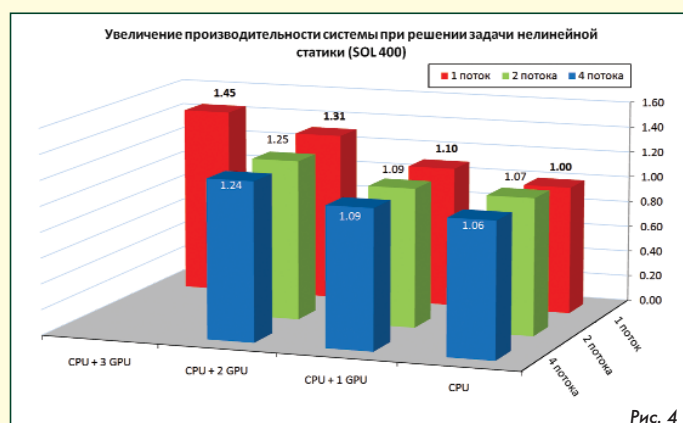
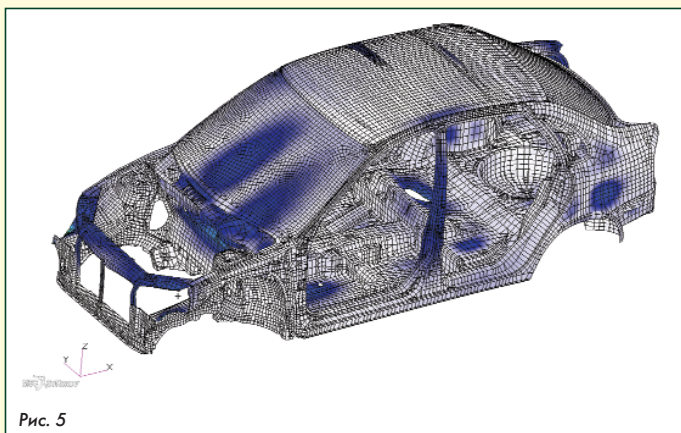


Рис. 4

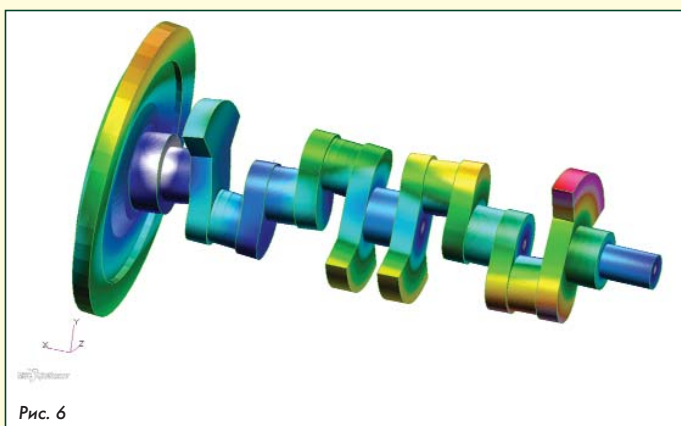
Оценка производительности вычислительной системы при решении задач поиска собственных значений (SOL 103)

Оценка производительности вычислительной системы при решении задач поиска собственных значений на GPU производилась на трех задачах:

1. Задача малой размерности. Рассмотрены собственные колебания "черного" кузова легкового автомобиля до 500 Гц. Модель насчитывает более 316 тыс. степеней свободы (рис. 5).



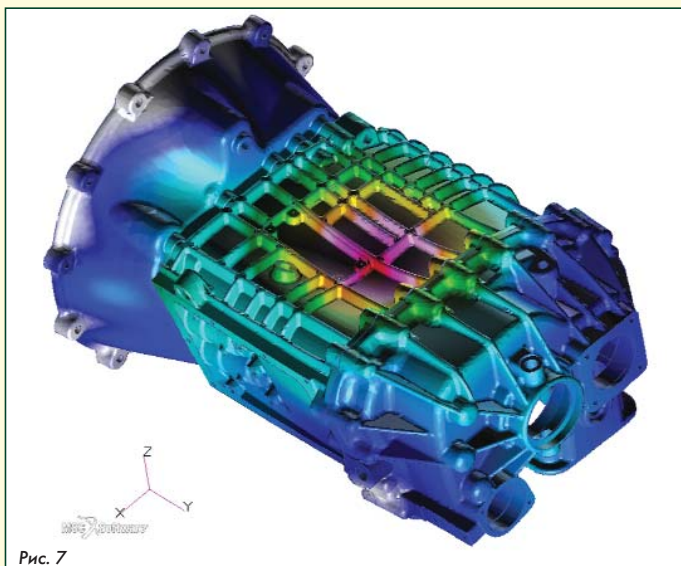
2. Задача средней размерности. Рассмотрены собственные колебания коленчатого вала двигателя легкового автомобиля. Модель насчитывает более 1,5 млн степеней свободы (рис. 6).



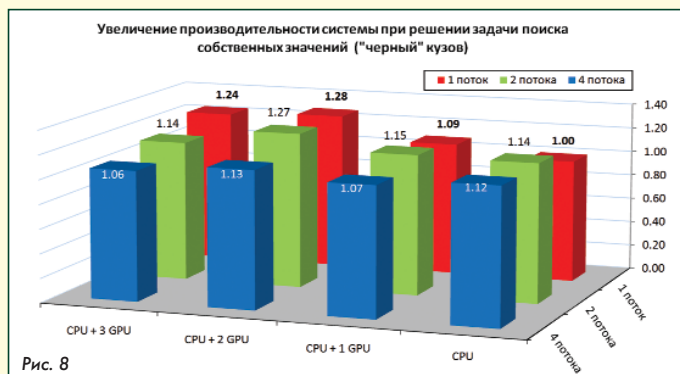
3. Задача большой размерности. Рассмотрены собственные колебания картера коробки передач грузового автомобиля. Модель насчитывает около 2,2 млн степеней свободы (рис. 7).

Результаты тестирования производительности показали:

- Использование GPU для задач малой размерности (менее

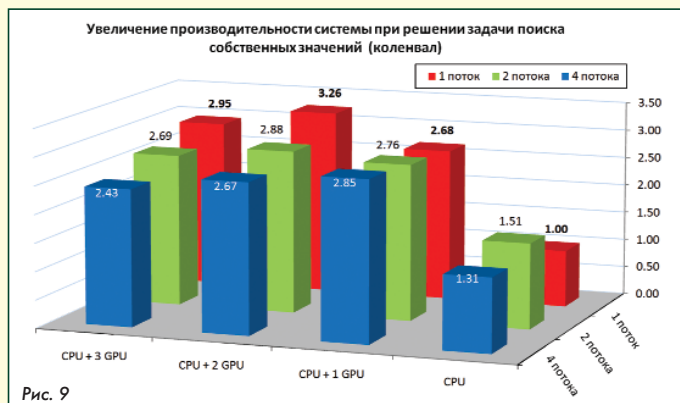


1 млн степеней свободы) неэффективно (рис. 8). Это обусловлено



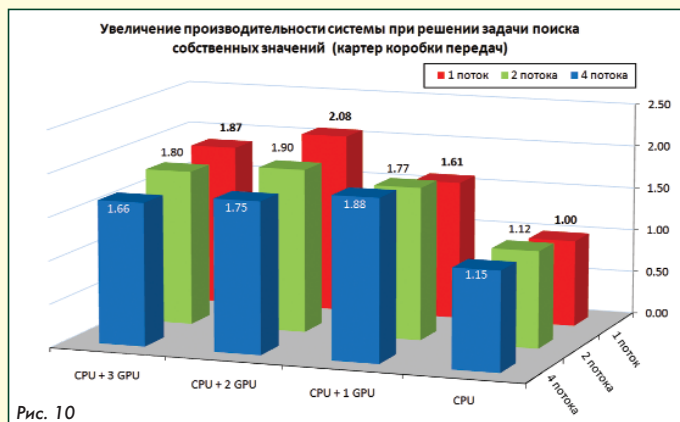
тем, что суммарное время, затраченное на факторизацию матриц, а также передачу данных из основной памяти в память GPU и обратно, сопоставимо со временем факторизации матриц с использованием CPU.

- Использование GPU для задач средней размерности (от 1 до 2 млн степеней свободы) очень эффективно. Наблюдается почти трехкратный прирост производительности при использовании одного GPU и более при использовании двух GPU (рис. 9). Некоторое



падение производительности при использовании трех GPU устройств по отношению к производительности с двумя GPU устройствами объясняется тем, что в конфигурации тестового стенда с тремя GPU два из них работали на пониженной скорости шины PCI Express (8x вместо 16x). При этом, в отличие от задач статики, количество вычислений и операций с матрицами при поиске собственных значений значительно больше.

- Для решения задач большой размерности (свыше 2 млн степеней свободы) также эффективно использовать GPU (рис. 10). При



распараллеливании задачи на четыре потока с использованием одного GPU можно получить прирост производительности почти в 2 раза. Оптимальным режимом использования рабочей станции будет решение задач с распараллеливанием на два потока, т.к. в этом случае инженер имеет возможность использовать свободные

ресурсы для запуска других программ и при этом производительность выполнения расчета повысится почти на 80 %.

При использовании двух GPU производительность системы повышается в два раза. При использовании трех GPU, как и в предыдущем случае, наблюдается небольшое падение производительности, обусловленное работой двух GPU на более низкой скорости шины.

Выводы

Результаты тестирования показывают, что использование GPU позволяет высвободить ресурсы вычислительной системы и при этом добиться значительного повышения производительности. При решении задач малой размерности, как показывает тестирование,

GPU дают небольшой прирост производительности.

Решая задачи средней и большой размерности, даже при наличии одного GPU в системе, производительность повышается почти в 2,7 раза (рис. 9).

Эффективным, с точки зрения роста производительности вычислительной системы, является использование двух GPU. В такой конфигурации производительность может увеличиваться практически в 3,3 раза (рис. 9).

Таким образом, если в компьютере имеется хоть один GPU, инженер может более эффективно решать инженерные задачи и при этом одновременно работать с другими программами, например, обрабатывать результаты, создавать новые расчетные модели, писать отчеты и т.п. 



Графическая станция USN IGLAx 1104

Рекомендуется для работы в сфере инженерных расчетов в приложениях ANSYS, MSC.Software и др.



Графический процессор
NVIDIA® QUADRO® 4000

Центральный процессор
Intel Core i5-3570K 3.4 ГГц

Жесткий диск
120 Гб SSD + 2 Тб HDD

Оперативная память 16 Гб

www.usn.ru

www.nvidia.ru

ИНФОРМАЦИЯ

12 ноября NVIDIA объявила о том, что в этом году поддержку GPU-ускорения получили еще 70 популярных приложений, общее число которых превысило 200.

Среди новых приложений можно отметить:

- ANSYS® Fluent® - позволяет инженерам создавать автомобили и самолеты с улучшенным аэродинамическим качеством, а также улучшить теплоотвод и надежность интегральных микросхем. ANSYS Fluent добавляет бета-версию нового решателя с поддержкой одного GPU к списку ведущих приложений для NVIDIA® CUDA®, таких, как ANSYS Mechanical™.

- MSC® Nastran® - используется для оптимизации уровня шума и вибраций.

- CHARMM - широко используется для изучения биологических процессов на молекулярном уровне, а GPU-ускорение позволяет лучше исследовать свойства белков, вовлеченных в процесс болезни, а также их взаимодействие с лекарствами, что позволяет создавать более эффективные лекарственные препараты.

"На начальном этапе вычисления на GPU привлекали внимание ученых, которые могли использовать CUDA для ускорения собственных приложений, используемых для проведения исследований и совершения на-

учных открытий", отметил Эддисон Снелл (Addison Snell), исполнительный директор Intersect 360 Research. - Сейчас мы вошли в новую эпоху, где многие коммерческие приложения получили оптимизацию под GPU, обеспечивая ускорение массовых инженерных и бизнес задач".

Для автоматизированной разработки предлагается приложения, получившие поддержку GPU-ускорения: Abaqus/Standard, Agilent ADS и EMPro, ANSYS Mechanical, CST MWS, MSC Nastran, Marc, библиотеки решателя OpenFOAM, RADIOSS™. Для научных расчетов: AMBER, CHARMM, Chroma, FastROCS, GAMESS, GROMACS и др. 

ПОВЕДЕНИЕ РОТОРОВ НА КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТАХ ВРАЩЕНИЯ ПРИ ОВАЛИЗАЦИИ ДОРОЖКИ КАЧЕНИЯ РОЛИКОВОГО ПОДШИПНИКА

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

Рассматривается возможность предотвращения потери устойчивости ротора газотурбинного двигателя при критической частоте его вращения с помощью оваллизации дорожки качения неподвижного кольца роликового подшипника на абсолютно жесткой опоре.

In this article the analysis of the possibility of prevention of the gas-turbine engine rotor buckling failure in case of critical revolution frequency is presented. It is suggested to ovalize the fixed rotor bearing race on the non-flexible support bearing.

Ключевые слова: ротор, вал, опора ротора, роликовый подшипник, овальная дорожка качения кольца, критическая частота, собственная частота колебаний ротора, дисбаланс ротора.

Keywords: rotor, bearing shaft, rotor support bearing, roller bearing, oval bearing race, critical revolution frequency of the rotor, self-resonant frequency of the rotor, rotor imbalance.

Введение

Отстройка роторов на резонансных режимах осуществляется, как правило, путём выведения критических частот вращения из рабочего диапазона работы двигателя, а также погашением колебаний упруго-демпферными опорами.

В работе [1] предлагается новый подход к решению этой проблемы - устранение резонанса роторов по изгибной форме колебаний на критических частотах вращения с помощью оваллизации дорожки качения одного из колец роликового подшипника на абсолютно жесткой опоре.

Сущность способа заключается в том, что при овальных дорожках качения кольца подшипника круговое перемещение вектора центробежной силы от неуравновешенной массы ротора в зонах кольца подшипника, где радиус-вектор его контура возрастает, приводит к тому, что реакция опоры будет отсутствовать, и вал под действием неуравновешенной центробежной силы получит ускорение.

При полном отсутствии реакции опоры за время, равное четверти периода собственных колебаний ротора при свободной одной опоре, приведет к тому, что прогиб вала устранится, и это явление будет предотвращать потерю устойчивости ротора при критической частоте.

Устранение прогиба вала будет происходить в двух четвертях оборота вала, где радиус-вектор контура кольца возрастает.

В данной работе определение радиального перемещения вала ротора на опоре с овальной дорожкой качения предлагается рассматривать не по усредненным весовым характеристикам ротора [1], а с учетом реального расположения дисков на валу, что повышает точность расчета радиального перемещения вала на опоре и определения параметров овала при полном устранении резонанса ротора.

Радиальное перемещение вала ротора на опоре при вертикальном расположении овальной дорожки качения

При устранении реакции на одной опоре вал ротора под действием потенциальной энергии изогнутого вала будет распрямляться. Устранение прогиба будет реализовываться в соответствии со своей собственной частотой колебаний за четверть периода. При равенстве собственной частоты колебаний критической частоте вращения ротора полное устранение прогиба будет происходить в т. В. Этот случай соответствует наличию одного диска на валу, расположенного в середине пролета.

В действительности собственная частота колебаний ротора будет отличаться от критической частоты вращения. В [1] была определена собственная частота изгибных колебаний при отсутствии реакции на одной опоре. При этом собственная частота колебаний ротора была выше критической частоты вращения. В этом случае устранение прогиба вала будет реализовываться раньше четверти оборота вращения, т.е. до подхода к т. В (рис. 1).

Однако в этом случае при распрямлении вала будет происходить перемещение конца вала на опоре с овальной дорожкой качения, что потребует дополнительного увеличения овала кольца.

При параметре овала кольца, определенного только при условии перемещения конца вала ротора под действием центробежной силы от неуравновешенной массы ротора необходимого для устранения реакции опоры, т.е. без дополнительного его увеличения для распрямления вала, устранение прогиба вала будет реализовываться по собственной частоте ротора, расположенного на двух опорах. Виртуальное перемещение конца вала в этом случае будет предотвращено возникающей реакцией опоры.

Собственная частота колебаний вращающегося ротора на двух опорах была определена в [2] и она ниже критической частоты вращения. В этом случае посадка вала ротора на опору и возникновение реакции на ней будет в т. Е, и угол посадки ротора может определяться из условия

$$\alpha = \beta(\pi/2), \quad (1)$$

где β - параметр, определяющий посадку ротора в т. Е, при условии полного устранения прогиба вала, $\beta = f_k/f_c$; f_k - критическая частота вращения ротора, при которой он теряет устойчивость; f_c - собственная частота колебаний ротора на двух опорах.

Уравнение контура кольца овальной формы опишем тригонометрической функцией

$$R = R_0 + \Delta \sin(\omega t), \quad (2)$$

где R_0 - радиус кольца подшипника по малой оси овала; Δ - амплитуда (максимальное значение) отклонения контура кольца на большой оси овала относительно малой оси; ω - круговая скорость вращения ротора.

Под действием центробежной силы от неуравновешенной массы ротора (статический дисбаланс) при отсутствии реакции на опоре вал будет перемещаться в радиальном направлении и совершать колебательное движение относительно неподвижной опоры с круговым кольцом.

Круговое ускорение в этом случае будет определяться из выражения

$$M = \varepsilon \cdot \sum_{i=1}^n J_i, \quad (3)$$

где M - момент вращения от действия центробежной силы от

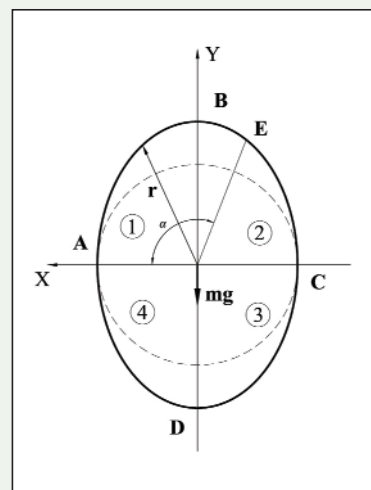


Рис. 1. Вертикальная овальная дорожка качения кольца подшипника

статического дисбаланса ротора, $M = \delta_o \omega^2 \cdot x_\delta$; δ_o - статический дисбаланс ротора, равный сумме дисбалансов на левой δ_1 и правой опоре δ_2 , $\delta_o = \delta_1 + \delta_2$; x_δ - координата точки приложения дисбаланса ротора относительно неподвижной опоры, $x_\delta = \delta_2 L / (\delta_1 + \delta_2)$; J_i - момент инерции каждого диска ротора относительно неподвижной опоры, $J_i = m_i x_i^2$; m_i и x_i - масса и координата диска относительно неподвижной опоры; L - пролет ротора.

Из выражения (3) определяем угловое ускорение ротора при его вращении относительно неподвижной опоры

$$\varepsilon = \frac{\delta_o \omega^2 x_\delta}{J_o}, \quad (4)$$

где J_o - суммарный момент инерции ротора при его вращении относительно неподвижной опоры,

$$J_o = \sum_{i=1}^{i=n} m_i x_i^2.$$

При посадке вала ротора в т. Е его радиальное перемещение на опоре от действия статического дисбаланса составит

$$\Delta = \int_0^{T\beta/4} \varepsilon L t dt = \frac{\delta_o x_\delta L \beta^2}{J_o} \cdot \frac{\pi^2}{8}, \quad (5)$$

где Δ - параметр овализации, $\Delta = (D_{max} - D_{min})/2$; $T\beta/4 = \pi\beta/2\omega$.

Радиальное перемещение конца вала ротора на опоре с овальной дорожкой качения от статического дисбаланса (5) приведет к увеличению дисбаланса ротора. Угловое ускорение ротора при его вращении относительно неподвижной опоры от динамического дисбаланса дисков с массой m_i будет равно

$$\varepsilon' = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{m_i \Delta_i x_i \omega^2}{J_o} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{m_i \delta_o x_\delta x_i^2 \omega^4}{J_o^2} \cdot \frac{t^2}{2}. \quad (6)$$

Перемещение вала ротора на опоре от центробежной силы, возникающей от динамического дисбаланса в интервале времени от $t = 0$ до $t_2 = T\beta/4$ составит

$$\Delta' = \int_0^{T\beta/4} \varepsilon' L t dt = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{m_i \delta_o x_\delta x_i^2 L \beta^4}{J_o^2} \cdot \frac{\pi^4}{128}. \quad (7)$$

Угловое ускорение ротора при его вращении относительно неподвижной опоры от собственного веса дисков будет равно

$$\varepsilon'' = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\pm m_i g \cdot \sin(\omega t) \cdot x_i}{J_o}. \quad (8)$$

Перемещение вала ротора на опоре с учетом его собственного веса определится из условия

$$\Delta'' = \int_0^{T\beta/4} \varepsilon'' L t dt = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\pm m_i g x_i L}{J_o} \cdot \frac{-(\frac{\pi\beta}{2}) \cos \frac{\pi\beta}{2} + \sin \frac{\pi\beta}{2}}{\omega^2}. \quad (9)$$

Здесь знак минус принимается в первом квадранте, а знак плюс - в третьем.

Перемещение ротора в т. Е определим как сумму перемещений от статического (5) и динамического дисбаланса (7), а также собственного веса (9).

Принимая уравнение овального контура кольца подшипника в виде (2) и раскладывая в ряд Тейлора синус угла α при небольшой величине углового смещения от т. В до т. Е и пренебрегая членами более высокого порядка малости, определим минимальное значение овала при посадке вала в т. Е, когда вал ротора полностью распрямится

$$\Delta = \frac{\frac{1,234 \cdot \delta \cdot L^2 \cdot \beta^2}{J_o} + \frac{0,761 \cdot \delta \cdot L^2 \cdot \beta^4}{J_o} \pm \sum_{i=1}^{i=n} \frac{m_i \cdot g \cdot x_i \cdot L \cdot \rho}{J_o \omega^2}}{1 - 1,234(\beta - 1)^2}, \quad (10)$$

где δ - дисбаланс ротора на опоре с овальной дорожкой качения, $\delta = \delta_o x_\delta / L$; ρ - коэффициент, равный 1 при $\beta = 1$; $\rho = 1,534$ при $\beta = 1,2$ и $\rho = 2,102$ при $\beta = 1,4$.

Радиальное перемещение вала ротора на опоре при горизонтальном расположении овальной дорожки качения

При расположении овала в горизонтальном положении (рис. 2) перемещение вала от центробежных сил в радиальном направлении при перемещении его вектора от т. А до т. Е будет таким, как и при вертикальном положении овала.

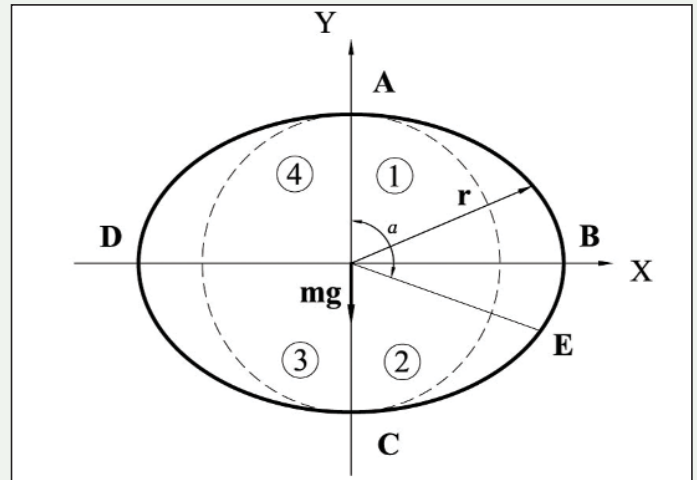


Рис. 2. Горизонтальная овальная дорожка качения кольца подшипника

Перемещение от собственного веса ротора при посадке его в т. Е определим из выражения

$$\begin{aligned} \Delta'' &= \int_0^{T\beta/4} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\pm m_i g x_i \cdot \cos(\omega t)}{J_o} \cdot L \cdot t dt = \\ &= \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\pm m_i g \cdot x_i L}{J_o} \cdot \frac{(\frac{\pi\beta}{2} \sin \frac{\pi\beta}{2} + \cos \frac{\pi\beta}{2}) - 1}{\omega^2}. \end{aligned} \quad (11)$$

Здесь знак минус принимается в первом квадранте, а знак плюс - в третьем.

При горизонтальном расположении овала минимальное значение овала при посадке в т. Е, когда вал ротора полностью распрямится определим из выражения (10), только при значении коэффициента ρ равного 0,571 при $\beta = 1$; $\rho = 0,484$ при $\beta = 1,2$ и $\rho = 0,191$ при $\beta = 1,4$.

При определении параметра ρ возможна линейная экстраполяция между значениями параметра $\beta = 1$ и $\beta = 1,2$, а также между $\beta = 1,2$ и $\beta = 1,4$. Это применимо и при определении минимального значения овала при его вертикальном расположении.

Выводы

Параметры овала определенные по данной методике устанавливают минимальное его значение, при котором произойдет полное устранение прогиба вала и потери устойчивости ротора.

Максимальное значение параметра овала Δ_{max} , при котором также реализуется способ устранения резонанса определяется при большем значении параметра β чем при посадке в т. Е, но не более величины 1,4.

Литература

1. Назаренко Ю.Б., Потапов А.Ю. Способ устранения резонанса ротора турбореактивного двигателя при критической частоте его вращения с помощью овализации дорожки качения неподвижного кольца роликового подшипника // Двигатель, №1, 2012. - С.26-29.
2. Назаренко Ю.Б., Светашова Л.Ф. Критические частоты роторов газотурбинных двигателей при ударных нагрузках на опорах // Вестник двигателестроения. - Запорожье. - №2, 2010. - С.146-149.

Связь с автором: nazarenkojb@rambler.ru

ВЛИЯНИЕ КОНДЕНСАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ГАЗА В ЗОНЕ КРИОГЕННОГО КИСЛОРОДА НА НИЗКОЧАСТОТНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЖРД

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

Игорь Михайлович Кошелев, главный специалист

Давид Суренович Мартиросов, заместитель начальника отдела, д.т.н.

Анатолий Иванович Колбасенков, начальник сектора, к.т.н.

Дано физическое описание и разработана математическая модель процесса конденсации высокотемпературного окислительного газа в зоне криогенного окислителя на выходе бустерного турбонасосного агрегата окислителя. Установлено, что уменьшение объема газа и увеличение скорости конденсации приводит к повышению устойчивости ра-

бочих процессов ЖРД в низкочастотной области.
Given the physical description and the math model of high-temperature oxidizing gas condensation process in oxidizer boost turbopump unit output. Found, that the gas volume decreasing and the rate condensation increasing leads to LPRE workflow stability increasing at low-frequency field.

Ключевые слова: математическая модель, высокотемпературный окислительный газ, криогенный окислитель, процесс конденсации, кавитация, бустерный турбонасосный агрегат окислителя, низкочастотная устойчивость, ЖРД.

Keywords: math model, high-temperature oxidizing gas, cryogenic oxidizer, condensation, cavitations, oxidizer boost turbopump unit, low-frequency stability, LPRE.

1. Физические аспекты процесса конденсации и его влияния на низкочастотную устойчивость ЖРД

Привод бустерного турбонасосного агрегата (БТНА) окислителя в современных мощных ЖРД типа РД171М (РН "Зенит") осуществляется окислительным газом, отбираемым на выходе турбины основного турбонасосного агрегата. Горячий окислительный газ с температурой $T \approx 850\text{K}$ и с большим избытком кислорода (соотношение компонентов $K_m \approx 50$), попадая в зону с криогенным кислородом на выходе БТНА окислителя, конденсируется в течение некоторого времени, которое зависит от:

- давления,
- поверхности контакта,
- теплофизических свойств жидкости,
- скоростей жидкости и газа,
- количества растворенного газа в жидкости.

Если конденсация не завершится до входа в основной насос окислителя, т.е. в жидкости останутся, пусть даже малые порции газовых включений, то может возникнуть частичная кавитация основного насоса, приводящая к изменению его напорной характеристики. В этом случае, как известно, изменяются амплитудно-фазочастотные характеристики (АФЧХ) и импеданс двигателя при:

- возмущении давления на входе в двигатель по линии окислителя и отклика давления в камере сгорания(тяги);
- возмущении расхода окислителя на входе в двигатель и отклике давления окислителя там же.

Кроме этого, могут возникнуть автоколебания на входе в двигатель по линии окислителя, параметры которых определяются инерционностью контура "входная магистраль - бустерный насос" и объемом кавитационной коверны в основном насосе.

Из физических представлений, понятно, что на динамику рабочего процесса в двигателе влияет зависимость объема газовой фазы за БТНА от давления и соотношения газовой и жидкой фазы в потоке, которые определяются скоростями смешения, конденсации и другими характеристиками.

Эта гипотеза, а именно, влияние на АФЧХ двигателя системы топливного тракта с парогазовыми включениями, получила подтверждение прямым экспериментом на начальной стадии отработки двигателя РД170. В исходном варианте БТНА окислителя был изготовлен с увеличенными проходными сечениями перепускных отверстий, и на экспериментальной двигательной установке про-

явилась ярко выраженная низкочастотная неустойчивость, которая характеризовалась резко возрастающими амплитудами колебаний всех параметров на частоте ≈ 4 Гц.

Во втором варианте БТНА перепускные отверстия были выполнены меньшим диаметром и равномерно распределены на стенке при сохранении суммарной площади. Переход на мелкие отверстия обеспечил устойчивость двигателя во всем диапазоне режимов.

Этот эксперимент подтверждает предположение о том, что при меньших поперечных размерах струй процесс конденсации заканчивается быстрее и общий парогазовый объем в жидкости меньше.

Заметим, что решение задачи обеспечения устойчивости ЖРД в низкочастотном диапазоне имеет большое значение и для обеспечения продольной устойчивости ракеты-носителя (РН) - так называемой ПОГО-устойчивости - по отношению к возмущениям продольного ускорения РН в диапазоне частот от 2 до 20 Гц, для большинства РН в мире.

2. Математическая модель

Моделирование процессов в рассматриваемой постановке задачи облегчается тем, что частоты, на которых сказывается их влияние на устойчивость двигателя, находятся в пределах от 3 до 10 Гц, т.е., по принятой классификации, в низкочастотном диапазоне.

Рассмотрим одномерное раздельное течение двух компонентов (газа и жидкости) с фазовыми превращениями на поверхности раздела. Обозначим:

ρ_1 - массовая плотность жидкости,

ρ_2 - массовая плотность газа,

ρ - массовая плотность смеси,

α - объемная доля газа,

x - массовая доля газа.

Тогда, очевидно, имеют место следующие соотношения:

$$\rho = \alpha \rho_2 + (1 - \alpha) \rho_1,$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{x}{\rho_2} + \frac{1-x}{\rho_1}, \quad (1)$$

откуда, полагая $x\rho = \alpha\rho_2$ получим

$$(1-x)\rho = (1-\alpha)\rho_1.$$

Рассмотрим потоки массы, импульса и энергии через поверх-

ность раздела фаз.

Напишем уравнения неразрывности (сохранения массы) для обоих компонентов в направлении осевой координаты z :

$$\frac{\partial [\rho_1(1 - \alpha)]}{\partial t} + \frac{\partial [\rho_1(1 - \alpha)U_1]}{\partial z} = \psi, \quad (2)$$

$$\frac{\partial [\rho_2\alpha]}{\partial t} + \frac{\partial [\rho_2\alpha U_2]}{\partial z} = -\psi, \quad (3)$$

здесь U_1, U_2 - осевые скорости жидкости и газа, ψ - изменение массы за счет фазовых превращений в единице объема потока. Интегрируя (2) и (3) по площади поперечного сечения, получим:

$$\frac{\partial}{\partial t} [\rho_1(1 - \alpha)F] + \frac{\partial}{\partial z} [\rho_1(1 - \alpha)U_1F] = \int_F \psi dF, \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [\rho_2\alpha F] + \frac{\partial}{\partial z} [\rho_2\alpha U_2F] = -\int_F \psi dF, \quad (5)$$

Обозначим через

$$W_k = \int_F \psi dF$$

массовую скорость конденсации газа.

Уравнения движения Ньютона (сохранения импульсов):

$$\rho_1 \left(\frac{\partial U_1}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_1}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + f_1, \quad (6)$$

$$\rho_2 \left(\frac{\partial U_2}{\partial t} + U_2 \frac{\partial U_2}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + f_2, \quad (7)$$

здесь p - давление, а f_1 и f_2 - силы сопротивления от взаимодействия фазовых превращений.

Уравнение сохранения энергии имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[F \rho_2 \left(e + \frac{U_2^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} [F \alpha \rho_2 U_2 (h + U_2^2)] = (q_e + q_m - w_s - w_r)F, \quad (8)$$

где e - внутренняя энергия,

h - энтальпия,

q_e - поток тепла,

q_m - поток энергии из-за массообмена,

w_s - механическая энергия,

w_r - работа трения.

Сформированную систему уравнений можно упростить.

Действительно, поскольку энергетика двигателя на низких частотах определяется, в основном, энергией в газогенераторе, камере сгорания и ТНА, то, очевидно, можно пренебречь энергетическим соотношением при конденсации. Из этих же соображений можно пренебречь и силами f_1 и f_2 от фазовых превращений в уравнениях (6, 7) и учесть только обычное гидросопротивление: активное и инерционное. Кроме этого, учитывая низкочастотность рассматриваемых процессов, перейдем от рассмотрения процессов с распределенными по оси z параметрами к процессам с сосредоточенными параметрами, что будет соответствовать переходу от уравнений с частными производными по t и z к обыкновенным дифференциальным уравнениям с производными по t . В этом случае участок канала, на котором изменение массового расхода мало и доминирующим является изменение давления по длине, представляется в виде уравнения:

$$p_1 - p_2 = \sum_i \xi_i \dot{m}_i^2 + \sum_i \frac{\Delta z_i}{F_i} \cdot \frac{d\dot{m}_i}{dz}, \quad (9)$$

где $\dot{m}_i$ - массовый расход,

$$\dot{m}_i = \rho U_i F_i, \quad (10)$$

Δz_i - длина прямолинейного участка с проходной площадью F_i и коэффициентом гидросопротивления ξ_i , $i = 1, 2, \dots, n$, n - количество прямолинейных участков, на которые разбит весь канал. Из (9) следует, что давление на выходе p_2 меньше давления на входе p_1 на величину, затраченную на преодоление силы инерции столба и силы трения.

Отрезок канала, у которого изменение давления по длине мало, но существенно изменение массового расхода, представляется уравнением в виде

$$\dot{m}_1 - \dot{m}_2 = C \frac{dp}{dt}, \quad (10)$$

где $C = V/a^2$ - коэффициент сжимаемости, V - объем, a - скорость звука.

В этом случае для объема $V_0 = V_{\text{газ}} + V_{\text{ж}}$ между бустерным и основным насосами, в котором происходит весь процесс конденсации, уравнения баланса имеют вид:

1. Уравнение баланса расхода газа

$$\frac{dm_{\text{газ}}}{dt} = \dot{m}_{\text{газ вх}} - W_k, \quad (12)$$

где $\dot{m}_{\text{газ вх}}$ - массовый расход газа из турбины БТНА, $m_{\text{газ}}$ - масса газовой фазы в объеме газа $V_{\text{газ}}$, W_k - массовая скорость конденсации газа.

2. Уравнение баланса расходов жидкости

$$\frac{dm_{\text{ж}}}{dt} = \dot{m}_{\text{ж вх}} + W_k - \dot{m}_{\text{ж вых}}, \quad (13)$$

где $\dot{m}_{\text{ж вх}}$ - массовый расход жидкости из бустерного насоса,

$m_{\text{ж}}$ - масса жидкой фазы в объеме $V_{\text{ж}}$ за БН,

$\dot{m}_{\text{ж вых}}$ - массовый расход на входе в основной насос.

Считаем жидкость несжимаемой, т.е. $m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} (V_0 - V_{\text{газ}})$, где $\rho_{\text{ж}}$, V_0 - константы, тогда это уравнение (13) примет вид

$$-\rho_{\text{ж}} \frac{dV_{\text{газ}}}{dt} = \dot{m}_{\text{ж вх}} + W_k - \dot{m}_{\text{ж вых}}. \quad (14)$$

3. Уравнение состояния газа

$$\rho_{\text{газ}} = \frac{p}{zRT_{\text{газ}}}, \quad (15)$$

где z - коэффициент реальности газа, температуру газа $T_{\text{газ}}$ считаем постоянной по объему газа и равной температуре за турбиной.

Очевидно, что $\rho_{\text{газ}} = m_{\text{газ}}/V_{\text{газ}}$, и уравнение (15) будет иметь вид

$$\rho_{\text{газ}} = \frac{m_{\text{газ}}}{V_{\text{газ}}} \cdot zRT_{\text{газ}}. \quad (16)$$

Таким образом, ко всем традиционным параметрам двигателя добавлены объем газовой фазы $V_{\text{газ}}$, масса газа $m_{\text{газ}}$ и скорость конденсации W_k , а уравнения через $\dot{m}_{\text{ж вх}}$, $\dot{m}_{\text{ж вых}}$, p связываются с остальными уравнениями динамики двигателя.

Приведем типы дифференциальных уравнений динамической математической модели всего двигателя с сосредоточенными параметрами, используемые при описании низкочастотной динамики (до ~ 15 Гц).

1. Магистраль (рубашка камеры сгорания, дроссель, форсунки и др.) с несжимаемой жидкостью

$$p_{\text{вых}} - p_{\text{вх}} = \sum_i \xi_i \dot{m}_i |\dot{m}_i| + \sum_i \frac{\Delta z_i}{F_i} \cdot \frac{d\dot{m}_i}{dt}, \quad (17)$$

2. Напор насоса

$$\Delta p_{\text{н}} = p_{\text{вых}} - p_{\text{вх}} = \Delta p_{\text{ст}}(n, \dot{m}) + e \frac{d\dot{m}}{dt} + f \frac{dn}{dt}, \quad (18)$$

где n - циклическая скорость вращения вала насоса,

$\Delta p_{\text{ст}}$ - статическая характеристика напора насоса

$$\frac{\Delta p_{\text{ст}}}{n} = a + b \left(\frac{\dot{m}}{n} \right) + c \left(\frac{\dot{m}}{n} \right)^2 + d \left(\frac{\dot{m}}{n} \right)^3,$$

e, f - коэффициенты, зависящие от геометрии рабочего колеса; a, b, c, d - коэффициенты аппроксимации.

Кавитация учитывается наиболее простой моделью:

$$\Delta p_{\text{н}} = \Delta p_{\text{ст}} \cdot \varepsilon,$$

где $\varepsilon = 1$ при $P \geq P_{1 \text{ срыва}}$ и $\varepsilon < 1$ при $P \leq P_{1 \text{ срыва}}$, причем принималось, что ε запаздывает, т.е. $\varepsilon(t - \tau)$ при $\Delta P(t - \tau)$.

3. Скорость вращения вала

$$2\pi J \frac{dn}{dt} = M_{\text{т}} - M_{\text{н}}, \quad (19)$$

где J - момент инерции вращающихся частей ротора ТНА или БТНА,

M_T - момент развиваемый турбиной,

$M_T(m_{газ}, p_{вх}, p_{вых})$ - рассчитан по обычным статическим формулам,

M_H - момент сопротивления насоса, аналогично напор

$$M_H = M_{HCT}(m, n) + E \frac{dm}{dt} + F \frac{dn}{dt}, \quad (19)$$

$$\frac{M_{HCT}}{n^2} = A + B \left(\frac{\dot{m}}{n} \right) + C \left(\frac{\dot{m}}{n} \right)^2 + D \left(\frac{\dot{m}}{n} \right)^3, \quad (21)$$

4. Давление в газогенераторе, газоведах и камере сгорания

$$p = \frac{m_{газ}}{V_{газ}} \cdot RT, \quad (22)$$

где $m_{газ}$ - масса газа в объеме $V_{газ}$;

RT - функция от соотношения компонентов K , известная из термодинамических расчетов, R - газовая постоянная, T - температура газа в градусах Кельвина;

$$m_{газ} = m_{огаз} + m_{ггаз}; K = m_{огаз} / m_{ггаз}.$$

5. Динамика изменения массы в газовых полостях

$$\frac{dm_{огаз}}{dt} = \dot{m}_{ок}(t - \tau) - \frac{K}{K+1} \dot{m}_{газвых}, \quad (23)$$

где $m_{огаз}$, $m_{ггаз}$ - массы окислителя и горючего в связанном состоянии в продуктах сгорания;

$\dot{m}_{ок}(t - \tau)$, $\dot{m}_{г}(t - \tau)$ - массовые расходы поступающих компонентов в момент $(t - \tau)$, где τ - время смешения и горения компонентов топлива;

$\dot{m}_{газвых}$ - расход продуктов сгорания на выходе (для газогенератора - это расход через турбину, для газоведа - это расход через смесительную головку камеры, для камеры сгорания - это расход через критическое сечение). Эти параметры вычисляются по известным статическим формулам. Для камеры сгорания расходы вычисляются по следующим формулам

$$\dot{m}_{ок}(t - \tau) = \frac{K}{K+1} \dot{m}_{вхвкс}, \quad (24)$$

$$\dot{m}_{г}(t - \tau) = \frac{K}{K+1} \dot{m}_{вхвкс} + \dot{m}_{г}(t - \tau), \quad (25)$$

Остальные уравнения связывают балансы расходов в точках разветвлений, т.е. по обычным статическим зависимостям.

"Собранная" таким образом модель двигателя содержит около 100 нелинейных алгебраических и дифференциальных уравнений с запаздывающими параметрами.

Надо отметить, что расчетные методы выполняют скорее оценочную роль, и дальнейшее уточнение математической модели не дает существенного улучшения результатов.

Для выявления влияния динамики конденсации требуется знание W_k - скорости конденсации.

В первом приближении принималась модель запаздывания, т.е.

$$W_k = m_{газвх}(t - \tau_3).$$

$W_k(t)$ в момент времени t равна массовому расходу на выходе из турбины БТНА в предшествующий момент времени $(t - \tau_3)$, где τ_3 - время запаздывания.

Очевидно, что в статике τ зависит от объема газовой фазы, т.к.

$$m_{газ} = \rho_{газ} \cdot V_{газ}, \quad \rho_{газ} = \frac{p}{RT} \quad \text{и} \quad \tau_3 = \frac{m_{газ}}{\dot{m}_{газвх}},$$

т.е. задавая объем $V_{газ}$ однозначно определяем τ_3 , которое считается постоянным.

3. Результаты расчетов

Проведена серия численных расчетов динамики переходных процессов при варьировании времени запаздывания τ_3 . Использовалась и другая модель для W_k . Если обозначить массовую ско-

рость конденсации с единицы поверхности через W_1 , то

$$W_k = W_1 \cdot S,$$

где S - площадь поверхности контакта газа и криогенной жидкости. Очевидно, что S является функцией объема газа $V_{газ}$. Расчеты проводились при различных W_1 и функциях $S(V)$.

В процессе расчетов выяснилось, что наиболее подходящей низкочастотной моделью для W_k является модель с переменным временем запаздывания и учетом частичной кавитации основного насоса.

Принятая модель аналогична модели Крокко для высокочастотной акустической неустойчивости горения в камере сгорания, т.е.

$$W_k = \dot{m}_{газвх}(t - \tilde{\tau}) \cdot \left(1 - \frac{d\tau_k}{dt} \right), \quad (26)$$

где $\tilde{\tau}$ - постоянная часть запаздывания конденсации (т.е. среднее время пребывания жидкости в состоянии газа до полной её конденсации), τ_k - так называемое (по Крокко) "чувствительное" время запаздывания конденсации, т.е. та часть времени запаздывания, которое зависит от физических параметров в зоне конденсации (объемов жидкости, расходов жидкости, температуры, давления и др.).

Примем, аналогично Крокко, что в основном

$$\frac{d\tau_k}{dt} = \left\{ 1 - \left[\frac{p(t)}{p(t - \tilde{\tau})} \right]^{n_p} \right\} + \left\{ 1 - \left[\frac{\dot{m}_ж(t)}{\dot{m}_ж(t - \tilde{\tau})} \right]^{n_ж} \right\} \quad (27)$$

зависит от давления и расхода жидкого кислорода, n_p , $n_ж$ - неизвестные эмпирические коэффициенты влияния давления и расхода криогенной жидкости на τ .

Серия численных расчетов с перебором $\tilde{\tau}$, n_p , $n_ж$ и кавитационных срывных характеристик, проведенных на примере двигателя РД170, показала, что 4...6-герцовая неустойчивость возникает уже при $V_{газ} \approx 0,5$ л и $n_ж > 10$ при $\tilde{\tau} \approx 10^{-3}$ с и уменьшение $V_{газ}$ и $n_ж$ приводит к устойчивости процесса во всем двигателе.

На рис. 1 и 2 приведены результаты соответствующих расчетов.

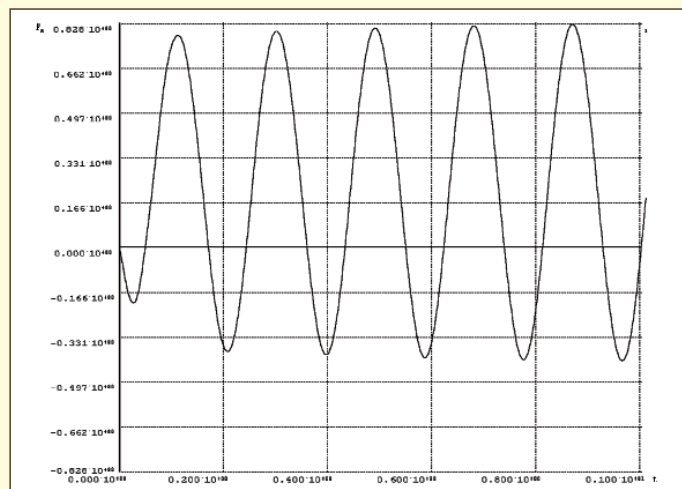


Рис. 1. Переходный процесс в двигателе (давление в камере сгорания) при возмущении давления на входе в БТНА скачком в случае неустойчивости

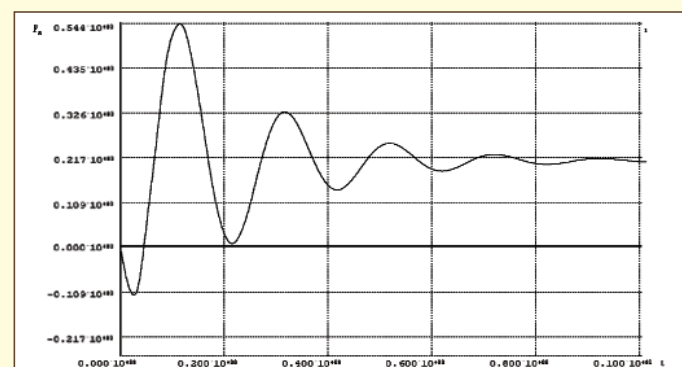


Рис. 2. Переходный процесс в двигателе (давление в камере сгорания) при возмущении давления на входе в БТНА окислителя скачком в устойчивом случае

Заключение

1. Дано физическое описание и разработана математическая модель процесса конденсации высокотемпературного окислительного газа в зоне криогенной жидкости.

2. Установлено, что повышение устойчивости рабочих процессов ЖРД в области низких частот обеспечивается путем:

- уменьшения объема газа и эмпирического коэффициента влияния давления криогенного кислорода p_p на время конденсации $\tilde{\tau}$ (27);

- изменения процесса смешения высокотемпературного газа с криогенной жидкостью, которое приводит к увеличению скорости конденсации.

П

Литература

1. Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит. "Кавитация" Издательство "Мир", Москва, 1974 г.

2. Пилипенко В.Н., Задонцев В.М. "Кавитационные колебания и динамика двухфазных систем". Сборник научных трудов Академии наук Украинской ССР, Киев, 1985 г.

3. Пилипенко В.Н., Задонцев В.М. "Кавитационные автоколебания в насосных системах" Сборник научных трудов Академии наук Украинской ССР ч.1, 2. Киев, 1976 г.

4. Л. Крокко, Чжень Синь-и. Теория неустойчивости горения в жидкостных ракетных двигателях. Издательство иностранной литературы, Москва, 1958 г.

Связь с автором: 8-926-824-7983, mtrtsv@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ

8 ноября 2012 г. во Всероссийском научно-исследовательском институте авиационных материалов состоялся семинар "Высокожаропрочные литейные сплавы, технология и оборудование для производства сплавов и монокристаллических турбинных лопаток". Со вступительным словом к участникам мероприятия обратился генеральный директор ВИАМ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов. Он рассказал об опыте ВИАМ по созданию нового поколения материалов, инновационных разработках института, стратегических направлениях развития материалов, опыте создания малотоннажных производств и планах по воссозданию сети центров климатических испытаний. "Без нового поколения материалов и технологий невозможен рост экономики нашего государства", - подчеркнул Евгений Каблов.



Кроме того, в своем выступлении он обратил особое внимание на то, что в институте кардинально обновлен парк оборудования и создана соответствующая инфраструктура. "Это в свою очередь позволяет повысить качество продукции и услуг, эффективнее применять новые технологии", - заявил Евгений Каблов. "При этом нами эффективно используется собственная система подготовки инженерных кадров, осуществляется передача опыта молодежи, ведется серьезная работа по изучению зарубежного опыта".

Далее с докладом "Коррозионностойкие жаропрочные сплавы для газотурбинных установок" выступила заместитель генерального директора ВИАМ О.Г. Оспенникова. Она сообщила, что для решения задач повышения жаропрочности и коррозионной стойкости лопаток ВИАМом разработаны новые сплавы ЖСКС-1 и ЖСКС-2, которые обладают лучшими характеристиками и

свойствами по сравнению с применяемыми сплавами ЖС-32, ЦНК-8Н, ЗМИ-3У и ЖС-26. При этом изготовление вышеупомянутых новых сплавов существенно дешевле, они прочнее и легче, содержат меньше вредных примесей и обладают повышенной коррозионной стойкостью даже по сравнению с коррозионностойким сплавом ЗМИ-3У. "Они обладают высокой технологичностью и их удобнее использовать при отливке лопаток газотурбинных установок, ресурс которых тем самым может быть увеличен свыше 100 тысяч часов", - подчеркнула Ольга Оспенникова.

Об интерметаллидных сплавах серии ВКНА, их физико-механических свойствах, возможностях поставки и применения рассказала представитель ВИАМ Е.Ю. Туренко. По её словам "интерметаллидные сплавы занимают промежуточное положение между металлическими сплавами и керамикой". Она сообщила, что в ВИАМ проделана большая работа и созданы сплавы ВКНА-4У, ВКНУ-4УР, ВКНА-1В, которые обладают рядом серьезных преимуществ перед никелевыми жаропрочными сплавами. Это касается высокой жаростойкости, более низкой плотности, экономного легирования и удешевления производства. Е.Ю. Туренко подчеркнула, что "интерметаллидные сплавы, разработанные в ВИАМ, уже прошли испытания и технологическое опробование при отливке рабочих лопаток". "Несомненно, их применение позволяет увеличить надежность, уменьшить вес, повысить ресурс и снизить себестоимость лопаток турбины", - заключила она.

Представитель ВИАМ Л.И. Рассохина выступила с докладом, который был подготовлен совместно с доктором технических наук Н.В. Петрушиным "Высокожаропрочные никелевые сплавы для газотурбинных двигателей. Конструирование и экспериментальные исследования". Она сообщила, что в ВИАМ разработан новый сплав: "Это высокожаропрочный никелевый сплав с поликристаллической структурой ВЖЛ-21, который обладает более высокими физико-химическими свойствами, конкурентоспособен с западными и российскими аналогами, а также может быть безболезненно внедрен в существующее производство".

Общий доклад академика РАН Е.Н. Каб-

лова, кандидата технических наук О.Г. Оспенниковой, доктора технических наук В.В. Сидорова и кандидата технических наук В.Е. Ригина "Эффективные технологии и современное оборудование для производства литейных высокожаропрочных сплавов последнего поколения" вниманию участников представил В.Е. Ригин. Он рассказал о современном оборудовании ВИАМ, особенностях его работы и применении новейших технологий в производственном процессе.

Общий доклад доктора технических наук В.В. Сидорова, кандидата технических наук В.Е. Ригина, научных сотрудников А.В. Горюнова и П.Г. Мина "Опыт переработки в условиях ФГУП "ВИАМ" литейных отходов жаропрочных сплавов, образующихся на моторостроительных и ремонтных заводах" озвучил А.В. Горюнов. Он подчеркнул, что "технологии по переработке отходов производства позволяют сэкономить значительные финансовые и материальные средства". При этом удается получить качественный продукт с заданными характеристиками, свойствами и химическим составом, соответствующим ТУ и ОСТ. Прежде всего, речь шла о сплавах ВЖМ4-ВИ, ВЖЛ12У-ВИ, ЖС26-ВИ и ЖС32-ВИ, производимых практически на 100 % из отходов.

Общий доклад кандидата технических наук В.В. Герасимова, кандидата технических наук Е.М. Висик и научного сотрудника Е.В. Колядова "Развитие технологии и оборудования для направленной кристаллизации жаропрочных и интерметаллидных сплавов за последние годы" зачитал Е.В. Колядов.

Об опыте изготовления монокристаллических лопаток в условиях ОАО "Авиадвигатель" и серийного производства на Пермском моторном заводе рассказал главный металлург ОАО "Авиадвигатель" А.С. Коряковцев.

О возможностях и преимуществах производства, а также перспективах применения мелкодисперсных порошков припоев и полуфабрикатов на их основе, порошков для аддитивных технологий рассказал представитель ВИАМ, кандидат технических наук А.Г. Евгенов.

В ходе выступлений участники семинара обсудили представленные сообщения и задали вопросы докладчикам.

П

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ НА ФОРСУНКЕ КЕРОСИНА С РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ДОБАВКИ ПОЛИИЗОБУТИЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет):
Александр Иванович Коломенцев, доцент, профессор кафедры "Ракетные двигатели", к.т.н.
Алексей Николаевич Хохлов, аспирант, м.н.с. кафедры "Ракетные двигатели"
Виталий Петрович Ташев, аспирант кафедры "Ракетные двигатели"

Одним из перспективных направлений повышения энергетической эффективности жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) является применение добавки полиизобутилена (ПИБ) к компоненту топлива. При использовании ПИБ коэффициент полезного действия (КПД) турбонасосного агрегата (ТНА) возрастает до 10 %. Полиизобутилен доступен и дешев. Процентная добавка к топливу составляет около 0,05 %. Цель работы – определить перепад давления на форсунке с различной концентрацией добавки ПИБ с использованием метода регрессионного анализа.

One of perspective directions of raise of power efficiency LRE is application of additive polyisobutylene (PIB) to a fuel component. At use PIB, efficiency turbopump assembly increases to 10 %. Polyisobutylene is accessible and low-cost. The percentage additive to fuel makes around 0.05 %. The study purpose – to define a differential pressure on the injector with various concentration of additive PIB with use regression the analysis method.

Ключевые слова: полиизобутилен, ЖРД МТ, регрессионный анализ.

Keywords: polyisobutylene, LRE of small thrust, regression analysis.

При добавлении в керосин добавки полиизобутилена (ПИБ) пограничный слой турбулентного потока уменьшается. Это явление называется эффектом Томса [1].

Работы проводятся на стенде кафедры 202 МАИ для испытаний ЖРД МТ и его элементов [2]. В качестве объекта исследования использован двигатель тягой 500 Н, работающий на компонентах высококонцентрированная перекись водорода (ВПВ)+керосин, с центральной керосиновой шнекоцентробежной форсункой.

Раствор керосина с добавкой ПИБ готовился посредством разбавления более концентрированного раствора. Были приготовлены растворы с добавкой 0,01 %, 0,05 % и 0,1 %. Система подачи на стенде является вытеснительной. Вытеснение керосина осуществляется газообразным азотом. Расход компонента измеряется кориолисовым датчиком расхода с точностью измерений 0,5 %. Давление подачи измеряется тензометрическим датчиком с точностью 0,5 %. Для заправки керосина с различной концентрацией добавки между опытами осуществлялась промывка магистрали чистым компонентом. Остаточная концентрация измерялась фотокориметром.

Фактором называется измеряемая переменная величина, принимающая в некоторый момент времени определенное значение. При планировании эксперимента факторы должны быть управляемыми.

При определении расхода компонента необходимо знать, от каких факторов он зависит:

$$\dot{m} = (A, p_k, \Delta p, C). \quad (1)$$

Из этой зависимости видно, что входными факторами являются:

А - геометрическая характеристика форсунки. В данной работе она не меняется, т.к. используется одна и та же форсунка;

p_k - противодавление за форсункой. При проведении "холодных" испытаний, противодавление равно давлению окружающей среды, поэтому это также несущественный фактор;

Δp - перепад давления на форсунке;

С - массовая концентрация ПИБ в керосине.

Массовый расход через форсунку и перепад давления на форсунке связаны пропорционально:

$$\dot{m} = \mu F_c \sqrt{2\rho \Delta p}, \quad (2)$$

где μ - коэффициент расхода форсунки, F_c - проходное сечение сопла форсунки; ρ - плотность жидкости (меняется в очень малых пределах).

Как видно из формулы (2), массовый расход зависит от коэффициента расхода. В то же время, μ зависит от С, следовательно, коэффициент расхода является зависимым фактором, и он не учитывается при планировании испытаний.

Остается два существенных и независимых фактора: $\dot{m}$ и С, влияющих на Δp .

Исходя из рекомендуемых значений концентрации С [3] и номинального расхода через форсунку двигателя, выберем уровни варьирования каждого фактора (табл. 1).

Таблица 1

Входной фактор	Уровни варьирования		
	Нижний (минимальный)	Основной (номинальный)	Верхний (максимальный)
$\dot{m}$, г/с	16	23	30
С, %	0	0,05	0,1

Входные факторы будем рассматривать в безразмерном виде:

$$\bar{x}_i = (x_i - x_{i,ном})/\Delta x, \quad (3)$$

где Δx - интервал варьирования; $x_i (i = 1, 2) \in \dot{m}, C$.

Обычно выбирается полиномиальная модель.

В работе выбран полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа 2^k , позволяющий построить уравнение регрессии второго порядка. Число опытов для двух факторов определяется по следующей формуле:

$$N = 3^2 = 9. \quad (4)$$

Уравнение регрессии будет выглядеть следующим образом:

$$\Delta p = b_0 + b_1 \dot{m} + b_2 C + b_{11} \dot{m}^2 + b_{22} C^2 + b_{12} \dot{m} C. \quad (5)$$

Матрица планирования представлена в табл. 2.

Была проведена статистическая обработка результатов испытаний. По критерию Фишера было проверено требование по воспроизводимости и стационарности. Были рассчитаны и проверены на значимость по критерию Стьюдента коэффициенты регрессии. При рассчитанном доверительном интервале $\Delta b = 0,5$ атм значимыми коэффициентами регрессии являются b_0, b_1, b_{11} и b_2 .

Окончательно уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$\Delta p = 6,670 + 4,208 \dot{m} + 0,627 \dot{m}^2 - 0,545 C \quad (6)$$

Регрессионная модель проверена на адекватность по критерию Фишера по десяти контрольным опытам, в качестве которых выбраны опыты № 1, 6, 8, 15, 3, 9, 4, 13, 14, 18. Она адекватна в рассмотренном факторном пространстве.

Таблица 2

Случайный порядок опытов	$\dot{m}$		C		$\Delta p_{i, \text{атм}}$	$\Delta p_{i, \text{ср}}, \text{атм}$
	Код	Значение, г/с	Код	Значение, %		
1	+	30	+	0,1	10,65	10,6
6					10,54	
8					2,30	
15	-	16	+	0,1	2,26	2,28
3					3,79	
9					3,75	
4	+	30	-	0	12,38	12,30
13					12,20	
2					11,50	
12	+	30	0	0,05	11,39	11,45
10					6,50	
16					6,41	
5	-	16	0	0,05	3,07	3,05
7					3,03	
11					7,07	
17	0	23	-	0	6,98	7,03
14					6,63	
18					6,56	

По результатам испытаний построена адекватная регрессионная модель для двухфакторного эксперимента. На рис. 1 приведено сравнение модели с результатами эксперимента. Анализ результатов показал, что с увеличением добавки полиизобутилена в керосин перепад давления на форсунке уменьшается.

Литература

1. V.D. Gaponov, V.K. Chvanov, I.N. Borovik and others. The Investigation of Influence Polyisobutilen Additions to Kerosene at the Efficiency of Combustion. Heat Analysis and Thermodynamic Effects, Edited by Amimul Ahsan, Intech, 2011.

2. Воробьев А. Г., Боровик И. Н., Хохлов А. Н. и др. Модернизация испытательного огневого стенда для исследования рабочих процессов в жидкостных ракетных двигателях малых тяг на экологически чистых компонентах топлива. Вестник МАИ, Т. 14, №1, 2010 г.

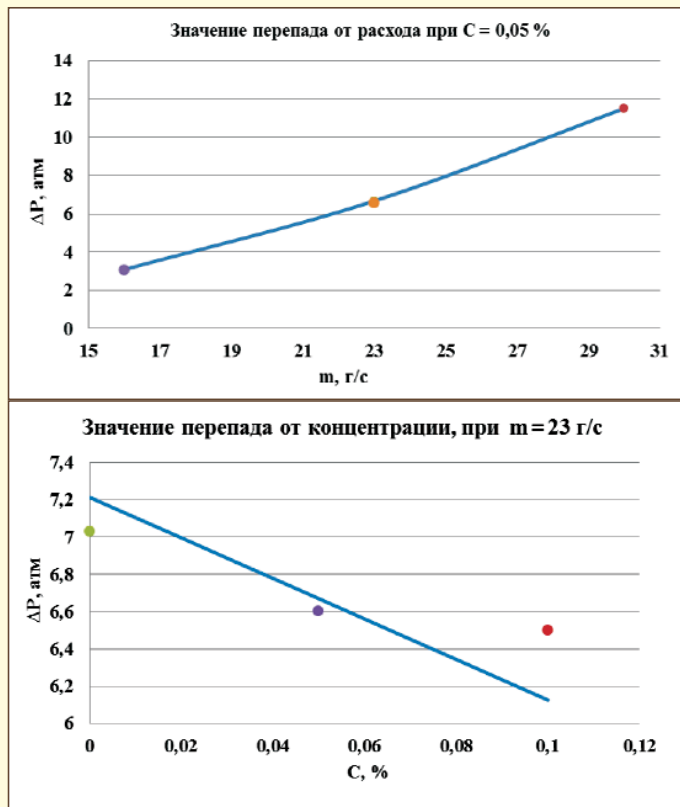


Рис. 1. Значение перепада давления от массового расхода и концентрации добавки в керосине: — уравнение регрессии (б), о - экспериментальные данные

3. В.Д. Гапонов, Ю.И. Каналин, И.А. Клепиков, Л.Е. Стернин. Улучшение работы ЖРД при введении высокомолекулярных полимеров в компоненты топлива. Труды НПО Энергомаш. М., 2000 №18.

Связь с автором: a.i.kolomentsev@yandex.ru

ХІІ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2013

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

19 - 22 НОЯБРЯ



Генеральные информационные партнеры:



Технический партнер:



ОРГАНИЗАТОР

Международный выставочный центр

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

Государственного агентства Украины по управлению государственными корпоративными правами и имуществом 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

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ. СИНХРОНИЗАЦИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ В ЖРД

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

Неустойчивость и автоколебания, происходящие в камере сгорания ЖРД, тесно связаны с турбулентностью потоков продуктов сгорания. Формирование турбулентных структур реализуется из-за наличия вязкости среды и особенностей геометрии камеры, приводящей к искривлениям линий тока. В сформированной турбулентной структуре уже изначально заложена собственная частота колебаний и при соответствующей инициации поток начинает совершать колебательное (волновое) движение с этой частотой. Начало автоколебаний в соответствии с доказанной ранее теоремой возникает при условии $\Phi Z > 1/4$ и $\omega = \text{const}$. Возникшие локальные автоколебательные движения в камере сгорания ЖРД синхронизируются, принимая общий ритм, и система колеблется как единое целое. Фундаментальный нелинейный эффект синхронизации при этом играет ключевую роль в зарождении неустойчивости ЖРД.

Итак, турбулентность является причиной неустойчивости процессов в ЖРД и прочих двигателях, работающих на реактивном принципе. Неустойчивость в камере сгорания при работе может возникнуть, а может и не возникнуть. Все зависит от соотношений параметров, которые реализуются при турбулентном течении. В соответствии с теоремой о возникновении автоколебательного процесса [1] для того, чтобы возникла неустойчивость, требуется соблюдение необходимого и достаточного условий, выражающихся в математическом представлении определяющих параметров. Первое необходимое условие заключается в том, что течение должно иметь колебательный (волновой) характер и сводится к нахождению математических выражений, описывающих колебательное решение уравнения Навье-Стокса. При получении этого условия анализируется дискриминант характеристического уравнения для обыкновенного дифференциального уравнения главного колебательного звена. Отмечается, что комплексное решение характеристического уравнения соответствуют колебательным (волновым) течениям. Это соответствие выражается неравенством некоторой комбинации, составленной из операторов, воздействующих на абсолютную скорость V и может быть записано в виде критерия Филина-Зенина:

$$\Phi Z = \frac{\kappa V^4}{\nu a^2} \cdot \frac{d}{dr} \frac{V}{\text{rot}^2 V} > \frac{1}{4},$$

где κ , ν и a - показатель адиабаты Пуассона, кинетическая вязкость и местная скорость звука.

Этот критерий соответствует опытам Рийке, Босша-Рисса и обобщениям Релея.

Второе достаточное условие получается из требования равенства дисперсии и нелинейности. В результате, после преобразования членов главного уравнения колебательного звена, оно записывается в виде:

$$\rho \omega^4 = \text{const}.$$

Если известна константа интегрирования, например, после подстановки начальных условий в решаемой задаче, то это выражение можно переписать:

$$\rho \omega^4 = \rho_c \omega_c^4.$$

При малых амплитудах, что обычно реализуется в акустике, можно считать, что $\sqrt[4]{\rho/\rho_c} \approx 1$, и тогда угловая скорость становится константой. Достаточное условие вырождается в условие, при котором зародившееся вихревое течение не изменяется в течение всего времени работы двигателя ($\omega = \text{const}$).

Необходимое и достаточное условие можно объединить, если считать справедливым последнюю математическую запись, тогда неравенство можно переписать в виде:

$$\frac{\kappa V^3}{\nu a^2 \omega^2} \cdot \frac{dV}{d\tau} > 1.$$

Вводя число Маха и формируя новый дифференциал, получим:

$$\frac{\kappa M^2}{\nu \omega^2} \cdot \frac{d}{d\tau} \frac{V^2}{2} > 1.$$

После домножения каждого члена неравенства на величину собственной частоты системы ω_0 получим:

$$\omega_0 < \frac{1}{\text{Be}} \cdot \frac{d}{d\tau} \frac{\kappa M^2}{2},$$

где Be - число Беренса.

Последнее неравенство отражает условие возникновения автоколебательного процесса, а значит условие возникновения неустойчивости.

Анализ необходимого условия возникновения автоколебаний

Необходимое условие возникновения автоколебаний Филина-Зенина предполагает и следующую запись [1]:

$$\frac{\kappa V^3}{\nu a^2} \cdot \frac{d}{d\tau} \frac{V}{\text{rot}^2 V} > \frac{1}{4}.$$

В случае выполнения этого условия и условия постоянства угловой скорости эти колебания возникнут. Реализуется автоколебательный режим и уравнение Навье-Стокса после соответствующих преобразований через главное уравнение колебательного звена [2], примет вид:

$$\frac{d^2 \tilde{p}}{d\tau^2} + 4\nu \frac{\kappa M^2}{R^2} \frac{d \ln \frac{R}{\omega}}{d\tau} \tilde{p} = 0.$$

Очевидно, что коэффициент при $\tilde{p}$ есть квадрат собственной частоты системы и его можно переписать в следующем виде:

$$\omega_0^2 = 4\nu \frac{\kappa V^3}{a^2 R^4} \cdot \frac{d}{d\tau} \frac{V}{\omega^2}.$$

Совместное рассмотрение неравенства и последнего уравнения дает возможность записать новое неравенство, которое также является необходимым условием к сформулированной выше теореме:

$$\frac{\omega_0 R^2}{2\nu} > 1 \text{ или } \omega_0 > \frac{2\nu}{R^2}.$$

Последнее выражение говорит о том, что колебательный процесс в системе начнется тогда, когда частота собственных ко-

лебаний системы превысит некоторую критическую собственную частоту, которая зависит только от параметров характеризующих турбулентное течение, это - кинематическая вязкость ν и кривизна линии тока $1/R$. Тогда можно записать следующее необходимое условие для возникновения автоколебаний:

$$\omega_0 > \omega_{0\text{кр}}.$$

Переведем это выражение в безразмерный вид. Домножим в правой части неравенства числитель и знаменатель на величину угловой скорости с целью выделить абсолютную скорость потока V :

$$\omega_0 > \frac{2V\omega}{RV}.$$

Замечая в числителе число Рейнольдса, построенное по кривизне линии тока запишем неравенство в более наглядном виде:

$$\frac{\omega}{\omega_0} < \frac{Re}{2}.$$

Из последнего неравенства явно следует прямая связь турбулентных и волновых (акустических) параметров. При этом можно сказать, что чем выше турбулентность, то есть число Рейнольдса больше, тем меньше собственная частота колебаний, а при низких числах Рейнольдса, в частности при ламинарных режимах, собственная частота системы выше. Это - логично, так как число Рейнольдса обратно пропорционально величине скорости звука в данной среде:

$$\nu \sim a \cdot l_{\text{св}},$$

где $l_{\text{св}}$ - длина свободного пробега молекул.

Ведь известно, что более вязкие и густые жидкости имеют большую скорость звука, чем газы.

Последнее неравенство также ставит в один ряд угловую скорость и угловую частоту. По существу это аналогичные понятия, так как и то и другое предполагает периодичность. В случае с угловой скоростью это - пространственная периодичность, а в случае с угловой частотой временная. Но между двумя этими понятиями существует простая связь, такая как связь длины волны и периода. В ситуации, когда зарождаются автоколебания, угловая скорость служит их источником и от частоты генерируемой угловой скорости зависит частота колебаний в камере. Следует также отметить, что не только угловая скорость может генерировать колебания. Это может происходить с любой вихревой операцией над скоростью. Кроме угловой скорости колебания может генерировать и торсионный жгут (кручение Ω), то есть, параметр, полученный двойным применением операции ротор. Безусловно, к генерирующим факторам следует отнести все суперпозиции названных параметров, например винтовое течение и др.

При получении критериев возникновения автоколебаний, а значит и неустойчивости процессов использовалось векторное уравнение Навье-Стокса. Оно было преобразовано сначала путем векторных операций в скалярное, а затем в обыкновенное дифференциальное уравнение относительно амплитудной функции - статического давления. При этом основной посылкой к преобразованиям было то, что процесс рассматривался в точке, то есть в каждой зафиксированной точке пространства камеры сгорания записывалось уравнение для осциллятора с собственной частотой, сложным образом зависящей от абсолютной скорости газового потока. Течение при этом рассматривалось вдоль линий тока, которые характеризовались их кривизной.

На основании разработанной теории удается предсказать наступление неустойчивости в каждой точке. При этом можно построить поле критериев, определяющих устойчивость, в каждой точке и выделить области неустойчивости. В связи с изложенным возникает новая задача: каким образом взаимодействуют между собой локальные зоны неустойчивости и каким образом установить границу устойчивости целиком камеры сгорания. На эти вопросы позволяет ответить фундаментальное нелинейное явление - явление синхронизации колебательных систем. Это явление впервые зафиксировал Христиан Гюйгенс, когда проводил свои знаменитые опыты на маятниковых часах [3].

От Гюйгенса до Ферми

Начало исследований явления синхронизации исходит от времен творчества великого нидерландского естествоиспытателя Христиана Гюйгенса.



Христиан Гюйгенс

Христиан Гюйгенс родился в 1629 году в семье высокообразованных родителей, где все увлекались музыкой, знали языки и общались с первыми лицами государства. Научная жизнь Христиана Гюйгенса прошла в Париже. Здесь он, будучи уже известным математиком, физиком и астрономом, сделал главные открытия в своей жизни. Он изобрел маятниковые часы; заложил основы теории удара; создал волновую теорию света, объяснив при этом двойное лучепреломление; совместно с Робертом Гуком установил постоянные точки термометра;

после изобретения окуляра усовершенствовал телескоп; открыл кольца у Сатурна и его спутник Титан. Он автор одного из первых трудов по теории вероятностей. Одним из величайших открытий, сделанных Гюйгенсом, было открытие явления синхронизации.

Явлением синхронизации в дальнейшем занималась целая плеяда известных ученых, которые существенно продвинули теорию в данном направлении и получили многочисленные экспериментальные подтверждения универсальности этого явления. Среди них Джон Вильям Стретт (лорд Релей), Эдуард Виктор Эпплтон, Балтазар Ван-дер-Поль, Александр Александрович Андронов, Александр Адольфович Витт. Существенный толчок в развитии теории синхронизации и впоследствии теории о солитонах внесли Энрико Ферми, Джон Паста и Станислав Улам, которые поставили уникальный численный эксперимент об одновременных колебаниях большого числа связанных осцилляторов.

Следует упомянуть, что выдающийся итальянский физик Энрико Ферми помимо уникальных численных исследований в области теории перехода структур в хаос, известен как специалист в области современной теоретической и экспериментальной физики, участник атомного проекта в Лос-Аламосе. Является основоположником квантовой физики. Он разработал статистику частиц с полуцелыми спинами, подчиняющимся принципу Паули, которые были названы фермионами. Ферми было открыто много эффектов, связанных с взаимодействием частиц с нейтронами. Впоследствии это привело к началу новой дисциплины - нейтронной физики. Многочисленные достижения в современной науке ставят Ферми в ряд величайших ученых двадцатого века и хотя задача о совместных колебаниях многочисленных осцилляторов выглядит на фоне его научных достижений весьма частной, но даже она привела к стимуляции исследований и дальнейшему бурному развитию новых направлений в физике нелинейных колебаний.



Энрико Ферми

Синхронизация колебаний в камере ЖРД

Открытый и развитый впоследствии эффект синхронизации механических систем справедлив и для колебаний, текущих сплошных сред, возникающих при нестационарных режимах работы двигателей и энергетических установок, в частности ЖРД. Классическое представление о феномене синхронизации опирается на понятие

равенства частот и скоординированности фаз колебаний. То есть существующий набор осцилляторов, имеющих различные частоты и соединенные слабой или жесткой связями, с течением времени выделяя внутри себя общую частоту и одновременно кратную фазу, колеблется как единое целое. Другими словами синхронизация - это подстройка ритмов. Осцилляторы начинают работать с некоторой одной синхронной частотой. Величина этой частоты находится между минимальной и максимальной парциальными частотами. В работе [4] без доказательства приводится зависимость для вычисления синхронной частоты в виде средневзвешенного значения парциальных частот:

$$\omega_0 = \sum_{i=1}^k b_i \omega_{0i}, (b_1 + b_2 + \dots + b_k = 1),$$

где b_i - весовая функции параметров системы (связи).

Для понимания этой формулы следует определить понятие связи. Слабая связь это, в соответствии с [3], такое взаимодействие между осцилляторами, при котором справедливо понятие индивидуальности каждой парциальной частоты. Сильная - такая, при которой имеет место доминирование одной частоты над другими. В первом случае происходит справедливое распределение энергии в соответствии с весовой долей каждой из парциальных частот. Во втором происходит захват частоты и система колеблется по законам более мощного осциллятора. Такое расплывчатое определение не предполагает четкой границы перехода от первого случая ко второму. Этот вопрос в теории синхронизации поля остается открытым.

Вторым открытым вопросом остается интерпретация результатов численного эксперимента Ферми. Ведь в своих опытах Ферми на примере мультиосциллятора хотел получить хаос. Его постановка задачи сводилась к тому, что он рассматривал слабые связи и ожидал, что энергия равномерно перераспределяется между парциальными осцилляторами. Но! Получилось не так. Моды не сливались в общий беспорядочный хор [5], а наоборот выделялось несколько "солистов", которые выступали по очереди, а остальные им аккомпанировали. Более того, вместо ожидаемой какофонии, когда одновременно звучат с одинаковой силой все моды, получается примитивная, но вполне музыкальная пьеса.

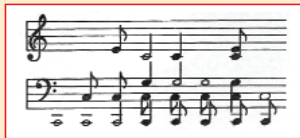
Основополагающей позицией в теории синхронизации является то, что синхронизируемые осцилляторы должны работать в авто-

колебательном режиме. Если автоколебаний в системе нет, то она не сможет синхронизироваться. Автоколебания, возникающие в ЖРД, представляют собой синхронизированные локальные парциальные автоколебания, которые возникают в отдельных частях объема камеры. Источником таких автоколебаний являются вихри, жгуты и пр., возникшие вблизи геометрических особенностей конструкции. Это область около форсуночной головки, противоакустические "кресты", области впрыска и вдува охлаждающих компонентов.

Между зонами, где генерируются автоколебательные структуры имеется связь в виде упругой массы продуктов сгорания, которая соединяет между собой возникшие осцилляторы и делает систему единой, у которой со временем формируется собственная частота и фаза. □

Литература

1. Ю.М. Кочетков. Турбулентность и автоколебательный процесс в ЖРД. // Двигатель. № 3, 2012 г.
2. Ю.М. Кочетков. Турбулентность и АФЧХ. // Двигатель. № 1, 2012 г.
3. А. Пиковский, М. Розенблум, Ю. Куртс. Синхронизация: фундаментальное нелинейное явление. М. Техносфера, 2003 г.
4. И.И. Блехман. Синхронизация в природе и технике. М. Наука, 1981 г.
5. А.Т. Филиппов. Многоликий солитон. М. Наука, 1986 г.



ПАМЯТЬ



6 октября скончался заслуженный ветеран Московского авиационного института (национального исследовательского университета), дважды лауреат премии 25-летия МАИ, доктор технических наук, профессор Валерий Васильевич Черваков.

Валерий Васильевич, известный ученый и педагог, долгое время возглавлял кафедру "Двигатели летательных аппаратов", проводя совместно с промышленностью (РКК "Энергия", НПО "Энергомаш", КБХА и др.) актуальные для прикладной науки исследовательские

работы по ЖРД. В сфере его научно-исследовательской деятельности были проблемы теории лопаточных машин, сложная гидравлика узлов двигательных установок на основе ЖРД, тематическое моделирование процессов в двигательных установках современных ракетных и космических комплексов. Его перу принадлежит более ста научных публикаций в виде статей

в ведущих научных журналах отрасли, учебников для студентов и аспирантов в виде пособий с грифом Министерства образования и науки Российской Федерации, несколько монографий. Широко известны его работы по динамике нелинейных процессов в ЖРД, акустике и кавитации. За свою активную научную деятельность Валерий Васильевич был неоднократно отмечен медалями и знаками СССР, Роскосмоса и Федерацией Космонавтики. В семидесятых годах был избран депутатом Моссовета. С 2000 по 2009 год в должности декана Валерий Васильевич возглавлял факультет "Двигатели летательных аппаратов", где проявил себя великолепным преподавателем и воспитал многочисленную школу наследников его знаний. Он был мудрым и взвешенным руководителем и подготовил таких же талантливых как он сам руководителей и педагогов. Валерий Васильевич - ученый, широко известный за рубежом нашей страны. В качестве преподавателя и консультанта он обучал студентов и аспирантов Бразилии, Китая, Кореи и др. Валерий Васильевич был членом редколлегии журнала "Двигатель" и его активным автором.

Редакция журнала разделяет скорбь друзей, коллег и студентов Московского авиационного института и выражает искреннее соболезнование его родным и близким. □

Редакция журнала "Двигатель"



7-10 МАРТА • КРОКУС ЭКСПО

ВЫСТАВКА СТАРИННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И АНТИКВАРИАТА



www.oldtimer.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, 1-5 - 2012)

Выпущенный в одностороннем порядке работниками МОМ технический отчёт по результатам расследования причин аварии при пуске Н1 № 7Л не снял вопросов, связанных с возможностью продолжения лётных испытаний Н1-Л3. Официальное возражение разработчиков двигателей НК-15 подписать отчёт, в котором причиной аварии указан взрыв двигателя, существенно обострил сложившуюся ситуацию. Не вмешивающийся в технические споры о причине аварии Устинов не мог оставаться долго в стороне. Когда тяжба между Мишиным и Кузнецовым переросла из технической сферы в сферу выявления в "именительном падеже" виновника происшедшей аварии, Устинов вынужден был вмешаться. Он поочерёдно и раздельно выслушал каждую сторону и предложил Кузнецову признать причиной аварии взрыв двигателя. Предложение Устинова не имело технической подоплёки, это было политическое решение задачи продолжения работ по РН Н1, т.к. позволяло считать, что с установкой модернизированных двигателей НК-33 на РН Н1 № 8Л причина предыдущей аварии устраняется и работы с комплексом Н1-Л3 могут быть продолжены.

Однако Кузнецов решительно отказался взять на себя чужой, как он считал, "грех": убедительных доказательств в причастности к аварии двигателя, отработавшего в штатном режиме 106 с, приведено не было. А в таком случае уже ракетчики должны были разбираться в работе остальных систем и устранять недоделки. Это была позиция человека, не только устранившего ранее имеющиеся претензии к его работе, но и требующего объективного выявления причины аварии для её исключения при последующих испытаниях РН Н1.

Для разработчиков РН Н1 такая ситуация была неприемлема. Если согласиться с Кузнецовым о непричастности двигателя к аварии и признать разрушение топливной магистрали от гидроудара при выключении шести центральных двигателей или любую другую причину, не связанную с работой двигателей, то требовалось проведение дополнительных работ по выявлению этой причины, разработки мероприятий для её устранения и доработки конструкции ракеты. А это автоматически отодвигало на неопределённое время проведение следующего пятого пуска РН Н1 и свидетельствовало о неотработанности не только двигателей, но и других ракетных систем. И всё это пока что при работе первой ступени. А как будут работать вторая и третья ступени, не говоря о лунном комплексе? Такие перспективы не вызвали оптимизма у Устинова.

(Небольшая ремарка. В книге В.Н. Орлова и М.В. Орловой "Генеральный конструктор Н.Д. Кузнецов и его ОКБ" (изд. "Волга - Дизайн", 2011 г.) приводится информация, что в 1975 г. работники ОКБ Кузнецова случайно узнали о ранее проведённых ракетчиками имитационных испытаний на модели блока первой ступени ракеты Н1, при которых в момент снятия части нагрузки на магистраль подвода окислителя к двигателям, аналогичной отключению шести центральных двигателей, трубопровод окислителя разрушается. Но результаты этих испытаний ракетчики держали в секрете, настаивая на взрыве двигателя НК-15. И если это действительно было так, то получилась аналогично поговорке: "Маленькая лож ведёт к большому не-

доверию". В нашем же случае сокрытие фактической причины одной аварии в результате привело к полному краху всего проекта Н1).

Разногласия и технические споры среди разработчиков ракетной техники были обычным делом, но всегда находили компромиссные технические решения, позволяющие продолжать работы. Сейчас же один из основных разработчиков вышел из общего строя. Впервые в процессе проведения лётных испытаний РН Н1 нужно было принимать решение о следующем пуске, не имея окончательно оформленного технического заключения о причинах аварии при предыдущем. А между тем в апреле 1974 г. исполнилось почти 1,5 года после проведения аварийного 4-го пуска и около 10 лет после принятия правительственного Постановления от 03.08.64 г. "О работах по исследованию Луны и освоению космического пространства", давшего старт советской Лунной программы. Тетива напряжённости в сфере отечественной космонавтики натягивалась всё сильнее. И в кого попадёт вылетевшая стрела? Отказ Кузнецова поступиться техническими принципами ради продолжения общего дела и проявление им нежелания на глазах своих сотрудников и ракетно-космической элиты уступить нажиму секретаря ЦК КПСС заставили Устинова по-настоящему насторожиться. Не поймут ли "верные ленинцы" из Политбюро отказ Кузнецова подписать подготовленное заключение как бегство с тонущего корабля? Политическое руководство страны воспринимает участвовавшие провалы в космической отрасли - неудачные полёты к Марсу и Венере, невыполнение космонавтами программы пилотируемых пусков, гибель четырёх космонавтов - как удар по международному авторитету страны, построившей социализм. А за все работы в ракетно-космической отрасли в Политбюро отвечает Устинов. Знающий технократ, понимающий объективные трудности совмещения процессов познания и создания новой наукоёмкой техники, Устинов на протяжении 12 лет (с июля 1962 г., когда Госкомиссия под председательством Келдыша одобрила эскизный проект РН Н1, разработанный под руководством Королёва) лояльно относился к срывам правительственных сроков разработки, понимая необеспеченность выполнения этих сроков имеющимися производственными мощностями и выделяемым финансированием. И во многом благодаря его подписи под проектами правительственных Постановлений сроки начала лётных испытаний РН Н1 несколько раз последовательно переносились с 1965 г. до 1969 г. Жёсткий и властный руководитель, Устинов не допускал стороннего вмешательства в сферу своей деятельности, подчиняясь только высшей инстанции. Такие люди имеют авторитет, пользуются уважением, но и порождают зависть и неприязнь у близких стоящих на ступенях иерархической лестницы.



В.П. Мишин



Н.Д. Кузнецов

Оценив сложившуюся в его "хозяйстве" ситуацию, Устинов понял, что наступил момент, когда либо он сделает членам Политбюро предложение о дальнейшем развитии космонавтики, либо ему предложат... А предложить могли всё, что угодно, вплоть до перемещения на менее значимую должность в партийно-государственной иерархии.

Опытный аппаратчик - нарком вооружения при Сталине, зампред Совмина при Хрущёве, секретарь ЦК при Брежневе - Устинов понимал, что его предложение о дальнейшем пути развития космонавтики должно основываться на коллективном решении руководящих лиц этой отрасли. И он принял решение провести совещание в составе должностных лиц, авторитетных для членов Политбюро и Президиума Совета Министров, также разделяющих вызревшее у него после длительных раздумий решение прекратить явно затянувшиеся "лунные страдания".

На формирование у Устинова такого решения не могли не оказать влияния объективные факторы: "чёрная" статистика аварийных пусков, критика проекта авторитетными главными конструкторами ракетно-космической отрасли, признание самих разработчиков об изначальном допущенных ошибках в проекте ракеты Н1, отсутствие какого-либо интереса к ракете Н1 со стороны Минобороны, отсутствие в течение 12 лет предложений по использованию РН Н1 для решения других, кроме Лунной программы, конкретных научно-технических и народнохозяйственных задач, потерю интереса к Лунной программе, высказанную Келдышем после посещения американскими астронавтами Луны и её изучения советскими автоматическими аппаратами. И, наконец, самое главное - была утрачена основная политическая цель программы: опередить американцев в высадке человека на лунную поверхность.

В первых числах мая 1974 г. в ЦК КПСС состоялось совещание, в котором приняли участие от ЦК КПСС - Д.Ф. Устинов, И.Д. Сербин, И.В. Илларионов, от АН СССР - М.В. Келдыш, от ВПК - Л.В. Смирнов, Б.А. Комиссаров, А.И. Царёв, министр МАП П.В. Дементьев, министр МОМ С.А. Афанасьев, его заместитель Г.А. Тюлин, директор ЦНИИМаш Ю.А. Мозжорин.

Отметим отсутствие на совещании кого-либо из главных конструкторов ракетно-космической отрасли. Пригласить не участвующих в разработке Н1-Л3 - не логично, а участвующие наверняка будут за продолжение работ - кто же добровольно согласится с прекращением финансирования своей научной или производственной деятельности. Кроме того, главные конструкторы при всей их научно-технической значимости всего лишь исполнители решений, принимаемых собранными Устиновым партийно-государственными деятелями.

Накануне этого совещания, в порядке подготовки к нему, Мозжорин обсудил позицию института с ведущими специалистами, имеющими отношение к разработке РН Н1 и Лунной программе. Приведём воспоминания Мозжорина об этом совещании, изложенные в уже ранее упоминавшейся его книге "Так это было": "Попросил каждого не полемизируя, изложить своё мнение с краткой аргументацией по вопросу: закрывать или продолжать Лунную программу исходя из сложившихся в настоящее время обстоятельств? Большинство склонялось к мнению, что Лунную программу следует закрыть, т.к. научная ценность её уже исчерпана большим количеством полётов американских астронавтов на Луну, полётами отечественных автоматических космических аппаратов с забором грунта Луны и доставкой его на Землю, исследованиями Луны с помощью "луноходов" и её искусственных спутников. А разработку носителя Н1 надо продолжать для его использования при решении других перспективных задач. Я не стал открывать дискуссии, т.к. это совпадало с моим мнением, поблагодарил всех и уехал в ЦК".

Совещание состоялось в кабинете Устинова в здании ЦК на Старой площади. Хозяин кабинета сделал краткое вступление. Далее приводится цитата из упомянутой книги Мозжорина: "Дмитрий Фёдорович отметил, что Лунная программа, по существу, провалена. Из четырёх пусков РН в автоматическом варианте - все аварийные, ещё на этапе работы первой ступени. Причины неудач лежат в ненадёжности двигателя Н.Д. Кузнецова. При использовании многодвигательной установки это приводит к катастрофическим последствиям и делает проблему обеспечения надёжности носителя бесперспективной.

Поэтому пришла пора честно доложить в Политбюро ЦК КПСС о состоянии дел и войти с предложением о закрытии программы Н1-Л3".

После этого выступления Устинов предложил в обязательном порядке высказаться каждому участнику совещания. Начали с "левого фланга" по должностной иерархии - с директора ЦНИИМаш Мозжорина. Его выступление соответствовало репетиции, проведённой им в институте: Лунную программу закрыть, носитель Н1 оставить для решения перспективных космических задач, тем более, что основной дефект носителя - низкая надёжность двигателей - уже устранена, продолжительность их работы на стенде доведена до трёх ресурсов.

Все последующие выступавшие поддержали предложение Устинова закрыть Лунную программу и прекратить работы по комплексу Н1-Л3 вместе с носителем Н1: Лунная программа ни для политиков, ни для учёных не представляла интереса, а продолжение работ по носителю Н1, не имеющего конкретной задачи для его применения, не имело смысла. Главный удар по предложению Мозжорина нанёс Келдыш. Он повторил ранее сделанное им заявление, что высадка на Луну одного советского космонавта уже потеряла своё политическое значение, а для науки после исследований автоматами Луна интереса не представляет, других же научных или народнохозяйственных задач, для решения которых нужно было бы использовать Н1, никто не выдвигает. Казалось бы, некоторое недоумение могла вызвать поддержка предложения, сделанного Устиновым, министрами Афанасьевым и Дементьевым, т.к. принятие в середине года решения о прекращении изготовления комплекса Н1-Л3 создавало трудности в организации дальнейших работ на многочисленных заводах и в научных организациях в МОМ и МАП. Но на протяжении нескольких лет тема Н1 была для министров головной болью, они по человечески устали от постоянных срывов правительственных сроков выполнения работ, от аварийных исходов лётных испытаний, от вынужденных докладов в ЦК КПСС и на Президиуме Совмина и отстаивать продолжение работ ради сохранения загрузки предприятий вопреки мнению секретаря ЦК, президента АН, председателя ВПК они сочли не лучшим для себя выбором.

Подводя итоги совещания, Устинов отметил почти единодушное мнение выступавших о закрытии Лунной программы и поручил подготовить проект доклада в Политбюро с кратким обоснованием причин принятого на совещании решения.

Характерной чертой этого совещания по опубликованным воспоминаниям его участников или ссылкам на их рассказы было обсуждение только технических вопросов, касающихся целесообразности продолжения работ по комплексу Н1-Л3 и его основе - РН Н1. О возможных кадровых или организационных изменениях и перспективе отечественной космонавтики выступившие на совещании не касались. Эти вопросы не входили в озвученную Устиновым во вступлении тему совещания, да и решались они на более высоком уровне.

Взявший на себя инициативу обратиться в Политбюро с предложением прекратить дальнейшие работы по теме Н1, Устинов по логике был обязан и предложить программу дальнейшего развития отечественной космонавтики. Для этого нужен был, прежде всего, новый лидер космической отрасли, Мишин в этом амплу полностью себя дискредитировал. Из предыдущих частей данной статьи читатель уже знает о негативном отношении к Мишину у авторитетных руководителей ракетно-космических предприятий и организаций. Новым лидером мог стать человек, пользующийся доверием и имеющий авторитет, как в среде главных конструкторов, так и в высших партийно-государственных структурах. Таким был Королёв после запуска первого искусственного спутника Земли и до своей смерти



Л.И. Брежнев, Ю.В. Андропов, Д.Ф. Устинов

на операционном столе в январе 1966 г. Реализация заложенного Королёвым проекта Н1 должна была стать новым триумфом советской космической техники. Однако проявившиеся технические разногласия и накопившиеся личные обиды у Королёва и Глушко стали первым сигналом о распаде бывшего Совета Главных Конструкторов. Наличие "родимого пятна" у проекта Н1 - недостаточная надёжность многодвигательной первой ступени - привело к появлению альтернативного проекта УР-700. Формально унаследовавшему должность главного конструктора ОКБ-1 Мишину роль лидера оказалась не по плечу. Его многочисленные технические ошибки и неприемлемость отношений с участниками разработки Н1 завершили процесс распада творческого единства главных конструкторов.

В этой обстановке простая замена Мишина одним из руководителей имеющих в СССР ракетных ОКБ - В.Н. Челомеем, В.П. Макеевым или В.Ф. Уткиным - не решала вопроса. Ни один из них, по мнению Устинова, не годился на роль лидера. Нужен был человек, способный внести новую живую струю в отечественную космическую программу. И Устинов в своём выборе нового лидера остановился на кандидатуре Глушко, имеющего не только авторитет в научных кругах и партийно-государственных структурах, но и собственные предложения по формированию новой космической программы, о которой Глушко ему докладывал в частном порядке.

В многочисленных воспоминаниях работников ракетно-космической отрасли Устинова и Глушко называли друзьями, хотя вряд ли их отношения соответствовали общепринятому понятию дружбы. Под дружбой людей обычно подразумевается общение в неформальной обстановке, семейные контакты, общность интересов вне сферы профессиональной деятельности, совместное проведение досуга. По имеющимся сведениям, таких отношений между ними не было. Они познакомились в послевоенные годы в Германии, где нарком вооружения Устинов возглавлял правительственную комиссию по изучению трофейной военной техники, а главный конструктор казанского ОКБ-РД Глушко знакомился с разработками немецких инженеров в области реактивных двигателей. Подводя первые итоги своей деятельности, 31 мая 1946 г. Глушко направил Устинову развёрнутую докладную записку, в которой наряду с констатацией результатов проделанной под его руководством работы изложил концепцию ракетного двигателестроения в СССР.

Вся последующая работа Глушко проходила в отрасли, которой в разных должностях руководил Устинов. В течение этих лет он имел возможность убедиться в целеустремлённости Глушко, его непреклонности в достижении цели, принципиальности в отстаивании своих убеждений, в умении увидеть за частностями главное звено проблемы. За эти деловые качества Устинов ценил Глушко, оказывал ему больше внимания, чем другим главным конструкторам, в какой-то мере покровительствовал ему. Глушко мог напрямую обращаться к Устинову и рассчитывать на его поддержку и помощь. Но это не означало, что Устинов закрывал глаза на ошибки, срывы сроков, недоработки ОКБ Глушко. Спрос был также суров, как и с других главных конструкторов.

Определившись с кандидатурой лидера, Устинов пригласил Глушко для беседы. Подробности этого фрагмента в биографии Глушко мне стали известны от М.И. Яремича, который в годы войны служил в военной контрразведке - "Смерше", а с 1955 по декабрь 1959 г. работал заместителем главного конструктора ОКБ-456 по режиму. После увольнения в запас в звании полковника КГБ он продолжил работу в ОКБ-456 в должности помощника-референта Глушко. В 1974 г. он вместе с Глушко был переведён в НПО "Энергия", а после смерти Глушко в январе 1989 г. вернулся в НПО Энергомаш. Яремич был ближайшим доверенным лицом у Глушко, выполняя его разнообразные поручения, в том числе и личного характера. Свою работу Яремич характеризовал так: *"Я разгружаю Валентина Петровича от выполнения мелких административных дел и житейских забот, которые отвлекают его от основной работы"*. Глушко по характеру был замкнутым человеком, со своими ближайшими сотрудниками держал дистанцию, но, видимо, при этом испытывал необходимость делиться с кем-нибудь некоторыми подробностями своей жизни. И этим кем-то был Яремич, который свято хранил в тайне всю получае-

мую от Глушко информацию. О беседе Устинова с Глушко я узнал от Яремича спустя несколько лет после смерти Глушко.

В ходе беседы Устинов информировал Глушко о проведённом им совещании и о готовящемся по итогам совещания решении прекратить работы по теме Н1, в связи с чем появилась необходимость в разработке новой программы космических исследований, после чего предложил Глушко возглавить это направление работ. Выслушав предложение, Глушко, естественно, положительно воспринял информацию о предстоящих работах взамен темы Н1 и, понимая необходимость быстрого принятия последующих решений, не стал брать время для раздумий. Ведь сколько раз в процессе разработки новой космической программы он продумывал варианты её реализации. И получив такое предложение, сразу же изложил условия, при выполнении которых он будет согласен возглавить головное предприятие по разработке ракетно-космической техники. Это должно быть вновь организованное НПО "Энергия" в составе бывшего ЦКБЭМ с заводом и филиалами и КБ Энергомаш с заводом и филиалами. Новое НПО возглавит в одном лице директор и генеральный конструктор - Глушко. Для Мишина места в новом НПО он не видит. Что же касается новой космической программы, то концепция её им разработана, и он готов обсудить её с руководством и главными конструкторами космической отрасли.

Получив согласие Глушко возглавить реализацию новой космической программы, Устинов не стал согласовывать намеченные им кадровые изменения ни со Смирновым, ни с Афанасьевым, а включил это предложение в текст своего доклада. После этого он обратился с просьбой к Брежневу заслушать на заседании Политбюро его доклад о состоянии дел в космической отрасли. Брежнев не возражал, но решил вынести доклад Устинова не на Политбюро, а на очередное заседание Совета обороны, который он возглавлял, а в состав входили почти все члены Политбюро. В результате обсуждения доклада были приняты решения, изложенные в протоколе № 45/11 - 137/V11 Совета обороны от 17 мая 1974 г. Среди ряда решений, принятых на этом заседании, имеется 3 пункта, интересующих нас:

- работы по теме Н1 прекратить;
- В.П. Мишина освободить от занимаемой должности главного конструктора ЦКБЭМ, а В.П. Глушко назначить главным конструктором ракетного Научно-производственного объединения;
- считать целесообразным генеральному конструктору Н.Д. Кузнецову сосредоточить внимание на разработке новых образцов авиационных ПТД.

Решение одного из высших государственных органов, каковым являлся Совет обороны, не имели прямого действия. Во исполнения таких решений выпускались правительственные Постановления, указы по министерствам и ведомствам и т.д. Так что для фактической реализации принятого решения по кадровому изменению потребовалось ещё несколько дней.

Ход заседаний Политбюро и Совета обороны, обсуждаемые на них вопросы, носили закрытый характер. Но последующая распечатка протокола заседания, составление текстов поручений расширяли круг лиц, ознакомившихся с принятыми решениями, что приводило к преждевременной несанкционированной утечке информации на доверительной, естественно, основе. Так произошло и на этот раз. Одним из первых среди главных конструкторов МОМ об освобождении Мишина и назначении Глушко узнал Пилюгин. Он тут же по спецсвязи позвонил Чертоку и посоветовал ему созвониться с Глушко. В ответ на звонок Чертока Глушко пригласил его к себе в Химки.

О ходе этой беседы подробно изложено в четвёртой книге Чертока "Ракеты и люди". Приведём фрагмент из этих воспоминаний: *"Секретарь без задержки пригласила меня в кабинет Глушко. Я впервые посмотрел на Глушко как на моего будущего начальника, а не на уважаемого смежника Королёва. Он показался мне помолодевшим, когда быстро поднялся и вышел навстречу из-за большого письменного стола. Правильные и тонкие черты лица освещала чуть заметная сдержанная улыбка. Вся его стройная фигура в отлично сидевшем на нём костюме и подобранном в тон строгом галстуке излучала доброжелательность и спокойную уверенность"*.

- Я не напрашивался к вам на место Сергея Павловича - сказал

Глушко. Но решению Политбюро мы обязаны подчиняться. Как только выйдет приказ министра, я сразу приеду к вам. Это может произойти даже завтра. Вы - один из ведущих руководителей ОКБ-1. Мы с вами впервые встретились, если не ошибаюсь, 30 лет тому назад. С тех пор было вполне достаточное количество встреч, чтобы доверять друг другу. Я вправе рассчитывать на вашу помощь. Я поставил условие, что ОКБ-1 объединяется с ОКБ-456 и новая организация получит название НПО "Энергия". В ЦК согласились с моими предложениями. Я не намерен размахивать пустыми руками в вашем коллективе, наводить новые порядки. Больше всего сил потребуется затратить на переход к разработке семейства новых тяжёлых носителей вместо Н1.

- Что значит "вместо"? - не выдержал я.

- Это значит, что работы над теперешним вариантом Н1 будут прекращены и мы должны будем быстро создать семейство новых тяжёлых носителей с надёжными двигателями. Я не намерен вносить радикальные изменения в космическую тематику. Вы взяли большие обязательства по орбитальным станциям, космическим кораблям, совместной работе с американским "Аполлоном" - это я буду всячески поддерживать, надеюсь, тут у нас будет полное взаимопонимание. Но высаживать одного человека на Луну через десять лет после американцев, согласитесь, глупо. На Луне должна быть наша постоянная база со сменяемым составом настоящих учёных. Для этого нужны другие носители. Мишина убрали не по моей инициативе, но работать с ним я не буду. Надеюсь, он сам это понимает. Все остальные должны исполнять свой долг со всей ответственностью. Надеюсь, что вы обеспечите работу с Пилюгиным, Рязанским и В.И. Кузнецовым. С каждым из них я уже переговорил.

Всё это Глушко говорил спокойно, твёрдо и уверенно, исключая саму возможность каких-либо сомнений. [...] Я понял, что разговор окончен, поблагодарил за доверие и попрощался. Всё свидание длилось 20 минут".

Так Глушко сделал очередной неординарный шаг в своей биографии. Для многих такое решение стало неожиданным. Люди, доброжелательно относившиеся к Глушко и имеющие представление о настроениях и моральном климате в ЦКБЭМ, не одобряли его переход на новое место работы. Их реакцию на этот поступок можно сформулировать примерно так: "И зачем он полез в этот развороченный улей? Там его сочтут посягающим на место Королёва, кумира для бывших работников ОКБ-1. Оставался бы на своём месте всеми признанным выдающимся двигателем, а теперь на склоне лет, на финише блестящей карьеры смажет все впечатления о себе. С чем уйдёт из жизни, тем и оставит память о себе. Был гигант науки и техники, а уйдёт неудачником..."

Зададимся и мы вопросом: что подвигло Глушко на этот шаг? Для ответа на этот вопрос нужно знать Глушко, его характер - целеустремлённый, амбициозный, постоянно ищущий новых свершений. Это был человек, знающий свои творческие возможности, меру своего таланта. Отказаться и сохранить своё уникальное место в плеяде пионеров ракетостроения? Но отказаться - значит сдаться, значит признать неспособность справиться с делом, на котором Королёв сделал великим своё имя...

Созданию ракетных двигателей Глушко отдал 45 лет жизни, начал он на пустом месте, когда не было ни теории, ни опытных разработок. И создал отечественную школу ракетного двигателестроения, под его руководством разработаны уникальные, непревзойдённые в мире двигатели, он получил практически все имевшиеся в стране степени, звания, награды. Но, видимо, осталось ещё чувство неутолённости творчества, нереализованности всех граней таланта, ощущение неполного раскрытия заложенных природой возможностей идти дальше по бесконечной дороге прогресса. И разве мог он отказаться от представившейся ему исключительной возможности показать всему миру, что он, Глушко, способен успешно возглавить новую космическую программу и создать гигантскую космическую ракету, превышающую технические возможности создаваемой по проекту Королёва ракеты Н1, так и не получившей завершения. Это был вызов всем его недоброжелателям, а в первую очередь самому себе: успешное завершение нового проекта станет для 66-летнего

академика финальным аккордом всей его жизненной симфонии.

После принятия решения на Совете обороны 21 мая 1974 г. вышло правительственное Постановление об организации НПО "Энергия", а на следующий день - 22 мая - приказ министра МОМ о назначении Глушко директором и Генеральным конструктором этого НПО. Принятое на уровне Совета обороны решение о назначении Глушко вызвало у Афанасьева некоторую неприязнь к нему. Хотя прямой вины Глушко за такую форму назначения не просматривается, но ни один начальник не любит, когда кадровые изменения в его "хозяйстве" решаются "через его голову", даже не посоветовавшись с ним. Но дело было сделано, и министр подписал приказ о назначении Глушко.

Получив приказ министра, Глушко в тот же день приехал в теперь уже НПО "Энергия". О первом появлении Глушко на новом для него рабочем месте вспоминает один из ведущих работников ЦКБЭМ и НПО "Энергия" В.М. Филин в книге "Путь к "Энергии": "Он тихо прошёл в кабинет, где раньше сидел С.П. Королёв. В приёмной было достаточно много народу и среди них - наш, уже бывший главный конструктор В.П. Мишин. Вызвав секретаршу, Валентин Петрович дал указание больше не пускать его на предприятие. Это было каким-то шокирующим действием.

Собрав руководство, Валентин Петрович сказал: "Я прибыл к вам не с пустыми руками, Нам предстоит большая работа над новым рядом носителей. Это носители среднего, тяжёлого и сверхтяжёлого класса". И далее он начал подробно рассказывать про двигатели для такого ряда, про унификацию типоразмеров, про поэтапную отработку, об основных смежниках и использовании существующего задела". Говоря о перспективных работах НПО "Энергия", Глушко ни одним словом не упомянул о продолжении работ по Н1. Так состоялось вступление в новую для него должность.

А что же Мишин, как сложилась его дальнейшая судьба? Об этом он сам рассказывает А. Локтеву (журнал "Вестник"): "В мае 1974 г. меня пригласил Д.Ф. Устинов, который в ту пору был секретарём ЦК и курировал космос. Он сообщил мне, что есть решение о слиянии нашего ОКБ с другим, близким по профилю, и что главным утвердили академика Глушко. Ещё он сказал, что Леонид Ильич просил передать благодарность за работу и предложил помочь с трудоустройством. От помощи я отказался. К тому времени я 15 лет по совместительству преподавал в МАИ. Работа мне нравилась. Я долго собирался организовать там новую кафедру - "Проектирование ракетных летательных аппаратов", - но времени не хватало. Теперь я мог серьёзно заняться этим делом. В последствие на базе этой кафедры был организован новый факультет".

Сделав это отступление, вернёмся к финалу драматической истории разработки РН Н1.

Находясь на эмоциональном подъёме после беседы с Устиновым и получив неожиданно появившуюся возможность возглавить новое направление развития космической техники, Глушко не стал ждать выхода обещанного правительственного Постановления о прекращении работ по теме Н1. Опытный руководитель разработки крупных тематических проектов, выполняемых в соответствии с принятыми правительственными Постановлениями, Глушко понимал, что для прекращения таких работ в итоговом Постановлении должны быть указаны причины закрытия темы, подсчитаны затраты и принято решение об их списании. Для подготовки такого Постановления потребуется достаточно длительное время, а ждать он не мог, да и не хотел.

Чтобы исключить появившуюся двусмысленность в вопросе с работами по Н1: в первый же день вступления в должность руководителя НПО "Энергия" он дал понять, что работам по Н1 в планах объединения места нет, и в то же время никакого официального документа об их прекращении тоже нет - Глушко решил действовать самостоятельно в рамках своих полномочий директора и генерального конструктора НПО. С этой целью он вызвал главного конструктора Н1 Б.А. Дорофеева и предложил ему подготовить приказ по НПО "Энергия" о прекращении работ по Н1. Дорофеев демонстративно отказался. Тогда Глушко сам составил текст приказа и подписал его. Этим приказом в НПО "Энергия" прекращались все работы по комплексу Н1-ЛЗ и РН Н1. Руководителям соответствующих служб и под-

разделений поручалось организовать работы по консервации монтажно-технологического оборудования на полигоне, отозвать из служебных командировок всех работников НПО "Энергия", выполняющих работы по теме Н1, а также в 2-х месячный срок подготовить предложения о прекращении договорных работ, о списании затрат по теме Н1 и о корректировке плана на второе полугодие 1974 г.

Смысловое содержание этого приказа - прекратить работы по Н1 или, как утверждают в своих статьях некоторые наиболее негативно настроенные к Глушко авторы, вообще закрыть тему Н1, в мемуарной литературе приводится, в основном, правильно. Однако есть разночтение в информации о дате выпуска этого приказа. Некоторые авторы, не приводя даты, определяют этот документ, как "первый же приказ Глушко в новой должности". Черток в книге "Ракеты и люди. Лунная гонка" указывает дату до выхода приказа 24 июня 1974 г., т.е. через месяц после вступления Глушко в новую должность. Эта же дата приводится и в юбилейной книге "Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королёва. 1946 - 1996 гг.". На самом деле этот приказ за № 54 был подписан Глушко 5 июня 1974 г., он полностью опубликован в сборнике "Избранные работы академика В.П. Глушко" часть третья, издание ОАО "НПО Энергомаш", 2008 г. Это был действительно первый приказ Глушко в должности руководителя НПО "Энергия".

Отказ Дорофеева подготовить приказ был практически единственным открытым демаршем, прямым неповиновением новому генеральному конструктору. Остальной руководящий состав, как отмечает Б.Е. Черток в своих воспоминаниях, не сговариваясь, решил не оппозиционировать Глушко, а помогать ему в развёртывании новой космической программы. И эта помощь была нужна, т.к. первое же устное заявление Глушко о предстоящих новых работах и упоминание о продолжении работ по Н1 вызвал у большинства работников теперь уже бывшего ЦКБЭМ чувство неприязни к Глушко и скептицизм к изложенной им перспективе. Это стало предметом обсуждения в курилках, конструкторских залах, рабочих кабинетах. Негативное отношение Глушко к Н1 многими расценивалось как его личная инициатива и высказывались надежды, что вмешаются Афанасьев и Келдыш, подклячат Устинова и тот поправит зарвавшегося "варяга".

В среде рядовых работников-варягов ОКБ-1 высказывалась уверенность: "был бы жив С.П., всё было бы по-другому!" (С.П. - распространённое в ракетно-космической отрасли именование руководителей предприятий по инициалам, в данном случае - Сергея Павловича Королёва). Эта уверенность основывалась на ностальгической вере в выдающиеся способности и организаторские возможности своего кумира. Но понятие "вера" - из области чувств, мы же должны оперировать объективными фактами. Что мог изменить Королёв в создавшейся ситуации после 4-х аварийных пусков? Все технические решения, приведшие к авариям, были заложены в конструкцию ракеты и методику отработки её работоспособности при его жизни и, соответственно, с его участием. Государственная экспертная комиссия под председательством Келдыша по проблемам создания и перспективам использования комплекса Н1-Л3 пришла к выводу, что дальнейшая отработка Н1 возможна только в случае коренной переделки ракеты с соответствующими затратами средств и времени. Это была объективная оценка технического состояния комплекса Н1-Л3. Какой же выход из сложившейся ситуации был бы у Королёва? Хватило бы у него мужества, проглотив горькую пилюлю американского лунного успеха, на полную остановку рабо-

ты по проекту, автором которого он был, признать несостоятельность ряда технических и методических решений и убедить руководство страны разрешить ему пойти по новому пути? И каков бы был этот новый путь? У меня нет ответа на поставленные вопросы, пусть это сделает для себя сам читатель.

Появление приказа вызвало волну непонимания не только в НПО "Энергия", но и в ракетно-космическом сообществе, причастном к разработке Лунной программы. Что это, самоуправство или указание свыше? Не внесли ясности и обычно знающие всё наперёд аппаратчики ЦК и ВПК. Они сами терялись в догадках и выражали возмущение: как посмел Глушко подписать такой приказ до выхода Постановления или, по крайней мере, решения ВПК? Работники среднего звена министерства общего машиностроения отказывались верить в появление такого приказа до доставки его в министерство.

Наибольшее возмущение приказ Глушко вызвал среди работников промышленности и на испытательном полигоне. Руководители многих предприятий и организаций за последние несколько лет настолько сроднились с работой по теме Н1, что она стала для них основным содержанием жизни. В рабочих коллективах царил энтузиазм и чувство сопричастности к великому делу освоения космического пространства. На предприятиях был создан достаточно большой задел материальной части для комплектования очередных РН Н1. Все жили в ожидании свершения очередного успеха отечественной космонавтики. И вдруг такой поворот! Разумеется, выпущенным приказом Глушко остановил работы по Н1 только в своём НПО "Энергия", но прекращение работ на головном предприятии практически делает ненужным продолжение работ по этой теме на всех других предприятиях. Отсюда возмущения руководителей предприятий и обвинение Глушко в бонапартизме и самоуправстве. Были и письменные протесты против принятого Глушко решения. Так, партком 6-го научно-испытательного Управления полигона от имени военных испытателей направил письмо в адрес президиума XXV съезда КПСС с требованием продолжать пуски комплекса Н1-Л3. Так что, выпустив приказ, Глушко вызвал на себя огонь из всех калибров.

А разве могло быть иначе? Глушко, если и не знал о записи в протоколе Совета обороны от 17 мая 1974 г. о прекращении работ по Н1, то все же имел твёрдое заверение секретаря ЦК КПСС Устинова о принятии такого решения в ближайшее время. Разговор был приватным, и Глушко не имел права сослаться на это обещание до его реализации выпуском Постановления. А выхода Постановления в ближайшее время Глушко не ожидал. И он решился действовать самостоятельно. Чем же он руководствовался? Назначение Глушко было вызвано не просто заменой не справившегося с порученной работой бывшего главного конструктора Мишина с целью исправления сложившегося положения дел, а сменой направления работ в отечественной космонавтике. Глушко был назначен правительственным Постановлением одновременно с организацией нового мощнейшего в ракетно-космической отрасли предприятия - НПО "Энергия". Для решения новых задач в состав НПО "Энергия" было включено двигательное КБЭМ, не принимавшее участие в работах по теме Н1. И было бы странным, если бы Глушко в новой должности директора и генерального конструктора вновь организованного НПО продолжал работы по тематике, признанной на высшем государственном уровне бесперспективной. И не виной Глушко, а скорее его бедой стала назревшая необходимость в выпуске приказа по НПО, не дожидаясь выхода соответствующего Постановления. Не реагируя, во всяком случае внешне, на негативное отношение к предложенной им космической программе Глушко продолжал целенаправленно работать. Изучив перечень проводимых в ЦКБЭМ работ и расстановку руководящих кадров, он разработал новую структурную схему управления НПО "Энергия" с учётом выполнения работ по новой тематике. Новая схема содержала прогрессивные решения: вместо многочисленных главных конструкторов по каждому разрабатываемому в ЦКБЭМ изделию назначались главные конструкторы по тематическому направлению с широкими функциональными обязанностями и одновременным требованием обеспечивать развитие всего направления. Был пересмотрен и кадровый состав руководителей направлений. И ещё одна особенность новой схемы - в структурной схеме



С.А. Афанасьев, В.П. Глушко, М.В. Келдыш

объединения отсутствовало направление работ по Н1. Несогласные с проводимой Глушко технической политикой надеялись, что министр Афанасьев такую схему не утвердит. Надежды не оправдались - 28 июня 1974 г. министр схему утвердил. Это стало убедительным подтверждением, что он разделяет позицию Глушко по отношению к работам по Н1. После этого уровень возмущения по поводу прекращения работ по Н1 в НПО несколько снизился, но внутреннее недовольство у людей всё-таки осталось.

Однако круг возмущавшихся не ограничивался только коллективом бывшего ЦКБЭМ. Как указано выше, по поводу выпущенного Глушко приказа резко высказывались директора заводов и ряд главных конструкторов ракетно-космической отрасли. Устинов был, разумеется, информирован о реакции в отрасли к позиции, занятой Глушко к работам по Н1. И, вероятно, решил оказать ему морально-техническую помощь, тем более, что за ним был "должок" - никакого правительственного решения о прекращении работ по Н1, выпуск которого в ближайшее время обещал Устинов, всё ещё не было. Это ли стало причиной назначения Устиновым на 13 августа 1974 г. совещания в НПО "Энергия" в составе представителей от ЦК КПСС, ВПК, МОМ и ряда главных конструкторов космической техники, сейчас установить не представляется возможным. Но нужно констатировать: дата проведения такого совещания выбрана Устиновым настолько вовремя, что вряд ли это можно отнести к случайному совпадению происходящих событий. Не кажется случайным и сделанное Устиновым перед началом совещания вступление, из которого участники должны были понять, что он связывает дальнейшее развитие отечественной космонавтики с программой, предложенной Глушко.

На совещании шёл разговор по всему диапазону тематических работ, как унаследованных от ЦКБЭМ, так и вновь предложенных Глушко. Поскольку в рамках данной статьи нас интересуют только отношения выступавших к работам по Н1 и новой программе, то далее приводятся фрагменты выступлений только по этим вопросам. В качестве исходного материала используются воспоминания Б.Е. Чертока, опубликованные в книге "Ракеты и люди. Лунная гонка".

В совещании, проводимом Д.Ф. Устиновым в НПО "Энергия" участвовали: от ЦК КПСС - зав. отделом оборонной техники И.Д. Сербин и его зам Б.А. Строганов, от ВПК - зам. председателя Б.А. Комиссаров, от МОМ - министр С.А. Афанасьев и его заместители Г.А. Тюлин и В.Я. Литвинов, главные конструкторы: В.П. Бармин, Н.А. Пилюгин, М.С. Рязанский, В.И. Кузнецов, В.П. Радовский. НПО "Энергия" представляли В.П. Глушко и несколько его заместителей.

Совещание открыл Д.Ф. Устинов: "На днях на Политбюро был серьёзный разговор о наших космических проблемах. Политбюро поставило задачу дать объективную оценку тому, что мы не осуществили высадку советских космонавтов на Луну. Сегодня хотелось бы поговорить, посоветоваться по всему комплексу задач. Он у нас очень широк. Как организовать работу так, чтобы не растягивать её на десятилетия, не передавать эту работу нашим внукам. Пусть они пойдут много дальше нас. Нам самим решать, что мы в ближайшие годы будем делать. Как подойти к решению генеральной задачи? Можно её решать так, что через десять лет вы опять скажете, что с Луной не получается. Если мы так будем вести дело, как вы это делаете по Н1, упорствуя в стремлении пускать вопреки надёжности, вот вам результат. Вы, именно вы, создатели новых космических систем, должны разработать генеральную линию и жесточайшим образом её поддерживать. Предлагаю послушать Валентина Петровича".

Глушко сделал длинный доклад. Он говорил больше двух часов, подробно излагая свою доктрину на ближайшие годы.

Основным предложением Глушко было создание последовательного ряда тяжёлых и сверхтяжёлых ракет-носителей из унифицированных блоков. Всем ракетам-носителям присваивался индекс РЛА - ракетный летательный аппарат". Далее Глушко подробно изложил технические характеристики семейства РЛА и сферу их применения.

Отвечая на вопросы по облику двигательных установок семейства РЛА, Глушко особо подчеркнул: "Прошу обратить внимание на принципиальное отличие предлагаемой компоновки от Н1. Мы предлагаем блочный принцип. Ракеты отличаются друг от друга количеством идентичных блоков на первой, а при необходимости и второй ступе-

пени. Решающим преимуществом блочного принципа является возможность изготовления каждого блока на заводе и его транспортировка в собранном виде на полигон. В составе самой лёгкой одноблочной ракеты мы можем провести лётную отработку двигателей и этот бесценный опыт использовать для многоблочных ракетных комплексов без риска уничтожения стартовой позиции. Каждый блок должен предварительно пройти огневые технологические испытания".

После перерыва совещание продолжилось с очень агрессивного выступления Бармина.

"Предложения Валентина Петровича, которые мы сегодня слушали - это третий вариант за последние два месяца. Валентин Петрович всё дальше уходит от реальностей нашего века и тянет нас в двадцать первый. Нет анализа наших прежних ошибок. Более того, ошибки повторяются. Многоблочные схемы носителей невыгодны. Выбор, который нам предлагает Валентин Петрович, ошибочен. Нужно подвергнуть Н1 серьёзной модернизации, вместо того, чтобы изобретать велосипед. Мы уже затратили 4 миллиарда рублей на Н1. Мы обязаны их использовать."

Базу на Луне надо строить. Для этого строительства необходима многоразовая космическая транспортная система на базе модернизированной Н1. Модернизированный носитель может через год полететь и для него надо срочно готовить полётную нагрузку. А то, что предлагает Валентин Петрович, отбросит нас по лунной программе ещё на шесть-семь лет".

Созвучно с выступлением Бармина высказался Пилюгин: "Предлагаемый нам сегодня переход на целое семейство новых по схеме носителей потребует вначале свернуть текущее производство, выбросить задел, потом проектировать и отрабатывать, снова налаживать производство уже по новой технологии. Раньше 1979 г. никакой РЛА ни в каком варианте не получится. Пять-шесть лет мы теряем".

После Пилюгина взял слово Рязанский.

"Я в корне не согласен с тем, что сказал Бармин. Мы много успели сделать для Луны. Для программ созданы радиокомплексы, которые мы можем доработать под любую программу. Надо быстрее создавать полноценный Центр управления полётами".

После выступления главных конструкторов дошла очередь и до заместителей генерального конструктора НПО "Энергия". Семёнов, Черток, Бушуев, Труфанов осветили частные вопросы по возглавляемым ими тематическим направлениям. Не остались в стороне от обсуждения и присутствующие на совещании "тяжеловесы" - Афанасьев, Комиссаров, Сербин.

Из многочисленных вопросов, затронутых в своём выступлении Афанасьевым, следует отметить следующие: "Трудно сегодня дать весомую оценку этих материалов. Я вынужден сделать упрек головным институтам министерства ЦНИИМашу и НИИТП. Они почему-то заняли выжидательную позицию. Они обязаны немедленно подключиться к этим исследованиям свои основные подразделения. Глупо было бы думать о том, что всё здесь сказанное генеральным конструктором может быть сделано одним его коллективом, в котором 40 000 человек."

Советский человек на Луне не был. Это вина ОКБ-1 и наша общая вина. Лунная база - это, по-моему, не первоочередная задача. Её надо перевести в НИР.

Вся перспективная программа с учётом наших замечаний должна быть переработана, и только тогда её можно выносить на Совет главных".

Комиссаров выступил как заместитель председателя ВПК.

"Программа не согласована ни с генеральным заказчиком - Министерством обороны, ни с Академией наук. Опозорились, прямо надо сказать, с Н1, теперь предлагаете новую авантюру. В плане модернизации лунных проектов предлагалась стыковка с помощью двух носителей Н1 на орбите. Теперь генеральный конструктор предлагает эту стыковку проделать на земле и создать новый носитель стартовой массой в 6000 тонн, то есть это два Н1. Одобрить такой проект будет ошибкой".

Слово взял Иван Сербин.

"Обсуждение показало, что проработка программы находится не на том уровне, когда можно принимать решение. Времени у нас

мало. Совет главных конструкторов собирать пока не следует. Надо чтобы были сравнительные данные по затратам на каждое направление, а не одна устрашающая сумма. Такой крупный план должен быть тщательно проработан со смежниками. Без них вы ничего не сделаете. А им тоже свои экспериментальные базы надо развивать".

Устинов предложил Глушко ответить на основные критические замечания.

Глушко встрепенулся, и я увидел в нём не спокойного докладчика, а собранного бойца на ринге, который после нокдауна снова перешёл в решительную атаку".

Далее - основные выдержки из заключительного выступления Глушко: "Мы докладывали сегодня незавершённую программу. Вы присутствуете в процессе поиска. Мы знакомили вас с тем состоянием, в котором находимся. Со смежниками и соискателями мы в постоянном контакте.

Теперь о выступлении Бармина, который так яростно защищал Н1, а из новых работ предложил ограничиться многоразовой системой. Я утверждаю что Н1 возит воздух. Сравните его весовые характеристики с "Сатурном-5". Сухой вес единицы объёма первой ступени Н1 в два с половиной раза хуже "Сатурна-5", второй ступени хуже в пять раз и третьей - в три с половиной раза. Это при почти равных объёмах самих ступеней. Я не хотел упоминать об ошибках, которые допущены в газодинамике. Да будет вам известно, что только за счёт перепада давления под днищем первой ступени мы теряем более 750 тонн. Чтобы компенсировать такую потерю, надо бы ещё пять двигателей поставить. Ты что хочешь, Владимир Павлович, чтобы ещё раз твой старт разрушили? Давайте лучше будем на него молиться, как тут сегодня предложили. Так нужен ли нам носитель, который возит воздух, да ещё на годных двигателях?

Я сожалею, что не всем понятна идея сверхтяжёлой ракеты-носителя. Мы такой носитель не делаем, он сам получается, мы его складываем из модулей, которые уже были отработаны на более лёгких ракетах. Шесть модулей составляют первую ступень. Вторая ступень - один кислородно-водородный блок, унифицированный для всего семейства носителей. Это и есть унификация и модульность, о которой сегодня так горячо говорилось. И от водорода мы не отрешиваемся. Но пока его нет, будем пользоваться циклоном. Да, создание таких носителей будет стоить больших денег. Но на унификации мы много выигрываем.

Работы действительно нам и смежникам выше головы. Но другого пути обогнать американцев я не вижу. Мы имеем возможности, которые пока не раскрыли и не использовали. Вы застали нас в самый разгар оптимизации программы".

Устинов, воспользовавшись паузой, решил, что пора сверты-вать затянвшееся совещание.

"Спасибо, Валентин Петрович! Я очень доволен, что сегодня мы собрались в таком составе и немного просветили друг друга. Вы не успели, да и не могли всё сказать. Я тоже не могу окончательно высказать всё. Много нового, и о многом следует серьёзно подумать.

На вашу организацию делается большая ставка. Очень большая. Мы сознательно пошли на создание такого мощного объединения и во главе поставили многоопытного, как говорят, прошедшего огонь, воды и медные трубы, руководителя. В непосредственном подчинении вашего генерального конструктора, тут докладывали, уже находится 40 тысяч человек. А с непосредственными смежниками численность переваливает за 250 тысяч. Это же огромная сила! Вы способны разработать эффективную, реалисти-

ческую программу. Разбейте её по срокам на этапы. Не всё сразу получится, это мы понимаем.

Я думаю, что сегодняшний разговор был для всех полезным. Надо найти общую линию с Минобороны и Академией наук. В ближайшие дни надо определить группу товарищей, способных подготовить детальный проект Постановления. Они должны быть очень объективны. Постановление будет определять нашу стратегическую линию. К этой работе надо подходить с чувством большого долга, партийного и государственного".

Хотя по итогам проведённого "судьбоносного" (по оценке Чертока в его книге) совещания не было принято никаких решений, из выступлений Устинова и сопровождавших его партийно-государственных руководителей участники совещания уяснили, что возврата к работам по Н1 не будет. Это сняло накал негативного отношения к новой космической программе и её автору - Глушко. После совещания руководящему составу НПО "Энергия" предстояло объяс-

ниться со своими смежниками. Для участвующих в совещании В.П. Бармина, Н.А. Пилюгина, В.И. Кузнецова, М.С. Рязанского ситуация была ясна и с ними нужно было провести переговоры только об их участии в разработке новых проектов. Иначе, по мнению Чертока, обстояло дело в общении с ОКБ Н.Д. Кузнецова. "Труднее всего было двигателям. Мельников, Соколов, Райков должны были внятно объяснить Николаю Кузнецову, его заместителям, с которыми за эти годы не только до хрипоты спорили, но уже и срабатывались, почему прекращаются работы по двигателям по Н1. В самых тяжких ситуациях никому из них и не снилось, что теперь дело дойдёт до прекращения работ и полного разрыва. А почему? Они могли только ответить, что таков приказ Глушко, назначенного генеральным конструктором. Никаких приказов министра, тем более постановлений правительства о прекращении работ по двигателям Кузнецова для Н1, пока не существовало".

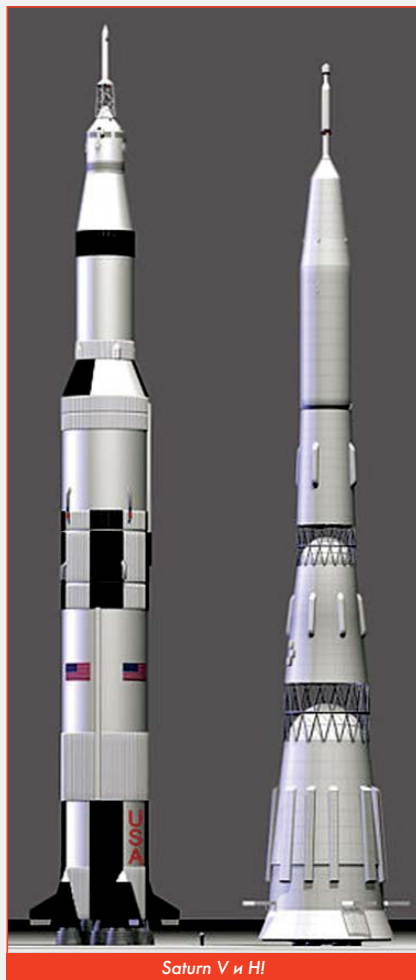
Всё вроде бы логично в приведённой цитате из уже упомянутой книги "Ракеты и люди. Лунная гонка". У других авторов мемуаров развитие событий излагается в таком же ключе. И у меня не было бы никаких сомнений в их объективности, если бы не обнаружил в книге В.Н. Орлова и М.В. Орловой "Генеральный конструктор Н.Д. Кузнецов и его ОКБ" несколько иную версию о факте информированности разработчиков двигателей о прекращении работ по Н1.

"В пятницу 17 мая 1974 г. в десятом часу вечера я (В.Н. Орлов) был в кабинете у Николая Дмитриевича. Раздался звонок по ВЧ-связи, звонил министр П.В. Дементьев. После разговора с ним Николай Дмитриевич стал каким-то смущённым и расстроенным, я таким его никогда не видел. Обращаясь ко мне, он сказал: "В понедельник утром мы с тобой полетим к Дементьеву. Он мне сейчас сказал, что работа по Н1 закрыта и просит в понедельник утром быть у него. В чём дело он не знает, и сейчас будет выяснять. Никому ничего не говори, в понедельник всё выяснится".

В понедельник Дементьев сообщил нам, что 17 мая 1974 г. в 8 часов вечера прибывший фельдшер показал ему протокол Совета Обороны, где первым пунктом было записано - работы по ракетному комплексу Н1 прекратить".

Этот и последующие пункты протокола уже приведены в этой статье.

Далее по тексту указанной книги: "Так была закончена активная часть работы нашего ОКБ-2. По устному указанию министра авиационной промышленности СССР П.В. Дементьева в июне 1974 г. мы приступили к расформированию этого КБ".



А ситуация, приведённая в книге Чертока, отнесена им ко времени после совещания 13 августа 1974 г. Получается так, что Н.Д. Кузнецов и сотрудники его ОКБ узнали о принятом решении прекратить работы по Н1 раньше, чем это стало известно работникам НПО "Энергия". Так о каких тогда трудностях в разговоре с двигателями писал Черток? На лицо противоречия в свидетельствах Чертока и Орлова, кому же верить? Я склонен доверять Орлову, его информация подтверждается документами о начале расформирования ОКБ-2 в июне 1974 г.

Если о решении Совета обороны прекратить работы по Н1 знали Дементьев, Кузнецов, Орлов уже в середине мая 1974 г, а в июне узнали и работники ОКБ Кузнецова, то тогда не могли не знать об этом Бармин, Пилюгин и другие главные конструкторы. Какова же тогда причина их возмущений и почему в адрес Глушко? Поскольку с главными участниками создания РН Н1 вопрос прекращения дальнейших работ не обсуждался на совещании у Устинова в начале мая 1974 года, а о принятом решении их официально не информировали, то свою обиду и несогласие с принятым без их участия решением они реализовали в форме возмущения. А в открытую критиковать секретаря ЦК КПСС и решение Совета обороны никто не решался, вот и вымещали свои обиды на Глушко, который представил им такую возможность выпуском приказа о прекращении работ по Н1.

Долгожданное Постановление, официально прекращающее работы по теме Н1, вышло в феврале 1976 г. Его выпуску предшествовали работы специально организованных комиссий под общим руководством Президента АН СССР М.В. Келдыша. Рассматривая технический аспект разработки темы Н1, комиссия отметила крупные недостатки технического и методического характера - использование принципов и методов проектирования и отработки, непригодных для крупных и сложных комплексов: нерациональная конструкция и компоновка ряда агрегатов, малые запасы работоспособности ракетных систем, а первую очередь двигателей, перенос основного объёма отработки ракетных систем на этап лётных испытаний и др. За время проектирования, изготовления и лётной отработки ракеты Н1 её конструкция морально устарела и не способна обеспечивать выполнение перспективных задач, стоящих перед отечественной космонавтикой. В экономической сфере комиссии определили материальные и финансовые затраты на разработку и изготовление РН Н1 и лунного комплекса, наземного стартового и измерительного комплексов, а также затраты на проведение сопутствующих работ по теме Н1. По разным источникам сумма списанных затрат составила от 5,5 до 6,0 млрд рублей в ценах 1973 г. Официальной причиной закрытия темы Н1 в Постановлении указано *"отсутствие тяжёлых полезных нагрузок, соответствующих грузоподъёмности носителя"*. В работе одной из комиссий принимал участие бывший главный конструктор В.П. Мишин, его подпись стоит под предложением комиссии тему закрыть, затраты списать.

В некоторых мемуарах ссылка на указанную в Постановлении причину сопровождается ироническими комментариями или даётся прозрачный намёк, что не в этом дело. Но ведь это действительно так было! С 1962 г. по 1974 г. не поступило ни одного предложения кроме Лунной программы, да и та была больше политическим актом в сфере научно-технического противостояния с США.

После выхода Постановления ситуация с прекращением работ по теме Н1 из де-факто перекалифицировалась в де-юре. В итоге получилось так, что до выхода этого Постановления работы по теме Н1 с июня 1974 г. по февраль 1976 г. не проводились на основании выпущенного Глушко приказа № 54, т.е. под его персональную ответственность. Почему так долго не выпускалось Постановление, сейчас узнать практически не у кого. Остаётся только догадываться. По моему представлению руководство космической отрасли намеренно не спешило с выпуском Постановления, т.к. закрывая незавершённую тему, ранее объявленную самой престижной в отечественной космонавтике, требовалось назвать причину и виновных в невыполнении порученной работы, а также объяснить, почему в течение пяти лет, с середины 1969 г. (после высадки американских астронавтов на Луну) до первой половины 1974 г. большое количество

предприятий и организаций СССР работало практически впустую, главная-то политическая цель - опередить американцев в высадке на Луну - была уже утрачена.

Вал возмущений, вызванный приказом Глушко, подтвердил имеющиеся у руководства отрасли опасения не только попасть под критику членов Политбюро, но и потерять авторитет у многочисленных участников работ по теме Н1. Глушко оказался своего рода мишенью для метания стрел возмущения и одновременно громоотводом для руководителей космической отрасли. Думал ли он о такой роли, когда соглашался на предложение Устинова? Думается, вряд ли, но надо отдать ему должное - он уверенно держал удар общественного возмущения. Если мнение рядовых работников его мало интересовало, то не замечать возмущения руководителей предприятий, с которыми он контактировал многие годы и надеялся продолжить рабочие контакты, он не мог. Однако в обращении с ними он держался уверенно. Твёрдость занимаемой им позиции и уверенность в правоте своих действий основывались на поддержке высшего руководства, в частности, Устинова. Так, при выборах в партком НПО "Энергия", состоявшихся вскоре после организации этого объединения, Глушко прошёл большинством в один-два голоса. Это был действительно критический момент. В противном случае по существующим в ту пору неписанным правилам он мог лишиться должности руководителя НПО, как не пользующийся доверием партийной организации. А спустя несколько месяцев Глушко был избран в состав ЦК КПСС. По мнению современников, к этому выдвижению приложил руку Устинов.

В изложении реакции на выпуск приказа о прекращении работ по Н1 указывается на многочисленные возмущения. В связи с этим следует сказать, что все возмущения носили эмоциональный характер и не имели материальной основы, так как прекращение работ по Н1 не вызвало безработицу. Промышленные предприятия и научные организации продолжали работать. Имеющиеся заделы материальной части были списаны, начатые диссертации были завершены и успешно защищены, кроме Мишина ни один из руководителей предприятий не был освобождён от занимаемой должности. Отрасль продолжала жить и успешно работать. Вот только у участников работ по Н1 остался неприятный осадок, главным образом от того, что властные структуры проявили недоверие к политической сознательности разработчиков ракетно-космической техники.

Поскольку Постановление о закрытии темы Н1 имело высокий гриф секретности и в связи с этим ограниченную доступность, а указы по министерствам и ведомствам доводили до сведения руководящего состава предприятий и организаций только принятое решение о прекращении работ и о списании затрат без объяснения причин, то большинство участников работ по теме Н1 так и оставалось в неведении о причинах принятого решения. По воспоминаниям Чертока эту ситуацию Бармин охарактеризовал так: *"Мишин эту грандиозную работу с нашей общей помощью провалил. Народу нашему так никто и не объяснил, почему советские космонавты не были на Луне. За рубежом отлично знают, что мы готовили огромную ракету. Там открыто писали о наших авариях. Это только нашим людям истину знать не положено"*.

Вслед за выходом Постановления о закрытии темы Н1, словно подчёркивая смену направления работ по ракетно-космической тематике, вышли правительственные Постановления от 17 февраля 1976 г.: "О создании МКС в составе разгонной ступени, орбитального самолёта, межорбитального буксира - корабля, комплекса управления системой, стартово-посадочного и ремонтно-восстановительного комплексов и других наземных средств, обеспечивающих выведение на северо-восточные орбиты высотой 200 км полезных грузов массой до 20 т". С выходом Постановления, все ранее проводимые работы в этом направлении в инициативном порядке или по министерским тематическим карточкам, теперь были "узаконены" и эта тематика стала для НПО "Энергия" основной на долгие годы. Одновременно с началом новых работ это Постановление окончательно поставило жирный крест не только на программе Н1-ЛЗ, но и новых предложениях Глушко по созданию на Луне долговременной обитаемой базы.

(Продолжение следует.)

МОЩНОСТЬ МНОЖЕСТВА И ОБОБЩЕНИЕ КАРДИНАЛЬНОГО ЧИСЛА НАТУРАЛЬНОГО РЯДА

МФПУ "Синергия":

Андрей Иванович Касьян, доцент

Согласно классическому определению, два эквивалентных множества имеют одинаковую мощность, т.е. мощность - это то общее, что есть у них. Мощность множества M характеризует кардинальное число $\text{card } M$. Для конечных множеств понятие мощности совпадает с понятием числа их элементов (и кардинальное число равно числу элементов) [1]. Кардиналы, как и мощности, можно сравнивать. Докажем утверждение, что множество натуральных чисел может оказаться несчетным, т.е. его кардинальное число может быть больше "алеф нуль" ("алеф нуль" определяется как мощность множества $\mathbb{N}$). Предварительно выскажем предположение, что мощность множества (число его элементов и кардинал) не зависит от того, в каком порядке расположены или рассматриваются (нумеруются) его элементы. Такое предположение вполне естественно и делается неявно в классической диагональной процедуре Кантора. В противоположном случае мы должны были бы строго устанавливать эквивалентность множеств при всевозможных порядках расположения их элементов, с учетом, например, того, что число различных "порядков" для множества натуральных чисел несчетно.

Итак, расположим множество натуральных чисел $\mathbb{N}$ в столбик произвольным способом наподобие того, как это сделано в диагональной процедуре Кантора:

$$\alpha_1 = a_{11} \ a_{12} \dots \ a_{1n} \dots$$

$$\alpha_2 = a_{21} \ a_{22} \dots \ a_{2n} \dots$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\alpha_n = a_{n1} \ a_{n2} \dots \ a_{nn} \dots$$

$$\dots \dots \dots$$

Здесь a_{ik} - k -я цифра числа α_i . Замечание. Для удобства мы можем записывать числа в обратном порядке, когда счет разрядов идет слева или даже записать числа в римских цифрах, что не принципиально. Наконец, мы можем расположить числа натурального ряда в некотором порядке. Например, расположить вначале все нечетные, а за ними четные числа и т.д.

Построим новое натуральное число

$$\beta = b_1 \ b_2 \dots \ b_n \dots$$

а именно: за b_1 примем произвольную цифру, не совпадающую с a_{11} , за b_2 - произвольную цифру, не совпадающую с a_{22} , и т.д. Полученное число не может совпасть ни с одним из чисел нашего исходного перечня. Следовательно, множество натуральных чисел несчетно, т.е. его кардинал не равен, а точнее, больше "алеф нуль".

Т.к. за счетное множество выбирается именно множество натуральных чисел, то приведенная выше процедура приводит к мысли о том, что мощность множества может иметь не одну, а две (возможно несколько) "составляющие", наподобие комплексного числа. (Вообще, мощность - это класс эквивалентности. Возникает подозрение, что существует какая-то зависимость от порядка, или же порядкового типа. Более того, в каком-то смысле существует соответствие между натуральным рядом и континуумом. Имеется в виду, что переставляя числа в натуральном ряде, мы получим несчетное число комбинаций). В этом случае кардинал множества натуральных чисел (в произвольном порядке) может быть записан как упорядоченная пара: первое число - "алеф нуль", что соответствует его фактическому определению кардинала натурального ряда, а второе - "алеф не нуль", что соответствует результату доказанного выше утверждения при соответствующих предположениях (варианты обозначения: "алеф (0, 1)", "алеф01"). Представляет интерес дальнейшее обобщение нашего кардинала (т.е. возникновение новых составляющих, возможно промежуточной мощности). Можно предположить, что для произвольного порядка получаем как раз промежуточную мощность. Что можно задать аксиоматически. Имеется в

виду, что получаем кардинал, больший "алеф нуль". Правда, в этом случае мощность, скорее всего, зависит от порядка, нанося логический ущерб исходному доказательству. В итоге аксиоматически можно ввести такое определение: кардинал множества натуральных чисел в естественном порядке равен "алеф (0, 0)". Это требует дополнительного исследования.

В связи с доказанным утверждением возникает множество интересных вопросов. Если вопросов к сходимости и предельным точкам нет, то сможем ли исчерпать элемент бесконечномерного пространства конечномерным приближением? В теоремах И. Виноградова о простых числах, в алгоритме Эратосфена и др. используется натуральный ряд в его естественном порядке, что не сказывается на результатах, т.к. $\text{card} = \text{"алеф (0, 0)"}.$ В методе математической индукции также подразумевается натуральный ряд в естественном порядке. В теореме Кантора-Бернштейна мощность вообще не используется. Но, допустим, в теореме о том, что мощность множества всех подмножеств натурального ряда равна мощности континуума, рассматривается мощность множества подмножеств в классе тех, у которых дополнение конечно, и она считается счетной. Подмножества с нулевым дополнением рассматриваются в произвольном порядке, т.е. мощность должна быть тогда равна "алеф (0, 1)". Предположим, что этот класс не влияет на (суммарную) мощность множества всех подмножеств. Однако мощность остальных подмножеств (с бесконечным дополнением) весьма вероятно также равна "алеф (0, 1)". Сможем ли мы тогда "перечислить" все эти подмножества и т.д.

Далее, если процедуру вычислений отождествить с некоторой программой, то она будет представлять из себя запись алгоритма на некотором языке некоторого алфавита. Такая запись позволяет "перенумеровать" все вычисляемые функции, например, по следующему порядку. Сначала перечисляются все программы, состоящие из одной буквы, затем программы, включающие две буквы и т.д. Здесь присутствует в некотором смысле произвольный порядок перечисления. В итоге "перечислить" и пронумеровать все вычисляемые функции нам может помешать мощность, большая счетной.

Далее, можно обратиться к проблеме перечислимости некоторого множества X самого по себе (его можно рассматривать как область значений вычислимой функции). Здесь аналогично можем встретить затруднения по вычислению соответствующих значений, т.к. это множество значений может иметь мощность, большую счетной. Итак, множество из области значений вычислимой функции, как и сами вычисляемые функции в общем случае не представляется возможным перечислить. Т.е. перечислить или перенумеровать их можно, но не будет уверенности, что перечислены все. Для вычисляемых функций также справедлив диагональный метод. Отказаться от диагональных рассуждений нельзя, т.к. они часто используются. Для "перечисленных" вычисляемых функций $f_n(n)$ вводится функция $v(n) = f_n(n) + 1$, которая не равна ни одной из них. В итоге мы оказываемся не в состоянии определить функцию $v(n)$, описывающую все вычисляемые. (Правда, $v(n)$ трактуют как невычислимую, что можно объяснить "перечислением" несчетного множества). Предлагается, в свою очередь, определить вычислимую функцию, как обычную функцию, определенную для натурального числа n , когда натуральный ряд расположен в естественном порядке $n = 1, 2, \dots$ Другими словами, можно договориться писать $f(n)$, не оговаривая её определенность при n , например $f(n) = n$.

Если множество имеет мощность, большую счетной, то (алгоритмом или программой) определять принадлежность всех его элементов тому, или иному подмножеству невозможно. В этом случае

теорема Поста требует уточнения. Аналогично теорема Матиясевича. Примеры можно продолжить и далее.

Обратимся к теореме Гёделя. Казалось бы, простейшие арифметические и логические операции не должны приводить ни к каким затруднениям. Но, даже при бесконечном множестве аксиом нельзя достичь аксиоматизации теории. Не влияет ли на это положение

вещей рассмотренный выше пример несчетности? (Порядок множества чисел не предполагается).

Литература

И. А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. Элементы теории функций и функционального анализа. Наука, 1981 г.

Связь с автором: akasyan1@yandex.ru

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

СТАНКОСТРОЕНИЕ



15 - 18 октября 2013

МВЦ Крокус Экспо

При поддержке:

Торгово-промышленной Палаты Российской Федерации
Московской торгово-промышленной Палаты



Оборудование от ведущих компаний!

металлообрабатывающие станки
инструмент
автоматические линии
робототехника
комплектующие изделия
литейное производство
сварочное оборудование
обработка листового металла
лазерные технологии
измерительные приборы
программное обеспечение
деревообрабатывающее оборудование

Организатор выставки: ООО «Райт Солюшн»

+7 (495) 988-27-68

www.stankoexpo.com

СТАНОЧНЫЙ ПАРК

К П Р Е Д П О С Ы Л К А М М О Д Е Л И Ш А Р О В О Й М О Л Н И И

Валентин Анатольевич Белоконь,

выпускник ФТФ МГУ/МФТИ,
член Национального комитета по теоретической и прикладной механике,
академик Академии космонавтики

1. Личные впечатления

Первая неделя июля 1941 года...

Украинская большая деревня Золотоноша на Днепре. Прелестная старинная украинская хата с клиновидной соломенной крышей. Сени $\approx 1,5 \times 3$ м, за которыми - большая комната $\approx 3,5 \times 4,5$ м с двумя большими высокими противоположными окнами. Далее - меньшая ($\approx 3,5 \times 2,5$ м) комната с одним низким окошком в торце хаты и отворенной форточкой (для кошки) $\approx 5 \times 15$ см. Потолки комнат высотой $\approx 3,5$ м.

Время ≈ 17 часов. Сумрачно, но сильная гроза стихает и мои родичи (пять-шесть человек) уже приступили к чаепитию за круглым столом ближе к левому окну, под большим красным матерчатым абажуром, висающим выше стола на 1,5...1,7 м. Горела лампочка с вольфрамовой нитью (25...40 Вт).

Внезапно раздался ужасный треск - резкий очень сильный взрывообразный удар грома. Одновременно из лампочки возник сноп - не менее дюжины искр очень специфической формы, словно миниатюрные зигзагообразные молнии длиной в 15...40 см. Изумление, шок присутствующих. Лампочка погасла, но от цоколя не отлетела...

Я первым опомнился секунд через 10...15 и мигом выбежал во двор посмотреть, не горит ли крыша хаты. Нет, огня не видно. Успокоившись, через полминуты я подошёл обратно к большой, массивной дубовой двери хаты и не спеша стал её отворять на себя. Уже сделав полшага в сени, заметил за плечом справа чуть позади себя какое-то сияние на фоне ясного дня. Между моей рукой, держащей за ручку дверь, и моим носом, в сени, как бы подгоняемая лёгким сквозняком (следующая дверь в комнату была отворена) плыла... шаровая молния. О них я уже был достаточно наслышан. Страха не испытал. После недавнего налёта эскадрильи Юнкерсов Ju-87 меня ничего не ужасало.

Внимательно наблюдал ≈ 15 с.

Итак, "дынеобразное" таинственное творение Природы, умеренно яркое (как лампочка ≈ 150 ...200 Вт), белесое, хотя и с оттенком оранжевого, к центру немного малинового или фиолетового, плыло со скоростью ≈ 10 см/с. Оно было размером ≈ 8 ...12 см, края - достаточно чёткие, а внутренность - нечто наподобие крупных пчелиных сот - просматривалась туманно...

Признаков её тепла (ни в руке, ни на лице), электростатики и звукового сопровождения не ощутил.

Она опередила меня, на минуту остолбеневшего. Не торопясь, задумавшись, направилась в большую комнату, где её уже не было. Ошеломлённые донельзя родичи, нетерпеливо ожидавшие моего возвращения, а дождавшиеся шаровой молнии, молча указали на форточку в следующей комнатке, куда молния нырнула, сплотившись, как им показалось, перед тем как вылететь "в садочек коло хаты".

Никакого слышимого финала полёта этого пришельца не последовало.

II. Предварительная интерпретация

Для оценки "времени жизни", точнее периода полёта этой шаровой молнии предположим, что она сформировалась в момент удара (как-то обо что-то) молнии линейной, т.е. в процессе генери-

рования взрывообразного сильного звука (ударной волны). Поскольку она воочию пропутешествовала 2...3 мин., то время её жизни вполне могло составить 4...5 мин., если не дольше.

Тогда, только через излучение, такая шаровая молния за оцениваемое здесь время жизни ≈ 300 с теряет, вероятно, ≈ 100 КДж в темпе ≈ 1 Вт/см². Равновесное излучение такой интенсивности давал бы объект температурой ≈ 400 °С. Но она не была столь тёплой!

Предполагая её полную энергию (относительно не сводящуюся к тепловой!) на порядок большей, чем упомянутую интегральную потерю на высвечивание, т.е. $E_{\text{tot}} \approx 1$ МДж, получаем правдоподобную оценку к.п.д. генерации шаровой молнии из линейной неслабой (10...100 МДж "активной" ≈ 100 -метровой части) молнии ≈ 3 %. Разве это не напоминает к.п.д. лазера? Кстати, полная энергия разряда линейной молнии оценивается $\approx 10^9$... 10^{10} Дж.

III. Пробное обобщение наблюдений

Оценка "один мегаджоуль" энергии (не обязательно тепловой!) в "плавающей" шаровой молнии объёмом 1000 см³ при удельной массе $\approx 10^{-3}$ г/см³ (выдвигавшаяся и прежде рядом авторов на основании некоторых наблюдений) подразумевает усреднённую удельную энергию ≈ 1 МДж/г и плотность энергии ≈ 1 КДж/см³.

Такая оценка вряд ли должна считаться верхней, поскольку плотность полной энергии в молнии линейной может достигать ≈ 10 КДж/см³ при ≈ 1 МДж на метр длины, откуда для образования шаровой молнии (описанного выше типа) затрачивается ≈ 30 ...100 м молнии линейной.

Подобные численные оценки (также см. далее) позволяют считать шаровую молнию уникальным накопителем, трансформатором, переключателем и генератором электромагнитной мощности. Существенное гравитационное излучение не исключено.

Относительно высокая энергоёмкость шаровой молнии не противоречит умеренной её яркости и слабой теплоотдаче, если предположить нетепловой характер существенной доли полной энергии этого уникального природного объекта.

Среди принципиально возможных и подлежащих тестированию вариантов (нетепловых) энергии шаровых молний укажем здесь следующие.

Вихревые образования, по форме - "стиснутые тороиды", в т.ч. "вихри Холла" или даже "сжатые смерчи". Химический их состав - воздух с примесями (что следует из её "плаваемости" при некотором тепле внутри). Физически весьма вероятен МГД-механизм, связанный с известной электродинамической активностью такой молнии.

Генерирование подходящего "затравочного" вихря может быть, в принципе, инициировано специфической динамикой крыльев птицы, которая собралась взлететь до удара по ней линейным разрядом, либо уже агонизировала, будучи поражённой лидирующим разрядом. Суть дела в том, что при взлёте (при резком изменении режима полёта) крылья птиц обладают уникальным свойством - способностью генерировать поразительно интенсивный торообразный вихрь, подталкивающий птицу и придающий ей удивительно большое ускорение.

Короче говоря, не состоит ли шаровая молния из пепельно-воздушной смеси от сгоревшей птицы?

В качестве отступления замечу, что ни физический сценарий появления шаровой молнии, ни её химический состав не составляют сами по себе главной "сущности" (если угодно - "тайны") шаровой молнии. Её поведение настолько изощрённо (пусть не всегда), что волей-неволей наводит на мысль о присущей этому объекту некой "интеллектуальности".

Экстремальной позицией такого рода является, к примеру, идея о том, что шаровые молнии - это инопланетяне, которые обладают даром невидимости, а видимыми (и смертными) их делает воздействие линейного разряда. Автор придерживается не столь категорической позиции: разве не достойна внимания возможность того, что шаровая молния - это самая первая (во всяком случае, на Земле, а также планетах Солнечной или другой аналогичной системы) попытка Природы сотворения жизни, притом интеллектуальной? (Здесь следует упомянуть о беседе автора с А.Н. Колмогоровым по поводу внеземных цивилизаций: Литгазета, 20 сентября 1970 г.)

И не являются ли наши нынешние попытки познать сущность ("тайну") шаровой молнии чем-то вроде стремления некоего натуралиста познать природу черепахи, ограничившись изучением её панциря?

Автор начал рассматривать всерьёз идею возникновения шаровой молнии при ударе линейной молнии в птицу не позднее 1972 г. Я выступил с её изложением на интернациональном Орнитологическом конгрессе, состоявшемся при Московском государственном университете в 1976 г. Сразу за этим выступлением последовала нетривиальная реплика от одного из представителей Германии. Оказывается, один из его коллег - химик изучил многочисленные фотографии шаровых молний. Многие из этих фотографий оказались запечатлены на плёнках с различной спектральной чувствительностью. Это позволило с достаточной точностью и надёжностью определить спектр свечения шаровой молнии, откуда этот немецкий исследователь пришёл к заключению о наличии в химическом составе шаровой молнии продуктов горения органических соединений, причём он выдвинул гипотезу (как химик!) о причастности птиц к рождению шаровой молнии. Не собираюсь рекомендовать приковывать птиц к громоотводам, но надеюсь, что жалостливые изобретатели найдут подлежащие пути к экспериментальной проверке этой гипотезы. Тем более, что британские исследователи и конструкторы далеко продвинулись в корректной имитации маховых движений крыльев различных птиц на различных режимах их полёта.

Не столь экзотические сценарии возникновения шаровой молнии подразумевают генерирование вихреобразного объекта через развитие неустойчивости контактного разрыва (в т.ч. по Гельмгольцу), возникающего при некоторых этапах и нюансах развития "линейной" молнии. Такова, например, вихревая пелена при специфическом взаимодействии ударных волн. Например, подходящие по интенсивности вихри рождаются маховскими отражениями, образующимися при развитии системы обычных разрядов (хотя бы при "ветвлении" линейной молнии), а также - при ударах линейной молнии в твёрдую или жидкую поверхность под соответствующим углом. МГД эффекты должны сопутствовать рождению и развитию вихревых образований в этих условиях.

Потенциальная роль маховских отражений, продуцирующих высокоинтенсивную скручивающуюся вихревую пелену, в формировании шаровых молний обсуждалась автором с выдающимся физиком-взрывником проф. Г.И. Покровским в 1953 г.

Природа шаровой молнии ассоциируется, предположительно, также со следующими физическими (пусть неполными) сценариями:

- квантовый резонатор подходящей добротности, т.е. лазер или мазер с соответствующими (аналогичными по форме "кожуре" шаровой молнии) полупрозрачными-полужеркальными (гибкими!) стенками, внутри которых может генерироваться и накапливаться когерентное (холодное!) излучение;
- некоторые разновидности МГД, а также "химических" и даже "биохимических" солитонов;
- объекты, трактуемые как "обобщённые дислокации", "квази-

частицы", даже колоссальные (в т.ч. реликтовые) "элементарные частицы", мини-"чёрные дыры" космологического значения.

- "иные" (в т.ч. древнейшие) формы жизни, в т.ч. разумной (см. здесь отступление автора).

Специфической проблематикой природы шаровой молнии является причина и форма её "кончины". Таковая, судя по свидетельствам (в т.ч. времён Михаила Ломоносова), может (пусть не обязательно!) наступать как отклик на достаточно сильное (деструктивное по определению) внешнее возмущение, в т.ч. вмешательство в структуру такой молнии (например - лазером - по А. Климову).

Поскольку имеет силу оценка скорости распространения внутри такой молнии разрушающего возмущения ≈ 1 км/с, то мощность высвобождения "внутренней" энергии шаровой молнии вполне может достигать ≈ 10 ГВт.

К тому же, модели шаровой молнии, подразумевающие присутствующую таковой уникальную термоизоляцию, могут быть, очевидно, по крайней мере, двух типов: с очень горячим, и с очень холодным содержимым этого объекта. Более того, остаются интригующими вопросы о роли в этом объекте таких эффектов, как "эффект Казимира" и "спутывание" (entanglement).

IV. Что делать

* Запуск глобальной системы спутников, оборудованных сенсорами, адаптированными к наружным признакам шаровой молнии, в т.ч. скрупулёзная регистрация когерентного её излучения.

* Оборудование рейсовых самолётов, морских кораблей, аэропортов, телебашен и маяков аналогичными сенсорами.

* Субсидирование международной программы мониторинга шаровых молний и разработки их физических моделей финансированием порядка 100 млн Евро на первые два года с вероятным повышением до миллиарда ежегодно через 5 лет.

Ибо эта проблема заслуживает не меньшего, если не большего, финансирования и кадрового обеспечения, нежели пресловутая загадка НЛО и даже задача обнаружения воды на Марсе.

Вряд ли стоит сомневаться, что результаты исследования шаровой молнии принесут целую вереницу изобретений в системах связи, "нетрадиционной" энергетики и в других актуальных отраслях.

V. О натуральной философии шаровой молнии

В следующей редакции данной работы излагается попытка применения некоторых принципиальных идей классика физики XX века Эрвина Шрёдингера. Речь идёт о его подходе к описанию проявлений жизни при помощи соответствующего истолкования роли "свободной энергии Гельмгольца", а также о том, что такие когерентные системы, как идеальные маятниковые часы, являются объектом абсолютного нуля температуры [См. по этому поводу его книги: "Что такое жизнь с точки зрения физики?" - 1943-1956 гг.; "Статистическая термодинамика" - 1946-1960 гг.].

Особый интерес вызвала бы теория эволюции шаровой молнии от "самоорганизации" в высококогерентное (динамическое) состояние к хаосу и последующей энтропийной диссипации. 

Постскриптум: В одном из последующих детализированных вариантов данной работы приводится анализ моделей шаровой молнии таких авторов как отечественные исследователи Пётр Капица (1894-1984), Самвел Григорян, Анатолий Климов, Михаил Шматов, Стаханов и других отечественных и иностранных (начиная с Николы Тесла) авторов, а также дополнительные соображения автора данной работы. Например, на основе общих соображений В.В. Докучаева (1846-1903), Н. Теслы (1856-1943), К.Э. Циолковского (1857-1935), Г. Уэллса (1866-1946) и Ф. Содди (1877-1956), а также Э. Шрёдингера (1887-1961), предлагается регулирование состояния (в т.ч. "лазерная терапия" - продление времени жизни) шаровой молнии лучами лазера, мазера. Даётся хронология десятков публикаций. (март 2008).

Русская версия конспекта доклада на VII International Workshop on Magneto-Plasma Aerodynamics (Moscow, IVTAN, Russia, April 2007).

ТРАДИЦИИ И НОВАЦИИ В АСПЕКТЕ ПРИОРИТЕТОВ СТОЛИЧНОЙ МОЛОДЕЖИ

Алексей Андреевич Логвинов,
директор ГБОУ СПО города Москвы
"Колледж по подготовке социальных работников №16"

Представленные результаты социологического исследования базируются на выявленных интересах молодежи к социокультурным традициям и современному стилю жизни.

The presented results of the sociological investigation are based on the revealed youth's interests to socio-cultural traditions and contemporary way of life.

Ключевые слова: молодежь, культура, столичный мегаполис, традиция, инновации, социологический эксперимент.

Keywords: youth, culture, capital megalopolis, tradition, innovation, sociological experiment.

При общей характеристике столичной молодежи как носителя определенного ценностного сознания, необходимо учитывать не только составляющие, которые отображают типичные в ней явления городской культуры, но и особенности городских форм общественной жизни взрослого поколения. Отличия между молодежью и столичными жителями старшего возраста находятся в сфере взаимодействия традиций и инноваций, в соотношении этих двух факторов относительно стилей жизни, ценностных ориентаций.

В научных трудах *традиция* - понятие, которым постоянно пользуются социологи, антропологи, политики и др. Впитав в себя знания о различных нормах поведения, культуры, идеях, передаваемых из поколения в поколение в пределах определенной группы, традиции развиваются и ретранслируются. В "Словаре новейшей социологической лексики" дефиниция "традиция" представлена как множество представлений, обычаев, привычек и навыков практической и общественной деятельности, передаваемых из поколения в поколение, выступающих одним из регуляторов общественных отношений [1, с. 365].

Традиционность как качество культуры, связывающее людей определенными формальными знаками, смыслами, передается социально-исторически. При этом для каждого поколения то, что было создано ранее, является первичной основой жизнедеятельности. Выработывая собственные приоритеты, каждый человек переосмысливает прошлый опыт и заимствует те элементы, которые соответствуют запросам актуальной реальности. Российский культуролог Ф.А. Колбунов отмечает, что молодежная среда - это самая широкая аудитория, для которой усвоение и формирование культурных новаций является сущностной чертой жизни. В юном возрасте наиболее сильна тяга к восприятию нового, которая по мере взросления ослабевает. В этой связи городская среда упрощает возможности доступа и приобщения к инновационным достижениям культуры и техники. Кроме того, общество потребления, быстрыми темпами формирующееся в России, особенно в ее мегаполисах, стимулирует именно потребление новизны [2, с. 71-76]. Доктор педагогических наук Е.В. Невмержицкая, автор нескольких инновационных методов, определяет *инновации* как раскрытие творческого потенциала личности, коллектива, целенаправленное проектирование и организацию процесса образования и воспитания с целью создания максимально благоприятных условий для развития личности при условии ее непосредственного активного участия в процессе [3, с. 48].

Результаты социологического эксперимента (участники - 214 юношей и девушек и 96 чел. - лица старшего возраста) по выявлению позиций, которые сближают молодежь со старшим поколением (рис. 1), свидетельствуют о том, что честность, доброта, отзывчивость являются наиболее важными человеческими

качествами для 25,5 % респондентов; воспитание детей, создание прочной семьи важны для 13,2 % опрошенных. Целеустремленность, коммуникабельность, стремление к образованию (обучение в вузах, что подтверждают социологические данные: учреждения высшего профессионального образования размещены по территории России неравномерно, в двух столицах - Москва и Санкт-Петербург, где обучается почти каждый третий студент (22,5 %) по очной и очно-заочной формам [2]), деловитость назвали более 58 % респондентов, что является обязательным требованием современного мира. Особо следует отметить и указанные жителями столичного мегаполиса качества, которые также входят в группу, условно именуемую коммуникативно-информационный спектр, включающие общение с родителями посредством электронной почты, службы мгновенной пересылки сообщений, голосовой связи через сеть Интернет и т.д.

В аналитическом докладе, подготовленном Институтом социологии РАН в сотрудничестве с Представительством Фонда имени Фридриха Эберта в Российской Федерации "Молодежь новой России: образ жизни и ценностные приоритеты" (2007 г.) отмечается, что сегодня понятия морали и нравственности, по мнению молодежи, часто приобретают характер анахронизмов, пользоваться которыми - значит обрекать себя на неуспех. Объект исследования, проведенного по специальной социологической анкете (формализованное интервью), включал две группы: *основную*, собственно молодежь в возрасте от 17 до 26 лет включительно (всего опрошено 1796 чел.) и *контрольную*, представляющую старшее поколение в возрасте от 40 до 60 лет (всего опрошено 655 чел.). Менее половины молодых респондентов (46 %) в ходе опроса согласились с утверждением, что сегодня мы живем уже совсем в другом мире, отличном от того, какой был раньше, и многие традиционные моральные нормы устарели. Противоположной точки зрения придерживается большинство молодежи - 54 % уверены, что основные моральные



Рис. 1. Социокультурные интересы столичной молодежи, %

нормы не подвержены влиянию времени и всегда остаются актуальными. При этом почти каждый третий респондент старшего возраста (31 %) признал, что моральные нормы "стареют" и уже не соответствуют современным требованиям и ритму жизни. Результаты опроса, проведенного в столичном мегаполисе в 2012 г., незначительно отличаются от представленных на рис. 2, что подтверждает достоверность ответов.

Для большинства представителей столичной молодежи приоритетными ценностями остаются семья и работа в той или иной вариации: когда работа желаемая и интересна или когда она дает возможность достичь материального благополучия. Соответственно, определенный тип устремлений молодежи, с одной стороны, формируется в условиях столичной городской среды, а с другой стороны - влияет на поведенческие практики молодежи, прежде всего такие, как получение образования, выбор профессии и т.д.

Рассчитывая многого добиться в жизни, юноши и девушки в основном подразумевают материальное благополучие (более 70 % респондентов), а достижения старшего поколения, в частности, своих родителей, ставятся ими под сомнение (прежде всего - экономический аспект). При этом, как известно, доля специалистов с высшим образованием и предпринимателей в мегаполисах выше, чем рабочих в Москве и Санкт-Петербурге.

Проведенный анализ позволяет сделать выводы о том, что формирование человеческого капитала молодежи России происходит под влиянием нескольких факторов, среди которых место жительства имеет важное значение. В условиях столичного мегаполиса в ведении юношей и девушек находятся разнообразные виды образовательных услуг, предоставляющие большие возможности по получению отдачи от вложенных в образование средств, а также способствующие созданию социального капитала, включающего знакомство и поддержание личных связей, которые могут повлиять на удачное трудоустройство, продвижение по карьерной лестнице и т.п. При этом старшее поколение, в отличие от нынешней молодежи, отличается большей консервативностью, что естественно с учетом его жизненного опыта - оно не любит рисковать, выделяться, не привыкло рассчитывать только на себя, что не свойственно современной молодежи, активно озвучивающей свои жизненные планы. Однако оба этих поколения объединяют такие позиции, как: создание прочной семьи, воспитание детей, уважение к традициям и культуре страны, в которой они проживают. При том, что миграционные потоки в столичный социум при низкой эффективности административного и социального управления миграционными процессами обуславливают некоторые неблагоприятные последствия [4] (стихийный характер миграции, преобладание в СМИ публикации, формирующих в общественном мнении отрицательный образ мигрантов, являющихся представителями неславянских этносов и др.), общая численность постоянного населения города Москвы постепенно увеличивается в пределах 0,1...0,2 % в год, главным образом из-за миграционного притока из других регионов и стран СНГ [5].

Повышенный интерес молодых жителей столичного мегаполиса относится, в том числе, к области компьютерных технологий и информационных коммуникаций, порождающих новые практики, формы культуры и способы ее освоения. Интерактивность, информативность и вариативность являются главными свойствами компьютерной культуры и порождаемой ею виртуальной реальности, которые привлекают молодежь и формируют специфическую ценностную шкалу.

Общеизвестно, что в настоящее время компьютер и Интернет, как активные элементы современной культуры, осваиваются в разных возрастных группах: увлечение компьютерными играми, пребывание на специализированных интернет-порталах, общение через *фэйсбук* (*facebook*) является альтернативной формой вербальной и невербальной коммуникации в виде общения в режиме реального времени в чатах, форумах, социальных сетях. Уровень компьютеризации жителей столичного мега-

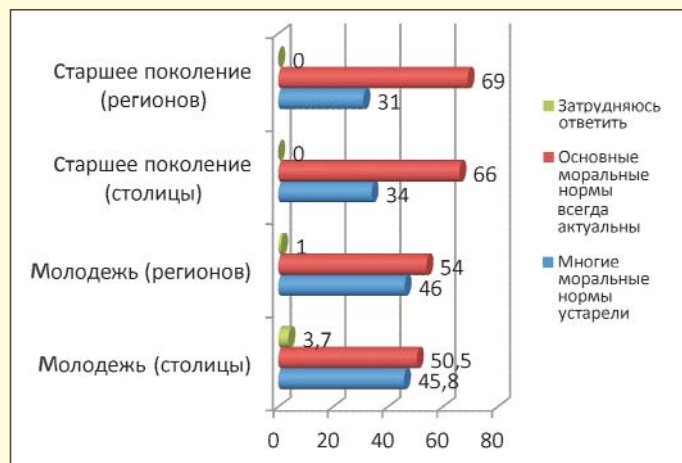


Рис. 2. Отношение молодежи и представителей старшего поколения к моральным нормам, %

полиса достаточно высок, что обусловлено, прежде всего, высокими доходами населения, однако среди досуговых форм не меньший интерес у молодежи вызывает посещение культурных и спортивных мероприятий, клубов, кафе, баров, фитнес-центров, чтение книг и др.

Таким образом, молодежная среда столичного мегаполиса характеризуется двумя направлениями связи с культурой, которые проявляются в сознании, поведении человека, на которого оказывают влияние различные факторы. Первое направление основывается на опыте старших поколений, образцах, интересах, присущих социокультурной традиции; второе базируется на реалиях современности, где информационно-коммуникационные технологии являются важнейшим инструментом формирования культуры нового поколения, способствующего развитию мировосприятия, ценностных установок, стилей жизни современной молодежи.

Литература

1. Кравченко С.А. Словарь новейшей социологической лексики: теории, понятия, персоналии (с английскими эквивалентами). - М.: МГИМО-Университет, 2011.
2. Колбунов Ф.А. Культурный потенциал российского мегаполиса // Этносоциум и межнациональная культура. - 2010. - № 1.
3. Невмержицкая Е.В. Эффективность использования инновационных методов и технологий в деятельности межрегионального ресурсного центра строительной отрасли (итоги 3-го этапа реализации Федеральной целевой программы) // Двигатель. - 2012. - № 5 (83 + 243).
4. Димаев А. Миграция населения как фактор этноконфессиональной напряженности в российском обществе // Вестник РУДН, серия "Социология". - 2009. - № 1.
5. Постановление Правительства Москвы от 21.08.2007 г. № 711-ПП "О Московской городской целевой миграционной программе на 2008-2010 годы".

Связь с автором: 25.82@mail.ru



РЕЗУЛЬТАТЫ ЭТНОКОЛОРИСТИЧЕСКОГО ИНТЕРВЬЮ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ОТНОШЕНИЯ СЛАВЯНСКОГО ЭТНОСА К ЦВЕТОВОЙ СИМВОЛИКЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ФЛАГОВ

Светлана Михайловна Геращенко,

начальник отдела Министерства образования и науки РФ

На примере результатов этноколористического интервью в статье представлены знания и отношение представителей славянского этноса к цветовой семантике, используемой в государственных флагах России, Беларуси и Украины. Specific knowledge and attitude of the representatives of Slavonic ethnic groups to colour semantics used in state flags of Russia, Belorussia and the Ukraine based on the results of ethno-colour interview are presented in the article.

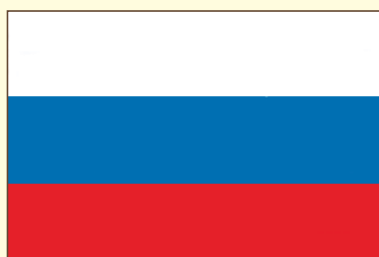
Ключевые слова: государственный флаг, этноколористическое интервью, символика, цветообозначения, Россия, Беларусь, Украина.

Keywords: state flag, ethno-colour interview, symbolics, colour signs, Russia, Belorussia, the Ukraine.

Одним из важнейших государственных символов страны является ее государственный флаг, который выражает особенности исторического пути.

На основе результатов социологического исследования, проведенного с использованием метода этноколористического интервью [4, с. 58-59] с целью выявления знаний и отношений к цветовой символике флагов славянских народов, выявлена высокая частотность информированности респондентов. Так, интервьюируемые явились 156 человек: 68 жителей российских городов (Брянск, Казань, Москва, Южно-Сахалинск), 44 - белорусских (Минск, Бобруйск, Гомель), 44 - украинских (Киев, Николаев, Харьков).

История цветообозначений российского бело-сине-красного флага берет свое начало с XVII-XVIII вв., эпохи становления России как мощного государства. Впервые он был поднят на первом русском военном корабле "Орел" во времена царствования



Флаг Российской Федерации

Алексея Михайловича (отца Петра I, который определил порядок горизонтальных полос). 20 января 1705 г. Петр I издал указ, согласно которому "на торговых всяких судах" должны были поднимать бело-сине-красный флаг. В разных вариантах, вплоть до 1712 г., когда на военном флоте утвердился Андреевский флаг, триколор украшал также и военные корабли.

28 апреля 1883 г. в повелении Александра III было объявлено: "Чтобы в тех торжественных случаях, когда признается возможным дозволить украшение зданий флагами, был употреблен исключительно русский флаг, состоящий из трех полос: верхней - белого, средней - синего и нижней - красного цветов". В 1896 г. Николай II учредил Особое совещание при министерстве юстиции для обсуждения вопроса о Российском национальном флаге, которое пришло к выводу, что "флаг бело-сине-красный имеет полное право называться российским или национальным и цвета его: белый, синий и красный именоваться государственными" [3].

20 декабря 2000 г. был принят Федеральный конституционный Закон "О Государственном флаге Российской Федерации", согласно которому Государственный флаг является государственным символом России [6]. Знания о месте расположения трех равновеликих горизонтальных полос, где верхняя - белого, средняя - синего, нижняя - красного цвета, продемонстрировали 94,2% опрошенных российских граждан.

Ежегодно 22 августа в России отмечается День Государственного флага Российской Федерации, установленный на основании Указа Президента Российской Федерации № 1714 от 20 августа 1994 г. "О Дне Государственного флага Российской Федерации" [7].

Согласно результатам этноколористического интервью, значения цветов флага России символизируют для опрошенных: белый цвет - мир, чистоту, непорочность (более 70 %), свободу и независимость (менее 25 %); синий - веру / верность, постоянство (более 45 %), цвет Богородицы, под покровительством которой находится Россия (около 18 %); красный - силу, "державность" (более 60 %), кровь, пролитую в период Великой Отечественной войны (около 43 %) и др. Для 8,8 % от общего числа респондентов эти цвета означали также содружество Белой, Малой и Великой России.

В учебно-практическом пособии д. пед. наук Е.В. Невмержикой "Этноколористическое интервью" отмечается: "... при анализе знаний о символике трех цветовых полос российского флага, отражающих культурную традицию, был сформулирован вопрос: "Три цветные полосы государственного флага России отражают три славянских народа: белый - белорусов, голубой - украинцев, красный - русских или отражают три сословия российского общества: белый - дворянство, синий или голубой - мещан / разночинцев, а красный - крестьян / народ?" ... в результате чего удалось выяснить, что более 80 % респондентов считают цветовую символику флага отражением трех славянских народов, более 10 % - символом единения православия (белый), царской власти (синий) и русского народа (красный), около 6 % воспринимают белый цвет как символ свободы и веры; синий - цвет Богородицы, покровительницы земли русской, и надежды; красный - символ державности и любви" [5, с. 66-67].

На флаге Республики Беларусь, принятого 14 мая 1995 г. (учрежден 7 июня 1995 г.) на основе народного референдума, изображены 2 горизонтальные неравные полосы: красная верхняя и нижняя зеленая.



Флаг Республики Беларусь

Знания о символике цвета современного белорусского флага респонденты продемонстрировали в ответах. Так, для 31,8 % интервьюируемых красный цвет символизирует кровь, пролитую за Победу во второй Мировой войне их дедами, отцами, родственниками; менее 30 % - почтение, победу, знамена Красной Армии и белорусских партизанских бригад; 11,4 % - штандарты победоносной Грюнвальдской битвы белорусских полков с крестоносцами; 4,5 % - кровь участников революционного движения в Российской Империи; 6,8 % - охру, которая у первобытных охотников ассоциировалась с огнем или Солнцем; около 16 % - связь с господствующим цветом на флаге СССР. Зеленый цвет для 52,3 % опрошенных белорусских граждан - это символ весны, надежды, возрождения природы; 34,1 % - бескрайние поля их Родины; символ Матери-Земли; 13,6 % - связь с племенем дреговичей, проживающих на юге современной Беларуси.

Данные, полученные в результате проведения этноколористического интервью, подтверждаются результатами исследования, проведенного С.Н. Авраменко [1] среди представителей белорусского этноса, проживающего на территории России.

Белый цвет, являющийся фоном для орнамента, символизирует для интервьюируемых: свободу, чистоту и непорочность (34,1 %); название страны: Белая Русь (34,1 %); гостеприимство белорусов (18,2 %); свет Солнца (13,6 %). Орнамент, в основе которого лежит узор "Восходящее солнце", вытканый в 1917 г. крестьянкой деревни Костелище (современная Витебская область) Матреной Маркевич (информация из архивов Белпромсовета), символизирует духовное богатство белорусского народа, его единство. Белорусский национальный орнамент изображен красным цветом на белом фоне флага и расположен возле древка. Примечательно, что 25 % респондентов помнят, что, в отличие от современного белорусского флага, на флаге Белорусской ССР орнамент был представлен белым цветом на красном фоне.

День государственного герба Республики Беларусь и День государственного флага Республики Беларусь - официальный государственный праздник отмечают в стране во второе воскресенье мая.

В украинской символике долгое время сосуществовали знамена как малиновые, так и сине-желтые, количество которых постепенно увеличивалось; революция 1848 г. открыла новый этап, дав толчок для национального возрождения, когда народ повел борьбу за восстановление украинской государственности под сине-желтым знаменем. Цвета этого флага ведут происхождение от



Флаг Украины

старинного герба князей Романовичей, Львовской земли, Русского воеводства, на которых изображались золотой лев на голубом поле ("галицкий лев").

22 ноября 1917 г. в Киеве была провозглашена Украинская Народная Республика. 14 января 1918 г. Центральная рада приняла временный закон о флаге: "Флагом военного флота Украины является полотнище из двух - синего и желтого цветов. В крыже синего цвета помещен исторический золотой трезубец с белым внутренним полем в нем. Флагом Украинского торгового флота является полотнище из двух - синего и желтого цветов" [2].

28 января 1992 г. Верховный Совет Украины постановил: "Утвердить Государственным флагом Украины национальный флаг, представляющий собой прямоугольное полотнище, состоящее из двух равных по ширине горизонтально расположенных полос: верхней - синего цвета, нижней - желтого цвета". Так национальный сине-желтый флаг стал государственным на Украине, символизируя ее суверенитет. День государственного флага, утвержденный в 2004 г. указом президента Украины, ежегодно отмечается 23 августа.

Для 31,8 % интервьюируемых синий цвет ассоциируется с чистым, голубым небом, 20,5 % - миром, покоем; 18,2 % - морем / морской державой, природными богатствами Украины, цветом знамен Богдана Хмельницкого. 11,4 % респондентов назвали золотой цветом зарницы на ясном небе; 9,1 % - Киевской Руси; 4,5 % - символом будущего / настоящего процветания Украины; 4,5 % - пшеничного поля.

Корни украинской национальной символики уходят в дохристианский период, когда два цвета - желтый и синий, - символизирующие огонь и воду, превалировали в народных обрядах. Вероятно, потому у 9,1 % респондентов цвет украинского государственного флага ассоциируется с сине-желтым цветком Иван-да-Марья, а в устном народном творчестве распространены эпитеты "синее море", "золотая узда", "золотые весла", "золотой камень" и т.д.

Литература

1. Авраменко С.Н. Эффективность метода мозаики при проведении этноколористического интервью // Вестник Забайкальского государственного университета. - 2012. - № 12 (91).
2. Авраменко С.Н., Рогова А.В. Цвет в государственной символике. - М.: Граница, 2012. Серия "Изучаем этноколористику".
3. Государственные символы России <http://flag.kremlin.ru>
4. Невмержицкая Е.В. Детерминанты этноколористического интервью // Двигатель. - 2012. - № 1 (79 + 244).
5. Невмержицкая Е.В. Этноколористическое интервью: учебно-практическое пособие. - М.: Граница, 2012. - Серия "Изучаем этноколористику".
6. О Государственном флаге Российской Федерации: указ Президента РФ от 11.12.1993 №2126 // Российская газета. - 1993. - 18 дек.
7. О Дне Государственного флага Российской Федерации: указ Президента РФ от 20.08.1994 №1714 // Российская газета. - 1994. - 23 авг.

Связь с автором: svetlanalana12@list.ru



ДОРЕВОЛЮЦИОННЫЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ЖЕТОНЫ - СВИДЕТЕЛИ ИСТОРИИ И ПРЕДМЕТ ЭЛИТНОГО КОЛЛЕКЦИОНИРОВАНИЯ

Пряжка ремня
железнодорожника
начала XIX века



Жетон Варшаво-Бромбергской ветки Варшаво-Венской железной дороги. Выдан графу П.А. Шувалову



Жетон в знак спасения царской семьи



Чем дальше от нас отходит время существования Российской Империи, тем меньше остается материальных свидетелей ее, в число которых входят различные жетоны и знаки. Но интересно к истории растет. Да и денег у людей стало больше. Значит, увеличивается количество фалеристов, готовых за нужный им знак выложить сумму, которая еще пару лет казалась нереальной. И сейчас после третьего удара молотка аукциониста никто не покртит пальцем у виска.

Что же такое фалеристика? Это коллекционирование различных наград, значков и жетонов. Происходит оно от латинского слова "фалера" (falerae). Так именовался металлический знак отличия, который прикреплялся на грудь римского легионера, отличившегося при взятии крепости (первым взобрался на стену) или в бою. Обычно фалеры были круглыми и изготавливались из серебра или бронзы, часто золоченой.

В "гражданской" фалеристике железнодорожные знаки и жетоны занимают по популярности одно из первых мест. Сразу отметим, что все 68 железных дорог дореволюционной России имели свои знаки и жетоны, которые вручались всем работникам данной дороги. Кроме того, определенным категориям служащих полагался бесплатный железнодорожный проезд. Владельцу такой привилегии выдавался именной жетон.

Один из таких жетонов, владельцем которого был некто господин И.В. Жирновский, в форме геральдического щита изготовили в 1893 г. из золота и покрыли эмалью. Он давал ему право бесплатно ездить в вагоне первого класса Юго-Восточных железных дорог. Несколько лет тому назад на одном из специализированных аукционов фирмы "Монеты и медали" этот жетон купили за \$5500 при начальной цене \$4200.

Самая большая одноразовая подборка предметов фалеристики по железнодорожной тематике была продана на одном из аукционов "Кабинет". Она состояла из 22 жетонов и трёх знаков, выпущенных 24-мя железными дорогами Российской Империи.

Из общей подборки 10 жетонов принадлежали Никифору Андреевичу Шарапову, о чем говорят надписи на их оборотной стороне. Все они продавались

одним лотом с предварительной оценкой в 3,3-4 млн руб. Конкретно жетоны были выпущены обществами Токмакской (Украина, Запорожская область), Черноморской (Черноморско-Кубанской), Аккерманской (по названию города

Жетон для бесплатного проезда в поезде



Аkkerман, который сейчас называется Белгород-Днестровский), Олонецкой, Юго-Восточных дорог, Верхнее-Волжской, Мальцевской, Кольчугинской, Ачинск-Минусинской и Кулундинской. Сам Никифор Андреевич, судя по всему, занимал важное положение в начале XX века в иерархии акционеров Южных железных дорог.

Конкретно известно, что в 1917 г. он был членом правления Бухарской железной дороги и проживал по адресу СПб, Моховая, д. 28.

Учитывая уникальность предлагаемых к продаже матери-



Жетон для бесплатного проезда простой

алов, не удивительно, что организаторам аукциона поступило несколько предложений купить всю "железнодорожную подборку" еще до его начала.

Но они отказались от таких предложений и не прогадали. Сумма, вырученная организаторами аукциона, составила 7,1 млн рублей. А к ней надо прибавить еще 15 %, которые платят покупатели. Помните: именно отсутствие денег (которые прокутил Киса Воробьянинов) на оплату таких процентов не позволила Остапу Бендеру купить "гарнитур венских стульев из дворца" с бриллиантами мадам Петуховой в одном из них.

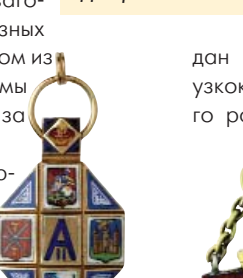
Остановимся на Мальцевской железной дороге, жетон которой также был продан "Кабинетом" в подборе Шарапова. Эта узкоколейка - достопримечательность всего российского железнодорожного дела.

Она обслуживала Мальцевский промышленный район на стыке Орловской, Смоленской и Калужской губерний. Строителем дороги был известный предприниматель Сергей Иванович Мальцов. Он не имел диплома инженера, однако сам сконструировал линию и руководил её постройкой, не попросив у государства ни копейки дотации. Дорога протяжённостью в 203 версты начала строиться в мае 1877 года, в

Жетон Верхне-Волжской ЖД



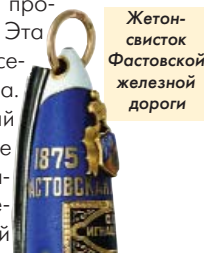
Жетон в знак постройки Днепроовского моста



Жетон в память строительства Московско-Курской железной дороги



Жетон работы Фаберже в память строительства полевых железных дорог



Жетон-свисток Фастовской железной дороги



Жетон
Общества
Ачинск-
Минусинской
железной
дороги

ноябре того же года было открыто движение поездов на участке Радица (Брянск) - Людиново. В 1881 году строительство основных линий было завершено. Обошлась железная дорога хозяину вместе с подвижным составом всего в девять с половиной тысяч рублей за версту. Паровозы без тендера и вагоны были собраны также по чертежам Сергея Ивановича.

К 1900 году суммарная протяжённость узкоколейной Мальцевской железной дороги составляла свыше 200 километров. Согласно материалам "Энциклопедического словаря Брокгауза и Ефрона", на этой железной дороге насчитывалось 26 паровозов, 461 грузовой вагон, 142 вагона-платформы, 52 пассажирских вагона. Локомотивные депо имелись на нескольких станциях. Внутри территории заводов и шахт нередко применялась конная тяга.

Почти весь подвижной состав был произведён здесь же, в Мальцевском заводском округе. Так строительство паровозов в Людинове началось ещё до появления



Жетон
"Учредитель
общества
строительства
железных
дорог"
А.Е. Струве



Жетон
Железная
Дорога
1891
Киев-
ская



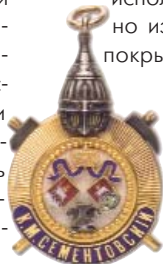
Жетон Энзели-
Тегранской
железной
дороги.
Выдан
П.А. Шувалову

узкоколейной железной дороги. Первоначально их транспортировали в Брянск гужевым транспортом в разобранном виде. Сейчас на Людиновском заводе выпускают маневровые тепловозы. В советское время дорогу "перешли" на нормальную колею. Она получила и новое название - Урицкая.

Крупнейшей частной коллекцией железнодорожных дореволюционных жетонов в мире обладает аукционный дом "Знак", который очень ограниченным тиражом издал двуязычный каталог её. Эта коллекция общим числом в 117 жетонов соби-



Жетон
Московско-Виндав-
Рыбинской железной
дороги 1869 - 1918



Жетон
горнозаводской
дороги.
Выдан
А.М. Семеновскому



Жетон Северодонецкой
железной дороги

рается уже более 10 лет. Всего же, по мнению составителей каталога, с учетом жетонов отдельных подъездных путей (были и такие жетоны), изменений в названиях железных дорог, гипотетически можно предположить существование примерно 500 различных дореволюционных железнодорожных жетонов.

Отличительной особенностью дореволюционных жетонов железных дорог было высочайшее художественное исполнение. Большинство было изготовлено из драгоценных металлов с эмалевым покрытием. Выполняли заказы железных дорог такие знаменитые ювелирные фирмы и мастерские как А. Жакара, Тенниса Вило, "Эдуард", для которых основной продукцией было изготовление орденов Империи.

В коллекции много именных жетонов и составители каталога потратили большой труд на выяснения биографий владельцев их, которые приводятся в каталоге. Так только Д.А. Козыреву - тайному советнику, председателю правления Инженерского совета, начальнику управления железных дорог, советнику от Министерства путей сообщения в Совете по тарифным делам принадлежали 8 жетонов в этой коллекции.

К наиболее дорогим раритетам можно отнести жетон Варшаво-Бромбергской ветки Варшаво-Венской железной дороги, выданный графу П.А. Шувалову. Он выполнен из золота и серебра и уникален тем, что известен в единственном экземпляре. Также стоит упомянуть о жетоне Общества Елецко-Грязской железной дороги, выданном в 1868 году З.С. Поляковой. Жетон из золота, покрыт эмалью и имеет одну интересную отличительную особенность - его центральная часть (медальон) подвижная. Сама Полякова - близкая родственница железнодорожного магната Самуила Соломоновича Полякова, который построил Курско-Харьковскую, Харьковско-Азовскую, Козлово-Воронежско-Ростовскую, Орлово-Грязскую, Фастовскую и Бендеро-Галацкую железные дороги.



Жетон
Олонечской
железной
дороги



Жетон Пермско-
Екатеринбургской
железной дороги.
Построена в
1878-1912



Жетон Троицкой железной дороги



Жетон
московской
конки



Жетон Мальцевской
узкоколейки

Жетон Забайкальской железной
дороги и пристани на Байкале



Жетон в память открытия сети конно-
железных дорог в Санкт-Петербурге



BMW Oracle

П А Р У С А - К Р Ы Л Ь Я

Виктор Сергеевич Шитарёв,

капитан дальнего плавания

Государственный инспектор безопасности
мореплавания и портового надзора

К началу XX века обычные парусные суда достигли своего совершенства. Искусство хождения под парусами - также было доведено до предела. Виндjamмеры уверенно вспенивали просторы Мирового океана. Поэтому корабели всего мира были озабочены проблемой, как полнее и эффективнее использовать энергию ветра. Обычный, сшитый из парусины парус, для этого уже не годился. Поэтому было решено использовать самолётное крыло, поставив его вертикально, как мачту. В этом случае конструктивные наработки авиаторов пришлись как нельзя кстати. Хотя первые попытки заменить парус авиационным крылом и обнадёживали, но возникали проблемы. Было не ясно, например, как уменьшить площадь парусности при резком усилении ветра; как разворачивать паруса при лавировании, следуя курсами бейдевинд; галфвинд; бакштаг и фордевинд. Поэтому познакомимся с изысканиями корабелов, добившихся неплохих результатов.

С интересными предложениями выступил инженер Ю.В. Макаров. Он предложил использовать гото-

вые планерные конструкции в качестве движителей с высоким аэродинамическим качеством. При перемене галса при лавировании судна, производится "перекладка" крыльев относительно продольной оси. На каждом галсе одно крыло служит жёстким парусом, а второе - устройством, препятствующим возникновению опасного для судна крена.

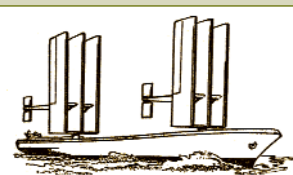
Говорят, что самолёты произошли от морских судов. Первые их конструкторы заимствовали морскую терминологию, а некоторые корабели до того были отличными моряками. Неудивительно, что и сегодня в лексиконе авиаторов и сотрудников аэропортов мы встречаем морскую терминологию - "воздушное судно", "чартерный рейс" - от термина "чартер", т.е. "договор морской перевозки" грузов, пассажиров и т.п. Однако, морские суда и сегодня являются самыми крупными движущимися сооружениями, созданными человеком. Надо сказать, что и авиация в своём развитии немало способствовала и развитию судостроения. Сегодня в аэродинамических трубах "продуваются" не только летательные аппараты, но и скоростные морские суда, буксируемые орудия промысла и т.п.

Оказалось, что высокими тяговыми характеристиками обладают паруса с жёсткой, не прогибающейся поверхностью, то есть, поставленные вертикально жёсткие крылья. Именно они помогают достичь высоких скоростей хода судна и сильно умень-

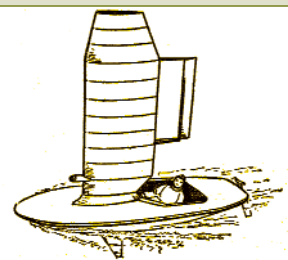
шают, при плавании в крутой бейдевинд, сектор противного ветра.

История жёсткого паруса или просто - крыла восходит к началу развития авиации. Тогда же начались исследования по его практическому применению в качестве судового движителя. Ещё в 1920 году Антон Флетнер запатентовал и испытал судно с таким парусом. Изначально это было обычное установленное на шлюпке крыло. Позже рассматривалась возможность оборудования транспортного судна двумя установками жёстких крыльев. Каждая из них включала по три вертикальных параллельных крыла значительного удлинения с небольшими стабилизаторами. Об этом предложении А. Флетнера потом забыли, и надолго.

Только в 1940 г. норвежец Финн Утне построил яхту "Флаундер", которая была во всех отношениях весьма примечательной. То, что не удалось Флетнеру, решил Финн Утне. Крыло будет постоянно работать, если его удерживать под углом 5...6 градусов к ветру. Чтобы этого удалось добиться, Финн Утне установил на своё крыло, несколько модифицированного симметричного профиля (РАФ - 30), вращающегося вокруг вертикальной оси (на одну четверть хорды от передней кромки), специальный стабилизатор, который для основного паруса был воздушным рулём. Яхта "Флаундер" на воде шла как катер с механическим двигателем, а также имела и ход назад. Если учесть её способность ходить в крутой бейдевинд (при противном ветре 20 градусов) и необычный внешний вид, то есть чему удивиться и нашим современникам. Резкие изменения направления ветра, даже без увеличения его силы, способные сильно накренить обычную яхту, почти не оказывали на "Флаундер" заметного влияния - лишь крыло почти мгновенно занимало новое поло-



Грузовое судно - один из ранних проектов А. Флетнера и современное воплощение этой идеи



Яхта "Флаундер"



Это гибридное судно-глиссер Vestas Sailrocket, как и Sailrocket 2, разработки австралийского виндсёрфера Пола Ларсена, предназначено для установления мирового рекорда скорости на 500-метровой дистанции. Так как здесь направление движения не меняется, то и нет необходимости в установке второго крыла по схеме Ю.В. Макарова

жение, а во время одного из штормов благодаря этой особенности её паруса, яхта была спасена.

В 1976 году идеи А. Флетнера и Ф. Утне применил на практике Пат Битли, спроектировавший и построивший парусник "Сплайс", на котором принял участие в гонках на Малый Кубок Америки. Частично повторив в своём проекте идеи Ф. Утне, он пошёл дальше и поместил рулевого непосредственно в крыло, где имелась система управления судном с ножным приводом. Его яхта не стала в гонках победителем, но вызвала живой интерес прессы и яхтсменов. Несколько более простую конструкцию в 1952 году применил и испытал англичанин П. Мак-Киннон. Крыло 18-процентного симметричного профиля высотой 5,8 м, площадью 10 м², вращающееся вокруг оси, было установлено на каноэ. Испытания показали ритмичную неустойчивость на курсе. Вероятно, каноэ приводилось в движение не только парусом, но и вёслами. Поэтому из-за переменного усилия при гребке на лопасть весла, нарушалась и устойчивость судна на курсе. Известен также проект парусника с качающимся крылом (Глайдера Рига - Ф. Харрешофа). В дальнейшем появилось много типов парусов, основным конструктивным элементом которых было крыло жёсткой конструкции. Так было привлечено внимание корпуса корабельных инженеров к этому типу парусов.

Рассматривая различные типы вооружения парусников, обратим внимание на проект известного яхтенного конструктора англичанина Колина Мьюди. Парусное вооружение предложенного им проекта он назвал "Вооружением будущего". Предлагаемое им "крыло чайки" - изогнутая мачта вместе с парусом - действительно напоминает крыло птицы. Парус входит в мачту, сечение которой, практически, не вызывает разрушение потока набегающего ветра. Мягкая часть паруса имеет свободную нижнюю шкаторину, а мачту можно устанавливать под необходимым углом к ветру.



Рудовоз с парусным вооружением "крыло чайки"

Прежде чем выбрать "крыло чайки", Колин Мьюди должен был ответить на вопрос: будет ли его конструкция надёжно работать на всех линиях, на которых предстоит плавать его судам? Оказалось, что не на всех. Парусное вооружение должно точно соответствовать условиям работы судов на данной линии и номенклатуре перевозимых грузов. Для этого желательно было бы иметь вооружение, которое можно было бы быстро и легко заменить в соответствии с требованиями линейного судоходства. Но изготовить такое сменное вооружение и обеспечить им порты захода - задача технически архисложная.

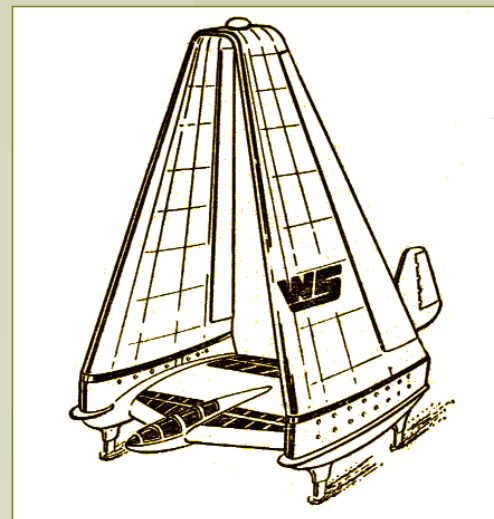
Необходимо, чтобы сменное парусное вооружение удовлетворяло следующим принципам: модули различных типов должны быть унифицированы; они должны легко сниматься, заменяться и управляться современными морскими; легко убираться, когда судно на ходу для уменьшения сопротивления на курсе крутой бейдевинд; модули должны сами создавать тягу, особенно когда судно идёт круто к ветру, чтобы обеспечить минимальное время движения судна при введённой в работу главной энергетической установки.

При размерах парусного вооружения, предложенных К. Мьюди, ценность его сомнительна. Используемые модули способны обеспечить около 10 % мощности, необходимой для движения судна при скорости ветра 20 узлов (10,3 м/с). Эту мощность можно использовать для увеличения скорости хода судна, либо для снижения расхода топлива.

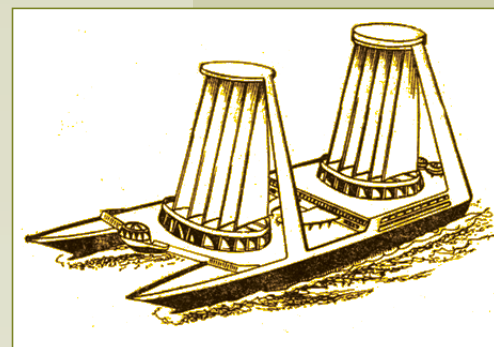
Продолжая тему "жёстких крыльев" познакомимся с интересным проектом инженера Х.М. Баркла (Англия). Он много работал над улучшением гидродинамических характеристик яхт и возлагал большие надежды на жёсткие профилированные крылья. Предлагаемый им парусник напоминает сложившуюся для взмаха крылья птицу. Эти крылья симметричного профиля с элеронами плавно переходят в судовые корпуса, каждый из которых опирается на управляемые поплавки. Основное назначение крыльев - создавать подъёмную силу и, разгружая тем самым поплавки, уменьшить площадь смоченной подводной части корпуса судна и, соответственно, снизить сопротивление трения. Два поплавка имеют электрогазотурбинные энергетические установки (ЭУ), работающие каждая на свой гребной винт. Эти ЭУ располагаются в корпусах поплавков. При изменении курса поплавки поворачиваются вместе с крыльями. Наличие элерона улучшает профиль крыла. Идея уменьшения сопротивления движению судна использованием аэродинамической подъёмной силы не нова. Однако, такому паруснику потребовались бы специфические условия для эксплуатации - сильный и ровный ветер.

Более приемлемо для района с сильными ветрами судно с двумя парусными решётками, которые можно поворачивать в широких пределах относительно диаметральной плоскости (ДП) судна. Решётки устанавливаются на катамаране, который является более подходящим для пассажиров, на нём больше места для размещения жилых и служебных помещений. На курсах в фордевинд при необходимости решётки могут быть дополнены летучими парусами типа спинакер. Большой запас остойчивости катамарана позволяет ставить летучие паруса и в районе аутригера корпуса судна. На рисунке показан проект пассажирского судна с крыльевыми решётками, предложенный И.Е. Перестюком.

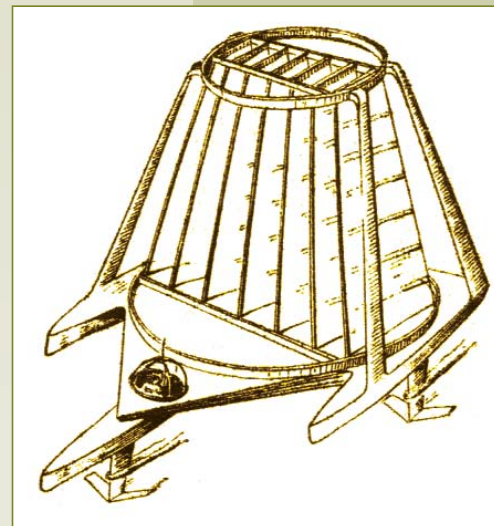
Представляет интерес проект Э. Гаше (Франция). Это гоночный тримаран с парусом - решёткой, установленным в жёсткой раме, поворачивающейся в двух кольцевых направляющих - верхней и нижней. Однако вызывает сомнение то, что общее сопротивление всей системы не обесценит преимущества всей решётки.



Парусник инженера Х.М. Баркла



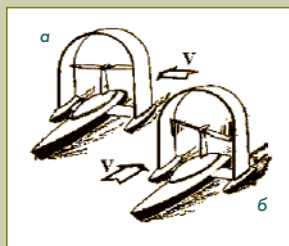
Проект И.Е. Перестюка



Яхта Э. Гаше



Катамаран с ветротурбиной



Работа комбинированной ветроэнергетической установки по схеме С. Бэррона:
а - при боковом ветре работает крыло;
б - при встречном ветре работает ветрогенератор

Познакомимся ещё с одним проектом Стивена Бэррона - это газотурбинный электроход - газовоз с ветротурбинами, вырабатывающими электроэнергию. Предполагаем, что судно идёт с постоянной скоростью хода. По мере увеличения нагрузки на ветротурбинах, мощность газовых турбин будет уменьшаться. С. Бэррон считает этот тип двигателей идеальным для такой схемы - он быстрее других реагирует на изменения погодных условий и топливом для ЭУ может быть использован перевозимый на судне груз (газ).

Часть лопастей ветровых турбин прикрыта свободно поворачивающимся обтекателем, экраном - кожухом. Передняя кромка экрана поддерживается в определённом положении к ветру с помощью стабилизатора на противоположной стороне. При штормовом ветре стабилизатор может быть повернут на 90 градусов, и тогда кожух закроет турбину, предупреждая тем самым её выход из строя.

Материалом для ветровых турбин являются алюминиевые сплавы или стеклопластик, поэтому помещение генератора эл. энергии должно быть заполнено инертным газом и приняты меры для снятия статического электричества. Особенностью проекта является то, что преобразование всей ветровой энергии происходит на ходу судна и постоянно своему по значению независимо от курса, которым следует судно.

Таким образом, по мнению морских специалистов, роторы и ветровые турбины могут принести вполне ощутимую пользу в некоторых районах Мирового океана, благоприятных для плавания парусных судов.

Итак, мы познакомились с "жесткими" парусами. А что же происходит со старыми, матерчатыми? И если ранее найденные конструктивные решения во многом себя исчерпали, то сегодня им найдена достойная замена. Если в старину для пошива парусов использовали парусину, перкали и другие льняные изделия, то сегодня их уверенно заменили синтетические ткани, в частности, акрил. Синтетические паруса оказались легче, прочнее, они более устойчивы к износу и гниению. Для стоячего и бегучего такелажа применяются как синтетические, так и стальные повышенной гибкости тросы, которые надёжно работают и при штормовых ветрах. Поэтому современные капитаны просто не помнят, когда кто-нибудь из них "потерял рангоут". Одним словом, с приходом на флот новых материалов многие ранее актуальные проблемы просто-напросто исчезли. А самое главное беспокойство капитана - парусника, нехватка моряков высокой квалификации, которые бы умели и могли работать высоко на реях, тоже оказалось решённым.

Сегодня спроектированы различные специальные приводы, позволяющие ставить и убирать паруса без участия человека. Процесс полностью механизирован и автоматизирован. И, тем не менее, количество парусников на просторах океана значительно сократилось. Однако, это вовсе не свидетельствует о том, что сегодня к ним полностью утрачен интерес. Мировой фрахтовый рынок существует и развивается по своим законам, где экономичность использования судов не зависима всегда актуальна.

Время от времени специалистами проводятся исследования, которые должны отвечать на вопрос о целесообразности использования современного парусника на традиционных линиях парусных судов XIX века. Например, американ-

цы исследовали целесообразность их эксплуатации на линии мыс Флаттери-Шанхай; всего же предполагалось получить результаты для 4-х линий. В 1979 г. на I Всесоюзном симпозиуме "Исследование, проектирование и постройка современных парусных судов" в г. Николаеве В.П. Шостак и В.Н. Шередин представили проект первого отечественного парусного балкера с символическим названием "Фатум", разработка выполнялась на основе балкера типа "Зоя Космодемьянская", условно снабжённого системой саморазгрузки. По своим размерениям балкер близок к судам типа "Динаринг": длина 215,4 м; ширина - 31,8 м; высота борта - 16,95 м; осадка по КВЛ - 12,3 м; дедвейт - 50 400 т; скорость хода - 11 узлов, (20,4 км/ч); скорость под парусами - 13 узлов (24 км/ч). Таким образом, мы имеем попытку создания современного парусномоторного судна.

Другим интересным предложением можно считать идею Д. Вина использовать на танкере парусное вооружение типа "Динаринг" (отдел архитектуры корабля университета г. Ньюкасла на Тайне), предложенное им на симпозиуме в королевском институте морских инженеров РИНА в 1970-х годах.

Главная идея предложения - для экономии топлива использовать паруса при благоприятных ветрах, а неблагоприятных - ЭУ. Эта схема более приемлема для судов, находящихся в плавании длительное время, а само применение паруса целесообразно для судов, работающих с низкими ставками фрахта. Внимание исследователя привлёк "великий нефтяной путь: Персидский залив - Северная Европа. Большие танкера класса УЛКК (дедвейтом свыше 200 тыс. т). Наиболее экономичным судном на этой линии является супертанкер: длина 310 м; ширина 47,16 м; осадка в полном грузу 18,66 м; осадка в балласте 10,6 м; грузоподъёмность чистая 241,4 тыс. т; мощность ЭУ 20,6 тыс. кВт; скорость в грузу 15,8 узла (29,3 км/ч); скорость в балласте 17,7 узла (32,8 км/ч).

На таком танкере предполагалось установить семь мачт высотой по 75 м с прямыми парусами на 40 реех (парусное вооружение типа "корабль"); площадь парусности - 18 тыс. м². Скорость судна под парусами в бейдевинд должна достигать 8,3 узла (15,4 км/ч). Расчёты показывают, что при некотором повышении ставок фрахта и незначительном снижении цен на топливо, танкер может дать прибыль и успешно конкурировать со своими обычными собратьями.

Исследования японских корабелов, направленные на использование паруса на судах торгового флота, вполне понятно и объяснимо. Япония не имеет своих месторождений источников углеводородного сырья, поэтому все связанные с этим проблемы решает импортом нефти. Установка на японских танкерах парусов, как вспомогательного движителя, преследует одну цель - экономию топлива. Исследования показывают, что она может достигать 10 %, что для Японии весьма ощутимо.

Для интенсивного строительства супертанкеров, которые, как показывает практика, наиболее приемлемы по своим производственным возможностям, связанным с транспортировкой нефти и нефтепродуктов, потребовалось решение некоторых вопросов с большой степенью достоверности. Поэтому известная судостроительная компания "Ниппон Кокай К.К." (НКК) построила для проведения необходимых исследований модель супертанкера дедвейтом 460 тыс. т, "Дайо" (класс УЛКК - супертанкер) в масштабе к оригиналу 1/15. Эта модель имела следующие размерения: длина 26,3 м; ширина 4,55 м; высота борта 2,3 м; водоизмещение - око-



Это уже прошлый век

Паруса предложенного японскими конструкторами девятимачтового танкера имеют смешанную конструкцию, которая на прямых участках выполнена из легких алюминиевых сплавов, а в движущихся при складывании и раскладывании элементах они выполнены из различных полимеров, которые армированы волокнами. Угол установки каждого из парусов контролируется индивидуально и в полностью автоматическом режиме, то есть количество экипажа с установкой нового оборудования возрастет незначительно



ло 90 т. "Дайо" был буквально напигован различными датчиками и измерительной аппаратурой.

Изначально "Дайо" использовался исключительно для проведения научных исследований в области эксплуатации наливных судов; но с 1977 года фирма начала свои исследования по тематике применения парусов на судах с механическим двигателем. В 1979 году на судне была увеличена площадь пера руля, были установлены киль и три мачты: фок-мачта, грот-мачта и бизань-мачта. Все мачты имели одинаковую высоту: фок и грот несли прямые паруса размером 7 на 4 метра; бизань представляла собой мачту - крыло с треугольным парусом размером 6,45 на 4,65 метра. Автоматизация работы с парусами позволяла дистанционно управлять всеми парусами. Научно-исследовательские работы проводились при участии Японской ассоциации развития морской техники, которая, по словам её президента Нобору Хамада, исследовала около 20 типов парусов в аэродинамической трубе и одновременно испытала материалы, из которых они были изготовлены. На "Дайо" исследовались форма и конструктивные элементы паруса, возможности автоматического управления и контроля над парусом, остойчивость и управляемость судна при ходе под парусами.

На основании проведённых исследований компания НКК сделала конструктивную проработку проекта балкера дедвейтом 20 тыс. т длиной 152 м со вспомогательным парусным вооружением и скоростью хода в 15 узлов (27,8 км/ч). Прототипом послужил обычный балкер с механическим двигателем мощностью около 5150 кВт. При ходе под парусами в полветра (галфвинд) и скорости ветра 5 м/с он развивал проектную скорость хода.

Для того, чтобы балкер удерживал проектную скорость при ветре 10 м/с, мощность ЭУ должна составлять 3160 кВт; при ветре 12,5 м/с было достаточно ЭУ развивать мощность всего 1620 кВт, а при ветре силой 15 м/с судно имело проектную скорость хода без использования механического двигателя.

Проведённые успешные испытания позволили сделать следующий, уже практический шаг. Было решено установить парусное вооружение на небольшом танкере каботажного плавания. Почему для применения результатов исследований были избраны балкер и танкер? Несмотря на то, что главная палуба этих судов хоть и занята трубопроводами судовых систем и различной механизацией, но пространство над ней позволяет использовать паруса.

Танкер "Шин Аитоку мару" был спущен на воду 1 августа 1980 года. Его длина 73 м; ширина 10,6 м; высота борта 5,2 м; осадка 4,4 м; дедвейт 1600 т; ёмкость танков 1300 м³; мощность ЭУ 1180 кВт при вращении гребного вала со скоростью 250 мин⁻¹; скорость хода 12 узлов (22,2 км/ч); экипаж 10 человек. Корпус имеет второе дно и оборудован устройствами для предотвращения загрязнения окружающей среды. Парусное вооружение включает две мачты с прямыми парусами, общая площадь парусности 194,4 м², размеры прямого паруса 8 на 12,15 метра. Датчики на мачтах дают сведения о направлении и силе ветра на каждой из них. Управление парусами в автоматическом режиме осуществляет компьютер. Численность экипажа такая же, как и на обычном таком же теплоходе.

С усилением ветра, по мере усиления тяги парусов мощность ЭУ в автоматическом режиме понижается, так сохраняется постоянная скорость хода и экономия топлива. НКК имеет надежды, что такое использование паруса даст экономию ГСМ на 10 %. Перед установкой парусное вооружение определялось на основании его продувания в аэродинамической трубе. На танкере были проведены работы по его модернизации с целью снижения расхода топлива: усовершенствованы подводные обводы корпуса; увеличение к.п.д. гребного винта; применены краски снижающие коэффициент трения о воду и препятствующие его обрастанию; использовано самое дешёвое топливо. НКК прорабатывает проекты аналогичных судов, но большей грузоподъёмности - 10,2 тыс. т и 35 тыс. т.

Как видим, дальнейшие поиски в проектировании и постройке парусных судов никак нельзя отнести к области "изобретения велосипеда". Проблемы повышения экономичности судов торгового флота могут быть сняты с помощью парусников. Здесь же обширное поле деятельности для повышения охраны человеческой жизни на море. Поэтому считать парусный флот утратившим свою необходимость и актуальность пока преждевременно, он вполне способен найти и занять свою "экологическую нишу" и в нашем XXI веке, а такая проблема, как охрана окружающей среды, легче решается именно на парусниках. Я очень надеюсь, что современные корабли ещё не сказали своё веское слово в своих будущих проектах и разработках.



Высокие 30-метровые паруса, украшенные фестоном из фотоэлектрических панелей, используют ветровые потоки для снижения затрат топлива в пределах от 20 до 40 %, в то же время фотоэлектрические ячейки предоставляют дополнительно 5% электричества взамен топлива. Компьютер автоматически поворачивает паруса для максимальной ветровой и солнечной эффективности



На корабле будущего «E/S Orcelle», длина которого 250 м, ширина — 50 м, осадка — 9 м первым альтернативным источником энергии будет ветер, вторым — солнечная энергия. Три огромных паруса, состоящие из фотоэлектрических панелей, в безветренную погоду будут осуществлять сбор солнечной энергии, которая затем будет преобразована в электрическую для немедленного использования или сохранения. Площадь парусов Orcelle составляет 4,2 тыс. м², из которых 2,4 тыс. покрыты солнечными панелями. Их мощность составит 2,5 МВт. Третьим источником энергии будет энергия волн. Грузовое судно будет оснащено двенадцатью устройствами — «плавниками», которые смогут преобразовывать энергию волн в механическую энергию, а затем в электрическую. На борту предполагается использовать в качестве основного источника энергии топливные элементы, мощность которых будет порядка 10 МВт. Максимальная скорость судна составит 20 узлов (37 км/ч)



Дизайнер Елкен Октур (Yelken Ocutur) разработал концепт яхты будущего. По задумке автора, яхта не только будет ходить под парусами, но и летать на них

Электроискровая

**Линейные
двигатели -
будущее
станкостроения!**

**Будьте
первыми!**



**Магия
высоких
технологий**

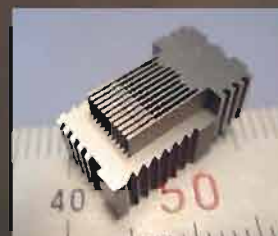


1980 / Sodick
**Рождение
зеркальных
ЭИ технологий**

1976 / Sodick
**1-й в мире ЭИ
станок с КПУ,
сверхнизкий
износ**

1938 / СССР
**Рождение
электроискровой
обработки**

1954 / СССР
**1-й в мире
ЭИ проволочно-
вырезной
станок**



революция.....

Sodick



2012 / Sodick
Smart Linear
x
Smart Pulse

2007 / Sodick
Система
наноизноса
SGF

2001 / Sodick
Линейные
электроискровые
наностанки

1998 / Sodick
Линейные
электроискровые
станки

1981 / Sodick
Рождение
керамических
ЭИ станков



Nano EDM EA 05



Sodick - единственный в мире изготовитель электроискровых (электроэрозионных) станков с проверенными и испытанными временем линейными двигателями (ЛД). Все линейные станки - станки с ЛД - Sodick, включая самые первые 1998-1999 гг., сохраняют неизменную точность позиционирования!

Линейные двигатели, разработанные для ЭИ станков, и ЭИ станки, сконструированные под эти 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.

**30 лет мирового лидерства,
10 лет на российском рынке**



**Партнер
ГСС и Alenia
в проекте
Супераджет 100**

УСЛУГИ, ПО, ОБУЧЕНИЕ

➔ НАДЕЖНОСТЬ

➔ ОТКАЗОБЕЗОПАСНОСТЬ

➔ АНАЛИЗ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

ОТ РАЗРАБОТКИ ДО ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАШЕГО ИЗДЕЛИЯ



ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ALD

RAM Commander

Оптимальный инструментарий: надежность и отказобезопасность

FavoWeb

Мировой стандарт мониторинга отказов в эксплуатации

D-LCC

Контроль стоимости жизненного цикла

**Звоните нам сейчас Тел: +74991570880
www.aldservice.com**

ING | AIRBUS | ALSTOM | AVIADVIGATEL | BAE | DEUTSCHE BAHN | EADS | EMBRAER | FAA | IAA | NASA | BO
FINMECCANICA | IRKUT | LOCKHEED MARTIN | SUKHOI | SAAB | SELEX | UKI | THALES | ALENIA SPACE | SATURN