

# Двигатель

Научно-технический журнал № 2 (80 + 243) 2012

*В начале XX века*

*Родину защищал советский МС-1.*

*Чем будем защищать Россию в начале XXI?*





2007 2005 2004



Научно-техническое издание по освещению проблем в промышленности

2010



Медаль АМКЭС "Преодоление"



## Редакционный совет

- Агульник А.Б., д.т.н.,**  
декан факультета авиационных двигателей МАИ
- Бабкин В.И., к.т.н.,**  
ген. директор ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"
- Багдасарьян Н.Г., д.филос.н.,**  
профессор МГУ им. М.В. Ломоносова,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана
- Богуслаев В.А., д.т.н.,**  
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 РСМП
- 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"
- Соколовский М.И., д.т.н.,**  
ген. конструктор, ген. директор ОАО "НПО "Искра"
- 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
- Черваков В.В., д.т.н.,**  
зав. кафедрой 202 факультета авиационных двигателей МАИ
- 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.

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](http://www.elibrary.ru) и включена в индекс РИНЦ

## УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

ООО "Редакция журнала "Двигатели" ©

генеральный директор Д.А. Боев

зам. ген. директора А.И. Бажанов

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

*Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов.*

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

Журнал "Двигатель", рекомендован экспертными советами ВАК по техническим наукам, по истории, экономике, философии, социологии и культурологии в числе журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Индекс 28377 в общероссийском каталоге 2008 г.

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

Пер. № 018414 от 11.01.1999 г.

14-й (106-й) год издания.

Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати" Москва.

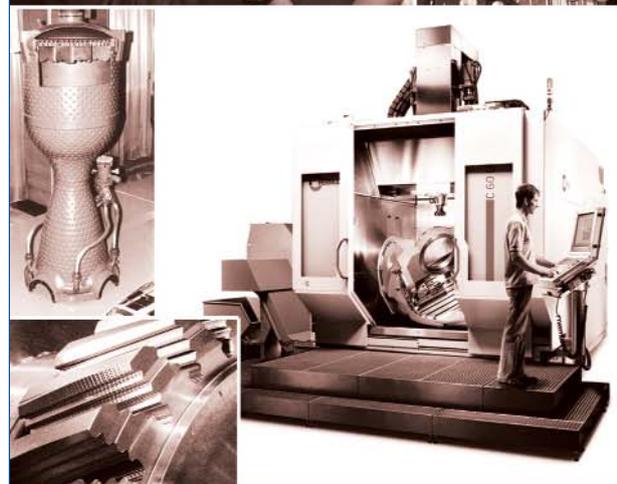
Тираж 5 000 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная.



# СОДЕРЖАНИЕ



**2. Эффективность управления направляющими аппаратами КНД в ТРДД с приводом вентилятора через редуктор**

Ф.Ш. Гельмедов, А.И. Ланшин, А.В. Челомбитко, Л.И. Швец

**6. Российские авиационные керосины из альтернативного сырья**

Л.С. Яновский, Е.П. Федоров, Н.И. Варламова, И.М. Попов, П.В. Бородако, М.Н. Пасина

**10. Обоснование требований по величине весовой концентрации и дисперсности капель воды при проектировании стендовой установки для имитации попадания дождя**

Б.М. Клинский, А.В. Кудрявцев

**14. К 80-летию ВИАМ**

**18. К диагностике состояния межроторного подшипника авиационного ГТД в эксплуатационных условиях**

Б.Б. Коровин, О.Н. Былинкина, А.А. Стасевич

**22. Фрезерование пазов "елочка" (пазов для крепления турбинных лопаток) на новом станке С 60 U MT дупатис, представляющим комбинированную обработку фрезерованием и точением**

**24. "Металлообработка-2012"**

**26. Таланта яркая звезда.**

**К 90-летию со дня рождения Г.Ю. Степанова**

М.М. Буренков, В.В. Соломай, Н.И. Троицкий

**28. Методические рекомендации по организации управления качеством во взаимосвязи с общесистемным менеджментом предприятия**

А.А. Канащенко

**32. Турбулентность и автоколебательный процесс в ЖРД**

Ю.М. Кочетков

**36. Проблематичное начало и драматический конец разработки ракеты-носителя Н1**

В.Ф. Рахманин

**44. Паровозы Коломенского завода**

В.В. Боченков, Е.В. Бычкова, О.Б. Галацкий, И.Л. Индра

**50. 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского посвящается!**

**52. Очевидное - невероятное**

С.В. Шитарёв

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ НАПРАВЛЯЮЩИМИ АППАРАТАМИ КВД В ТРДД С ПРИВОДОМ ВЕНТИЛЯТОРА ЧЕРЕЗ РЕДУКТОР



Сотрудники ЦИАМ и демонстрируют новый редуктор вентилятора разработки института на салоне "Двигатели 2012" зам. министра Минпромторга России Ю.Б. Слюсарю (крайний справа у редуктора)



ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова:  
**Фагим Шайхович Гельмедов**, начальник отдела, д.т.н.  
**Александр Игоревич Ланшин**, начальник отделения, д.т.н.  
**Александр Владимирович Челомбитко**, научный сотрудник  
**Лев Израилевич Швец**, начальник сектора, к.т.н.

*Исследуется возможность снижения температуры газа перед турбиной на взлетном режиме путем регулирования направляющих аппаратов в каскаде подпорных ступеней при обеспечении требуемых запасов газодинамической устойчивости.*

*The possibility of turbine inlet gas temperature decrease using booster variable guide vanes at take-off conditions is investigated with ensuring of required gas-dynamic stability margins.*

*Ключевые слова: турбореактивный двухконтурный двигатель, каскад подпорных ступеней, направляющий аппарат, эффективность управления.*

*Keywords: turbofan engine, booster cascade, guide vane, control efficiency.*

Развитие турбореактивных двухконтурных двигателей (ТРДД) характеризуется устойчивой тенденцией к росту такого показателя, как степень двухконтурности  $m$ , что связано с необходимостью снижения эксплуатационных расходов, прежде всего путём повышения топливной эффективности, а также выполнения все более жестких экологических норм, в частности, по уровню генерируемого шума. В новейших разработках ТРДД значения  $m$  уже достигли значений 10...12. Необходимость снижения уровня шума двигателей обусловила другую тенденцию - уменьшение окружной скорости вентилятора  $U_v$ .

Оба указанных фактора приводят к необходимости увеличения диаметра турбины вентилятора и числа ее ступеней, что допустимо лишь в ограниченных пределах. Альтернативой является редукторный привод вентилятора, что позволяет обеспечить его оптимальную частоту вращения при использовании высокооборотных каскада подпорных ступеней (ПС) и малоступенчатой турбины низкого давления (ТНД). Вопрос об использовании редуктора является дискуссионным в мировом авиадвигателестроении. Если фирмы General Electric и Rolls-Royce проявляют здесь известный консерватизм, то фирма Pratt&Whitney в течение ряда лет активно работает в данном направлении и полагает, что при  $m = 10...12$  и выше применение редуктора оправданно исходя из необходимости снижения массы силовой установки, числа деталей, эксплуатационных расходов, уровня шума и др.; это и нашло отражение в разработке семейства двигателей PW1000G (Pure Power), предлагаемого для четырех новейших самолетов различной размерности и назначения. Две модификации из этого семейства уже имеют значительную стендовую наработку и проходят летные испытания.

Ранее редукторы применялись, помимо турбовинтовых двигателей, в некоторых ТРДД небольшой размерности (TFE731, LF507). В разное время в отечественной промышленности также было выполнено несколько проектов ТРДД с редукторным приводом вентилятора, оставшихся нереализованными, за исключением опытного ТРДД сверхвысокой степени двухконтурности НК-93.

Поскольку, как указывалось, в ТРДД редукторной схемы каскад ПС (бустер) является высокооборотным, это создает предпосылки к росту величины степени повышения давления  $\pi_{пс}^*$  для увеличения одного из основных параметров термодинамического цикла  $\pi_{к\sigma}^*$ , непосредственно влияющего на топливную эффективность двигателя. Однако при этом на первый план может выйти

проблема обеспечения газодинамической устойчивости (ГДУ) каскада ПС. Как известно, в любом двухвальном ТРДД каскад ПС характеризуется пологим протеканием линии рабочих режимов на характеристике, что объясняется особенностями совместной работы ПС и компрессора высокого давления (КВД выполняет роль "выходной сети" для ПС). В результате, на пониженных режимах работы необходимые запасы ГДУ не могут быть обеспечены, и применяется перепуск воздуха в наружный контур. Это, естественно, отрицательно влияет на топливную эффективность. В относительно высоконапорном каскаде ПС редукторного ТРДД с высокой степенью двухконтурности эта проблема обостряется. Кроме того, такой каскад характеризуется более крутым снижением  $\pi_{пс}^*$  и приведенного расхода воздуха  $G_{пс.гр}$  при уменьшении приведенной частоты вращения  $n_{пс.гр}$ . Эта особенность имеет следствием то, что, например, на взлетных режимах, где величины  $n_{пс.гр}$  ниже, чем на расчетном (максимальном крейсерском или близком к нему) режиме, имеет место "недобор" расхода воздуха через газогенератор, который для получения заданных величин тяги приходится компенсировать повышением температуры газа перед турбиной  $T_{г}^*$ , что неблагоприятно сказывается на ресурсных показателях, особенно с учетом высокого уровня  $T_{г}^*$  в современных и перспективных двигателях.

В связи с этим представляется целесообразным исследовать такую возможность ограничения роста  $T_{г.взл}^*$  как применение в каскаде ПС регулируемых направляющих аппаратов (РНА), обеспечивающих увеличение  $G_{пс.гр}$  и  $\pi_{пс}^*$  без недопустимого снижения к.п.д. и запасов ГДУ на взлетных режимах. При таком регулировании величина  $n_{пс.гр}$  почти не изменяется, т.к. она определяется главным образом "большим" вентилятором, пропускающим в  $(m+1)$  раз больший расход воздуха и потребляющим значительно большую мощность. Кроме того, РНА является дополнительным средством обеспечения достаточных запасов ГДУ на дроссельных режимах (с пониженными  $n_{пс.гр}$ ) при ограничении расхода перепускаемого воздуха, однако данный аспект можно считать достаточно изученным. Исследование эффективности применения РНА в каскаде ПС в части возможности снижения величин  $T_{г.взл}^*$  составляет предмет данной статьи.

Исследование выполнено на примере двухвального ТРДД с взлетной тягой  $R_{взл} \cong 16\ 000$  кгс и степенью двухконтурности  $m_{взл} = 11$  ( $H = 0, M = 0$ ), с редукторным приводом вентилятора, с раздельным истечением потоков из наружного и внутреннего

контуров; сопло наружного контура - регулируемое. В качестве расчетного был принят максимальный крейсерский режим с  $R_{кр} = 3100$  кгс и  $m_{кр} = 10,5$  ( $H = 10668$  м,  $M = 0,82$ ).

Исходные данные для проектирования каскада ПС были сформированы на основе результатов расчетов параметров двигателя на основных режимах работы. Предварительно принято, что наружный диаметр на входе в подпорные ступени равен 1005 мм, относительный диаметр втулки на входе  $d = 0,8$ , число ступеней  $Z_{кнд} = 3$ .

С целью увеличения расхода воздуха через ПС на дроссельных режимах работы двигателя рассмотрены следующие варианты регулирования направляющих аппаратов (НА):

- 1) поворот только входного НА (ВНА),
- 2) поворот ВНА и НА 1-й ступени при соотношении углов поворота  $\Delta\alpha_{НА1}/\Delta\alpha_{ВНА} = 0,5$ ,
- 3) поворот ВНА и НА 1-й ступени при соотношении углов поворота  $\Delta\alpha_{НА1}/\Delta\alpha_{ВНА} = 1,0$ ,
- 4) поворот НА НА 1-й и 2-й ступеней при соотношении углов поворота  $\Delta\alpha_{ВНА} = \Delta\alpha_{НА1} = \Delta\alpha_{НА2}$ .

Проектирование каскада ПС проведено при следующих исходных параметрах:  $\pi_{ПС}^* = 2,63$ ,  $G_{ПС пр} = 53$  кг/с,  $n_{ПС пр} = 7663$  об/мин. Проектные расчеты, выполненные с использованием программного комплекса [1] в 1D-приближении, указывают на следующие особенности каскада ПС:

- сравнительно низкий уровень аэродинамической нагруженности ступеней, о чем свидетельствуют значения коэффициентов теоретического напора ( $\dot{H}_T = 0,224...0,259$ ) и факторов диффузорности Либляйна рабочих колес (0,379...0,436) и направляющих аппаратов 1-й и 2-й ступеней (0,119 и 0,343 соответственно). Однако диффузорность межлопаточных каналов направляющего аппарата 3-й ступени оказалась повышенной (0,559), что было продиктовано необходимостью минимизации остаточной закрутки потока на его выходе; для предотвращения чрезмерного увеличения этого параметра пришлось сохранить некоторую закрутку, соответствующую значению угла на выходе из компрессора  $\alpha_{вых} = 75^\circ$ ;

- вследствие выбора сравнительно высокого значения окружной скорости на входе в РК 1-й ступени ( $U_{кр пр} = 403$  м/с) течение на входе в этот лопаточный венец оказалось сверхзвуковым ( $\lambda_{1в} = 1,068$ ); в рабочих колесах остальных ступеней течение дозвуковое;

- значения скоростей потока в направляющих аппаратах не превышают скорости звука; их распределение по ступеням оказалось немонокотным, что было следствием оптимизации, направленной на повышение к.п.д. и запасов ГДУ;

- скорость потока на выходе из компрессора имеет повышенный уровень ( $\lambda_{1вых} = 0,487$ ), что является следствием невозможности осуществить торможение осевой скорости в лопаточных венцах во избежание возрастания их диффузорности.

В результате выполнения проектных расчетов было установлено, что при заданной частоте вращения ротора могут быть получены следующие расчетные параметры каскада ПС:  $\pi_{ПС}^* = 2,611$ ,  $\eta_{ПС}^* = 0,857$ ,  $G_{ПС пр} = 53$  кг/с.

Расчет характеристик спроектированного каскада ПС прове-

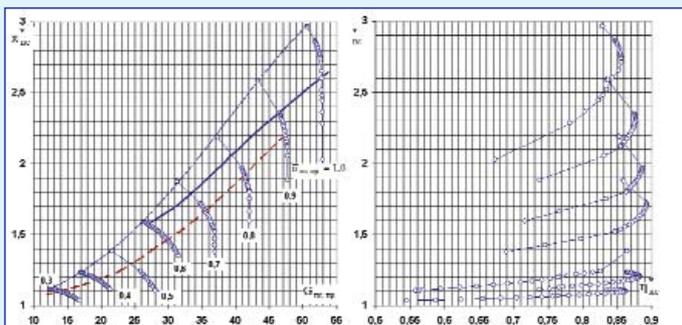


Рис. 1. Поле аэродинамических характеристик ПС с лопатками направляющих аппаратов, зафиксированными в проектном положении

ден по методике, изложенной в [2]. Поле аэродинамических характеристик ПС с лопатками направляющих аппаратов, зафиксированными в проектном положении, представлено на рис. 1. Там же показаны две линии рабочих режимов, одна из которых (сплошная) соответствует режимам крейсерского полета ( $H = 11$  км,  $M = 0,8$ , МСА), а вторая (пунктирная) - земным статическим условиям, и граница устойчивой работы. Из рис. 1 следует, что соответствующие взлетным режимам, характеризуются не только пониженными по сравнению с максимальным крейсерским режимом значениями  $\dot{n}_{ПС пр}$ , но и лежат на нижерасположенной рабочей линии, что и определяет существенно меньшие значения  $\pi_{ПС взл}^*$  по сравнению с  $\pi_{ПС крейс}^*$ .

Об эффективности регулирования подпорных ступеней различными средствами механизации компрессора можно судить по результатам расчетов характеристик, произведенных для трех значений относительной приведенной частоты вращения ротора  $\dot{n}_{ПС пр} = 1,0, 0,9$  и  $0,8$  для четырех перечисленных вариантов регулирования НА. Выбор этих вариантов обусловлен постановкой задачи исследования, связанной с повышением пропускной способности внутреннего контура двигателя при обеспечении высоких значений к.п.д. и запасов устойчивости ПС на взлетном режиме. На рис. 2 в качестве примера показано изменение параметров ПС при  $\dot{n}_{ПС пр} = 1,0$  в зависимости от угла установки лопаток ВНА.

Предварительная сравнительная оценка эффективности рассмотренных вариантов регулирования ПС дает основание отдать предпочтение варианту, предусматривающему поворот лопаток двух венцов (ВНА и НА 1-й ступени) в соотношении  $\Delta\alpha_{НА1}/\Delta\alpha_{ВНА} = 0,5$ . Этот вывод сделан с учетом того, что для рассматриваемого ТРДД относительная приведенная частота вращения ротора ПС на взлетных режимах находится в пределах  $\dot{n}_{ПС пр} = 0,89...0,93$ , а на этих режимах, как показали расчеты, "раскрытие" лопаток ВНА в определенных пределах может осуществляться практически без снижения к.п.д. и с ограниченным снижением запаса ГДУ ПС.

Уточненный анализ параметров ПС (прежде всего запаса ГДУ) и, следовательно, выбор наиболее эффективного варианта регулирования НА ПС могут быть выполнены при рассмотрении параметров ПС в системе двигателя.

Исследование сравнительной эффективности указанных вариантов регулирования каскада ПС на параметры рассматриваемого двигателя было выполнено с использованием его математической модели, включающей (с помощью заранее выполненной аппроксимации) вышеописанные результаты расчетов характеристик ПС с учетом регулирования НА. Рассматривался взлетный режим работы, при этом "раскрытие" НА ограничивалось величиной  $\Delta\alpha_{ВНА} = +15^\circ$ .

Результаты расчетов подтвердили, что во всех рассмотренных вариантах регулирования поворот НА ПС незначительно влияет на частоту вращения ротора НД, поскольку, как указывалось, она определяется в первую очередь режимом работы вентилятора с большим расходом воздуха и, соответственно, подводимой мощностью. Суммарный расход воздуха через двигатель также остается практически неизменным.

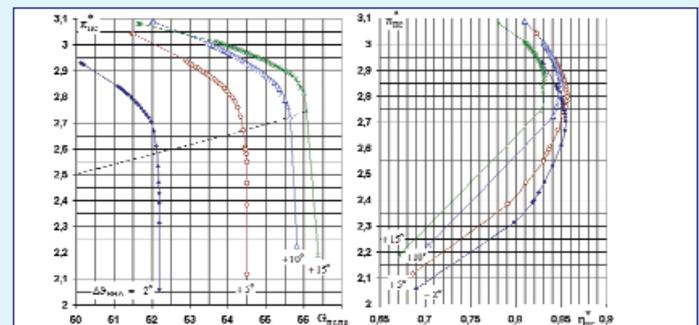


Рис. 2. Изменение параметров ПС при  $\dot{n}_{ПС пр} = 1,0$  в зависимости от угла установки лопаток ВНА

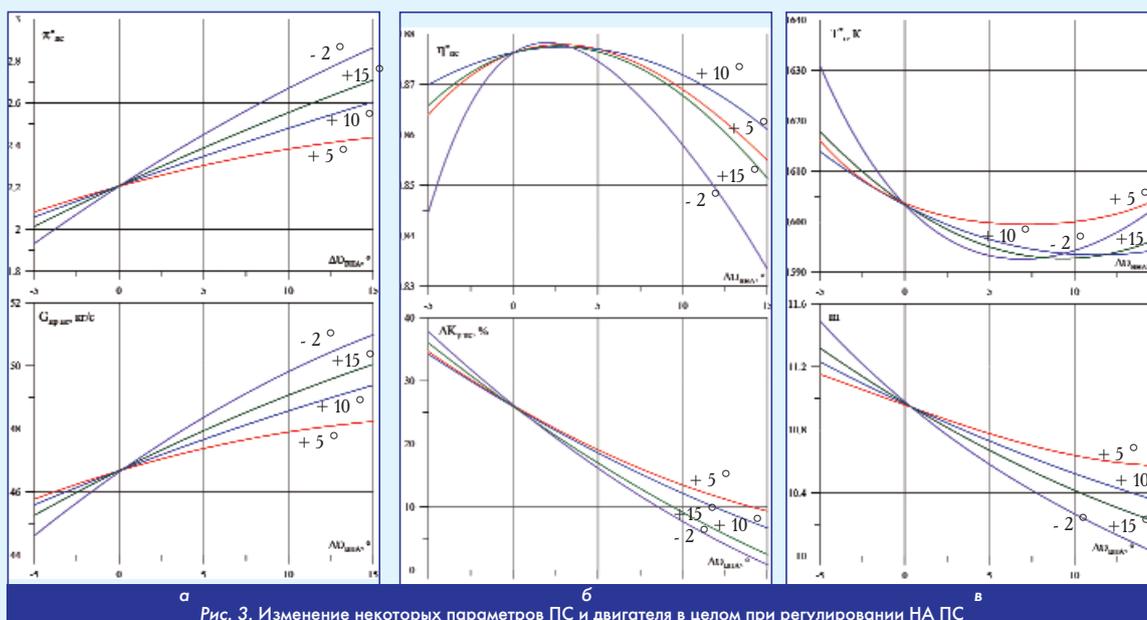


Рис. 3. Изменение некоторых параметров ПС и двигателя в целом при регулировании НА ПС

Изменение некоторых параметров ПС и двигателя в целом при регулировании НА ПС показано на рис. 3, а-в. Как видно, "раскрытие" НА приводит к увеличению приведенного расхода воздуха и степени повышения давления, тем больше, чем сложнее примененный вариант регулирования НА (рис. 3, а). Повышение  $\pi_{\text{ПС}}^*$  приводит к одновременному увеличению температуры за КНД, что влечет за собой снижение  $\eta_{\text{КВД}}^*$  и  $\pi_{\text{КВД}}^*$ , тем не менее суммарная степень повышения давления в компрессоре  $\pi_{\text{КС}}^*$  растет.

Увеличение  $\Delta U_{\text{ВНА ПС}}$  от исходного положения вначале сопровождается незначительным ростом к.п.д. ПС, а затем  $\eta_{\text{ПС}}^*$  снижается (рис. 3, б), причем наибольшая интенсивность изменения к.п.д. характеризует 4-й вариант регулирования (ВНА+НА1+НА2).

При "раскрытии" НА происходит снижение запаса газодинамической устойчивости  $\Delta K_{\text{у ПС}}$ , причем диапазон допустимого изменения  $\Delta U_{\text{ВНА ПС}}$  до достижения  $\Delta K_{\text{у min}}$  монотонно снижается от первого к четвертому варианту регулирования (рис. 3, б). Необходимо отметить, что минимально допустимые значения  $\Delta K_{\text{у ПС}}$  устанавливаются в каждом конкретном случае в зависимости от назначения самолета, диапазона эксплуатационных режимов и т.д.; в данной работе принято, что минимальный запас ГДУ  $\Delta K_{\text{у ПС min}} = 15\%$ .

Увеличение  $G_{\text{ПС}}$  и  $\pi_{\text{ПС}}^*$  при "раскрытии" НА ПС приводит к некоторому уменьшению степени двухконтурности  $m$ , что в сочетании с ростом  $\pi_{\text{КС}}^*$  обеспечивает тенденцию к снижению температуры газа перед турбиной  $T_g^*$  (при неизменной тяге), однако отмеченный выше экстремум по  $\eta_{\text{ПС}}^*$  приводит к появлению минимума по  $T_g^*$  (рис. 3, в).

В связи с тем, что минимальная температура  $T_g^*$  реализуется при углах "раскрытия" НА, на которых запас ГДУ ПС становится меньше допустимого (кроме 1-го варианта регулирования), сравнительный анализ производился для режимов работы, на которых углы поворота НА соответствуют минимально необходимым запасам  $\Delta K_{\text{у ПС}}$ .

Из анализа полученных результатов следует, что при "раскрытии" ВНА (1-й вариант регулирования) на  $6...7^\circ$  по сравнению с нулевым положением снижение температуры  $T_g^*$  составило всего 5,3 К. Для других вариантов регулирования снижение  $T_g^*$  равно 10,5 К для второго варианта, 11 К для третьего варианта и 12 К для четвертого варианта.

Необходимо отметить, что значение оптимального угла "раскрытия" зависит от параметров конкретного каскада ПС, выбора расчетных параметров и т.д. Можно предположить, что если на расчетном режиме работы двигателя в регулируемом НА принять отрицательные углы атаки, то характер изменения  $\eta_{\text{ПС}}^*$  и  $\Delta K_{\text{у ПС}}$  при "раскрытии" НА будет более пологим, что позволит получить количественно более существенный результат по снижению  $T_g^*$  взл. Об этом свидетельствует, в частности, характер изме-

нения зависимостей на рис. 3, а в области  $\Delta U_{\text{ВНА ПС}} < 0$ . Так, если принять расчетное значение  $\Delta U_{\text{ВНА ПС}} = -5^\circ$ , то возможное снижение  $T_g^*$  взл для первого варианта регулирования возрастет до 14,4 К. Для второго и третьего вариантов величина  $T_g^*$  взл может быть снижена более чем на 20 К. Для четвертого, наиболее конструктивно сложного варианта регулирования такой подход, по-видимому, неприемлем ввиду значительного снижения  $\eta_{\text{ПС}}^*$  при отрицательных углах  $\Delta U_{\text{ВНА ПС}}$ . Данный вопрос требует отдельной проработки при проектировании конкретного каскада ПС.

Расширить диапазон регулирования НА без недопустимого снижения запаса ГДУ можно, например, путем применения надпорторного устройства.

Кроме того, эффективность рассмотренных вариантов регулирования КНД может быть повышена, если каскад ПС заранее спроектировать на несколько большую степень повышения давления, что обеспечит возможность поворота НА на большие углы при обеспечении необходимых запасов ГДУ на всех режимах и, соответственно, большего снижения  $T_g^*$  взл.

Проведенное исследование показало перспективность регулирования лопаток направляющих аппаратов высоконапорного каскада подпорных ступеней применительно к ТРДД с редукторным приводом вентилятора для снижения температуры газа перед турбиной на взлетных режимах работы двигателя.

На примере двухвального ТРДД с взлетной тягой  $R_{\text{взл}}$  около 16 000 кгс и степенью двухконтурности  $m_{\text{взл}} = 11$  с редукторным приводом вентилятора показано, что при оптимальном регулировании ("раскрытии") направляющих аппаратов (в данном случае, ВНА и НА1) на взлетном режиме может быть достигнуто снижение значения  $T_g^*$  более чем на 20 К (при неизменной тяге). Однако с учетом меньшего веса и конструктивной сложности предпочтение может быть отдано варианту с регулированием только ВНА, для которого возможно снижение  $T_g^*$  на 14 - 15 К.

Показано также, что эффективность регулирования РНА зависит от многих факторов (выбор регулируемых элементов, выбор проектных параметров ПС, располагаемые запасы устойчивости и др.). Кроме того, необходима отработка алгоритмов управления элементами РНА, обеспечивающих достаточные величины запасов устойчивой работы каскада ПС в широком диапазоне эксплуатационных режимов.

Литература

1. Сачкова Н.Г. Математическое моделирование течения в компрессорах для проектирования, доводки и обеспечения газодинамической устойчивости//Научный вклад в создание авиационных двигателей, кн. 2. - М.: Машиностроение, 2000.
2. Гельмедов Ф.Ш., Милешин В.И., Сальников В.С., Сачкова Н.Г., Талызина В.С. Методология проектирования осевых компрессоров//Теплоэнергетика. - 2002. - № 9. ООО МАИК. Наука/Интерпериодика.

Связь с автором: shvets@ciam.ru, avchel@ciam.ru

GRIND-X

**Okamoto**  
OKAMOTO PRECISION SYSTEMS

**ПРЕЦИЗИОННЫЕ  
ШЛИФОВАЛЬНЫЕ  
И ДОВОДОЧНЫЕ  
СИСТЕМЫ**

**70 лет  
инноваций  
и лидерства**



**От высокоточных  
инструментальных решений  
до нанотехнологий**



+7(495) 787-0970, 786-9841 // факс:787-0971  
[www.okamoto-euro.ru](http://www.okamoto-euro.ru) // [sales@okamoto-europe.ru](mailto:sales@okamoto-europe.ru)

# РОССИЙСКИЕ АВИАЦИОННЫЕ КЕРОСИНЫ ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНОГО СЫРЬЯ



ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова:  
**Леонид Самойлович Яновский**, начальник отдела, д.т.н.  
**Евгений Петрович Федоров**, ведущий научный сотрудник, к.т.н.  
**Наталья Ивановна Варламова**, начальник сектора  
**Иван Михайлович Попов**, инженер  
**Павел Валентинович Бородако**, инженер  
**Марина Николаевна Пацина**, инженер

**Обоснована актуальность проведения исследований по разработке альтернативных реактивных топлив. Приведены результаты отечественных НИР по разработке отвечающих заданным техническим требованиям опытных образцов альтернативных авиакеросинов, производимых из бурого угля, природного газа и биосырья.**

**The urgency of carrying out researches on development of alternative jet fuels is proved. Results of research on the prototypes of the alternative kerosene of a brown coal and natural gas, biomass are given.**

**Ключевые слова: альтернативное сырьё, авиационные керосины, синтетическое топливо, биосырьё.**

**Keywords: alternative row, jet fuel, synthetic fuel, biomass.**

В связи с неизбежным истощением запасов нефти развитие производства альтернативных топлив, в том числе для авиационных газотурбинных двигателей, является объективной необходимостью.

За рубежом производятся в промышленном масштабе по стандарту ASTM D 7566-09 и допущены к применению на авиатехнике синтетические авиакеросины, производимые из угля и природного газа. Стандартом ASTM D 7566-09 предусмотрено применение в качестве реактивного топлива, отвечающего требованиям стандарта ASTM D 1655 на топливо Jet A-1, смеси синтетического керосина 50:50 со стандартным топливом Jet A-1. Добавление в синтетический авиакеросин стандартного нефтяного топлива объясняется, главным образом, тем, что синтетический авиакеросин имеет, как правило, пониженную, по сравнению с допустимой по ASTM D 1655 для топлива Jet A-1, плотность. Кроме того, синтетический авиакеросин без соответствующих присадок обладает повышенной окисляемостью и низкими противоизносными свойствами. Добавление в него стандартного нефтяного авиакеросина позволяет устранить эти недостатки.

В поправке от 1 июля 2011 г. к стандарту ASTM 7566-09 разрешено применение смеси 50:50 синтетического топлива из биосырья и стандартного нефтяного топлива Jet A-1. Ожидается, что уже в ближайшее время для заправки российских самолетов в зарубежных аэропортах может быть предложено альтернативное топливо.

В России имеется определенный научно-технический задел по лабораторным регламентам получения альтернативных авиатоплив из угля, природного газа и биомассы (биоэтанола).

Исследования по отечественным альтернативным авиакеросинам проводились по инициативе Центрального института авиационного моторостроения (ЦИАМ) им. П.И. Баранова. К исследованиям на договорной основе с ЦИАМ были привлечены:

- Институт горючих ископаемых (ИГИ) для разработки опытного образца реактивного топлива из угля;
- "Объединенный центр исследований и разработок" ("ЮРД-Центр") для разработки опытного образца реактивного топлива из природного газа;
- Московская академия тонкой химической технологии (МИХТ им. М.В. Ломоносова) для разработки опытного образца реактивного топлива из биосырья.

Опытные образцы реактивных топлив разрабатывались по техническим требованиям ЦИАМ, которые предусматривали соответствие синтезированного топлива по физико-химическим и эксплуатационным свойствам (за исключением нормы по плотности) топливу РТ (ГОСТ 10227-86), которое допущено к применению на всех отечественных гражданских и военных самолетах

и вертолетах. Меньшая нормативная величина плотности ("не менее 755 кг/м<sup>3</sup>", вместо "не менее 775 кг/м<sup>3</sup>" для топлива РТ) была обусловлена тем, что технологии синтеза альтернативных топлив предусматривают широкое привлечение гидрогенизационных процессов с выходом в большом количестве легких парафинов и изопарафинов.

ЦИАМ исследовал синтезированные опытные образцы на соответствие заданным ТТ и проводил отбраковку образцов, не отвечающих этим требованиям.

По технологии ИГИ [1-7] уголь предварительно измельчается и подвергается высокоскоростной осушке до остаточной влажности 1,5 % масс. На измельченный уголь наносят катализатор с 0,2 % Мо и 1,0 % Fe (III). Такое сочетание позволяет достичь степени конверсии органической массы угля до 83 %. Уголь с нанесенным на него катализатором поступает в систему приготовления пасты. В качестве пастообразователя используют дистиллят с температурой кипения 300...400 °С, который предварительно гидрируется под давлением 10 МПа. Для нормального ведения процесса паста готовится при равном соотношении угля и растворителя. Углемасляная паста, в которую вводится газообразный водород, предварительно нагревается в трубчатой печи и поступает в реактор с объемной скоростью 1,0...1,5 ч<sup>-1</sup>. За время пребывания пасты в реакторе (30...60 мин) протекают реакции гидрогенизации угля с образованием жидких продуктов (80...90 % масс.).

Жидкие продукты гидрогенизационной переработки углей отличаются от обычной нефти элементарным составом и меньшим содержанием водорода, а также присутствием значительных количеств азот- и кислородсодержащих соединений и алкенов. Характеристики жидких продуктов различных процессов гидрогенизации угля, включая зарубежные (SRS-II, ERDS, H-Coal), представлены в таблице 1.

**Таблица 1 Характеристика жидких продуктов различных процессов гидрогенизации угля в сравнении с нефтью**

Показатель	Продукт жидкофазной гидрогенизации по процессам				Легкая аравийская нефть
	SRS-II	ERDS	H-Coal	ИГИ	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	942,7	881,6	899,6	896,2	
Элементарный состав, % масс					
C	84,6	86,5	86,2	86,48	85,50
H	10,50	11,20	11,20	11,43	12,60
N	0,80	0,30	0,50	0,22	0,20
S	0,30	0,10	0,30	0,62	1,70
O	3,80	1,90	1,80	1,25	-

Для получения товарных моторных топлив эти жидкие продукты должны подвергаться гидрогенизационной переработке.

На основании большого объема исследований ИГИ была разработана технология получения моторных топлив из бурого угля. Схема получения реактивного топлива РТ (ГОСТ 10227-86) по технологии ИГИ приведена на рис. 1.

Как показали проведенные исследования, из продуктов ожигения угля по технологии ИГИ с применением совокупности различных гидрогенизационных процессов (гидроочистки, гидроизомеризации и гидрирования ароматических углеводородов) могут быть получены реактивные топлива ТС-1 и РТ (ГОСТ 10227-86).

Выход товарного топлива РТ в расчете на суммарные жидкие продукты гидрогенизации угля составлял 9,5 %. В синтезированное топливо РТ добавлялась антиокислительная присадка "ионол" в концентрации 0,003...0,004 % масс. Основные показатели синтезированного топлива приведены в таблице 2.

Разработанный "ЮРД-Центром" лабораторный регламент получения авиакеросина из природного газа базируется на опыте применения передовой зарубежной технологии глубокой переработки природного и попутного газов в жидкие продукты ("Gas to Liquids", или GTL), которая предполагает производство из природного и попутного газов высококачественных жидких моторных топлив для автомобильной и авиационной техники, либо синтетической нефти.

Технология включает несколько стадий:

1. Очистка углеводородного газа от сернистых соединений.
2. Паро-углекислотная конверсия углеводородного газа с получением синтез-газа ( $H_2 + CO$ ) заданного состава.
3. Каталитическая конверсия синтез-газа по методу Фишера-Тропша с получением смеси синтетических жидких (СЖУ) и твердых (СТУ) углеводородов.
4. Разделение смеси синтетических жидких и твердых углеводородов на фракции.
5. Комплекс гидрокаталитических процессов: (гидрокрекинг, гидрирование, ароматизация, каталитическая изодепарафинизация, гидрофинишинг) с получением синтетического жидкого углеводородного топлива.

Все перечисленные стадии вошли в разработанный лабораторный регламент получения реактивного топлива из природного газа. Вместе с тем, в разработанной технологии применены новые режимные параметры и оригинальные высокоэффективные катализаторы, что обеспечивает её конкурентоспособность.

Блок-схема комплекса процессов, используемых в ходе переработки природного газа в синтетическое реактивное топливо, представлена на рис. 2.

Данная технология описана в заявке 2010140110 от 30.09.2010 г на патент РФ с обоснованием ее новизны и эффективности.

Каждый процесс осуществляется на самостоятельной установке.

Процессы изодепарафинизации СЖУ и изодепарафинизации-гидрокрекинга СТУ предназначены для снижения температуры начала кристаллизации реактивного топлива до обозначенного в Технических требованиях значения - не более минус 50 °С.

В ходе процессов изодепарафинизации и гидрокрекинга депрессия температуры начала кристаллизации сырьевой фракции составляет более 60 градусов.

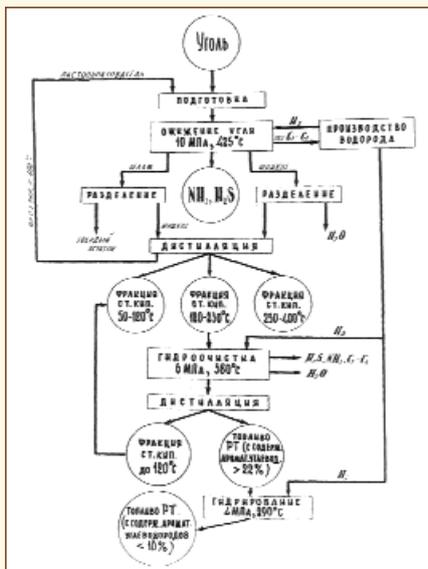


Рис 1. Принципиальная технологическая схема производства реактивного топлива РТ из угля.

Процесс каталитического риформинга выделенной из СЖУ фракции 135...180 °С и фракции 135...180 °С, выделенной из продуктов изодепарафинизации-гидрокрекинга СТУ, предназначен для повышения плотности синтетического реактивного топлива до требуемого по ТТ значения - не менее 755 кг/м<sup>3</sup> при 20 °С. Наличие ароматических углеводородов в составе реактивного топлива в пределах от 5 до 10 % масс. позволяет достичь требуемых показателей по плотности.

Во всех перечисленных процессах используются оригинальные катализаторы, разработанные в "ЮРД-Центр". Часть катализаторов защищена патентами РФ, на остальные получены приоритетные справки о первичной патентной экспертизе РФ.

Выход отвечающего ТТ синтетического углеводородного топлива по разработанному лабораторному регламенту синтеза углеводородов из природного газа с последующим их гидрированием составляет не менее 45 % масс. Синтезированное углеводородное топливо с введением в него антиокислительной присадки "ионол" в концентрации 0,003 % масс. и противозносной присадки "нафтеновые кислоты" в концентрации 0,003 % масс. может рассматриваться как аналог вырабатываемого из нефти унифицированного реактивного топлива РТ (ГОСТ 10227-86). Основные показатели синтезированного топлива приведены в таблице 2.

В МИТХТ им. М.В. Ломоносова была разработана технология получения реактивного топлива из биоэтанола, широко освоенного в мировой практике продукта переработки биомассы, в том числе непищевой. Технология основана на пропускании этанола через цеолиты со структурой HZSM-5 (Si/Al) с образованием ряда ароматических и алифатических углеводородов различного строения [8]. При разработке лабораторного регламента синтеза углеводородов конверсией биоэтанола в качестве катализаторов были использованы новые модельные образцы, разработанные и изготовленные на основе цеолитов типа ZSM-5 с различными силикатным модулем и структурирующими добавками, промотированные различными металлами и активированные термическим и механохимическим способом. Для проведения экспериментов по конверсии этанола применялся наиболее активный цеолитсодержащий катализатор 3%Zn/27%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe-ЦКЕ-Г50 (Si/Fe = 550) с размерами частиц 0,2...0,5 мм.

Процесс превращения биоэтанола проводился на установке проточного типа при повышенном (до 0,6 МПа) давлении (рис. 3).

Для гидрирования продуктов конверсии этанола применялись катализаторы гидрирования: ренийсодержащие, платиносодержащие, никельхромоксидные, Co(Ni)-Mo/W-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, промотированные полигетеросоединениями Mo и W. Наиболее высокую активность в реакции гидрирования проявили рений- и платиносодержащие катализаторы.

Процесс гидрирования продуктов конверсии биоэтанола проводился автоклавным способом (рис. 4).

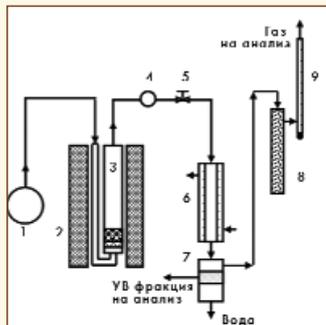
В результате исследований было получено синтетическое жидкое (из биосырья) углеводородное топливо для авиационных ГТД, практически отвечающее требованиям ТТ.

Выход этого топлива из промежуточного биосырья (этилового спирта) составил около 10 %. Основные показатели синтезированного топлива приведены в таблице 2.

Следует отметить, что биотопливо вырабатывается из природного возоб-



Рис 2. Блок-схема получения синтетического реактивного топлива из природного газа



**Рис.3. Схема лабораторной установки превращения этанола на стационарном слое катализатора:**  
 1 - насос-дозатор;  
 2 - электрическая печь;  
 3 - реакторный блок;  
 4 - манометр;  
 5 - дросселирующий кран;  
 6 - конденсатор;  
 7 - сепаратор;  
 8 - скруббер;  
 9 - измеритель газового потока.

новляемого сырья, которое при своем развитии поглощает углекислый газ из воздуха. При сжигании биотоплива ранее поглощенный биосырьем углекислый газ возвращается в воздух. При сжигании же топлива, изготовленных из невозобновляемого сырья, углекислый газ, выделяясь в атмосферу, увеличивает в ней свое содержание. Поэтому синтетическое топливо из биосырья считается экологически более предпочтительным.

Полученные опытные образцы синтетического авиакеросина полностью соответствуют техническим требованиям, разработанным ЦИАМ и требованиям предъявляемым к товарному топливу РТ (ГОСТ 10227-86), за исключением показателя "Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле" для образца, полученного из биосырья. Также основываясь на полученных данных по физико-химическим и эксплуатационным показателям для синтетических топлив, можно с большой долей вероятности предположить, что их применение на авиационной технике возможно, как в смеси с товарными образцами реактивного топлива из нефтяного сырья, так и индивидуально с введенными противозносной и антиокислительной присадками. Смесь синтезированных топлив с широко применяемым в зарубежной гражданской авиации реактивным топливом Jet A-1 будет отвечать требо-

вого биосырья будет рентабельным через несколько лет, из водородсодержащих - примерно через 10 лет [9].

Принимая во внимание рост потребления моторных топлив, 99 % которых в настоящее время производится из нефти, грядущее истощение запасов нефти и то обстоятельство, что Россия занимает первое место в мире по запасам угля и природного газа, имеет огромные площади невозделанных земель и многие тысячи озер и других водоемов, но уступает странам Ближнего Востока по запасам нефти, необходимо активизировать работы по дальнейшему совершенствованию технологического регламента синтеза жидкого углеводородного топлива из угля, природного газа и биомассы с выходом на пилотные установки и с разработкой промышленной технологии производства для выработки синтетического реактивного топлива в количестве, достаточном для натурных стендовых и летных испытаний и установления взаимозаменяемости с зарубежным синтетическим топливом, вырабатываемом по спецификации ASTM D 7566-09.

**Литература:**

1. Е.Н. Савостьянов. Анализ и обобщение отечественных и зарубежных публикаций по проблеме получения синтетического жидкого топлива из угля. Техническая справка, ЦИАМ, 1986.

2. Кричко А.А., Федоров Е.П. и др. Исследование и разработка технологической схемы производства топлива РТ из угольных дистиллятов. Отчет ИГИ - ЦИАМ, 1982.

3. Кричко А.А., Федоров Е.П. и др. Получение реактивных топлив из угольных дистиллятов жидкофазной гидрогенизации бурых углей Канско-Ачинского бассейна. Отчет ИГИ - ЦИАМ, 1983.

4. Кричко А.А., Федоров Е.П. и др. Разработка эффективной технологии получения из угольных дистиллятов реактивных топлив с применением гидрогенизационных про-

**Таблица 2 Физико-химические и эксплуатационные показатели образцов синтетического топлива из угля, биосырья и природного газа**

Показатель	Нормы ТТ	Нормы для РТ по ГОСТ 10227-86	Фактические данные для топлив		
			из угля	из биосырья	из газа
1 Плотность при 200 °С, кг/м <sup>3</sup> , не менее	755	755	785	790	757
2 Фракционный состав: а) температура начала перегонки, °С, не ниже д) температура конца кипения, °С, не выше	135 280	135 280	124 220	135 196	148 253
3 Кинематическая вязкость, сСт При минус 20 °С, не более При минус 40 °С, не более	8,0 -	8,0 -	- 4,50	2,19 3,7	3,5 6,8
4 Низшая теплота сгорания, кДж/кг, не менее	43120	43120	43290	43100	44050
5 Высота некопящего пламени, мм, не менее	25	25	36	31	32
6 Кислотность, мг КОН на 100 см <sup>3</sup> топлива, не более	0,7	0,2...0,7	0,05	0,1	0,1
7 Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже	28	28	37	25	44
8 Температура начала кристаллизации, °С, не выше	-60	-55	Ниже -60	Ниже -60	-58
9 Термоокислительная стабильность в статических условиях при 150 °С, не более а) концентрация осадка, мг на 100 см <sup>3</sup> топлива б) концентрация растворимых смол, мг на 100 см <sup>3</sup> топлива в) концентрация нерастворимых смол, мг на 100 см <sup>3</sup> топлива	6 30 3	6 30 3	1,8 1,2 Отс.	2,0 5,5 3	Отс. 18 1,5
10 Массовая доля ароматических углеводородов, %, не более	22	22	6,2	6,9	9,6
11 Концентрация фактических смол, мг на 100 см <sup>3</sup> топлива, не более	4	4	Отс.	3,0	1,3
12 Массовая доля общей серы, %, не более	0,1	0,1	0,0003	Отс.	0,0042
13 Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,001	0,001	Отс.	Отс.	Отс.

ваниям, предъявляемым к отечественному топливу ТС-1 (ГОСТ 10227-86).

Разработанные лабораторные регламенты изготовления опытных образцов синтетического реактивного топлива могут быть взяты за основу для разработки технологий промышленного производства реактивного топлива из угля, природного газа, биоэтанола.

По зарубежным данным, уже в настоящее время промышленное производство реактивного топлива из угля является рентабельным. Промышленное производство синтетического реактивного топлива из природного газа станет рентабельным в ближайшие годы. Промышленное производство реактивного топлива из назем-

цессов. Отчет ИГИ - ЦИАМ, 1984.

5. Кричко А.А., Федоров Е.П. и др. Разработка процесса гидроочистки фракции 190-320 °С жидкофазного гидрогенизата бурого угля Канско-Ачинского бассейна. Отчет ИГИ - ЦИАМ, 1985.

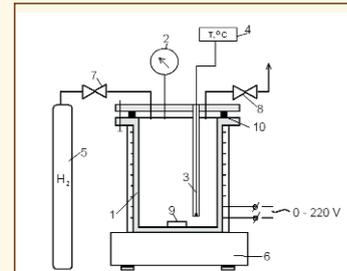
6. Кричко А.А., Ковалев Г.И. и др. Получение реактивного топлива типа ТС-1 из угля. Химия твердого топлива № 4, 1985.

7. Зорина Г.И., Брун-Цеховой А.Р. Современное состояние технологии газификации угля за рубежом. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1986, 50 с.

8. Третьяков В.Ф., Лермонтов А.С., Макарьев Ю.И. и др. Синтез моторных топлив из биоэтанола. - ХТТМ. - 2008. - № 6. С. 30-34.

9. Aircraft Commerce - 2011. - IV-V. Issue N75. P. 21-27.

Связь с авторами: yanovskiy@ciam.ru



**Рис. 4. Схема установки для гидрирования продуктов конверсии этанола:**  
 1 - реактор-автоклав;  
 2 - манометр;  
 3 - термопара;  
 4 - датчик температуры;  
 5 - баллон с водородом;  
 6 - нагревательный элемент;  
 7,8 - вентили;  
 9 - магнитная мешалка;  
 10 - прокладка.



# ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

## ENGINEERING TECHNOLOGIES 2012

**«Мы убеждены, России необходимо сильное,  
конкурентоспособное машиностроение»**

Владимир Владимирович Путин

### ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА

Пленарное заседание:  
«Высокие технологии – определяющее условие устойчивого развития передового машиностроения национальных экономик».

Тематические мероприятия:

- Изменение внешних факторов (ВТО, Таможенный союз).
- Повышение эффективности (инновации, техническое и технологическое перевооружение).
- Рынки сбыта (госзакупки, экспорт, аутсорсинг).
- Инфраструктура (кадры, энергоресурсы, экология).
- Развитие свободных экономических зон.
- Взаимодействие между Вооруженными Силами, ОПК и обществом.

### ВЫСТАВОЧНАЯ ПРОГРАММА

- Международная выставка «Машпромэкспо».
- Международная выставка вооружений и военной техники «Оборонэкспо».

### ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ ПРОГРАММА

Представление продукции предприятий машиностроительной отрасли, специальные показы вооружений и военной техники двойного и специального назначения.

**27 ИЮНЯ – 1 ИЮЛЯ 2012 г**  
**МОСКВА • ЖУКОВСКИЙ**  
**АЭРОДРОМ РАМЕНСКОЕ**  
**ТВК «РОССИЯ»**

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

Организаторы Форума



Генеральный устроитель: ОАО «ТВК «Россия»



ФСВТС России



Генеральный партнер: Союз машиностроителей России



# ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПО ВЕЛИЧИНЕ ВЕСОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ И ДИСПЕРСНОСТИ КАПЕЛЬ ВОДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТЕНДОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИМИТАЦИИ ПОПАДАНИЯ ДОЖДЯ



ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова:

**Борис Михайлович Клинский**, начальник отдела, д.т.н.  
**Авенир Васильевич Кудрявцев**, ведущий научный сотрудник, к.т.н.

**В** настоящее время известно несколько нормативных документов, в которых регламентируются требования к экспериментальной проверке влияния капельной влаги в виде дождя на работоспособность и характеристики авиационных ГТД.

В авиационных правилах Часть 33 "Нормы летной годности двигателей воздушных судов", 2004 г. (АП-33) стандартные атмосферные концентрации воды при дожде, принятые при сертификации в АП-33, представлены в табл. 1.

Высота, м	СВД, гр. воды/м <sup>3</sup> воздуха
(0)	20,0
6100	20,0
8000	15,2
10000	10,8
12000	7,7
14000	5,2

Здесь СВД - процентное содержание воды в воздухе по массе. Оно составляет 1,63 % при  $H = 0$  м, 3,063 % при  $H = 6100$  м, 2,28 % при  $H = 14000$  м. Таким образом, максимальное удельное весовое содержание воды в воздухе согласно АП-33 достигает 3 % при  $H = 6100$  м, а минимальное 1,63 % при  $H = 0$  м.

Стандартное атмосферное распределение капель дождя, принятое при сертификации согласно АП-33 приведено в табл. 2.

Диаметр капель дождя, мм	Всего
0...0,49	0
0,50...0,99	2,25
1,00...1,49	8,75
1,50...1,99	16,25
2,00...2,49	19,00
2,50...2,99	17,75
3,00...3,49	13,50
3,50...3,99	9,50
4,00...4,49	6,00
4,50...4,99	3,00
5,00...5,49	2,00
5,50...5,99	1,25
6,00...6,49	0,50
6,50...7,00	0,25
Всего	100

Медианный диаметр капель дождя согласно табл. 2 - 2,66 мм. Таким образом, согласно АП-33 максимальный размер капель дождя составляет 7,00 мм.

В "Certification Specifications for Engines CSE Amendment 2, 18 December 2009" (European Aviation Safety Agency) требования к условиям проведения сертификации ГТД ГА в условиях имитации дождя полностью совпадают с требованиями, изложенными в АП-33.

В MIL, регламентирующим требования по испытаниям ГТД ВА, даны соответствующие требования в разделе "Попадание атмосферной воды" на вход в ГТД. Стандарт регламентирует: "При работе двигателя на режиме полной форсажной тяги на вход в двигатель должна быть введена смесь с концентрацией воды в жидкой и паровой фазе в количестве 2, 3,5 и 5 % от полного массового расхода воздуха и 50 % воды, вводимой через специальные форсунки на 1/3 входной площади нижнего сегмента". Двигатель должен проработать в этих условиях в течение 5 минут. Описанная ниже процедура должна быть повторена при работе двигателя на режиме малого газа".

Стандарт MIL применяется в странах НАТО и ряде других стран при сертификации военных ГТД.

Максимальная концентрация жидкой фазы в воздухе согласно MIL достигает 5 % (напомню: по АП-33 - 3,063 %).

Важно также отметить, что стандарт MIL в отличие от АП-33 не регламентирует требования к размеру водяных капель.

В РИАТ (Руководство по эксплуатации авиационной техники) содержатся требования по проверке работоспособности ГТД при попадании на вход воды. Руководство регламентирует: "Система подачи воды на вход в двигатель должна обеспечивать равномерный распыл воды по всей площади входа с размером капель, по

возможности соответствующим принятому в расчете диаметру капель". Таким образом, РИАТ не определяет конкретные значения по величине дисперсности распыла водяных капель, а распределение капель по размерам в потоке считается равномерным. В РИАТ также нет заданных в явном виде значений концентрации жидкой фазы в воздухе при проверке работоспособности ГТД на попадание воды на вход. С этой целью оценим максимальную величину весовой концентрации жидкой фазы в воздухе. Максимальная интенсивность дождя в РИАТ для ливневого дождя регламентируется как  $q = 0,0000833$  м/сек или 5 мм/мин. На единицу площади в единицу времени во время дождя выпадает следующее количество воды

$$g_{\text{вод}} = q * \gamma_{\text{вод}} = 0,0000833 * 1000 = 0,0833 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$$

где:

$q$  - интенсивность дождя, м/сек;

$\gamma_{\text{вод}}$  - удельная масса дождевой воды, кг/м<sup>3</sup>.

Количество воды, приходящееся на единицу объема воздуха при дожде (в кг/м<sup>3</sup>), составляет  $g_{\text{вод}}$ , где  $W$  - скорость падения капель воды при дожде, м/с.

При ливневом дожде РИАТ рекомендует считать  $W = 7$  м/с.

В этом случае

$$g_{\text{вод}} = 0,0833 / 7 = 0,0119 \text{ кг/м}^3.$$

Таким образом, для условий  $H = 0$ ,  $M = 0$  ( $\rho = 1,225$  кг/м<sup>3</sup>) концентрация массы дождевой воды составляет 0,00971, т.е. примерно 1 %.

Из сравнения четырех вышеуказанных нормативных документов следует, что максимальное значение концентрации воды в виде дождя регламентирует MIL (до 5 %), промежуточное значение до 3 % указано в АП-33 и минимальное значение концентрации воды примерно 1 % задано в РИАТ.

Рассмотрим ниже поведение капель дождя в спокойной атмосфере и при их попадании в поток воздуха.

Капля дождя, образованная в спокойной атмосфере, под действием сил тяжести движется с некоторым ускорением до тех пор, пока вес капли не уравновесится силой ее аэродинамического сопротивления. Дальше капля движется с постоянной скоростью, так называемой скоростью витания капли. Если скорость витания меньше некоторой определенной величины, капля сохраняет свой размер. Если больше, то она распадается на более мелкие капли.

Согласно [1] "Дождь - жидкие водяные осадки, состоящие из капель радиусом более 0,25 мм". Наблюдения, представленные в [1], показывают, что капли воды радиусом больше 2,5...3,2 мм не встречаются в атмосфере - они сплюсциваются и разбиваются на более мелкие (рис. 1).

Согласно [1] для капель радиусом от 4,25 до 6,25 мм, падающих в спокойном воздухе, число брызг колебалось от 3 до 97, наиболее часто образовывалось 30 - 40 брызг. Преобладающий радиус брызг составлял 0,75...1 мм. (скорость падения капель дождя достигает 8...10 м/с).

Определим условия определяющие дробление капель дождя в спокойной атмосфере.

Принимая, что коэффициент сопротивления капли можно записать, следуя [2], в виде

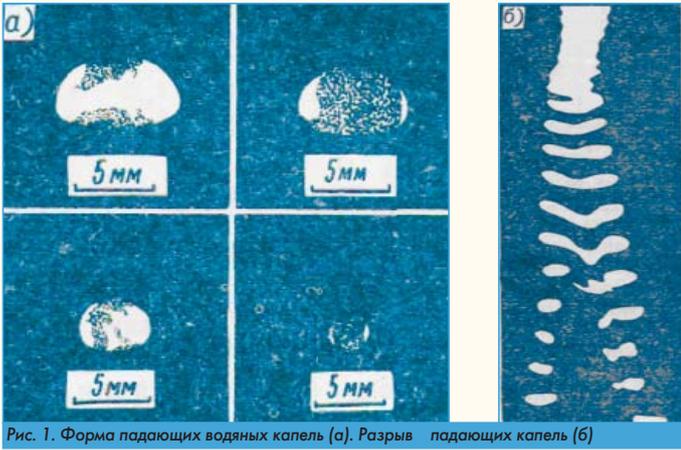


Рис. 1. Форма падающих водяных капель (а). Разрыв падающих капель (б)

$$C_x = a/(Re)^{0,5},$$

получим выражение для определения скорости падения (витания) капли в неподвижной газовой среде

$$U_v = (4/3a)^{2/3} * d_1^* ((\rho_1/\rho_2)^2 * (g^2/\nu))^{0,333}.$$

Здесь:

$d_1$  - диаметр капли жидкости,

$\rho_1$  - плотность жидкости,

$\rho_2$  - плотность газа,

$g$  - ускорение сил тяжести,

$\nu$  - кинематическая вязкость газовой среды.

Скорость, при которой наступит дробление капли, определяется соотношением между силами поверхностного натяжения и аэродинамическими силами, то есть величиной критерия:

$$W_e = \rho_2 * U^2 d_1 / \sigma_1,$$

где  $\sigma_1$  - коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

Как показано в [4] при  $W_e = 10,7$  происходит раздвоение капли, а при  $W_e \geq 14$  - ее дробление.

Отсюда следует, что величина критической скорости движения капли в неподвижном воздухе, при которой начинается ее распад, равна:

$$U_{кр} = (10,7 \sigma_1 / \rho_2 d_1)^{0,5}.$$

Из графика следует, что в спокойной атмосфере капли дождя крупнее  $d = 5$  мм существовать не могут, так как для  $d \geq 5$  мм скорость витания становится больше критической скорости, и крупные капли должны раздробиться на рой более мелких капель.

Рассмотрим теперь, как поведут себя капли дождя, попадая на вход двигателя.

Попадая в поток воздуха, поступающего в двигатель, капли приобретают относительную скорость движения, величина которой определяется скоростью потока воздуха на входе в двигатель, то есть режимом работы двигателя. Дальнейшее поведение капли определяется относительной скоростью ее движения и диаметром капли, т.е. критерием Вебера [3, 4, 5], и соотношением между временем увлечения капли потоком и временем ее распада.

Время деформации и распада капли при [6, 7] в зависимости от относительной скорости ее движения показано на рис. 3.

Как показано в [3, 4], если величина критерия  $W_e$  определенно по начальной относительной скорости, остается меньше  $W_e = 10,7$ , капля сохраняет свой размер, то есть капля увлекается потоком раньше чем успеет разрушиться.

В противном случае капли распадаются на более мелкие капли (при  $10,7 \leq W_e \leq 14$  капли раздваиваются, при  $W_e \geq 14$  капля распадается на рой более мелких капель [5]).

Как следует из представленного графика при относительной скорости движения капли  $U_{отн} = 120$  м/с время разрушения капли составляет всего 0,5 мс. За это время капля продвинется в пространстве не более чем на 60 мм, т.е. можно считать, что крупная капля вначале распадается на рой более мелких капель, а потом эти мелкие капли попадут на вход в двигатель.

В земных условиях ( $P = 100$  кПа,  $T = 293$  К) согласно представленных данных, попадая в поток воздуха, поступающего в двигатель со скоростью  $U = 50$  м/с (по скорости потока режим близкий

к "малому газу"), все капли диаметром  $d \geq 0,25$  мм распдутся на рой более мелких капель.

Капли, размер которых  $d \leq 0,25$  мм, сохраняют свой размер после увлечения их потоком воздуха.

На максимальных режимах работы ГД величина относительной скорости движения капли воды может достигнуть 150 м/с. В этих условиях максимальный размер капель не превысит  $d = 0,04$  мм даже с учетом их возможной коагуляции.

Таким образом, на лопатки вентилятора при работе двигателя в условиях дождя должна натекает двухфазная смесь, размер капель в которой существенно меньше размеров дождевых капель. Максимальный размер капель на входе в двигатель после их вторичного дробления не может превышать 250 мкм.

Полученные результаты показывают, что "стандартное атмосферное распределение по размеру капель дождя, принятое при сертификации" согласно АП-33 не соответствует фактическому распределению капель как при их свободном падении в атмосфере, так и при движении в потоке воздуха во входных стеновых или самолетных каналах перед входом в ГД.

Размер капель воды на входе в ГД при его работе в момент выпадения атмосферных осадков в зависимости от режима работы ГД не должен превышать 0,25 мм, в то время как в АП-33 величина медианного диаметра капель дождя составляет 2,66 мм.

При натекании двухфазной смеси на препятствие (лопатку вентилятора) только относительно мелкие водяные капли ( $d \leq 5$  мкм) будут следовать линиям тока потока воздуха [7, 8]. Более крупные капли из-за своей инерции осядут на стенках лопатки, образуя на ней пленку жидкости.

Оценочные расчеты осаждения капель жидкости на препятствии при обтекании его двухфазным потоком показали, что доля капель, осевших на стенках лопатки вентилятора, существенно образом зависит их размера (рис.4). Так все капли, размер которых превышает  $d = 50$  мкм, должны осесть на стенках препятствия.

По мере уменьшения диаметра капль величина  $\Omega$  уменьшается и для капль диаметром  $d = 5$  мкм составляет всего 0,1.

Так как основная масса воды в потоке содержится в каплях медианного размера, который даже с учетом вторичного дробления исходных капль лежит в пределах  $100 \leq d \leq 200$  мкм, то можно ожидать, что при дозвуковых скоростях полета самолета практически вся вода содержащаяся в воздухе осядет на лопатках вентилятора.

В приложении "В" к АП-33 дано по-

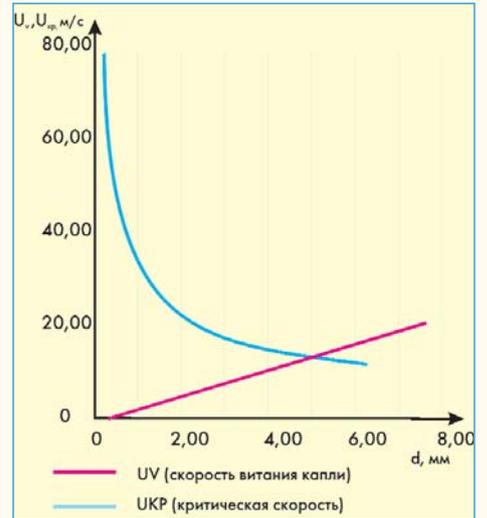


Рис.2. Зависимость скорости витания капли воды и критической скорости движения от диаметра капли воды.

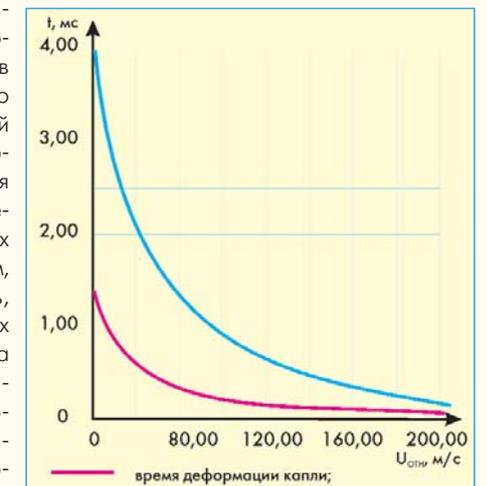


Рис. 3. Зависимость времени деформации и полного разрушения капли от скорости потока (P=100 кПа, T=293К, W 14)

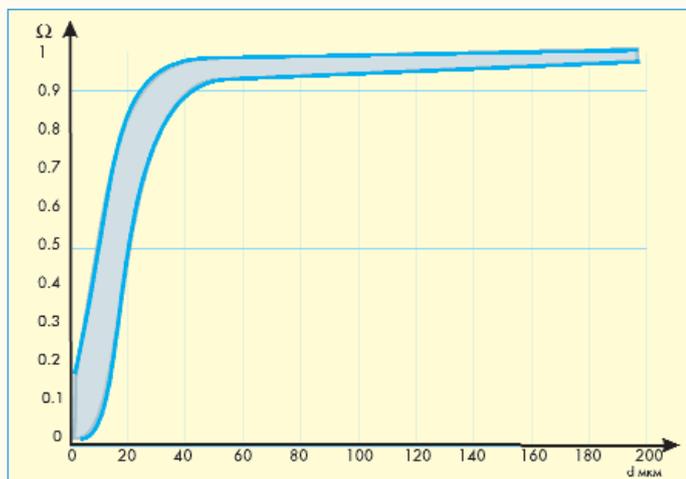


Рис. 4. Доля капель данного размера ( $\Omega$ ), осаждающихся на стенках лопатки вентилятора при обтекании ее двухфазным потоком, в зависимости от размера капель.

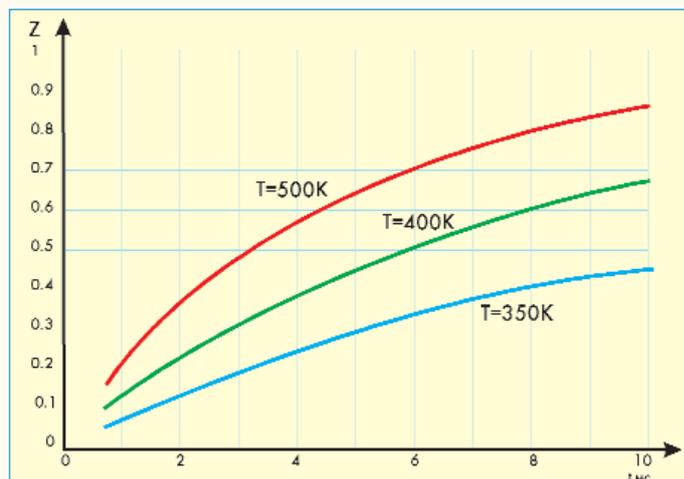


Рис. 5. Изменение степени испарения воды в потоке воздуха по времени для различных температур воздуха, (медианный размер капель в двухфазной смеси  $d = 10$  мкм)

яснение: "При проведении испытаний (обычно путем впрыска воды для имитации условий при дожде и путем забрасывания градин, полученных из льда, для имитации условий при граде) допустимо применение капель воды и града, имеющих форму, размер и распределение по размерам, отличающиеся от тех, которые указаны в Приложении В, если Заявитель покажет, что эта замена не приводит к ослаблению требований, предъявляемых к этим испытаниям". Поэтому полученный результат по оценке рекомендуемых размеров капель воды в потоке воздуха на входе в двигатель не противоречит нормам АП-33 в связи с тем, что в обоих случаях основная часть капельной влаги будет сепарироваться на входных рабочих лопатках вентилятора ПД (рис. 5).

При сверхзвуковых скоростях полета самолета максимальный размер капель дождя после прохождения их через скачок уплотнения не превышает  $d = 20$  мкм [9].

Это должно привести к существенному уменьшению доли воды осаждаемой на лопатках. Тем более, если будем учитывать степень испарения мелких капель за скачком уплотнения.

Изменение степени испарения воды в двухфазной смеси по времени рассчитаем по методике, изложенной в [10].

На рис. 5 представлены данные по испарению капель воды в двухфазной смеси, медианный размер капель в которой составляет  $d = 20$  мкм, в зависимости от температуры воздуха за скачком уплотнения.

Таким образом, можно ожидать, что при сверхзвуковых скоростях полета попадание воды в двигатель при дожде практически не окажет заметного влияния на работу вентилятора и компрессора. А скажется, в основном, на процессе горения топлива в камере сгорания за счет изменения величины суммарного коэффициента избытка воздуха, определяемой автоматикой двигателя.

При дозвуковых скоростях полета практически вся вода, содержащаяся в воздухе в виде капель, из-за инерционного характера движения капель осядет на лопатках вентилятора и образует на них жидкую пленку.

Вода, содержащаяся в виде жидкой пленки на лопатках, частич-

но отбрасывается на статор вентилятора двигателя, а также частично распыливается потоком воздуха с задней кромки лопатки.

Соотношение расходов воды отброшенных в кольцевой зазор и распыленных с задней кромки лопатки должно определяться частотой вращения ротора вентилятора двигателя и равномерностью толщины пленки по длине лопатки, то есть режимом работы двигателя и распределением капель воды в воздухе.

Во всех рассмотренных выше нормативных документах за исключением РИАТ отсутствуют требования к химическому составу дождевой воды. В РИАТ в качестве рабочего тела допускается использовать дистиллированную воду и воду-конденсат. **!**

#### Литература

1. Матвеев Л.Т. Курс метеорологии (Физика атмосферы). "Гидрометеиздат", Л, 1976 г.
2. Вырубов Д.Н. Смесеобразование в двигателях Дизеля. "Машгиз", М, 1954 г.
3. Вольнский М.С. О дроблении капель жидкости в потоке воздуха. Д.А.Н. АН СССР 1948 г., т. 62, №3, с. 301-304.
4. Вольнский М.С. О дроблении капель потоком воздуха. Д.А.Н. АН СССР Новая серия, 1949, т. 18 №3.
5. Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А. и др. Распыливание жидкостей. "Машиностроение", М, 1977 г.
6. Раушенбах Б.В. и др, Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей. "Машиностроение", М, 1964 г., с.63.
7. Ильяшенко С.М., Талантов А.В. Тория и расчет прямоточных камер сгорания. "Машиностроение", М., 1964 г.
8. Гельфанд Б.Е. и др. Особенности разрушения капли вязкой жидкости в ударных волнах. ИФЖ 1973 г., т. 25, №3, с.58-61.
9. Гельфанд Б.Е., Губин С.А., Когарко С.М. Разновидности дробления капель в ударных волнах и их характеристики. ИФЖ, 1994 г., т.27, №1, с. 111-111.
10. Франк-Каменецкий Д.А., Диффузия и теплопередача в химической кинетике. "Наука", М., 1967 г.

Связь с автором: [clinskiy@ciam.ru](mailto:clinskiy@ciam.ru)

## ИНФОРМАЦИЯ

9 июня 2012 года в Перми завершена сборка и успешно осуществлен первый запуск двигателя-демонстратора технологий.

Комментируя это событие генеральный конструктор ОАО "Авиадвигатель" Александр Иноземцев сказал: "Прошло четыре года с момента старта Проекта "Двигатели для самолета МС-21" и начала финансирования Программы создания семейства двигателей для перспективных ближне-среднемагистральных самолетов. Разработка дви-

гателей пятого поколения на базе унифицированного газогенератора осуществляется в соответствии с федеральной целевой Программой, основная цель которой - завоевание не менее 10 % мирового рынка авиадвигателей в классе тяг от 9 до 18 тс. Базовый двигатель нового семейства - ПД-14.

За последние 25 лет в нашей стране не создавалось продукта, подобного ПД-14 по уровню новизны технологий проектирования, изготовления, испытаний авиацион-

ных двигателей. Этому событию предшествовала огромная работа специалистов Объединенной двигателестроительной корпорации, институтов и предприятий авиационной промышленности при беспрецедентной финансовой поддержке Правительства РФ".

По словам А.А. Иноземцева, в настоящее время ведутся работы по подготовке испытаний двигателя на летающей лаборатории Ил-76, которые запланированы на 2014 год. **!**



Авиационная  
столица России

ОРГАНИЗАТОРЫ:



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



Германия –  
страна-партнер  
МАТФ-2012

# МЕЖДУНАРОДНЫЙ АВИАТРАНСПОРТНЫЙ ФОРУМ МАТФ 2012



Ульяновск, а/п «Восточный»

## 23-25 августа

*Главное  
авиационное  
событие года!*

### В программе:

- Международная выставка и конгресс
- Всероссийский Форум малой авиации
- Молодежный авиафорум «Я - Авиатор»
- Встречи в формате B2B
- Презентации инвест-проектов и бизнес-кейсов
- Авиашоу с участием пилотажных групп
- Вручение премий и наград в области авиации

### Основные разделы выставки:

- Пассажирские и грузовые авиаперевозки
- Авиация общего назначения
- Техобслуживание и ремонт авиационного парка
- Аэропорты
- «Инновации в авиации» – научные исследования и инжиниринг
- Тренажеры и симуляторы и другие.

### Основные темы конгресса:

- Авиация России и вызовы глобализации
- Международный опыт кластерной экономики в авиации
- Государственно-частное партнерство как инструмент развития авиации
- Цепочки поставщиков в авиации
- Перспективы развития авиации после вступления в ВТО
- Региональные авиаперевозки и аэропортовая деятельность
- Профессионалы авиации
- Тенденции и вызовы мирового рынка грузовых авиаперевозок и многие другие.

Регистрация участников на сайте  
**WWW.UL-AVIA.COM**

Справки об участии: +7 (8422) 282-267 (многоканальный), [contact@ul-avia.com](mailto:contact@ul-avia.com)

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР



ОФИЦИАЛЬНАЯ СВЯЗЬ



ПАРТНЕР



ГЕНЕРАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ТВ-ПАРТНЕР



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
ИНТЕРНЕТ-ПАРТНЕР



СТРАТЕГИЧЕСКИЙ  
ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР





**В**сероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ) основан в соответствии с Приказом № 435 от 28 июня 1932 г. по народному комиссариату тяжелой промышленности СССР как предприятие авиационной промышленности СССР. На вновь образованный институт было возложено: "...изучение авиационных материалов, изучение производства полуфабрикатов, изучение сырьевых баз, изыскание новых материалов и внедрение их в производство самолетов и моторов, разработка технологических процессов по производству и применению материалов и полуфабрикатов в



моторо-, самолето-, дирижабле- и авиационно-приборостроении, разработка стандартов на авиационные материалы и руководство научно-исследовательскими и производственными лабораториями...".

Сегодня Федеральное государственное унитарное предприятие Государственный научный центр Российской Федерации "ВИАМ" и его филиалы (Воскресенский экспериментально-технологический центр по специальным материалам, Геленджикский центр климатических испытаний им. чл.-корр. АН СССР Г.В. Акимова, Ульяновский научно-технологический центр) - крупнейший материаловедческий центр, не имеющий аналогов в мире по разнообразию и сложности решаемых задач, ведущий научно-исследовательский институт по созданию перспективных материалов и технологий для авиационных комплексов, космической техники, судостроительной, автомобильной, нефте-газодобывающей и других отраслей промышленности.

Становление и развитие ВИАМ пришлось на период предвоенной индустриализации, формирования отечественного военно-промышленного комплекса (ВПК) СССР, Великой Отечественной войны, послевоенной модернизации авиационно-ракетной отрасли и освоения космоса.



Весь непростой путь, пройденный институтом, это история зарождения и становления авиационного материаловедения, история возникновения материаловедческих предприятий страны. Работы ВИАМ дополнили арсенал материаловедения новыми оригинальными решениями и перспективными путями исследований для ранее не применявшихся в промышленности металлов и неметаллических материалов, многие из которых синтезированы впервые. На основе фундаментальных и прикладных исследований создавались и осваивались материалы, отвечающие высоким

# К 80-ЛЕТИЮ ВИАМ



требованиям по прочности, ресурсу и надежности, позволившие России занять и сохранить передовые позиции в мировом авиакосмическом сообществе. Материалы ВИАМ нашли применение в машиностроении, транспорте, энергетике, строительстве, медицинской технике и др.

Институтом в содружестве с институтами АН СССР и РАН, вузовской наукой, отраслевыми институтами и КБ разработано 2658 марок конструкционных функциональных материалов, более 3500 новых технологических процессов. Общее число изобретений и патентов превышает 5000. Высокий научно-технический уровень разработок института подтверждается успешным выполнением 65 международных проектов и контрактов с ведущими зарубежными фирмами.

Первоначально в состав ВИАМ вошло шесть отделов: общего металловедения, черных металлов, цветных металлов, авиалеса, химико-технологический и химико-аналитический, но впоследствии потребовалось усложнение организационной структуры. В течение первых пяти лет число отделов-лабораторий возросло до девятнадцати; в них были разработаны и внедрены в промышленность - кольчугалюминий, первая высокопрочная сталь "хромансиль", литейные и деформируемые алюминиевые сплавы, высокопрочные алюминиевые сплавы с добавкой титана, что позволило стране освободиться от импортных поставок. Впервые была разработана теория рекристаллизации алюминиевых сплавов и созданы основы теории многоэлектродной структурной коррозии металлов, созданы технологические процессы сварки и пайки металлических конструкционных материалов.

В предвоенные годы весьма своевременно в институте была разработана авиационная броня, которая нашла широкое применение в боевой авиации времен Великой Отечественной войны. Самый массовый в истории авиации (более 36 000 самолетов) штурмовик Ил-2 - "летающий танк" - изготовлен с применением брони, созданной в ВИАМ.

С начала войны из специалистов института были организо-





ваны маневренные передвижные бригады по ремонту самолетов и двигателей прямо на месте - во фронтовых передвижных ремонтных мастерских.

Разработка мягких пожаробезопасных фибровых баков

повышенной живучести (1942-1943 гг.) позволила спасти жизнь тысячам советских летчиков и сохранить большое количество боевых самолетов. Фронту было поставлено более 22 000 самолетов с фибровыми баками.

В военное время в конструкциях боевых самолетов были внедрены нешифруемые маскировочные лакокрасочные покрытия, которые обеспечили маскировочную защиту самолетов, особенно при визуальном контакте с противником.

Созданные в 1942-1944 гг. высокожаростойкие наплавочные сплавы для клапанов авиационных двигателей позволили резко повысить мощность двигателя (на -40%) и энергооборуженность самолетов.

Большой вклад внесли специалисты института в организацию в тылу производственных баз по выпуску материалов, полуфабрикатов, самолетов и двигателей, что позволило в кратчайшие сроки обеспечить страну боевой техникой. Разработка способа комбинированной сварки для широкого спектра высокопрочных сплавов существенно повысила производительность технологических процессов изготовления военной техники.

В 1945 г. за вклад в победу в Великой Отечественной войне ВИАМ был награжден орденом Ленина.

В конце сороковых годов правительство СССР поручает институту разработать материалы и системы их защиты от коррозии для работы в сильно агрессивной топливной среде ракетных двигателей. В предельно короткие сроки были разработаны аустенито-мартенситная сталь, легированная кремнием, и ингибитор топлива, которые были применены в двигателях РД-107, РД-108 и для ракеты Р-7, которая вывела на околоземную орбиту первый искусственный спутник Земли. По словам разработчика, генерального конструктора академика В.П. Глушко, "создание ракетных комплексов было бы невозможным без материалов ВИАМ". Новые никелевые литейные и деформируемые жаропрочные сплавы обеспечили производство реактивных газотурбинных двигателей для советской авиации.

ВИАМ совместно с КБ СП. Королева выполнил комплекс работ по разработке алюминиевых, магниевых и титановых сплавов и новых технологических процессов по созданию жаропрочных материалов и теплозащитных покрытий для космического корабля "Восток", запуск которого с летчиком-космонавтом Ю.А. Гагариным на борту открыл новую эру в покорении космоса.



Материалы ВИАМ обеспечили реализацию советского атомного проекта. В институте был создан специальный сплав циркония с ниобием для тепловыделяющих элементов атом-

ных реакторов (ТВЭЛ), разработаны конструкции и технологии производства ТВЭЛ для первого промышленного атомного реактора и атомного двигателя ледокола "Ленин".

Впервые освоена технология введения уранового топлива в графитовые стержни и выполнены работы по исследованию различных классов неметаллических материалов с целью оценки их стойкости к ионизирующим излучениям. Учеными ВИАМ совместно с институтом, возглавляемым академиком И.В. Курчатовым, были созданы центрифуги с увеличенной производительностью для получения ядерного топлива. Использование алюминиевого сплава В96Ц1 и применение для комбинированной оболочки центрифуг полимерных композиционных материалов позволило существенно расширить объем промышленного производства обогащенного урана-235.

Первые работы по применению титана для авиации были выполнены в ВИАМ в 1934 г. В 50-е годы был получен первый титановый сплав и создана установка для литья титана. Институт разработал более полусотни титановых сплавов, которые серийно используются для техники различного назначения. Фюзеляж экспериментального ударно-разведывательного самолета Т-4 "Сотка", созданный ОКБ Сухого, изготовлен из титана. Применение титановых сплавов в космических кораблях "Астрон", "Луна", "Марс", "Венера" и других позволило существенно снизить массу конструкции летательных аппаратов.

ВИАМ является пионером в области разработки неметаллических, полимерных и композиционных материалов, в том числе пенопластов, герметиков, материалов остекления и радиопоглощающих материалов, которые нашли широкое применение в конструкциях самолетов Ан-124, Ан-225, Ту-160, МиГ-29, Су-27, лопастей и планера вертолетов Ка-32, Ка-50, Ми-26, статорных и корпусных деталей газотурбинных двигателей, космических и ракетных комплексов и других изделий машиностроения, транспорта и строительства.

В 1982 г. за заслуги в создании и обеспечении материалами новых образцов техники ВИАМ был награжден орденом Октябрьской Революции.

В середине 80-х годов сотрудниками института успешно решена проблема существенного увеличения ресурса рабочих лопаток, возникшая при освоении в опытном и серийном производстве авиационных турбин двигателей III и IV поколений. Двигателями с повышенными ресурсными характеристиками были оснащены самолеты Ту-134, Ту-154, Ил-62М, Ил-76, Ил-86, МиГ-25, МиГ-29, МиГ-31, Су-24, Су-27, Ту-22М, Ан-22, Як-141, Ил-114, а также газотурбинные установки ГТН-16, ГТН-25, НК-12 СТ для газоперекачивающих агрегатов. Также создано новое поколение монокристаллических сплавов, технология и оборудование для литья турбинных лопаток методом высокоградиентной направленной кристаллизации для





производства двигателей самолетов МиГ-29, Су-27, МиГ-31, Су-30, Ил-86, Ту-204, Ил-96-300, Ан-70 и др.

Разработанный в ВИАМ специальный комплекс материалов (теплозащита, углерод-углеродные композиты, лаки, клеи и др.) обеспечил создание многоразового космического корабля "Буран". Крыло обратной стреловидности самолета "Беркут" впервые в мировой практике целиком выполнено из адаптирующегося углепластика, созданного в институте.

Постановлением Правительства РФ от 29 марта 1994 г. институту присвоен статус Государственного научного центра, который успешно подтверждался в 1997, 2000, 2002, 2004, 2007 и 2010 гг.

Указами Президента РФ коллективу ВИАМ объявлены благодарности за большой вклад в разработку и создание материалов для авиационно-космической техники (2002 г.) и новых материалов и технологий для авиационной промышленности (2007 г.).

Решением Комиссии Минпромторга России от 11 августа 2011 г. по оценке результативности деятельности научных организаций за период 2006-2010 гг. ВИАМ отнесен к 1-й категории - "Лидер" среди научных организаций Минпромторга России.

Сегодня деятельность института направлена на решение не только отраслевых, но и комплексных межотраслевых и междисциплинарных задач в рамках федеральных целевых программ, в том числе с использованием механизма технологических платформ.

Решением Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям утверждены разработанные по инициативе

ВИАМ две технологические платформы: "Новые полимерные композиционные материалы и технологии" и "Материалы и технологии металлургии", в которых институт определен координатором работ при участии около 200 ведущих научных, учебных и производственных организаций. По инициативе ВИАМ с привлечением ряда



ведущих научных и производственных организаций разработан проект подпрограммы "Национальная сеть центров климатических испытаний".

Институт активно занимается инновационной деятельностью. ВИАМ выполняет весь цикл работ - от фундаментальных, прикладных исследований до разработки материала, технологии, оборудования, выпуска НТД и организации малотоннажного производства.

Создание многофункциональных материалов и технологий возможно лишь на базе глубоких фундаментальных и прикладных исследований, тесного взаимодействия на стыке науки и производства. Об этом наглядно свидетельствует плодотворное сотрудничество нашего института с 30 институтами РАН, 16 вузами и более 70 предприятиями - ведущими институтами, конструкторскими бюро и заводами авиационной и других отраслей промышленности.



Институтом установлены долгосрочные партнерские отношения, подписаны соглашения о сотрудничестве для осуществления комплекса совместных мероприятий в области региональной инновационной системы, модернизации и технологического развития экономики республик Мордовии, Татарстана, Саратовской и Томской областей, Хабаровского края.

Научно-технический потенциал, современная опытно-экспериментальная база, материальные и трудовые ресурсы института составляют основу для осуществления инновационной деятельности.

Опытно-экспериментальная база института включает 19 научно-технологических комплексов, с помощью которых осуществляются исследования и испытания материалов, а также организовано их малотоннажное производство. Комплексы являются центрами передачи технологий. Испытательный центр ВИАМ обладает уникальным (более 700 единиц) исследовательским и испытательным оборудованием, включая имеющиеся в единичных экземплярах в России. Центр проводит квалификационные испытания

материалов с определением механических, теплофизических, коррозионных, эрозионных, микробиологических и климатических характеристик, а также химического состава, горючести неметаллических материалов.

В 2009 г. ВИАМ ввел в эксплуатацию Геленджикский центр климатических испытаний им. чл.-корр. АН СССР Г.В. Акимова (ГЦКИ ВИАМ) - единственный центр климатических испытаний, область аккредитации которого включает в себя проведение натурных испыта-





ний в атмосфере и морской воде, а также лабораторных испытаний на стойкость к коррозии, старению и биоповреждению различных классов материалов.

Разработанные в институте материалы, технологические процессы и установки защищены многочисленными патентами и авторскими свидетельствами СССР и РФ, они нашли применение во многих отраслях промышленности (ежегодно осваивается более 130 разработок). Заключено более 250 лицензионных договоров и контрактов с отечественными и зарубежными предприятиями на передачу прав использования патентов РФ и ноу-хау. В собственном производстве в ВИАМ используется около 100 изобретений.

Творческая деятельность коллектива ВИАМ отражена в более чем 100 монографиях, 350 сборниках, охватывающих результаты обширных фундаментальных и прикладных исследований и разработок новых материалов, технологических процессов. Институт разработано более 11000 наименований нормативно-технической документации на более чем 3200 марок материалов, включая документацию на поставку, технологические процессы производства и применения материалов, паспортов, дополнений и дополнительных сведений к ним. Издается рецензируемый периодический научно-технический сборник "Авиационные материалы и технологии", входящий в Перечень изданий ВАК.

ВИАМ всегда обладал мощным научным потенциалом и высококвалифицированными кадрами. В институте работали 16 академиков и чл.- корреспондентов АН СССР и РАН; создано 12 авторитетных материаловедческих научных школ, имеющих международное признание. Ученый совет ВИАМ дал путевку в науку 205 докторам и 770 кандидатам наук. В настоящее время в ВИАМ трудятся более 1800 сотрудников, из них 32 доктора и 132 кандидата наук, 16 профессоров и 46 доцентов. Возглавляет институт Генеральный директор академик РАН Каблов Е.Н.

Результаты работы ученых института по фундаментальным и прикладным исследованиям стали предметом обсуждения более чем на 300 международных и 700 всеоюзных и всероссийских научно-технических форумах и конференциях.



Вопросам развития кадрового потенциала и, в первую очередь, молодых ученых и специалистов в институте уделяется большое внимание - выстроена система, когда за каждым молодым специалистом закреплен "учитель" - наставник, который на первых порах направляет его в работе и помогает освоиться в коллективе. В институте почти на 75% обновили исследовательское и технологическое оборудование. Сегодня в ВИАМ из 1806 сотрудников 839 - молодые специалисты

до 35 лет, в то время как в 1996 году из общего числа 2400 сотрудников института количество молодых специалистов до 35 лет составляло 34 человека, средний возраст снизился с 61,5 года до 44, 2 лет.

Для решения задач по сохранению и поддержанию ведущих научных школ мирового уровня и развитию научного потенциала, в ВИАМ готовят специалистов высшей квалификации в аспирантуре по трем специальностям и квалифицированных инженеров для подразделений института на совместно созданных базовых кафедрах при МАТИ имени К.Э. Циолковского, МГТУ им. Н.Э. Баумана и Московском государственном вечернем металлургическом институте. ВИАМ заключил Соглашение о научно-техническом сотрудничестве с семью национальными исследовательскими университетами России и активно сотрудничает с зарубежными университетами Германии и Голландии.

В ВИАМ большое значение уделяется соблюдению традиций института и уважению памяти выдающихся ученых, который внесли свой весомый вклад в становление института, а также развитию отечественной науки и авиационного материаловедения. Регулярно проводятся научные конференции, посвященные известным ученым - сотрудникам ВИАМ.

Трудовой подвигов специалистов института отмечен высокими государственными наградами Советского Союза и Российской Федерации - более 600 сотрудников награждены орденами и медалями. За большие заслуги в развитии авиационного материаловедения и обеспечении создания современных летательных аппаратов сотрудникам ВИАМ присуждено: Ленинских премий - 13, Государственных премий РФ - 13, Государственных премий СССР - 66, Премий Правительства РФ - 34, Премий Совета Министров СССР - 42.

Институт сохраняет и развивает международное сотрудничество более чем с 40 ведущими иностранными компаниями и организациями из многих стран мира, в том числе EADS, Airbus, ALD Vacuum Technologies GmbH, Zwick GmbH & Co. KG, Coatema - Coating Machinery GmbH, Technische Universität Berlin (TU Berlin), Avio S.p.A., Akzo Nobel Aerospace Coatings (ANAC), Porcher Industries, Snecma S.A., The Boeing Company, General Electric Company, NASA, MTS Systems Corporation, ГП "Антонов", АО "Мотор Сич", ИЭС им. Е.О. Пато-на НАН Украины, ГП ЗМКБ "Прогресс" им. академика А.Г. Ивченко, China Aviation Industry Corporation (AVIC), Beijing Institute of Aeronautical Materials (BI-AM), Hindustan Aeronautics Limited, Mitsubishi Heavy Industries Ltd. и другими.

ВИАМ сегодня - признанный лидер отечественной материаловедческой науки.



# К ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ МЕЖРОТОРНОГО ПОДШИПНИКА АВИАЦИОННОГО ГТД В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

НИО-3 ОАО "Летно-исследовательский институт им. М.М. Громова", Россия:

**Борис Борисович Коровин**, начальник лаборатории, д.т.н.

**Ольга Николаевна Былинкина**, начальник сектора,

**Аркадий Анатольевич Стасевич**, ведущий инженер .

*Обсуждается проблема использования вибрационных диагностических признаков состояния межроторного подшипника, полученных в стендовых условиях его работы с внесенными дефектами в составе технологического ТРДДФ. Показано, что при летной эксплуатации собранного по ТУ двигателя возможно кратковременное проявление вышеуказанных диагностических признаков, связанное не с дефектом, а с условиями работы подшипника в эксплуатации. Обращено внимание на возможность появления вблизи диагностической составляющей с частотой вращения сепаратора межроторного подшипника субгармоники комбинационной составляющей вибрации роторов, которая может маскироваться под диагностическую. Даны рекомендации для повышения надежности диагноза.*

*The problem of diagnostic sign for the intershaft bearing state using is discussed. This sign is detected for a bearing that had an insertion defects while technological afterburning turbofan bend working. It was shown that during flight operation of standard engine transitory appearance of above mentioned diagnostic sign is possible for the bearing without defects. It is took notice of possibility the rotors combination vibration subharmonic appearance proceeded on maximal engine mode. That is why the bearing diagnostic procedure have being recommended for low engine modes.*

**Ключевые слова:** межроторный подшипник, диагностический признак, составляющая спектра, сепаратор, гармоника, модуляция.

**Key word:** intershaft bearing, diagnostic sign, spectrum component, bearing cage, harmonic, ssubharmonic.

Контроль и диагностика состояния роторных систем по вибросигналу получили широкое распространение в двигателестроении [1], [2]. Воспользуемся методами вибрационной диагностики применительно к двухвальному двигателю с межроторным подшипником в одной из его задних опор. Актуальность ранней диагностики таких подшипников в эксплуатации связана с тяжелыми последствиями их разрушения

При отработке процедур вибрационной диагностики использовались материалы выполненных на "НПЦ газотурбостроения "Салют", наземных экспериментов по вибрографированию ТРДДФ с внесенными дефектами межроторного подшипника [3], [4] и летный эксперимент с собранным по ТУ двигателем подобной схемы.

Дефектный подшипник технологического двигателя имел два небольших очага выкрашивания в наружном кольце, а также 8 роликов с круговым выкрашиванием, кучно смонтированных в сепараторе, напротив которых было установлено 12 роликов без повреждений. Остальные ролики (из общего числа 34) были установлены в свободные окна сепаратора.

Для ускорения износа наружного кольца при сборке оно было установлено таким образом, чтобы места максимального выкрашивания оказались напротив "тяжелого" места на диске, а затяжка гайки крепления кольца произведена с повышенным усилием 50 кгм вместо 5 кгм по ТУ. Для интенсификации износа подшипника в эксперименте на роторе ТВД был создан повышенный дисбаланс 250 гр.см. вместо 20 гр.см. по ТУ.

На основе анализа изменения общего уровня вибраций и структуры спектров по мере наработки в стендовом эксперименте определялись диагностические признаки, пригодные для оценки состояния межроторного подшипника. Для этой цели при спектральном анализе вибросигналов, наряду с составляющими, генерируемыми рото-

рами двигателя, оценивались и составляющие вибраций на частотах, генерируемых при взаимодействии элементов подшипника.

В набор этих частот, связанных с функционированием подшипника, входили: частоты вращения его сепаратора ( $F_{нс}$ ), перекачивания тел качения по внутренней ( $F_{нв}$ ) и наружной ( $F_{нн}$ ) беговым дорожкам, а также частота вращения тел качения относительно своей оси ( $F_{нтк}$ ). Указанные частоты вычислялись по известным соотношениям, определяемым геометрическими характеристиками и кинематикой подшипника [5].

Полученные при стендовых испытаниях диагностические признаки, характеризующие состояние межроторного подшипника, и подходы по прогнозированию этого состояния были оценены при исследовании вибрационного состояния собранного по ТУ двигателя подобной схемы (см. рис.1), в условиях его реальной эксплуатации на маневренном самолете.

В летном эксперименте использовался датчик V-318 на изгибной керамике с встроенным ЧИП-ом, смонтированный в штатном месте на промежуточном корпусе двигателя. Высокочастотный (более 10кГц) сигнал с широкополосного выхода датчика и сопровождающая полетная информация регистрировались весь полет на твердотельные бортовые накопители.

Цифровая послеполетная обработка и анализ информации осуществлялись с помощью специализированных программно-аппаратных комплексов. При этом определялась СКЗ вибрации в роторной полосе частот 70-260 Гц и оценивались узкополосные составляющие в полосе 20-8 000 Гц.

При обработке ВЧ информации выполнялись следующие основные процедуры:

- спектральный анализ вибропроцессов с разрешением 1Гц;
- следящая фильтрация узкополосных составляющих вибра-

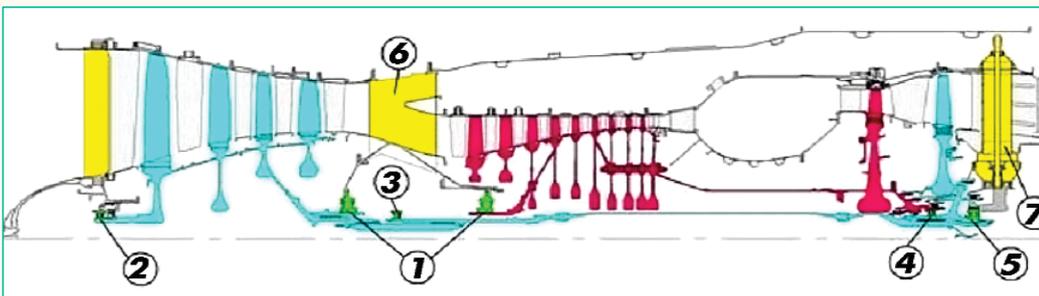


Рис1. Силловая схема обследованного типа двигателя

- 1- радиально-упорные (шариковые) подшипники;
- 2- роликовый подшипник передней опоры КНД;
- 3- передний роликовый подшипник вала НД;
- 4- межроторный роликовый подшипник;
- 5- роликовый подшипник задней опоры ТНД;
- 6- промежуточный корпус;
- 7- задний стоечный узел.

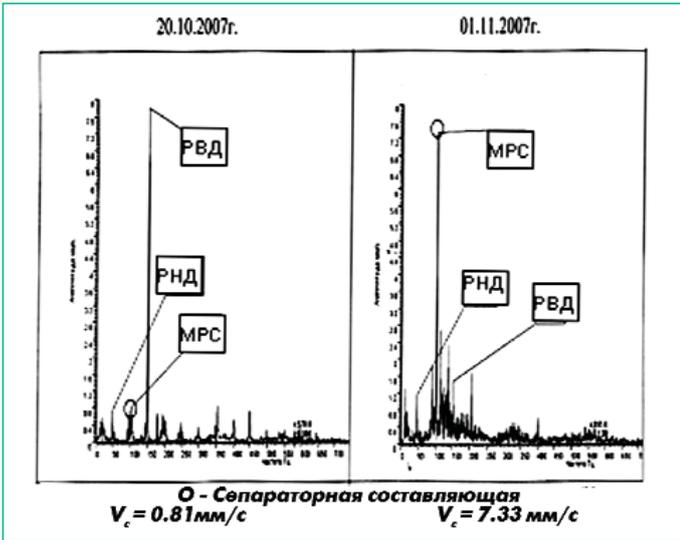


Рис2. Спектры вибраций в штатном месте в начале и конце эксперимента с технологическим двигателем на режиме МГ.

ций (с разрешением 3Гц) и их автоматическая идентификация на основе использования частотных моделей виброактивности двигателя, полученных с помощью передаточных коэффициентов его кинематики;

- построение каскадов спектра и трехмерной версии диаграммы Кемпбелла, позволяющих уточнить природу и проявление выявленных динамических эффектов в двигателе.

В результате стендового эксперимента с двигателем, имеющим дефектный подшипник, установлено устойчивое увеличение СКЗ вибраций в роторной полосе частот по мере наработки на фиксированных режимах его работы, включая режим малого газа (МГ), и максимальные (М), в том числе, форсированные (Ф) режимы [3], [4].

Анализ вибропроцессов в частотной области показал, что наиболее информативной составляющей штатного вибросигнала для оценки состояния подшипника служит узкополосная составляющая на частоте вращения сепаратора  $F_{nc}$ . В частности, коэффициенты увеличения интенсивности указанной составляющей для стадии разрушения подшипника по сравнению с начальной стадией эксперимента по нашим оценкам составили значения

$$V_{МГ} = 7,33/0,81 = 9,04 \text{ и } V_{макс} = 57,5/25 = 2,3$$

для режимов МГ и (М+Ф) соответственно (см. рис. 2 и 3).

Виброакустический контроль состояния подшипника, периоди-

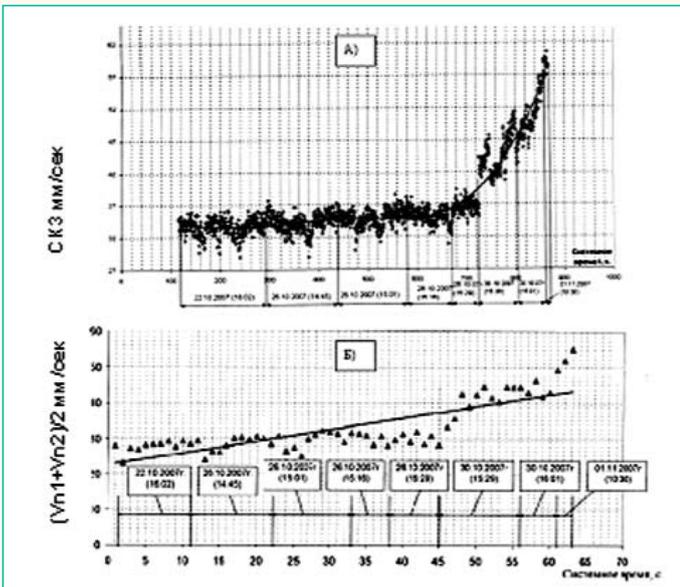


Рис3. Изменение СКЗ вибраций (а) и амплитудного значения составляющей МРС по мере наработки технологического двигателя на режимах М и Ф.

чески выполняемый в процессе проведения стендового эксперимента с помощью соответствующего прибора, позволял обнаружить исходную стадию повреждений, но слабо реагировал на динамику разрушения.

Резюмируя результаты наземных экспериментов можно утверждать, что значимое изменение как СКЗ вибросигнала в роторной полосе частот, так и составляющей, генерируемой межроторным подшипником (назовем ее МРС) на частоте  $F_{nc}$ , по всем обследованным местам замера вибраций, включая штатное, происходило на достаточно поздней стадии развития дефекта (см. рис.3).

При этом, даже при превышении величиной СКЗ вибросигнала нормативных уровней, интенсивность роторных вибрации двигателя практически не менялась, так же, как и составляющих, представляющих собой разности сепараторной частоты и частот вращения роторов N1 и N2, и других составляющих, обусловленных модуляционными эффектами.

При дополнительном анализе экспериментальных материалов, использованных в [3] и [4] и результатов летного эксперимента с двигателем подобной схемы, авторами настоящей работы было высказано сомнение в правомерности диагноза состояния подшипника по увеличению интенсивности МРС на повышенных режимах работы двигателя. Указанное сомнение относится к режимам работы двигателя со значениями N1 и N2 в диапазоне 90-100%, когда величина  $F_{nc}$  принималась равной полусумме частот вращения роторов  $(F_1 + F_2)/2$  в то время, как ее истинное значение отличалось от нее на 1-1,5 Гц.

Из анализа кинематических соотношений для определения сепараторной частоты  $F_{nc}$  (теоретически (1) и для конкретной конструкции межроторного подшипника рассматриваемого двигателя (2))

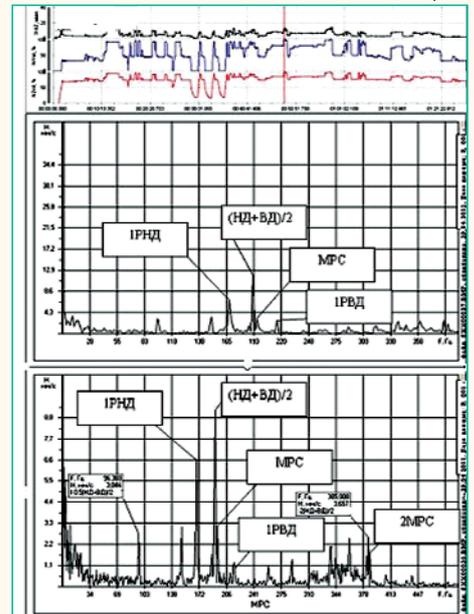


Рис.4 Иллюстрация одновременного проявления составляющих МРС и (НД+ВД)/2 в спектре вибропроцесса для режимов П и Ф

$$F_{nc} = F_1 (d_c - d_{тк}) / 2d_c + F_2 (d_c + d_{тк}) / 2d_c \quad (1)$$

$$F_{nc} = 0,468 F_1 + 0,532 F_2, \quad (2)$$

де  $d_c$  и  $d_{тк}$  - диаметры сепаратора и тел качения соответственно, следует, что  $F_{nc} = (F_1 + F_2)/2$  лишь в случае равенства нулю диаметров тел качения подшипника, либо для строго заданного отношения частот вращения роторов, компенсирующего отличия коэффициентов при  $F_1$  и  $F_2$  в уравнении (2) от величины 0,5. Поэтому доминирование в спектре вибраций составляющей на частоте  $(F_1 + F_2)/2$  (назовем ее  $PC_{n1+n2}$ ) не следует путать с МРС.

Указанная неопределенность оценки диагностического признака объясняется тем, что при использованном в спектральном анализе разрешении по спектру величиной 1Гц, значения составляющей МРС на повышенных режимах работы двигателя инструментально не различимы с комбинационной составляющей вибрации  $PC_{n1+n2}$ .

Подтверждение существования составляющей  $PC_{n1+n2}$  на максимальных режимах работы двигателя рассматриваемой схемы при одновременном существовании МРС иллюстрируется спектрами на рисунках 4 и 5. При его получении использовалось





# ФРЕЗЕРОВАНИЕ ПАЗОВ "ЕЛОЧКА" (ПАЗОВ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК) НА НОВОМ СТАНКЕ С 60 U MT DYNAMIC, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИМ КОМБИНИРОВАННУЮ ОБРАБОТКУ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ И ТОЧЕНИЕМ

"Энергетическая перестройка" у всех на устах и ведет к тому, чтобы находить новые потенциалы энергосбережения. Правда, не всегда нужно изобретать новое колесо, а нужно только его использовать в нужном месте.

Таким образом, фирмы Iruba Innovations GbR и Maschinenfabrik Berthold Hermle AG вместе сели за стол и объединили действующие характеристики своих продуктов в один производственный процесс для применения в атомной энергетике, аэрокосмической промышленности и машиностроении.

Специальная фасонная фреза, применяемая на новом станке Hermle C 60 U MT dynamic, будет использоваться для изготовления лопаточных пазов на турбине "FanDisk" диаметром 900 мм.

Благодаря уникальной концепции станка C 60 U MT dynamic с наклонно-поворотным столом с ЧПУ, с приводом с высоким пусковым моментом, с ускорением 450 мин<sup>-1</sup> при использовании заготовки массой до 1,5 т, и одновременно углом поворота на ±130° при ускорении до 15 мин<sup>-1</sup>, происходит комплексная многообразная обработка. В сочетании с запатентованным способом трохоидального фрезерования компании Iruba она предоставляет совершенно новые возможности и, прежде всего, огромный потенциал экономии при производстве "FanDisk". Во-первых, вращающийся контур "FanDisk" может за один установ обрабатываться на полной скорости, во-вторых, с помощью нового способа фрезерования можно напрямую наносить лопаточные пазы.

## Трохоидальный способ фрезерования

При трохоидальном способе фрезерования фрезеруют только с определенным обхватом детали, потому что фреза не погружается в полный материал, а делает при фрезеровании трохоидальные движения по кривой и соответственно контактирует с заготовкой только односторонне. Благодаря этому открывается паз и одновременно производится геометрия типа "елки" с помощью особой профильной фрезы. Прежде всего, благодаря этому способу фрезерования фирмы Iruba GbR достигается высокая степень безопасности процесса. Специально разработанная фасонная фреза для чисто-

вой обработки благодаря припускам, производимым черновой фрезой, а также соответствующему исполнению инструментов, служит очень долгое время и обеспечивает очень хорошее качество поверхности, как в попутном, так и во встречном способе фрезерования.

## Преимущества фасонного фрезерования фирмы Iruba

1. Нет необходимости в классическом предварительном фрезеровании.
2. Повышение безопасности процесса.
3. Недорогая альтернатива протягиванию.
4. Адаптация к различным материалам.
5. Различные размеры деталей.
6. Технология "нажатием кнопки".
7. Реализация проектов "под ключ".
8. Производится равномерный большой паз.

## C 60 U MT dynamic

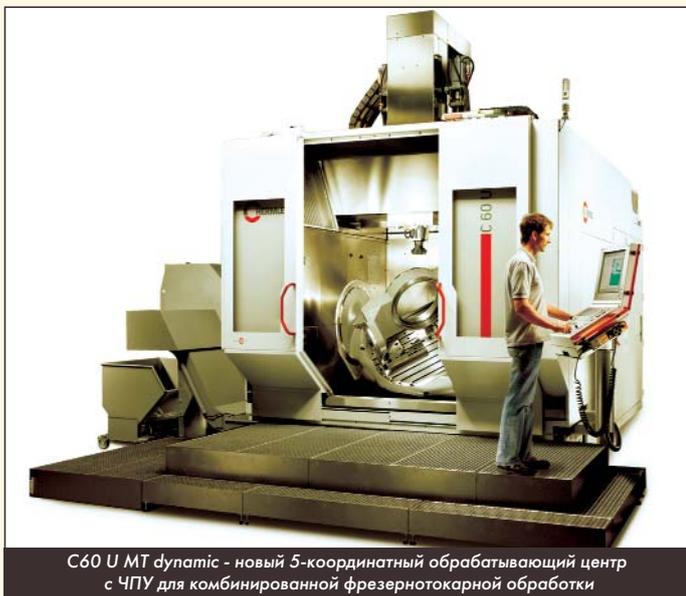
После того как станок C 60 U dynamic, как чистый вариант для фрезерования уже был представлен в 2010 г., мы расширили в 2011 г. программу выпускаемых обрабатывающих центров C-серии станком C 60 U MT dynamic.

Серия станков "MT" фирмы Hermle AG как часть признанных во всем мире высокоточных и очень эффективных обрабатывающих центров с ЧПУ для 5-осевой обработки представляет собой не просто "обновленную производную" но и отвечает очень высоким требованиям качества Hermle и его пользователей во всех отраслях.

И поэтому при разработке станка были полностью учтены требования по технологии и безопасности, которые применяются к токарным станкам, а также к версии MT станка C 60 U MT dynamic. Это касается, например, корпуса (для инструментальных станков / обрабатывающих центров согласно стандартам EN 12 417, для инструментальных станков / больших токарных станков согласно стандартам EN 12478). Так как на станке C 60 U MT dynamic может производиться любая токарная обработка на поворотном столе и не только в горизонтальном положении 90°, что, кстати, повлечет за собой совершенно новые возможности обработки, а также больше гибкости в использовании, верхняя часть обшивки, включая крышу станка, была включена в комплексную концепцию безопасности.

## Полностью интегрированная технология поворота

Известная модифицированная конструкция типа Гентри предлагает идеальные условия для встраивания комбинированной поворотной оси (ось A) с вращающейся осью стола (ось C). Ось A в станине станка гарантирует чрезвычайно высокую жесткость, тем более что мотор находится непосредственно на передаче зубчатого колеса. На оси C теперь находится, вместо простого поворотного стола с ЧПУ, полноценный наклонно-поворотный стол с ЧПУ, который вращается на станке C 60 U MT dynamic с макс. скоростью 450 мин<sup>-1</sup>. Посредством высокопроизводительного мотора с крутящим моментом для высоких скоростей, может производиться претенциозная токарная обработка и комбинированное фрезерование и точение в черновом и чистовом виде. Площадь зажима поворотного стола C 60 U MT dynamic достигает 1200 мм в диаметре и допустимые нагрузки стола - 1500 кгс. Изюминкой концепции MT Hermle AG является то, что токарная обработка производится не



C 60 U MT dynamic - новый 5-координатный обрабатывающий центр с ЧПУ для комбинированной фрезеро-токарной обработки

только при положении 0° и 90° поворотного стола, но и при любом промежуточном положении. Здесь может использоваться очень короткий токарный инструмент. Главный шпиндель застопорен во время токарных операций. Шпиндель может быть в исполнении HSK T-63 и HSK T-100. Важным здесь является то, что функции фрезерования сохраняются в полном объеме.

**Максимальная безопасность благодаря интегрированной системе балансировки**

Главный шпиндель при этом застопорен, так что даже большие крутящие моменты передаются без проблем и можно точно позиционировать токарный инструмент.

Надежная 5-осевая концепция C-серии показывает свои практические преимущества также в MT-версии, потому что по сравнению с машинами конкурентов обрабатывающий центр Hermle C 60 U MT dynamic имеет значительно большую максимальную зону, свободную от столкновения на пути перемещения шпинделя, что означает на простом языке, что соответственно крупные заготовки могут обрабатываться за один установ комбинированным методом фрезерования/точения.

Чтобы при этом не возникало проблем и повреждений из-за вращения / поворота, моментов инерции, Hermle AG внедряет новшество в поворотный стол - интегрированную систему балансировки. Посредством этой системы можно точно сбалансировать максимально большие и тяжелые заготовки.

**Комплексная симультанная обработка по 5 осям**

Для заказчиков ничего не изменилось, по прежнему три оси в инструменте и две оси в заготовке. Благодаря большим осевым перемещениям X = 1200, Y = 1300 (плюс 450 мм при смене инструмента методом Pick-up) и Z = 900 мм на станке можно обрабатывать заготовки диаметром до 1200 (диаметр зоны безопасной от столкновения Ø 1400 мм) и высотой 900 мм. Благодаря оптимальному расположению осей X-Y-Z и осей наклонно-поворотного стола с ЧПУ можно работать с очень коротким инструментом. Поскольку размеры рабочей области рассчитаны исключительно на 5-осевую обработку, ось Y длиннее, чем ось X в связи с необходимостью свободного пространства для поворота заготовки. Время смены инструмента составляет 9,5 с (от зажима к зажиму).

Кроме того, имеется расширение магазина модульного типа для обработки сложных деталей или серии деталей без дополнительной переналадки или дооснащения инструмента.

**Высокоточная основа для изготовления высокоточных деталей**

Концептуально обрабатывающие центры C 60 U MT dynamic выполнены в идее так называемого "концептуального станка" (4 точки опоры) массой около 31 т. При этом монолитная станина из EN-GJS-400 имеет массу 17 т, что обеспечивает высокую устойчивость с очень хорошими амортизационными свойствами. В качестве линейных направляющих используются высокоточные высокоэффективные направляющие качения типоразмеров 65, 55 и 45. Приводы подачи осей X, Y и Z имеют ШВП с прямой передачей и со своей собственной измерительной системой, оси Y и Z имеют двоярный привод. Эти приводы с ускорением от  $a = 6 \text{ м/с}^2$  и скоростью ускоренного хода  $V = 50 \text{ м/мин}$  по всем осям обеспечивают сравнительно очень высокую динамику. Касательно главных шпинделей клиент может выбрать между версиями HSK-A-100 / HSK T 100 с 12 000 об/мин. (мощность 56 кВт и крутящий момент 356 Нм) и HSK-A 63 / HSK T 63 с 18 000 об/мин. (мощность 35 кВт и крутящий момент 215 Нм).

**Гибкость и производительность в новом измерении.** Упомянутая модульная конструкция позволяет оснастить станок тремя различными столами или плитами стола, а именно Ø 1350 мм с фасками с двух сторон на 1100 мм, Ø 900 мм и дополнительными съемными плитами (опция), а также системой зажима паллет. Столы всех вариантов имеют возможность поворота на 260° ( $\pm 130^\circ$ ), что идеально для обработки импеллеров и конических шестерен. Обрабатывающий центр C 60 U/UP dynamic поставляется, во-первых, в ви-

де автономной установки универсального применения, а во-вторых, в исполнении с паллетами, но, разумеется, может также дооснащаться роботизированными системами или манипуляторами, а также накопителями заготовок и инструментальными магазинами, что позволяет получить гибкий производственный модуль. При этом, несмотря на размеры, всегда обеспечивается оптимальное управление и загрузка, так как с самого начала большое внимание уделялось высокой эргономичности. Дверь кабины открывается на 1450 мм, крыша кабины раздвигается автоматически, с фронтальной стороны имеется большой двухступенчатый помост, а загрузка инструментального магазина или инструментальных магазинов выполняется оператором сзади. Кроме того, все агрегаты, сконструированные по модульному принципу, удобны для сервисного и технического обслуживания и без труда подсоединяются и отсоединяются с помощью штекерных разъемов. Эргономичный пульт управления с системой ЧПУ сконструирован в соответствии с современным уровнем техники и пожеланиями клиентов. Он регулируется по высоте на  $\pm 100 \text{ мм}$ , экран можно дополнительно наклонять до 30°, кроме того, имеется очень практичная выдвигная консоль для письма.



Посредством фасонной фрезы изготавливаются пазы для турбинных лопаток для FanDisk

**Практичность и эргономичность для операторов и сервисного персонала.** Применительно к системам ЧПУ заказчик может выбирать между системами управления самого последнего поколения фирмы Heidenhain iTNC 530 и фирмы Siemens S 840 D sl. В стандартном варианте используется жидкокристаллический дисплей 19" с программным обеспечением 3D, удобными для пользователя программируемыми клавишами, с возможностью подключения функции оповещения по электронной почте E-Messenger и телесервиса (оба опционально). К основному комплекту оборудования относятся также транспортер для стружки, автоматически раздвигаемая крыша кабины, стандартный инструментальный магазин с манипулятором для загрузки инструмента и общая компоновка в модульном исполнении, окно из многослойного защитного стекла. Опционально поставляются, среди прочего, система внутренней подачи СОЖ, измерительные щупы, система контроля поломки инструмента, вытяжка масляного тумана и вышеупомянутые средства автоматизации.

**Преимущества концепции MT Hermle:**

1. Фрезерная обработка.
2. Синхронная обработка 5сторон/5 осей.
3. Токарная обработка.
4. Горизонтальное/вертикальное точение.
5. Синхронная обработка.
6. Надежная комплексная обработка.
7. Максимальная безопасность благодаря интегрированной системе балансировки.
8. Надежная облицовка соответствует нормативам по безопасности для обрабатывающих центров (EN 12417) и для крупных токарных станков (EN 12478).

Машиностроительный завод Berthold Hermle AG  
 Удо Хипп - руководитель отдела маркетинга.  
 Телефон: +49 (0) 7426 95-6238.  
 Факс: +49 (0) 7426 95-6110.  
 udo.hipp@hermle.de



IRUBA Innovations GbR  
 Матиас Ручински - исполнительный директор.  
 Телефон: +49 (0) 9261 61599.  
 Факс: +49 (0) 9261 61589.  
 m.rutschinski@iruba.de



# МЕТАЛЛООБРАБОТКА-2012

В конце мая в Москве состоялась XIII Международная выставка оборудования, приборов и инструмента для металлообрабатывающей промышленности "Металлообработка-2012", которая с 2010 г. проводится ежегодно (ранее, с 1984 г. она проводилась один раз в два года). Переход был продиктован тем, что предприятия машиностроительного комплекса России остро нуждаются в техническом перевооружении, особенно после прошумевшего в 2008 г. кризиса, а специализированные выставки - это один из важнейших инструментов, который играет ключевую роль в решении поставленных задач.

Следует отметить, что проводимые в России выставки "Металлообработка" по масштабу и представительности соответствует уровню крупнейших европейских смотров аналогичной тематики. Причем наблюдается устойчивый рост интереса к выставке как со стороны продавцов, так и со стороны покупателей. Вот несколько цифр:

- площадь выставки "Металлообработка-2012" - 34000 м<sup>2</sup> (рост на 17 %);
- количество экспонентов: 887 (14 %) из 35 стран;
- число посетителей за первые два дня достигло 12 000 (в 1,5 раза больше).

Рост числа посетителей (а это покупатели) свидетельствует о росте потенциала рынка, его значительном расширении.

Именно поэтому московская выставка "Металлообработка" пользуется поддержкой авторитетных международных отраслевых ассоциаций: AFM (Испания), MTA (Великобритания), SWISSMEM (Швейцария), SST (Чехия), TAMI (Тайвань), VDW (Германия), UCIMU (Италия), а также CECIMO (Бельгия) Европейский комитет по сотрудничеству в области станкостроения.

Она отмечена знаками Всемирной ассоциации выставочной индустрии (UFI) и Российского Союза выставок и ярмарок, пользуется поддержкой Министерства промышленности и энергетики РФ, Союза машиностроителей России, Российского союза промышленников и предпринимателей и проводится под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ и Правительства Москвы.

В работе выставки приняли участие представители станкостроительных ассоциаций AMT (США), MTA (Великобритания), СМТВА (Китай), Укрстанкоинструмент (Украина). Экспозиция белорусских предприятий была организована Министерством промышленности Республики Беларусь.

Тематика выставки:

1. Комплексные технологии на базе высокопроизводительного оборудования, инструмента и оснастки для технического перевооружения предприятий.

1.1. Металлорежущее оборудование:

- интеллектуальные станочные системы и оборудование высоких технологий;
- специальные и специализированные станки, прецизионные станки, автоматы и полуавтоматы, универсальные станки с ручным управлением;
- тяжелые и уникальные станки, автоматические линии; станки с числовым и программным управлением, многоцелевые станки и их комплексы; гибкие производственные модули и системы;

- оборудование для электро-физикохимической, лазерной, плазменной и других видов обработки, для комбинированных рабочих процессов обработки металлов.

1.2. Кузнечнопрессовое оборудование:

- механические и гидравлические прессы и комплексы на их базе;
- кузнечнопрессовые автоматы, в том числе с числовым программным управлением; ковочные машины и комплексы на их базе;
- быстро перенастраиваемые (гибкие) кузнечнопрессовые машины с ЧПУ
- лазерное оборудование и технология и др.

- 1.3. Литейное оборудование.
  - 1.4. Сварочное оборудование.
  - 1.5. Оборудование, инструменты, материалы, технологии для обработки поверхностей и нанесения покрытий.
  - 1.6. Металлорежущие инструменты:
    - режущий лезвийный инструмент;
    - абразивный, алмазный инструмент и инструмент из сверхтвердых материалов;
    - вспомогательный инструмент;
    - системы инструментального оснащения, кодировки и учета режущего инструмента;
    - комплексное оснащение станочных систем инструментарием.
  - 1.7. Контрольно-измерительные машины, приборы и инструменты:
    - координатно-измерительные машины;
    - средства измерения в автоматизированных комплексах, приборы активного контроля, приборы для измерения линейных и угловых размеров, приборы контроля качества поверхностей и точности формы;
    - системы, приборы контроля и диагностики состояния металлообрабатывающего оборудования и инструмента.
  - 2. Комплекующие узлы и изделия, технологическая оснастка, программное обеспечение, эксплуатационные материалы.
  - 3. Ремонт и модернизация технологического оборудования, запасные части, услуги.
  - 4. Развитие современных информационных CALS-технологий в реальном секторе экономики.
  - 5. Современные материалы для металлообработки.
  - 6. Наука, профильное образование и производство.
- Председатель Комитета Государственной Думы ФС РФ по промышленности С.В. Собко, выступая на церемонии открытия, от-



метил, что "Металлообработка" стремительно набирает обороты, нынешний смотр стал рекордным. Не умаляя достоинств других промышленных смотров, он подчеркнул, что "Металлообработка" является ключевой выставкой, поскольку металлообрабатывающая отрасль - это база для развития реального сектора экономики, техническая и технологическая основа для всех инноваций.

Начальник отдела Департамента промышленности и инфраструктуры Правительства РФ И.А. Малышев отметил, что российское правительство уделяет серьезное внимание развитию отечественного станкостроения, которое должно сыграть существенную роль в реализации программ модернизации отечественной экономики, в воплощении в жизнь принятых правительственных решений.

Торгово-промышленная палата РФ патронирует выставку "Металлообработка-2012" как одно из самых значимых отрасле-

вых мероприятий, сказал вице-президент ТПП РФ А.М. Рыбаков.

Выступая от лица российского станкоинструментального сообщества, успехов ведущему отраслевому смотру пожелал президент Российской ассоциации производителей станкоинструментальной продукции "Станкоинструмент" Г.В. Самодуров, который отметил, что в условиях курса на модернизацию значение выставки "Металлообработка" еще больше возрастает. Именно здесь можно увидеть, как реализуются важные государственные программы, получить информацию о современных тенденциях в создании нового оборудования и технологий.

На торжественной церемонии открытия также присутствовал почетный председатель Совета директоров Российской ассоциации производителей станкоинструментальной продукции "Станкоинструмент" Н.А. Паничев, принимавший активное участие в создании и становлении российской станкостроительной промышленности, и другие почетные гости.

29 мая Российская ассоциация "Станкоинструмент" провела в рамках выставки "Металлообработка-2012" III Международный станкостроительный форум, посвященный современным тенденциям в технологиях и конструкциях металлообрабатывающего оборудования.

Тема форума вызвала интерес у российских и зарубежных специалистов. О состоянии и перспективах развития отечественного станкостроения участникам форума рассказал президент Российской ассоциации "Станкоинструмент" Г.В. Самодуров.

Генеральный директор ОАО "ВНИИинструмент", председатель Совета директоров Российской ассоциации "Станкоинструмент" Г.В. Боровский посвятил свое выступление перспективным проектам модернизации и технологического перевооружения машиностроительных предприятий.

В работе форума участвовал полномочный представитель Саксонской экономики в России д-р Манфред Либль, который поделился опытом использования инновационных технологий в области машиностроения. На форуме также выступил представитель Технического университета г. Хемниц (ФРГ).

Новые разработки на форуме представили компании "Балт Систем", "Внешнеторговая компания стерлитамакские станки", "Владимирский станкостроительный завод "Техника", "САСТА", "Тяжмехпресс", Московский авиационный институт, "Хеганас Восточная Европа", МГТУ "МАМИ", "АМО ЗиЛ" Донской государственный технический университет и другие предприятия и научные центры.

Впервые в рамках международной выставки "Металлообработка-2012" состоялся Всероссийский промышленный форум "МЕТАЛЛООБРАБОТКА: стратегия 2012-2013", организатором которого выступила конгрессно-выставочная компания "Империя" и ЦВК "Экспоцентр".

Форум позволили существенно расширить тематику деловой программы выставки "Металлообработка-2012". В его работе приняли участие свыше 100 делегатов более чем из 30 городов России. Доклады ведущих отраслевых экспертов, выступавших на аналитических и фокус-сессиях форума, были посвящены текущему состоя-



Станки фирмы Sarix способны прошивать отверстия под любым углом

нию и прогнозам развития отрасли, кадровым вопросам, управлению себестоимостью производства, энергоэффективности, снижению потерь на металлообрабатывающих предприятиях и другим актуальным темам.



Консультацию студенту дает В.С. Полюянов (компания Globaltech)

Но все же большинство посетителей находились на стендах экспонентов, где знакомились с современным состоянием металлообработки. Сделать это смогли как будущие специалисты, а пока ещё студенты, так и те, кто всю свою жизнь посвятил обработке металлов. Одним из таких корифеев оказался Ставинский Борис Иванович - создатель первого в мире проволочно-вырезного станка. Бывший главный конструктор ПО "Исток" (Фрязино) посетил экспозицию компании Sodick.



Форум "Металлообработка: стратегия 2012-2013"



Б.И. Ставинский на стенде компании Sodick

# ТАЛАНТА ЯРКАЯ ЗВЕЗДА

## К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Г.Ю. СТЕПАНОВА



**Михаил Матвеевич Буренков**, начальник кафедры двигателей ВАБТВ (1983-1988)  
**Виктор Владимирович Соломай**, начальник 2725 ВП МО РФ (1988-2003)  
**Николай Иванович Троицкий**, генеральный директор НИИД (1991-2011)

Георгий Юрьевич Степанов (01.08.1922 - 15.10.2005). Выдающийся учёный в области газодинамики лопаточных машин, патриарх российской научной школы по танковым двигателям. Доктор физико-математических наук (1957 г.), профессор. В 1946 г. окончил Военную академию механики и моторизации РККА имени И.В. Сталина. С 1965 г. - начальник кафедры механики, в 1977-1983 гг. - начальник кафедры двигателей Военной академии БТВ имени Р.Я. Малиновского, преподавал, занимался науч-

ной работой по развитию общей теории двигателей (поршневых, газотурбинных, ракетных и комбинированных). В 1949-1972 гг. в Центральном институте авиационного моторостроения (ЦИАМ) проводил исследования в области гидродинамической теории лопаточных машин - турбин и компрессоров. С 1965 г. - научная деятельность в Институте проблем механики РАН и механико-математическом факультете МГУ в области турбулентных отрывных течений. Избран в Национальный комитет СССР по теоретической и прикладной механике и в Научный совет по механике жидкости и газа. Автор монографий "Основы теории лопаточных машин комбинированных и газотурбинных двигателей" (1958), "Гидродинамика решеток турбомашин" (1962), "Гидродинамическая теория аппаратов на воздушной подушке" (1963), "Газодинамика сопел ракетных двигателей" (совместно с Л.В. Гогишем, 1973). Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, лауреат медали им. П.Л. Капицы, почетный член Академии естественных наук РФ, член Президиума Национального Комитета по теоретической и прикладной механике РАН, член Бюро научного совета по механике жидкостей и газов, действительный член Международной астронавтической академии.

Георгий Юрьевич Степанов родился в Петрограде (Ленинграде) в семье известных ученых. Со школьных лет он связан с Московским государственным университетом: участвовал в олимпиадах МГУ 1938-1940 гг. по математике и физике.

После окончания средней школы в 1940 г. Г.Ю. Степанов был призван в ряды Красной Армии. Он командовал отделением связи, воевал радистом-заряжающим на танке БТ-7. В 1942 г. его направили на краткосрочные офицерские курсы, где и заметили исключительные математические способности молодого танкиста.

Георгий Степанов стал слушателем основного курса Военной академии механизации и моторизации РККА, которую окончил с золотой медалью в 1946 г. В дипломном проекте, защищенном в первом послевоенном году, он исследовал возможность применения газотурбинных двигателей в наземных транспортных машинах. Этот дипломный проект, выполненный под руководством одного из пионеров отечественного газотурбостроения профессора В.В. Уварова, был опубликован в одном из специальных журналов и привлек внимание ученых и конструкторов.

Как отличника его оставили в Академии, направив в одьонктуру заниматься научной работой. Первыми учителями Г.Ю. Степанова, оказавшими большое влияние на его дальнейшую деятельность, были И.И. Метелицын, Н.Р. Бриллинг, В.В. Уваров, Б.С. Стечкин. Кандидатскую диссертацию и значительную часть докторской диссертации (1957 г.), посвященной гидродинамике решеток турбомашин, Г.Ю. Степанов выполнял в Центральном

институте авиационного моторостроения, где он работал в группе проф. В.В. Уварова. В дальнейшем здесь же по теме, утвержденной С.П. Королевым, под руководством Г.Ю. Степанова, были проведены обширные исследования газодинамики ракетных двигательных установок. Диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук он защищал в Институте механики АН СССР.

Круг профессиональных интересов Георгия Юрьевича очень широк, он охватывал не только общую теорию двигателей, но и гидродинамическую теорию лопаточных машин - турбин и компрессоров, прикладную и общую гидромеханику и газовую динамику, теоретическую механику, методику преподавания соответствующих дисциплин в высшей школе, историю науки и техники. Г.Ю. Степанов - автор более 200 научных работ, (монографий, книг, учебных пособий, статей) и ряда изобретений.

Первые научные работы Г.Ю. Степанова касались применения газотурбинных двигателей для наземных транспортных машин. При этом он всесторонне развивал теорию лопаточных машин, комбинированных и газотурбинных двигателей. Второе издание соответствующего научного труда (Машгиз, 1957) до сих пор является настольным пособием для специалистов в этой области.

Наибольшее число важных научных результатов Г.Ю. Степанова касается гидродинамической теории турбомашин. В этой теории ему принадлежит усовершенствованная постановка и решение задач осредненного осесимметричного потока, плоских и двумерных течений идеальной и вязкой жидкости через решетки профилей, а также новые методы гидродинамического целесообразного профилирования решеток. С использованием этих методов им были спроектированы и экспериментально исследованы более сотни турбинных решеток, охватывающих большой диапазон параметров авиационных и транспортных газотурбинных двигателей. На основании этих результатов была написана известная монография (Физматгиз, 1962).

Будучи начальником кафедры механики, а затем кафедры двигателей ВА БТВ, ставшей впоследствии Общевоинской академией Вооруженных Сил РФ, Г.Ю. Степанов существенно усовершенствовал методику изложения курса теоретической механики в технических вузах, опубликовал оригинальные учебные пособия по теории колебаний, теории гороскопов и динамике механической системы. Обновлялось содержание лекций, совершенствовалась методика преподавания, укреплялись связи с войсками.

Георгий Юрьевич - ученый с мировой известностью, превосходный педагог-воспитатель, замечательный человек и профессионал во всех отношениях. Он пользовался огромным заслуженным деловым авторитетом как среди ученых, так и среди всего преподавательского и слушательского состава академии. Ему удавалось без особого труда привлечь к себе внимание, что и явилось фундаментом становления в коллективе кафедры двигателей комфортной творческой обстановки. Командование академии высоко ценило заслуги Георгия Юрьевича.

Многогранная роль начальника кафедры позволила ему в короткое время восстановить потерянные и создать новые связи с научно-исследовательскими институтами, учебными институтами, заводами промышленности, специальными конструкторскими бюро по профилю двигателестроения, механики и других направлений на базе кафедральных и его личных достижений. Благодаря этому кафедра стала центром притяжения специалистов различных областей и направлений в науке, испытывающих необходи-

мость проверить свои достижения в конструктивных разработках и теоретических исследованиях.

Г.Ю. Степанов постоянно сотрудничал с научно-исследовательскими, конструкторскими и учебными организациями, связь с которыми стимулировала выполнение им многих прикладных работ. В частности, так появилась его монография по гидродинамической теории аппаратов на воздушной подушке (Машгиз, 1963), по газодинамике сопел ракетных двигателей (совместно с Л.В. Гогишем, Машиностроение, 1973), по инерционным воздухоочистителям (совместно с И.М. Зицером, Машиностроение, 1986). В каждой из них содержалась новая теория, позволяющая исследовать известные и предложить новые схемы аппаратов и технических устройств. Эти монографии стимулировали исследовательские работы во многих отраслевых организациях и институтах и способствовали созданию прогрессивных технических решений.

Жизнь Г.Ю. Степанова неразрывно связана также с Московским государственным университетом. На механико-математическом факультете МГУ под руководством Г.Ю. Степанова был выполнен цикл работ по отрывным и кавитационным течениям, возникающим при высокоскоростном обтекании тел и в различных каналах двигательных установок. Анализ отрывных течений газа и жидкости, осложненных возникновением турбулентности и кавитации в жидкости, позволил с единых позиций описать калейдоскоп наблюдаемых эффектов и определить возможность управления ими. В самые последние годы Георгий Юрьевич вновь работал над гидродинамически целесообразным профилированием диффузоров.

В 1977 г. Георгий Юрьевич избирают членом-корреспондентом, а в 1988 г. - действительным членом Международной академии астронавтики, штаб-квартира которой находится в Париже. Приятно осознавать, что в России был единственный в мире "танкист-астронавт" Г.Ю. Степанов.

Большое внимание Г.Ю. Степанов уделял редакционной деятельности во многих журналах и издательствах. Будучи членом редколлегии журнала "Механика жидкости и газа" Георгий Юрьевич также активно участвовал в издании журнала "Прикладная математика и механика". Он постоянно работал в книжных издательствах "Наука" и "Мир". Под его научной редакцией опубликовано 11 книг. По его книгам и многочисленным учебным пособиям учились и продолжают учиться многие поколения аэромехаников и военных специалистов. Научные консультации, обзорные статьи, обстоятельные рецензии и критические выступления Г.Ю. Степанова в течение многих лет направлены на разъяснение законов механики, помогают правильной постановке исследований и повышают уровень научных работ во многих разделах механики и теории лопаточных машин.

Г.Ю. Степанов проводил большую работу по аттестации научных и научно-педагогических кадров в качестве эксперта Высшей аттестационной комиссии (ВАК), заместителя председателя экспертного совета ВАК по математике и механике, члена Ученых советов ВА БТВ, механико-математического факультета МГУ, института проблем механики РАН, ОАО ВНИИТрансмаш. Известны строгость его оценок научных работ, его принципиальная позиция по отношению к попыткам представления желаемых результатов за действительные, критика нечеткости математических обобщений. Эти качества Георгия Юрьевича Степанова, подлинного рыцаря науки, получили широкое признание среди научной общечественности.

В период проводимых в обществе реформ полковник в отставке Георгий Юрьевич Степанов до 2003 г. продолжал активно трудиться на кафедре двигателей Общевойсковой академии Российской Федерации, сотрудничал с Институтом механики МГУ и ОАО "НИИД". Убедительным примером преданности долгу стала его жизнь в науке - офицера, ученого, Человека с большой буквы.

Вклад профессора Георгия Юрьевича Степанова в развитие отечественной науки и техники в области двигателей, совершенствование их конструкций, теории и методов расчета, подготовку инженерных и научных кадров невозможно переоценить. Огромное ему за это спасибо от учеников и коллег по работе!



**8-и осевая микро-электроэрозионная установка для высокоскоростной прошивки отверстий**

**Высокопроизводительные технологии прошивки отверстий**

**Комбинация процесса прошивки отверстия с технологией контроля сквозного прожига**

**Полностью автоматизированный процесс установки параметров обработки**

**Удобный программный пакет 3D - SX-CAM AERO**

**www.sari.com**



# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С ОБЩЕСИСТЕМНЫМ МЕНЕДЖМЕНТОМ ПРЕДПРИЯТИЯ

**Александр Анатольевич Канащенков,**  
исполнительный директор ООО "НПК "Вестерн"

*В работе представлены результаты исследований в области управления процессом создания новых изделий во взаимосвязи трех важнейших компонентов разработки – конструкции, технологии и организации производства как единого процесса создания новых поколений продукта.*

*Такой подход, как показано в работе, обеспечивает экономию средств, времени и труда и сокращение цикла "научные исследования – разработка изделий" в 1,5...2 раза; создание технологии и организации производства.*

*The research results in the field of a new products creation managing interrelating three major components of engineering design, technology and production management as a uniform process creating a new generations of a products are presented in this article.*

*Such approach, as shown in the article, provides means, time and labor economy, R&D cycle reduction at 1,5...2 times, as well as new technology and production management creation.*

**Ключевые слова:** управление качеством, стратегия предприятия, технология производства, разработка изделия, научные исследования, корпорация.

**Keywords:** quality management, enterprise strategy, the production technology, product engineering, scientific researches, corporation.

Очевидным является то, что цели деятельности предприятия реализуются через разработанную стратегию, на основе которой осуществляется организация предприятия, его структура, которая динамична настолько, насколько динамично изменяется стратегия под воздействием внешних и внутренних факторов в интересах достижения целей деятельности.

В условиях работы на рынке, когда осуществляется процесс постоянного маркетинга и в результате этого осуществляется баланс его с технологией, то одновременно решается задача объединения людей, которые занимаются технологией и маркетингом. Следовательно, можно сделать вывод о том, что важнейшим принципом управления является ориентация на качество.

Работники предприятия должны вести дело так, чтобы реализовать стратегию предприятия в области качества, как основы обеспечения конкурентоспособности по техническому уровню и возможности осуществлять гибкие цены.

Изменение технологии может обеспечить:

- снижение затрат на производство;
- дифференциацию продукта на рынке или достижение и сохранение превосходства в технологии.

Каждый раз, когда анализируется ситуация на рынке, мы должны знать сколько мы получаем прибыли к вложенному капиталу.

Как известно, интенсивные исследования - это большой риск получения прибыли, а интенсивное развитие - минимальный риск, так как требует меньших вложений, но меняет уровень качества товара на рынке.

Если мы улучшаем продукт, его жизненный цикл увеличивает-ся, инвестиционные вложения в технологию могут уменьшаться.

Таким образом, корпорация должна знать на каком уровне жизненного цикла она находится, как и с кем она должна конкурировать. Любое принимаемое нами решение, в том числе, по развитию, затрагивает область совершенствования организационно-технического уровня (ОТУ) как базы научных исследований и производства и конкретную технологию продукта, которая связана с ОТУ. Чтобы корпорация обеспечивала выпуск продукции высокого качества, обладала устойчивой конкурентоспособностью на рынке необходимо организационно-технический уровень научных исследований и производства ориентировать на получение высокого качества и рост финансовой производительности труда.

Составляющие финансовой производительности труда зависят от внутренних и внешних условий, а именно:

- производительности труда корпорации;
- конкретных рыночных условий.

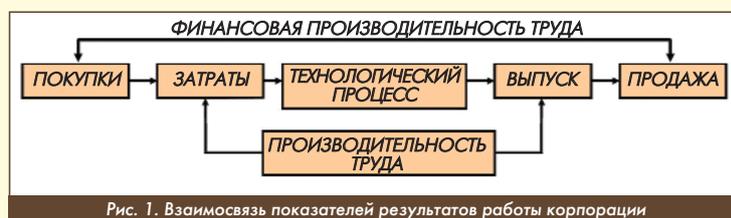


Рис. 1. Взаимосвязь показателей результатов работы корпорации

Работа корпорации оценивается по количественным и качественным показателям. Эти показатели могут меняться под воздействием внутренних и внешних факторов. Суть управления и состоит в том, чтобы на стадии разработки стратегии и периодически в процессе реализации программы иметь инструмент, с помощью которого можно ответить на вопрос:

- Что будет если...?

А также иметь возможность:

• Анализировать чувствительность показателей к изменениям различных факторов;

- Прогнозировать положение предприятия.

Решение этих задач можно осуществить с помощью разработанной и представленной на рис. 2 модели предприятия [1].

Центром этой системной модели является "модель прибыли". Все остальные частные модели связаны с "моделью прибыли". Поскольку все частные модели находятся во взаимосвязи, то любое воздействие на частную модель приведет к изменениям показателям прибыльности, которое сравнивается с допустимой нормой отклонений и принимается решение, как корректировать



Рис. 2. Модель предприятия

стратегию, чтобы обеспечить достижение заданных показателей.

Эти представления, изложенные ранее, имеют важное практическое значение:

- они показывают сильную связь в целом менеджмента и качества выпускаемой продукции. Это подтверждается и тенденциями развития прогрессивного опыта в этой области;
- ориентируют на улучшение использования технологии для повышения конкурентоспособности на рынке.

Как показано [1], в конце 90-х годов, например, в Корпорации "Фазотрон-НИИР" разработаны принципы конструирования изделий, направленные на:

- резкое сокращение средств, времени и труда при разработке, испытаниях, подготовке производства и эксплуатации изделий;
- обеспечение межвидовой и внутривидовой унификации авиационных и наземных ударно-разведывательных радаров и их элементов, что дало возможность сократить цикл "научные исследования - разработка - производство" на 2-4 года.

Эти принципы конструирования представлены на рис. 3.



Рис. 3. Принципы конструирования

Эти принципы реализованы при создании не только конкретного вида продукта, но и приемлемы для большого количества различных видов продукции машиностроения и, особенно, при создании сложных технических систем, применяемых в авиационной отрасли.

Опережающее развитие технологий и оптимальные их взаимосвязи с конструированием технических систем - путь активной конкуренции на рынке через качество продукта и его конкурентоспособные технико-экономические параметры.

Создание новых технических систем требует не только применения представленных выше новых принципов конструирования, но и новых принципов организации технологии. Представляется, что эти принципы основаны на единстве процесса создания конструкции, компонентов, технологии и оптимизации конструкторско-технологических характеристик (КТХ) и производства.

Средой для выполнения данных условий могут быть опережающая технология и высококачественное оборудование.

Производство - это система операционного превращения материалов и компонентов посредством технологий в заданную конструкцию. Получение требуемых технических характеристик изделия в заданные сроки осуществляется на основе оптимизации конструкторско-технологических решений (КТР). Условие обеспечения заданных технических характеристик в установленные сроки сродни производственной среде, в

которой имеются современные опережающие технологии, высокопроизводительное оборудование и банк данных конструкторско-технологических решений. Общесистемные принципы конструирования сложных технических систем, предполагают оптимизацию конструкторско-технологических решений, на основе чего создается банк унифицированных прогрессивных конструкторско-технологических решений.

При создании сложных технических систем общесистемные принципы конструирования и принципы единства процессов создания конструкции, компонентов, технологии и организации производства хорошо реализуются в условиях обеспечения преемственности фундаментальных и прикладных исследований, единства создания конструкции, материалов и компонентов и моделирования внутренних и внешних процессов. В процессе создания технической системы происходят выбор и разработка компонентов, обоснование технических характеристик и решений, выбор технологии и производственной базы.

Принципы создания новой технологии, базирующиеся на единстве стадий процесса разработки конструкции изделия, технологии и организации серийного производства, приведены на рис. 4.

Суть новизны этих принципов заключается в системном и комплексном подходе к проведению НИОКР, разработки технологии, подготовке и организации серийного производства, как единого процесса, обеспечивающего высокий технологический уровень разработки, ТХ, подготовки и организации производства в сроки одновременно (или почти одновременно) с окончанием испытаний изделия при минимизации затрат на подготовку производства и серийный выпуск единицы изделия. По ранее существующей технологии после окончания испытаний и корректировки конструкторской документации начинается процесс подготовки серийного производства, который, в зависимости от сложности, длится 1-2 года. Новая технология создания сложных технических систем позволяет сократить это время, что очень важно не только с позиции экономии средств, времени и труда, но и для обеспечения передовых позиций на новых рынках или расширения уже существующих сегментов рынка. Во-вторых, при применении такой технологии изделие имеет более высокие технико-экономические характеристики, качество, надежность при сокращении затрат на эксплуатацию.

Базируясь на принципах единства стадий процесса разработки конструкции изделия, организации разработки технологии и подготовки серийного производства, разработана типовая модель технического обеспечения проектирования изделия на этой основе (рис. 5).

Каждый этап модели технического обеспечения проектирования имеет свои особенности, но все они взаимосвязаны между собой и в совокупности соответствуют принципу единства процесса стадий разработки конструкции, технологической разработки и подготовки серийного производства.

В соответствии с этой моделью на стадии ранних этапов проектирования происходит формирование КТР, то есть анализируется и оценивается производственная технологичность изделий и



Рис. 4. Принципы технологического обеспечения производства

производства, ресурсов и сроков освоения. После этого формируются требования к новым КТР. Продолжается разработка новых КТР (формирование и получение фонда КТР). Эта стадия характеризуется также разработкой на основе технического задания выбора КТР и технического проектирования, а также проектирования различных отдельных частей изделия и приборов. Определяются требования к специальному технологическому оборудованию и разрабатывается директивная техническая документация. Важно, что уже на этом этапе разрабатываются технико-экономические обоснования (ТЭО) реконструкции производства и начинается реконструкция производственных участков.

Как видно, на этой стадии в полном объеме конструкторской документации еще нет, но уже на основе выработанных технологических решений начинается формирование пакета программ по реконструкции производства и участков, что очень важно для ускорения темпов создания изделия и его серийного производства.

На этапе разработки КД продолжается и заканчивается формирование КТР, их анализ, оценка производственной технологичности изделий и производства, анализируются ресурсы и сроки освоения изделия в производстве. Продолжается и заканчивается формирование требований к новым КТР, разработка новых КТР и формирование их фонда. Важно, что на этом этапе осуществляется окончательный выбор КТР и заканчивается разработка конструкторской документации. На этой стадии проектируется технология, в том числе рабочая техническая документация, производится экспериментальная отработка изделий, включая технологические решения, изготавливаются опытные образцы, оценивается готовность конструкторской документации к серийному производству, а также готовность производственных участков к серийному производству.

Этап испытаний изделия совмещен с окончанием подготовки конструкторской документации для серийного производства. Необходимо всегда помнить, что отступление от выполнения тех или иных этапов работ приводит не только к потере качества, но и увеличивает трудоемкость и сроки освоения изделий. Производится оценка готовности к серийному производству конструкторской документации и производственных участков, начинается серийный выпуск изделий.

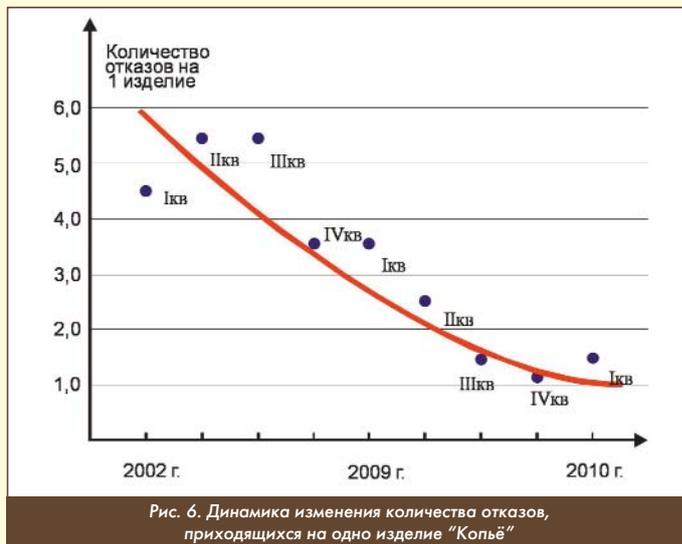


Рис. 6. Динамика изменения количества отказов, приходящихся на одно изделие "Копь"

Эти важные особенности ускорения продвижения продукта на рынок позволяют обеспечить:

- высокий уровень качества изделий и в этом суть основных мероприятий по улучшению качества;
- конкурентоспособность на рынке при минимизации затрат на всех стадиях разработки и производства.

Таким образом, для обеспечения высокого качества продукции следует общий системный менеджмент ориентировать на решение задач по реализации основных принципов и методов организации производства и труда.

Главным в настоящий период развития является серьезная модернизация производства и научно-технической базы научных исследований и разработки изделий. То есть развитие мощностей в этих областях деятельности должно быть направлено на изменение общей культуры производства и оснащение его новым прогрессивным оборудованием. В этом случае с компьютера конструктора должна передаваться программа обработки в цифровом виде в производство.

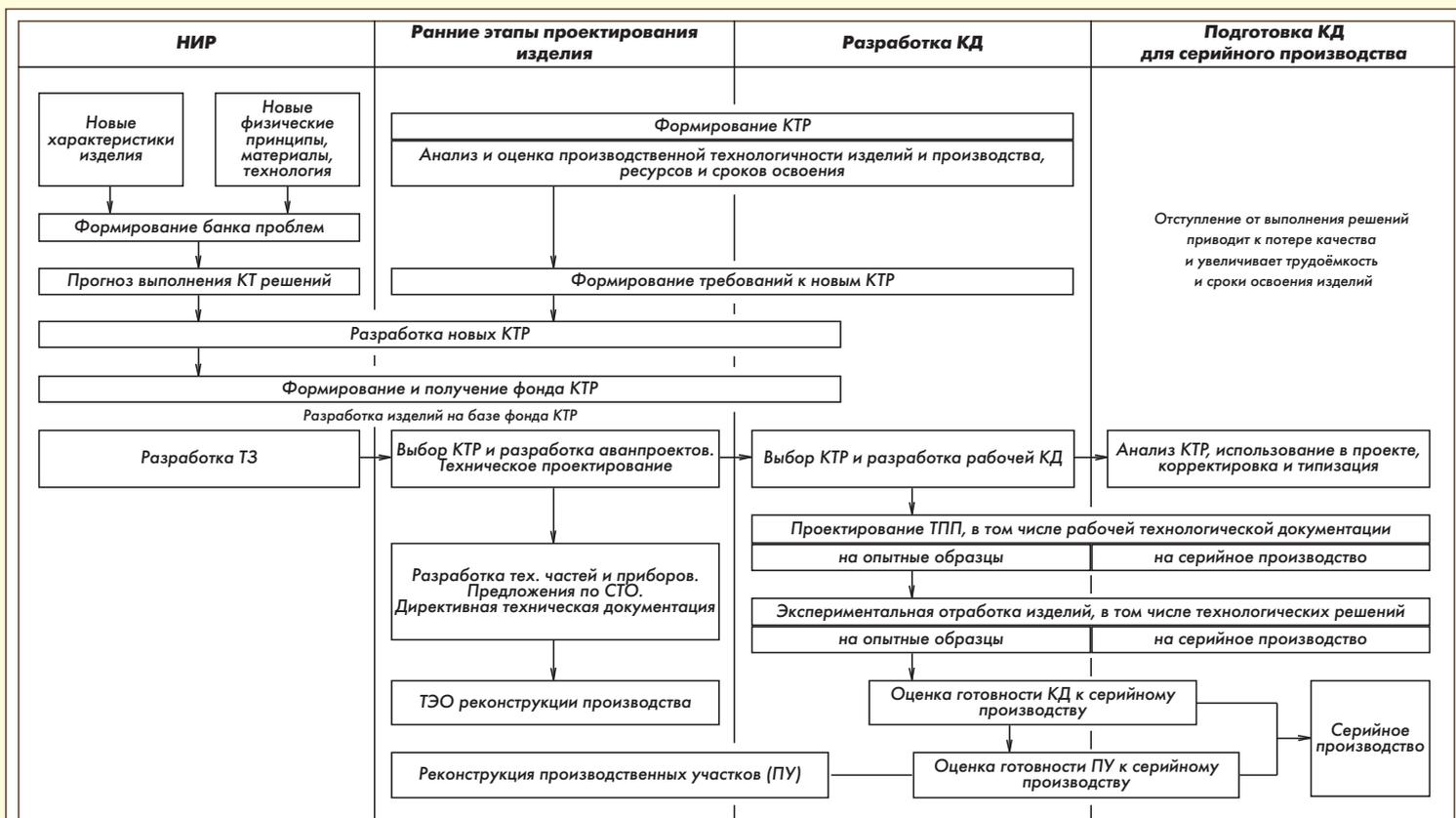


Рис. 5. Модель (типовая) технического обеспечения проектирования изделия

Применяя вышеизложенные методы организации управления качеством через совершенствование менеджмента в области организации производства и разработок, имеется много положительных примеров, когда достигаются серьезные показатели по повышению качества продукции. Пример по одному из изделий:

**Выводы**

Система организации управления и ее центральная функция - система планирования - должны быть направлены на создание оптимального организационно-технического уровня производства и разработок в интересах конкурентоспособного качества продукции и высокой финансовой производительности. 

**Литература**

1. А.И. Канащенков. Теория и практика управления современными организационно-экономическими системами (на опыте российских предприятий). М.: Блок-Информ-Экспресс, 2000.
2. Кокинг Г. Управление результативностью. Как преодолеть разрыв между объявленной стратегией и контролем. Перевод с английского - М.: Альпина Бизнес Букс, 2007.
3. Thomas C. Powell. Total Quality Management as Competitive Advantage, Strategic Management Journal, January, 1995.
4. M. Walton. The Deming Management Method, New York, Pedigree, 1986.

Связь с автором: [snt@western-metal.ru](mailto:snt@western-metal.ru)

**ИНФОРМАЦИЯ**

На выставке HeliRussia 2012 компания Turbomeca (Группа Safran) и ОАО "Вертолеты России" представили полноразмерный макет двигателя Ardiden 3G, которым будет оснащен средний многоцелевой вертолет Ка-62. Год назад на выставке HeliRussia 2011 ОАО "Вертолеты России" и Turbo-меса подписали соглашения о разработке и поставке двигателя Ardiden 3G для оснащения вертолета Ка-62.

Предназначенный для многоцелевого применения в различных областях таких как нефте- и газопромысел, поисково-спа-

сательные операции и пассажирские перевозки, Ка-62 будет оснащен двумя двигателями Ardiden 3G - специальным вариантом семейства Ardiden 3 с техническими характеристиками, оптимизированными для применения в указанных областях. Созданные для оснащения вертолетов грузоподъемностью 6...8 т, двигатели Ardiden 3 обеспечивают в любых климатических условиях рабочие характеристики в данном диапазоне мощности.

Благодаря модульной конструкции и двухканальной электронно-цифровой сис-

теме управления (FADEC), двигатель Ardiden 3 отличается высокой надежностью, низкими затратами на эксплуатацию (период между проведением ремонта составляет 5000 ч на момент ввода в эксплуатацию, затем - 6000 ч на более позднем этапе), малым расходом топлива (более чем на 10 % ниже по сравнению с другими двигателями такой же мощности). Целевые значения характеристик двигателя уже были подтверждены во время испытаний. Сертификация Ardiden 3G ожидается в 2014 г. 

НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ **ДЕЛЬТА-ТЕСТ**

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ



**ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ СТАНКИ И ТЕХНОЛОГИИ**



Электроэрозионные (электроискровые) станки **АРТА** для высокоточной 2-х - 6-ти координатной обработки

- ▶ **ШИРОКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ:**
  - изготовление штампов и пресс-форм, инструмента
  - резка нестандартных материалов (графиты, магниты, РСД)
  - микрообработка (проволокой-электродом от 10мкм): нанодетали, СВЧ-техника
- ▶ **КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ МИРОВОГО УРОВНЯ:**
  - жесткая конструкция
  - прецизионные безлюфтовые ШВП, линейные направляющие (Япония)
  - система ЧПУ в промышленном исполнении
  - генератор технологического тока на базе мощных транзисторов с микропроцессорным управлением и отслеживанием единичных импульсов
- ▶ **ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ СЕРВИСА:**
  - пусконаладка, обучение, гарантийное и послегарантийное обслуживание
  - разработка специальных технологий обработки
  - относительно невысокая стоимость расходных материалов и изнашиваемых частей (в сравнении с импортным оборудованием)

141190, Московская область, г.Фрязино, Заводской проезд, 4. тел./факс: (495) 995-09-68, (49656) 471-44, 494-55

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

# ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС В ЖРД

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

*Турбулентность в камере ЖРД при определенных условиях может установиться таким образом, что формирующие ее солитоны будут представлять собой пространственные периодические структуры: вихри, торсионные жгуты, винтовые течения и прочее. Формирование периодических структур зависит от геометрических особенностей камеры сгорания. Это могут быть выступающие в поток форсунки, антиакустические кресты, естественные резонаторы в виде застойных зон, области смещения пристенных струй и т.д. С определенного момента пространственная периодичность может переходить во временную. При этом возникают колебания среды, а энергия вращательного, торсионного, винтового и прочего движения перекачивается в автоколебательную энергию и может привести к неустойчивой работе ЖРД. В данном случае автоколебания могут рассматриваться как акустические солитоны. При этом дисперсия автоколебательной системы конкурирует с нелинейностью процессов и достигается баланс этих понятий. После чего амплитуда и частота в сформировавшейся автоколебательной системе становятся неизменными.*

Неустойчивость ЖРД связана с автоколебательными процессами, возникающими в продуктах сгорания камеры и в подводящих трубопроводах окислителя и горючего. Процесс возникновения таких колебаний связан с турбулентностью, которая зарождается при горении и истечении по каналам двигателя как компонентов, так и продуктов сгорания. В первом случае, когда причиной является турбулентность исходных компонентов горючего и окислителя, возможно возникновение низкочастотной неустойчивости. Турбулентность в этом случае "грубая" и крупномасштабная. Здесь решающим образом на ее возникновение влияют повороты, радиусы скругления конструкции, а также двухфазные эффекты: коагуляция, дробление, испарение и, наконец, горение. Масштабы турбулентности формируют периодические структуры, энергия которых переходит в низкочастотные колебания с частотой ~10 Гц.

В камере сгорания, сразу после зоны горения, формируются тонкодисперсные турбулентные структуры. Они определяются неравновесностями, оставшимися после сгорания компонентов, разностью параметров в процессах кинетики и диффузии (числами Дамкеллера) и конечно же конструктивными особенностями, включающими систему завесного охлаждения и трение. Такая турбулентность порождает высокие частоты ~1000 Гц и более.

И в том и в другом случае возникает автоколебания, то есть такой вид колебаний, который не предполагает внешнего периодического воздействия на систему. Последний случай называется вынужденными колебаниями и подробно рассмотрен в ряде работ. Автоколебания формируются в условиях нелинейных газодинамических течений. Это весьма устойчивые структуры, которые продолжительное время не затухают, а поддерживаются энергией из самой системы. В настоящее время автоколебания газодинамических систем, таких как ЖРД, находятся на самой ранней стадии изучения. Математический аппарат, разработанный по данной проблеме либо эмпирический, либо нелинейности, возникающая в системе, решается псевдолинейными методами Пуанкаре, Ляпунова и Ван-дер-Поля, где она предполагается или просто малой, или близкой к синусоидальной. В итоге задача все равно сводится к линейной, а общая проблема нелинейности остается без решения. В настоящее время перспективными считаются направления, связанные с разработкой методов обратной задачи рассеяния, с поисками преобразований типа Беклунда и конечно с широким использованием численных методов. Следует также отметить, что прежде чем решать (а точнее пытаться) нелинейные уравнения, целесообразно провести тест на соответствие возможному решению по теореме Ковалевской-Пенлеве [1, 2].

## Автоколебания в ЖРД

Принятые на сегодняшний день формулировки, характеризующие автоколебания в системах двигательных и энергетических установок базируются на якобы заранее заложенных природой гармонических пульсациях давления. То есть утверждается, что в любой двигательной системе всегда имеется шум и давление пульсирует также всегда. Эти негармонические колебания (пульсации) возникают самопроизвольно и причиной этому могут служить, в том числе различные преобразования внутренней энергии исходных компонентов в тепло.

В действительности задачи возникновения пульсаций выглядят весьма разнородными, представляют многообразными по своей природе и не имеющими между собой ничего общего. Автоколебания рассматривались и рассматриваются в разных ипостасях. Например, наиболее яркая задача - это задача об автоколебаниях при горении топливной смеси в горле резонатора Гельмгольца. Актуальной автоколебательной задачей также является задача неустойчивости горения в ракетных двигателях.

Установлено для всех случаев, что автоколебания возникают при выполнении определенных условий, известных как условия неустойчивости. Они развиваются и поддерживаются без внешнего гармонического управления. Установлено также, что в одних случаях малые колебания начинают практически с нулевых амплитуд (мягкий режим самовозбуждения), в других - требуется начальный амплитудный толчок (жесткий режим).

Во многих книгах констатируется, что амплитуда установившихся автоколебаний имеет конечную величину и определяется главным образом нелинейностью параметров системы, а частота - параметрами входящего в систему частотно-избирательного элемента, чаще всего - резонатора. В книге [3] говорится, что автоколебательный режим занимает некоторое промежуточное положение между стационарностью и катастрофой. Так, например, в физике горения это: стационарное горение - вибрационное горение - взрыв.

Не вызывает сомнений, что наибольшие успехи в исследовании и использовании автоколебательных процессов и устройств достигнуты в области электроники. Приблизительно на том же уровне находится представление об автоколебаниях в области систем управления. Очень большой объем теоретических и экспериментальных работ выполнен при изучении термоакустической неустойчивости горения топливных систем. Предложено и циркулирует в литературе порядка двух десятков так называемых "механизмов неустойчивости" горения. Все они, как правило, умозрительные и не подкреплены достаточно строгими теориями.



Джон Скотт Рассел, шотландский естествоиспытатель, первооткрыватель солитонов  
 Софья Васильевна Ковалевская, великий русский математик  
 Поль Пенлеве, известный французский математик  
 Михаил Львович Филимонов, российский газодинамик и математик-программист

Как показывают исследования в области электроники, в которой автоколебательные процессы наиболее хорошо изучены, типичный автогенератор гармонических колебаний должен содержать: источник энергии, усилитель возмущений, охваченный обратной связью и частотно-избирательный элемент. Перевод на язык газодинамики необходимо иметь: колебательный контур, устройство подпитки системы энергией и перепускной клапан.

Многие исследователи, принимая данную модель, тем не менее считают, что процесс автоколебаний в таком газодинамическом контуре может наступить случайно, совершенно неожиданно, а условия возникновения автоколебаний совершенно не предсказуемы. Различные авторы говорят, что автоколебания могут возникнуть от множества причин (как уже говорилось, в книге [3] приводится двадцать причин возникновения автоколебаний). На самом деле причина всегда одна. Просто авторы о ней пока не знают.

Суммируя сказанное выше можно констатировать, что автоколебания - это такие гармонические колебания, при которых за счет некоторой диссипации (дисперсии) происходит падение амплитуды с течением времени за счет расходования диссипативной энергии, но это падение компенсируется в связи с работой внутри системы аппарата нелинейности, который восстанавливает амплитуду и частоту до начального положения. Конкуренция дисперсии в колебательном контуре и нелинейности приводит к возникновению автоколебаний.

Экспериментально установлено, что автоколебания могут возникать при самых различных ситуациях. Например, в трубах могут быть возбуждены мощные автоколебания воздушного столба, музыкальные инструменты, построенные на принципе движения звуковых волн вдоль труб могут иметь различные инициаторы звуковых волн (автоколебаний).

Духовые инструменты делятся на язычковые (кларнет, гобой, саксофон и др.) и мундштуковые (труба, тромбон и др.). В последнем возбудителем являются губы музыканта, вдавливаемые в чашечку мундштука и работающие на манер голосовых связок. В язычковых инструментах автоколебания имеют частоту, колеблющегося язычка.

Термоакустические трубы (трубы Рийке) работают на том же принципе, только колебания совершает нагретая сетка.

Замечательным способом издавания красивых звуков является использование так называемых золотых арф, представляющих собой рамки с настроенными в унисон струнами, установленных на открытом воздухе и издающих под влиянием ветра слабый мелодичный звук. Струналом было обнаружено, что частота звука прямо пропорциональна скорости потока и обратно пропорциональна диаметру струны. Кроме золотых тонов давно уже наблюдались так называемые гусливые и кленовые тоны. Часто образование перечисленных выше звуковых эффектов идентифицируют с возникновением вихрей за плохо обтекаемыми телами. Особенности турбулентного течения такие как срывающиеся вихри, кручение потока и прочее являются причиной возникновения периодических течений, которые в последующем могут переходить в колебательные движения.

Таким образом, возникновение периодических временных структур связано с турбулентностью в конструкциях.

### **Солитоны - причина возникновения периодических турбулентных структур**

Любая пространственная структура потока может считаться турбулентной. Она способна приводить к появлению, так называемых традиционно, пульсаций. Это могут быть пульсации давления, скорости, плотности, температуры и прочее. Пульсации в течениях - всегда вторичные понятия. Это результат воздействия на ближайшую элементарную массу части импульса от поступательного, волнового, вращательного или торсионного потока. Поэтому понятие пульсация имеет категорию случайности как по координате, так и по времени. В связи с чем, она (пульсация) никогда не будет первопричиной. Это - лишь частный параметр, сильно ограниченный своими возможностями.

Феноменологическое фундаментальное газодинамическое уравнение Навье-Стокса ни в одном своем члене не содержит даже намек на пульсацию, хотя оно абсолютно полно и подробно описывает все формы движения, в том числе и турбулентные. Переходя к анализу уравнения Навье-Стокса всегда хочется обратить внимание на то, что оно нелинейное и, как говорят многие книги, аналитически не решается. Не вдаваясь в дискуссию с подобными авторами скажем так, что пока не решаются, потому что они этого делать не умеют. В данной статье не будет попытки решить уравнение Навье-Стокса. Некоторые преобразования уже изложены в предыдущих работах. Будут рассмотрены возможности локализованных решений данного уравнения, а именно солитонов. Эти решения будут полезны в дальнейшем для вывода условий возникновения автоколебательных процессов. Итак, уравнение Навье-Стокса (векторное) содержит нелинейный член в виде конвективной составляющей. Например, в проекции на ось  $x$  ее можно записать как произведение  $v_x \cdot (\partial v_x / \partial x)$ . Отбросив этот член, что часто делают аспиранты и студенты МФТИ, можно получить линейное уравнение, которое в общем-то и решать не надо. Его уже решили. А вот если этот член не отбрасывать, то его наличие может привести к образованию локализованных решений - солитонов. Впервые солитон физически наблюдал замечательный шотландский инженер Джон Скотт Рассел. При жизни он был затерт "авторитетами" от науки и умер в одиночестве без соответствующих почестей и регалий. Сегодня его имя с трепетом и благодарностью вспоминается учеными из многих направлений науки и техники, где были открыты солитоны: в гидродинамике, электрофизике, оптике, нейрохирургии, химии, небесной механике и др.

В последующем очень подробно о солитонах было написано во многих книгах и статьях. Одна из наиболее эмоциональных, простых и понятных в изложении является монография А.Т. Филиппова [4].

Образование солитона возможно только в одном случае, когда уравниваются два фундаментальных понятия в волновой физике. Это - дисперсия и нелинейность. Если о дисперсии много написано и мы привыкли воспринимать ее как свойство, которое приводит к расплыванию стоячей волны, ее растягиванию по оси, превращая зачастую из пикообразной в волну с малой амплитудой и длинными ниспадающими полками, то нелинейность первоначально понятие математическое. Подробное исследование нелинейных коэффициентов в дифференциальных уравнениях показало, что наличие их в любой форме, так называемая сильная нелинейность или слабая, расположение этих коэффициентов в уравнении, их пересечения и т.д. могут приводить к различным физическим эффектам. Так, например, нелинейные коэффициенты приводят к тому, что стоячая волна может собираться, локализоваться и превращаться в градиентную, подобно градиентному волнам Кельвина-Гельмгольца, форма которых зависит от амплитуды.

В итоге получается, что два отмеченных эффекта, связанные с дисперсией и нелинейностью, действуют в разных направлениях. Их уравнивание приводит к образованию так называемых уединенных волн (по Дж. Ск. Расселу) или к солитонам, которые так были названы в 1965 г. двумя американскими учеными М. Крускалом и Н. Забуски. По свидетельству А.Т. Филиппова, солитон находится между Сциллой нелинейности и Харибдой дисперсии, и может образовываться, когда уравниваются эффекты нелинейности, делающие холмик более крутым и стремящиеся опрокинуть его, и эффекты дисперсии, делающие его более пологим и стремящиеся размыть его.

Известные эффекты, присутствующие в турбулентных течениях, а именно такие устойчивые состояния потока, как волны Толмина-Шлихтинга, градиентные волны Кельвина-Гельмгольца, вихри Тейлора-Гертлера, устойчивые парные жгуты и др., являются именно солитонами. Возникновению этих устойчивых турбулентных образований предшествуют причины образования солитонов, а именно: дисперсия и нелинейность. Наличие солитонов способствует возникновению периодических течений, связанных с пространственной характеристикой, а именно с длиной волны  $\lambda$ . Эта пространственная периодичность связана с временной периодичностью простыми соотношениями  $a = \lambda/T$  и  $\omega_0 = 2\pi/T$  и должна рассматриваться неразрывно. Простым примером служит воздействие на скорость оператора  $\text{rot}$  или  $\text{rot} \text{rot}$ . В этом случае непериодическая функция скорость после воздействия на нее этих операторов становится периодической.

Важным обстоятельством становится то, что периодические процессы, если они возникли, естественно сохраняются и могут переходить из одной формы в другую. Например периодического вращательного процесса может перекачиваться в энергию колебательного процесса. С математической точки зрения здесь тоже все понятно.

Достаточно упомянуть, что и в физике и в математике существует понятие частота и круговая частота.

**Возникновение автоколебаний. Необходимые и достаточные условия (теорема)**

Из предыдущего анализа следует, что если в ЖРД содержатся как обычно помимо цилиндрической камеры все необходимые атрибуты: форсунки, зоны завесного охлаждения, противоакустические кресты, резонаторы и т.п., то возникает турбулентный поток. Если в этом потоке реализуются условия дисперсии и нелинейности, то возможно возникновение особых устойчивых образований - солитонов, которые приведут к появлению периодических структур: вихрям, торсионным жгутам, винтовым течениям и т.д. Появление периодических течений может явиться причиной автоколебаний, так как автоколебательный процесс по существу является временным или акустическим солитоном.

Рассмотрим с математической точки зрения условия, когда может появиться автоколебательный процесс. Для этого нужно соблюдение двух условий необходимого и достаточного. Необходимым условием будет наличие колебания газового столба. Достаточным условием - сохранение амплитуды и частоты в процессе всего времени существования автоколебательного режима.

**Необходимое условие.**

В соответствии с [5] колебательные движения газа в камере ЖРД возникнут и будут существовать при условии выполнения следующего неравенства  $\Phi Z > 1/4$ , где  $\Phi Z$  - критерий Филина-Зенина, представляющий собой комбинацию, составленную на базе известных параметров поля абсолютных скоростей в камере

$$\Phi Z = \frac{\kappa V^3}{\nu a^2} \cdot \frac{d}{d\tau} \frac{V}{\text{rot}^2 V} = \frac{\kappa V^4}{\nu a^2} \cdot \frac{d}{dr} \frac{V}{\text{rot}^2 V}$$

Здесь  $\kappa$ ,  $\nu$  и  $a$  - показатель адиабаты Пуассона, кинематическая вязкость и местная скорость звука.

В решениях уравнения главного колебательного звена в автоколебательной системе будут присутствовать синусоидальные функции, содержащие модулирующий множитель и члены, зависящие от граничных условий. Решения могут быть как затухающие, так и возрастающие по амплитуде.

**Достаточное условие.**

Чтобы сформировать достаточное условие существования автоколебаний следует записать главное дифференциальное уравнение колебательного звена в виде [5]

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

Очевидно, что автоколебания возникнут в случае равенства дисперсного и нелинейного членов. То есть необходимо приравнять второй член в левой части уравнения и член в правой части, тогда

$$\frac{1}{R^2} d\tilde{p} = \rho \omega^2 d \ln \frac{\omega}{R}$$

После преобразований последнее уравнение запишется в виде

$$d \ln \frac{\rho v^2}{2} = 2 d \ln \frac{R}{\omega}$$

После интегрирования получаем зависимость

$$\ln \frac{\rho v^2}{2} - \ln \left( \frac{R}{\omega} \right)^2 + c = 0,$$

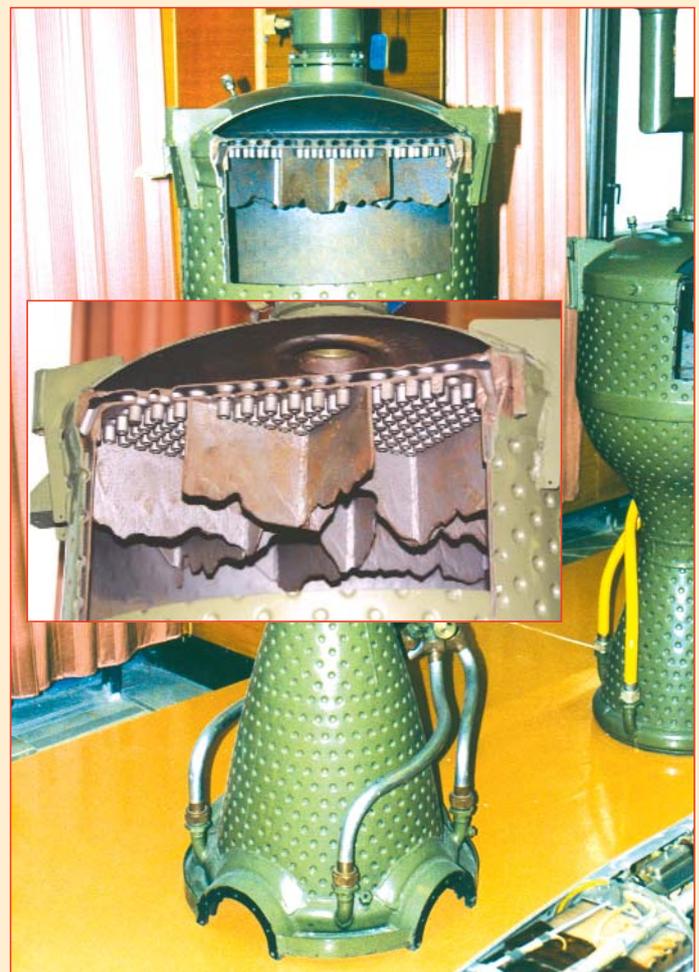
где  $c$  - постоянная интегрирования.

После очевидного преобразования и потенцирования членов, получаем  $\rho \omega^4 = \text{const}$ .

Последнее уравнение является достаточным условием существования автоколебаний. ▲

**Литература**

1. Городцов В.А. Софья Ковалевская, Поль Пенлеве и интегрируемость нелинейных уравнений сплошных сред. М. Физматлит, 2003.
2. Филимонов М.Л. Монотонная разностная схема для решения задач газовой динамики. М. ГОНТИ-8, 1970.
3. Гладышев В.Н. Автоколебания при горении и термоядерных взаимодействиях. Новосибирск НИЦ ОИ ГГМ СО РАН, 1999.
4. Филиппов А.Т. Многоликий солитон. М. Наука, 1986.
5. Кочетков Ю.М. Турбулентность. Возникновение неустойчивости в ЖРД. // Двигатель №2, 2012.



Для борьбы с ВЧ-колебаниями создателям ЖРД приходится искать конструктивные решения, одним из которых стал "крест Исаева"



**6-я международная специализированная выставка**

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



**Казань**

**14-17**  
**августа, 2012**



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

# 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, 2 - 2012)

История советской Лунной программы не будет полной, если не рассказать хотя бы вкратце о попытке спасти её путём создания альтернативного ракетно-космического комплекса УР-700 - ЛК-700. Для полноты восприятия эти работы излагаются в их непрерывной последовательности, параллельно происходившие события будут изложены по завершению этих работ.

Выпуск Постановления от 3 августа 1964 г., наконец-то привязавшего "бесхозную" ракету Н1 к конкретной целевой программе, не только воодушевил её разработчиков, но пробудил интерес других главных конструкторов ракетной техники к их возможному участию в этой программе. К этому времени в ОКБ Глушко завершились проектные работы по однокамерному двигателю на топливе АТ+НДМГ тягой 600 тс. Работы проводились в соответствии с Постановлением от 26.06.62 г., которым поручалось ОКБ-456 определить оптимальные параметры и характеристики ЖРД с тягой до 1000 тс в одной камере. Исследования завершились выпуском в 1963 г. предэскизного проекта двигателя 8Д420. В процессе проведения этой работы Глушко поставил задачу не только определить оптимальную тягу для мощного ЖРД, но и разработать схему двигателя, обеспечивающую максимально возможный удельный импульс тяги. Это был постоянный "пунктик" в его требованиях при разработке ЖРД и рассматривался им как фирменный знак двигателей, созданных под его руководством. Удельный импульс тяги в первую очередь определяет возможности ракеты, её скорость, дальность и массу полезного груза. Достигается это путём создания совершенной конструкции двигателя и большой мере зависит от степени расширения газов. Поскольку давление газов на срезе сопла двигателя первой ступени практически не бывает ниже 0,6 атм, то увеличение степени расширения обеспечивается повышением давления в камере сгорания. Расчёты показали, что максимальное давление в камере двигателя 8Д420 можно получить, применив схему "газ-газ", т. е. дожигать в камере восстановительный и окислительный генераторные газы. Это позволяло получить предельное для того этапа разработки ЖРД давление в камере 266 атм, а также рекордный для выбранного топлива удельный импульс тяги - 301 с на уровне Земли и 322 с в пустоте. Однако такая схема значительно усложняет конструкцию двигателя, т.к. содержит основные агрегаты в удвоенном количестве по сравнению с ранее применяемыми схемами: 2 газогенератора, 2 турбины, 6 насосов, почти удвоенное количество агрегатов автоматики. Всё это не только утяжеляло конструкцию, но и усложняло регулирование двигателя.

Опыт продуктивной работы с ОКБ Челомея по созданию ракеты УР-500 послужил основанием для обращения Глушко к Челомею с предложением рассмотреть возможность создания мощной космической ракеты, условное наименование - УР-1000. На первой ступени этой ракеты предлагалось установить 8 двигателей 8Д420, на второй ступени один двигатель 8Д420 с высотным соплом, на третьей ступени - 4 двигателя ОКБ Косберга, разработанных для второй ступени УР-500. Такая ракета будет способна выводить в околоземную орбиту полезный груз массой более 120 т. В заклю-

чении письма Глушко отмечает необходимость создания ракеты типа УР-1000 не позже ракеты "Сатурн-5" и предлагает подготовить проект Постановления с выпуском его в 1964 г. В этом случае начало лётных испытаний УР-1000 может быть назначено на 1967 г.

В.Н. Челомей положительно откликнулся на обращение Глушко и в начале 1965 г. подписал техническое задание на разработку двигателя 8Д420 с форсированием по тяге до 640 тс для его использования в составе уже проектируемого ракетно-космического комплекса УР-700. Эти предложения были реализованы в эскизном проекте двигателя 8Д420 и подготовленном комплекте конструкторской документации. Однако дальнейшие работы - технологическая подготовка производства на опытном заводе - не проводились в связи отсутствием финансирования этих работ. Это побудило Глушко обратиться с письмами аналогичного содержания к секретарю ЦК КПСС Д.Ф. Устинову (5 апреля 1965 г.) и министру МОМ С.А. Афанасьеву (13 апреля 1965 г.). В последнем он писал: "Советские ЖРД недопустимо сильно отстают от американских по мощности единичного двигателя. Так американский ЖРД типа F-1, развивающий на кислородно-керосиновом топливе тягу у земли 680 тонн, в декабре 1964 г. успешно прошёл официальные стендовые испытания с заказчиком, в то время как наш двигатель 8Д420 на примерно ту же тягу (600 т), но с существенно большей удельной тягой (на 40 сек!), в полтора раза более лёгкий и вдвое меньший по габариту, на более эксплуатационном высококипящем топливе, до сих пор не получил должного темпа разработки. Нами разработана полностью техническая документация и спущена в опытное производство ОКБ-456 ещё в 1964 г. Однако финансирование работ с 1965 г. прекращено министерством в связи с задержкой выхода в свет подготовленного проекта Постановления. Убедительно прошу Вашего положительного решения во избежание дальнейшей потери времени". Просьба была "услышана", по указанию Устинова, министерство деньги выделило, хотя и в несколько меньшем количестве, чем было запрошено. Так в середине 1965 г. на опытном заводе ОКБ-456 началось изготовление первых узлов двигателя 8Д420.



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

В конце августа 1965 г. состоялось заседание расширенного состава научно-технического совета министерства общего машиностроения. На заседании выступил Глушко с критикой многодвигательной схемы РН Н1 ("склад двигателей на борту ракеты") и доложил о разрабатываемом новом двигателе 8Д420 тягой 640 тс для первой ступени РН УР-700. Использование 7 - 8-ми таких двигателей в сочетании с установкой на второй и третьей ступенях двигателей РН УР-500 позволит выводить на опорную орбиту груз массой 135...140 т. Выступление было принято сдержанно, но по реакции министра было заметно, что информация о технических преимуществах РН УР-700 в сравнении с Н1 вызвала у него интерес.

Проектирование альтернативной ракеты УР-700 с использованием двигателей 8Д420 было воспринято Королёвым как продолжение политики Челомея по разрушению монополии ОКБ-1 в разработке отечественной космической техники. Такого посягательства после уже пробитой бреши в монополии выходом в эксплуатацию РН "Протон" Королёв допустить не мог. Определив в качестве главного звена в ракете УР-700 её двигатель тягой более 600 тс, Королёв решил нанести превентивный удар по этому элементу разрабатываемой конкурентами ракеты. 29.09.65 г. за подписью технических руководителей ОКБ-1 С.П. Королёва, В.П. Мишина С.С. Крюкова, К.Д. Бушуева и М.В. Мельникова в адрес министра МОМ была направлена "Докладная записка "О нецелесообразности разработки двигателей на АТ+НДМГ с тягой 600 т для тяжёлых ракет-носителей, выводящих на орбиту ИСЗ полезные грузы весом 150-200 т". "Докладная записка" по объёму и содержанию представляла небольшой научно-технический отчёт, содержащий доводы, вынесенные в заголовок. Эта же мысль содержалась и в первом пункте выводов, во втором пункте указывалось, что "наиболее рациональным является использование уже разработанных двигателей с тягой 150 т на компонентах кислород-керосин с дальнейшим конструктивным и энергетическим совершенствованием всех ступеней ракеты Н1...".

Получив очередную научно-техническую "задачку", министр поручил отраслевому НИИ-88 срочно провести экспертизу целесообразности разработки двигателя 8Д420 и использования его в составе Лунного космического комплекса. О проектировании в ОКБ Челомея альтернативной ракеты УР-700 с двигателем 8Д420 в НИИ-88 было известно до поручения министра и у руководства института уже сложилось отношение к этой работе. В связи с этим для выполнения полученного задания не потребовалось длительного времени и в начале октября 1965 г. директор НИИ-88 Ю.А. Мозжорин подписал заключение, в котором отмечалось, что разработка кислородно-керосиновых двигателей для комплекса Н1-Л3 может быть завершена через 1,5 - 2 года. На разработку новой ракеты типа УР-700 с использованием двигателя 8Д420 потребуются времени не меньше указанного. Поэтому целесообразно организовать всемерное форсирование работ по принятому варианту носителя Н1. А двигатели тягой 600 тс и более могут найти применение в лучшем случае через 10 - 15 лет. Кроме технической стороны, в заключении указывалось на недостаток финансовых средств для ведения одновременной разработки двух носителей - Н1 и УР-700, предназначенных для решения одной и той же космической задачи.

О событиях, связанных с выполнением поручения министра, Мозжорин вспоминает в своей книге. Ещё до утверждения заключения его пригласил к себе в ОКБ Челомей и повёл разговор о перспективах отечественной космонавтики и разработке нового носителя УР-700 в замен Н1. Мозжорину не удалось уклониться от признания, что НИИ-88 подготовило отрицательное заключение по этому поводу. Главный довод - экономика страны не потянет изготовление двух мощных ракет-носителей, а закрывать разработку Н1, на которую уже истрчено более 500 млн рублей, в пользу нового, пусть даже лучшего носителя, ни у кого не хватит ни аргументации, ни смелости выходить с таким предложением "наверх". Последний аргумент Мозжорина: "Тем более, что



Ю.А. Мозжорин

носитель Н1 ещё не летал, и поэтому он хороший" - носил шуточный характер, но шутку Челомей не воспринял. Беседа закончилась явным неудовольствием принимающего.

Через пару дней Мозжорину позвонил Устинов и высказал своё негативное отношение к позиции, занятой НИИ-88 к разработке УР-700. Но ни этот звонок, ни предыдущая беседа с Челомеем не изменили позицию НИИ-88 и заключение с отрицательными выводами было подписано Мозжориным и направлено в ВПК и МОМ.

Негативное отношение ОКБ-1 и НИИ-88 к предложению разработать альтернативный вариант РН, а также успехи американцев в реализации намеченной Лунной программы, в частности, успешное завершение официальных стендовых испытаний двигателя F-1 первой ступени РН "Сатурн-5" тягой 680 тс, побудили четырёх главных конструкторов: В.Н. Челомея, В.П. Глушко, В.П. Бармина и В.И. Кузнецова - обратиться 16 октября 1965 г. в МОМ с предложением приступить к разработке ракеты УР-700 с использованием двигателя 8Д420. Одним из обоснований целесообразности создания такого космического комплекса явилось сопоставление количества двигателей на 3-х ступенях "Сатурна-5" (5+5+1=11) и Н1 (30 + 8 + 4 = 42). От количества двигателей, по утверждению авторов письма, напрямую зависит надёжность всей ракеты, а в этом ракета Н1 выглядит существенно хуже "Сатурна-5". Предлагаемая ракета УР-700 будет создана на базе уже находящейся в лётной эксплуатации ракеты УР-500 путём установки на неё первой ступени из 8 двигателей 8Д420. Таким образом ракета УР-700 будет иметь 18 двигателей (8+6+4=18), т.е. на 24 двигателя меньше, чем ракета Н1. В письме приводились и другие достоинства ракеты УР-700 в сравнении с Н1: "Расчётно-конструкторские проработки показали, что на базе трёхступенчатой ракеты-носителя УР-700 может быть обеспечен прямой полёт космонавтов на Луну без каких-либо стыковок на орбитах вокруг Земли и Луны...". В заключении авторы писали: "Для решения задач полётов на Луну при интенсивной работе, начатой без промедления, к 1970 г. может быть создана тяжёлая ракета УР-700 с характеристиками, превышающими американские (прямой полёт на Луну), по более простой и надёжной схеме, чем "Сатурн-5" и Н1 и просим выпустить министерский приказ на выполнение эскизного проекта УР-700". Последняя просьба была выполнена, министр МОМ 20.10.65 г. подписал приказ о разработке предэскизного проекта комплекса УР-700, предусматривающего разработку двигателя 8Д420 в сроки, опережающие создание остальных ракетных систем. По свидетельству Г.А. Тюлина это был подстраховочный вариант министра на случай провала с реализацией проекта Н1-Л3. В конце 1966 г. межведомственная комиссия, организованная приказом министра МОМ от 12.09.66 г., рассмотрела представленный проект и подтвердила правильность разработанных технических решений комплекса УР-700 и возможность обеспечения его характеристик.



В.Н. Челомей

В.П. Глушко

В.П. Бармин

В.И. Кузнецов

Для проведения дальнейших работ по созданию комплекса УР-700 требовалось правительственное Постановление, подготовленный проект которого затерялся в недрах МОМ. В то же время отрыв американцев в реализации Лунной программы практически с каждым месяцем увеличивался и это не могло не беспокоить советское ракетно-космическое сообщество. Основываясь на фактическом положении дел с разработкой отечественного Лунного комплекса Н1-Л3, восемь главных конструкторов: В.Н. Челомей, В.П. Глушко, В.П. Бармин, В.Г. Сергеев, В.И. Кузнецов, А.Д. Конопатов, С.П. Изотов, А.М. Исаев и два директора отраслевых НИИ

В.Я. Лихущин и В.А. Пухов 12 декабря 1966 г. обратились в ЦК КПСС к маршалу Л.И. Брежневу с развёрнутым письмом. Проинформировав о неудовлетворительном состоянии дел с отработкой двигателей для комплекса Н1-Л3, авторы отметили: "В связи с изложенным возникает угроза того, что США первыми осуществят высадку двух космонавтов на Луну. В этом случае последующая посадка одного космонавта на Луну с помощью системы Н1-Л3 может рассматриваться как свидетельство отставания СССР в соревновании с США в развитии ракетной техники". Далее подробно излагаются технические и эксплуатационные преимущества предлагаемого космического комплекса УР-700 (космическая ракета) - ЛК-700 (лунный корабль) по сравнению с Н1-Л3, в том числе по грузоподъёмности и количеству двигателей. В заключение делается вывод и вносится очередное предложение: "Трудности, возникшие с разработкой Н1-Л3, требуют принятия безотлагательных мер по созданию системы УР-700 - ЛК-700, существенно отличающейся большей грузоподъёмностью и надёжностью, сравнительной простотой технических решений и рядом других преимуществ, а также большей перспективностью. [...] При безотлагательном принятии необходимых организационных мер, в том числе выходе в 1966 г. Постановления ЦК КПСС и СМ СССР по разработке УР-700 - ЛК-700, начало лётных испытаний возможно в конце 1968 г., а высадка советских космонавтов на Луну может быть осуществлена в конце 1969 г."

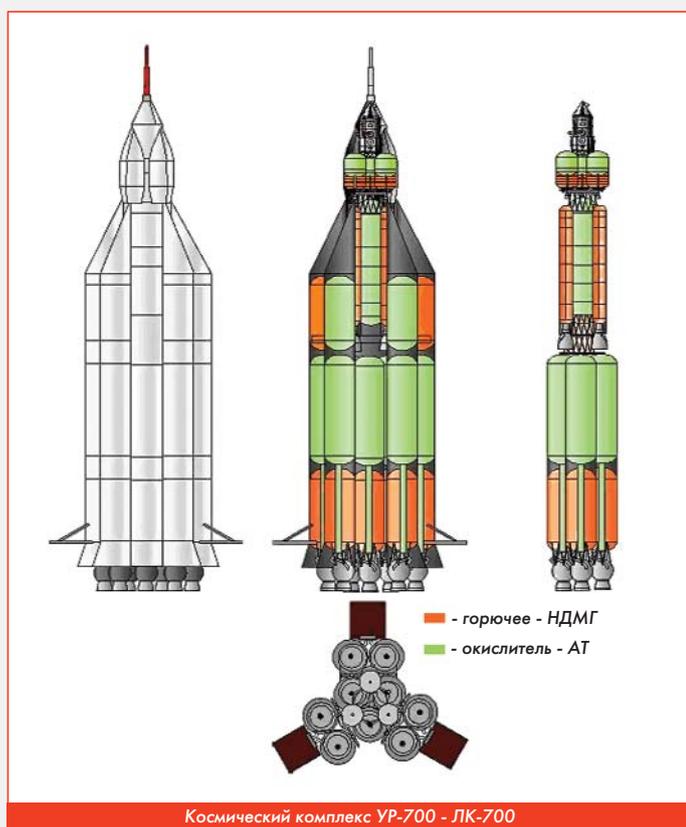
Считаю необходимым прокомментировать появление "письма четырёх", а затем и "письма десяти". У коллективных писем всегда имеется инициатор. В нашем случае по договоренности с Челомеем письма были подготовлены Глушко, но и остальных нельзя считать подписавшими его "за компанию". Уверен, что все подписавшие письма полностью поддерживали изложенную в них техническую позицию. В СССР главные конструкторы ОКБ и директора НИИ составляли научно-техническую элиту ракетной отрасли, их назначали решением коллегии министерства после многоуровневых согласований и одобрения секретарём ЦК КПСС, курирующего оборонную промышленность. Такие люди принципиально относились к содержанию подписываемых ими писем. Тем более в адрес политического лидера страны. Думается, что не случайно под "письмом десяти" нет подписей авторитетных Н.А. Пилюгина и М.С. Рязанского. Это письмо они либо отказались подписывать, либо, что вероятнее всего, им оно не предлагалось подписать в связи с продол-

жающимися у них доброжелательными отношениями с Мишиным. Из случаев отказа подписать коллективное письмо мне известен один такой - Глушко отказался подписать письмо в Президиум АН СССР с требованием лишить А.Д. Сахарова звания академика за его политические взгляды, сказав, что лично ему не известна инкриминируемая Сахарову политическая деятельность.

Однако обращение авторитетных в отечественном ракетостроении людей в высшую в стране инстанцию не получило ожидаемого ими эффекта. В связи с этим Глушко в письме от 10.07.67 г. к министру С.А. Афанасьеву отмечает: "Предложение, внесённое в ЦК КПСС десятью ведущими работниками ракетно-космической техники в конце 1966 г. по разработке системы УР-700 - ЛК-700 до сих пор не получило должной поддержки, а длительно подготавливаемый проект Постановления предусматривает разработку лишь эскизного проекта. В то же время УР-700-ЛК-700 лишено всех недостатков Н1-Л3, а именно, базируется на летавших надёжных двигателях, использует оснастку для изготовления баков летавших ракет УР-500 и УР-200, обеспечивает прямой полёт на Луну двух космонавтов и прямой возврат на Землю без всяких стыковок на орбитах, выводит на орбиту спутника Земли 135 т полезного груза, обеспечивает перспективу дальнейшего освоения Луны и планет, несколько превосходя американскую систему "Сатурн-5" - "Аполлон". [...] Следует наконец признать, что Н1-Л3 неконкурентоспособна с "Сатурн-5"-"Аполлон" ни по техническим данным, ни по срокам готовности и выполнения задачи. В связи с этим ничем не может быть оправдана дальнейшая задержка с разработкой УР-700 - ЛК-700. Рассчитывать на чудеса не приходится, поэтому срок, потребный для решения задачи высадки космонавтов на Луну, короче для более простой и надёжной системы УР-700 - ЛК-700, чем для Н1-Л3. Но нужно развернуть работы по УР-700 - ЛК-700, не теряя больше времени. Сохранение монополии ЦКБЭМ и отклонение проекта УР-700 - ЛК-700 на многие годы предопределят дальнейшие срывы, подчас с трагическим исходом, и усугубит нарастающее отставание СССР от США в ракетно-космическом состязании".

Подобные обращения были и от других главных конструкторов ракетных систем. Общими усилиями вопрос выпуска правилительственного Постановления был сдвинут. Похороненный в недрах МОМ проект Постановления был реанимирован и 17 ноября 1967 г. вышло Постановление на разработку в третьем квартале 1968 г. эскизного проекта космического комплекса УР-700 - ЛК-700. Отдельным пунктом в Постановлении было указано, что ОКБ Глушко поручается проведение экспериментальных работ по двигателю 8Д420 для подтверждения основных технических решений, изложенных в предэскизном проекте двигателя. Этим поручением открывались пути к проведению экспериментальных стендовых огневых испытаний двигателя. В развитие этого Постановления в декабре 1967 г. собрался СГК по комплексу УР-700 - ЛК-700, в решении которого главные конструкторы ракетных систем обязались своевременно представить состав эскизных проектов своих систем для включения в комплексный эскизный проект с дальнейшим его согласованием в МОМ, МО и АН СССР. Разработка эскизного проекта УР-700 - ЛК-700 завершилась в ноябре 1968 г.

Экспериментальная отработка двигателя 8Д420 имела существенные отличия от сложившейся в ОКБ Глушко методологии создания новых ЖРД. Высокие внутривыпускные давления и большие расходы компонентов топлива не позволили вести полную автономную отработку составных частей двигателя на имеющихся гидравлических стендах. Создание необходимых стендов и соответствующего оборудования требовало длительного времени и вложения больших средств. Из-за дефицита времени основную доводку конструкции агрегатов двигателя были вынуждены совместить с огневыми испытаниями двигателя в целом. Такая методика требовала проведения большого количества испытаний. Так, для достижения надёжности двигателя, необходимой для начала лётных испытаний, планировалось провести 550 огневых испытаний на 200-х экземплярах двигателей, перед началом лётных испытаний намечалось провести 45 сертификационных стендовых испытаний. Все эти работы должны были завершиться в 1972 г.



Огневые испытания двигателя 8Д420 проводились на открытом стенде в Химках с 23.10.67 г. по 24.07.69 г. Всего было проведено 27 огневых испытаний на 22-х двигателях, 3 двигателя прошли повторные испытания, один - испытывался 3 раза. Испытания были укорочены по времени, при 9 испытаниях двигатель выходил на номинальный режим по давлению в камере сгорания, часть испытаний имела аварийные исходы. Однако в связи с началом лётных испытаний комплекса Н1-Л3 Госкомиссия по РН Н1 30.07.69 г. приняла решение ограничить работы по УР-700 - ЛК-700 стадией выпуска эскизного проекта, что повлекло за собою подписание министром МОМ 9 августа 1969 г. приказа № 245 о приостановке дальнейших работ по двигателю 8Д420. 31 декабря 1970 г. тема УР-700 была окончательно закрыта. Это правительственное решение имело больше экономическую основу, хотя и в техническом отношении комплекс УР-700 - ЛК-700 вызывал у многих специалистов ракетно-космической отрасли серьёзные сомнения в целесообразности его эксплуатации из-за токсичности применяемого топлива. В.Н. Челомей спокойно отнёсся к прекращению работ по УР-700, т.к. приоритет в посещении Луны уже принадлежал американцам.

А вот Глушко прекращение работ по двигателю 8Д420 воспринял иначе. Свою досаду и разочарование безуспешным окончанием испытаний двигателя он выместил на ведущем конструкторе разработки, начальнике двигательного отдела А.Д. Дароне. Получив из 2-го ГУ МОМ письмо от 13.08.69 г., в котором сообщалось о "приостановке испытаний" (так в письме - В.Р.) и прекращении финансирования работ по двигателю 8Д420, Глушко провёл совещание со своими заместителями на тему: "Как будем реагировать на решение министра?". Один из заместителей высказал мнение, что прекращение работ по двигателю 8Д420 стало следствием неудовлетворительной статистики стендовых испытаний двигателя в части количества аварийных исходов. В качестве "доказательства" он напомнил об одном таком случае. Одна из аварий с разрушением стендовых систем произошла при испытании, проводимом 30 апреля, когда всё руководство предприятия находилось во Дворце культуры на торжественном вечере, посвящённом 1 мая. Об этой аварии кто-то "сигнализировал" в Министерство и привёл "подробности". Эта информация была доведена до министра и он объявил переговоры В.П. Глушко и его заместителю по экспериментальным работам В.И. Курбатову за то, что они не только не присутствовали при испытании, но даже не были в это время на территории предприятия, а "веселились на праздничном вечере". (А что бы изменилось от их присутствия на испытании?). Напоминание об этом случае было использовано как доказательство высказанного предположения о причине принятого министром решения о прекращении работ по двигателю 8Д420, а затем последовало предложение наказать виновного и в качестве такового был назван начальник двигательного отдела Дарон.

В.П. Радовский, возглавлявший в то время в КБЭМ направление работ, в которое входила и разработка двигателя 8Д420, не согласился с озвученной причиной принятого министром решения и тем более с определением Дарона в качестве виновника. Он горячо доказывал, что работы прекращены не из-за допущенных технических ошибок при разработке двигателя 8Д420, а в связи с бесперспективностью дальнейших работ с РН УР-700 после начала лётных испытаний РН Н1. Поэтому в КБЭМ никого наказывать не нужно, тем более Дарона, который весьма квалифицированно вёл эту тему. (О том, что практически все технические решения по двигателю 8Д420 принимались после обсуждения у Глушко и с его одобрения - Радовский дипломатично помолчал, считая, что Глушко об этом знает не хуже него).

Дарон работал в КБЭМ с 1948 г., прошёл школу освоения и последующей модернизации немецкого двигателя для использования в ракетах Р-1, Р-2 и Р-5. К августу 1969 г. за его плечами была успешная работа в качестве ведущего конструктора разработки (эквивалентно главному конструктору проекта) двигателей для ракет Р-7 и Р-9, он имел учёную степень доктора технических наук и звание профессора. В процессе разработки двигателей для ракет Р-7 и Р-9 Глушко близко познакомился с научно-техническим потен-

циалом Дарона и поручал ему выступать от ОКБ с основными докладами по отработке конструкций и параметров этих двигателей на межведомственных комиссиях, советах главных конструкторов и НТС ГКОТ. Поручение Глушко разрабатывать двигатель 8Д420 также показывало степень его доверия способностям Дарона. Но вот пришёл момент выбора и Глушко отдал предпочтение первому предложению.

Приняв решение о наказании, Глушко предложил Радовскому в соответствии с соподчинённостью провести с Дароном предварительный разговор. Но Радовский твёрдо стоял на своём мнении и отказался от выполнения этого поручения. Пришлось Глушко самому провести этот неприятный разговор.

В 20-х числах августа 1969 г. Глушко собрал в читальном зале технической библиотеке КБ ведущий состав конструкторских подразделений и объявил о принятом министром решении прекратить огневые испытания двигателей 8Д420. Такое решение министра, по словам Глушко, стало следствием недостаточно эффективной работы конструкторских подразделений и, в первую очередь, двигательного отдела. Обобщённая форма претензий, высказанных Глушко, фактически свидетельствовала, вопреки его позиции, об отсутствии серьёзных технических упущений в работе конструкторов. Такая же ситуация сложилась и с обвинением в адрес Дарона, которому Глушко за неимением возможности конкретно указать на допущенные технические ошибки, вынужден был инкриминировать отвлечение от основной работы на чтение курса лекций в Заочном машиностроительном институте, один из факультетов которого работал в режиме вечернего обучения и был расположен в Химках, недалеко от нашего КБ. "Я сам занимался преподавательской работой и знаю, сколько она отнимает времени" - подытожил Глушко свою обвинительную речь в адрес Дарона.

Одновременно с перемещением Дарона на должность начальника сектора в том же отделе, Глушко объявил ещё о двух изменениях в руководящем составе ОКБ. Зам. главного конструктора по одному из направлений В.И. Лаврентец переводился на новую должность зам. главного конструктора по координации работ в КБ, а возглавляемое им направление конструкторских работ передавалось В.П. Радовскому, начальник Приморского филиала Е.Н. Кузьмин увольнялся на пенсию, а на его место назначался энергичный молодой работник (как выяснилось позднее - главный инженер филиала). Всё это было высказано в контексте с прекращением работ по двигателю 8Д420 и прозвучало как вынужденное реформирование в связи с малоэффективной работой ОКБ. Это нашло своё отражение и в приказе о перемещении Дарона. В финальном пункте этого приказа указано: "Обратить внимание руководителей всех конструкторских отделов на необходимость серьёзного улучшения своей работы".

Выходя из зала библиотеки, мы пожимали плечами и удивлённо перелгядывались. Кроме Дарона ни Лаврентец, ни тем более Кузьмин не имели отношения к разработке двигателя 8Д420. А спустя некоторое время стало известно, что Лаврентца назначили возглавить но-



В.Ф. Рахманин и А.Д. Дарон

вое направление, введённое в структуру ОКБ оборонных предприятий правительственным Постановлением для лучшей координации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Кузьмин же уволился по собственному заявлению, дождавшись выхода решения о назначении ему персональной пенсии республиканского значения. Объединив в своём сообщении сразу три практически не связанных между собой изменения в кадровом составе КБ, Глушко, видимо, хотел показать коллективу конструкторов значимость принимаемых мер в связи с прекращением работ по двигателю 8Д420. Однако, после того, как стало известно о подлинных причинах перевода Лавренца на другую должность и увольнении Кузьмина на пенсию, в среде ведущих работников КБЭМ сложилось собственное мнение по поводу проведённой "реорганизации". Проводя практически одновременно три кадровых изменения, два из которых совпали по времени с решением министра о прекращении работ по двигателю 8Д420, Глушко переводил стрелку ответственности и показывал "внешнему миру" степень своей личной озабоченности за дальнейшее развитие отечественной ракетной техники. Если он действительно так считал, то, думается, глубоко заблуждался. Какие бы организационные меры внутри КБЭМ он не предпринимал, его "заклятые друзья" разработку двигателя 8Д420 всё равно воспринимали как техническую ошибку, а прекращение работ - как неспособность завершить создание двигателя, совершенство которого Глушко рекламировал в своих выступлениях на различных совещаниях и в письмах к руководителям ракетно-космической отрасли.

Двигатель 8Д420 был уникальным по своей схеме, в мировой практике ракетного двигателестроения ни до, ни после не было случаев использования схемы с дожиганием окислительного и восстановительного генераторных газов. Оценку этой разработке, ставшей воплощением технической идеи Глушко и проведённой под его руководством, сделаю позднее, подводя итоги всей многолетней и драматической истории создания ракеты Н1. Сейчас укажу только, что эта оценка неоднозначна.

Попытки Глушко принять участие в Лунной программе не ограничивались только созданием двигателя 8Д420 для комплекса УР-700 - ЛК-700. Он продолжал свою попытку "вылечить" Н1 от использования "гнилых", по его мнению, двигателей НК-15. Получив отказ в июле 1964 г. рассмотреть на Межведомственном экспертном совете М.В. Келдыша возможность замены двигателя НК-15 на 1Д43, в декабре 1966 г. Глушко вторично предложил такую замену. На этот раз у Глушко были более весомые аргументы: двигатель 1Д43 с июля 1965 г. находился в лётной эксплуатации в составе первой ступени РН "Протон". На этот раз Глушко предлагал использовать двигатель 1Д43М - модифицированный вариант, адаптированный под установку на первую ступень ракеты Н1, т.е. без системы качания двигателя.

Межведомственный совет рассмотрел это предложение Глушко. Отметив, что на момент рассмотрения двигатель 1Д43М имеет солидное количество успешных стендовых и лётных испытаний и достаточно высокую надёжность, экспертный совет всё-таки посчитал предложенную замену не целесообразной. Основной мотив: к началу лётных испытаний Н1 в 1968 г. штатный двигатель НК-15 наберёт такую же положительную статистику стендовых огневых испытаний и достигнет такой же надёжности. ("Эти бы слова да Богу в уши".)

На этом же заседании экспертного совета представители ОКБ-1 подняли вопрос о целесообразности разработки двух носителей для решения аналогичной космической задачи, имея в виду высадку на Луну советских космонавтов. А поскольку работы по комплексу Н1-ЛЗ продвинуты дальше, разработку ракеты УР-700 предлагалось прекратить, но это предложение не нашло отражения в решении Межведомственного совета.

В процессе разработки двигателя 1Д43 Глушко убедился, что замкнутая схема ЖРД хотя и не исключает возникновения ВЧ колебаний в камере сгорания, но позволяет успешно моделировать процесс смесеобразования, сведя его к локальной работе одной газожиждкостной форсунки, что положительно сказывается на сроках стендовой отработки двигателей. Ещё больше уверенности в успешном обеспечении устойчивого горения внушали первые ре-

зультаты огневых испытаний экспериментальных установок по схеме "газ-газ", моделирующих организацию смесеобразования в камере двигателя 8Д420. Это побудило Глушко сделать предложение разработать двигатель 8Д420К на кислородно-керосиновом топливе. Заметим, Глушко впервые в своих попытках принять участие в разработке двигателя для ракеты Н1 предлагает двигатель на ранее отвергнутом им топливе. Это что же, признание собственной ошибки при выборе топлива для Н1, сделанной ещё на стадии разработки эскизного проекта? Думается, что это не так.

Напомним, что позиция Глушко в начале 60-х годов в части использовать в ракете Н1 высококипящего топлива основывалась на обязанности соблюдения установленных в правительственном Постановлении сроков разработки ракеты-носителя, которые, по его мнению, при использовании в двигателях кислородно-керосинового топлива были не выполнимы. Теперь же появилась уверенность в решении такой технической задачи в назначенные новые сроки. Эти обстоятельства изменили подход Глушко к выбору топлива для комплекса Н1-ЛЗ, он "созрел" для разработки кислородно-керосинового двигателя. Кроме технической причины принятого Глушко решения имелась и другая, связанная с психологией людей. "Проталкивая" создание Лунного комплекса УР-700 - ЛК-700, он убедился, что в верхних эшелонах власти, несмотря на широкое применение в ракетной технике топлива АТ+НДМГ, сохраняется опасливое отношение к этим токсичным компонентам. Основы такого отношения были заложены Королёвым и укрепились после катастрофы с ракетой Р-16 на стартовой позиции в октябре 1960 г. Высококипящее топливо, в отличие от кислородно-керосинового, обеспечивает практически все тактико-технические требования, предъявляемые к боевым ракетным комплексам. В то же время для использования в космических ракетах кислородно-керосиновое топливо не имеет отрицательных характеристик и поэтому угроза заражения токсичными компонентами высококипящего топлива большого пространства в случае аварийного падения ракеты могла стать определяющим фактором при окончательном выборе варианта носителя между Н1 и УР-700. Так что кажущееся на первый взгляд неожиданным возвращение Глушко к применению кислородно-керосинового топлива имеет под собой логическое основание. К этому нужно присовокупить предложение использовать на первой ступени не 30 двигателей, а 7 - 8, тягой не менее 640 тс каждый. Так что "принимая" первоначальное предложение Королёва по использованию кислородно-керосинового топлива, Глушко одновременно предлагал исправить ошибку Королёва в выборе размерности тяги единичного двигателя и, соответственно, в количестве двигателей на РН типа Н1.

Исходя из этих соображений Глушко в октябре 1968 г. направил в ЦКБЭМ предложение об использовании в ракете Н1 двигателя 8Д420К. Не получив никакого ответа, Глушко 4 декабря 1968 г. обращается с письмом к Председателю ВПК Л.В. Смирнову, в котором он, в частности, пишет: *"В октябре с.г. КБЭМ внесло в ЦКБЭМ (тов. Мишину В.П.) предложение об использовании на первой ступени форсированной модификации ракеты Н1Ф разрабатываемых в КБЭМ двигателей тягой 600-640 т в варианте кислородно-керосинового топлива (8Д420К), вместо предполагаемой установки 36 двигателей тягой по 175 т. Эта замена позволит сократить количество двигателей с 36 шт. до 9-12 шт., что должно повысить надёжность двигательной установки в целом. Использование системы резервирования с отключением аварийного двигателя становится не обязательным при уменьшенном количестве двигателей. Это приобретает особое значение, если учесть ненадёжность самой системы отключения аварийного двигателя, не гарантирующей отключение двигателя до его внешнего разрушения".* Далее в письме приводятся преимущества использования предлагаемого двигателя по удельному импульсу тяги, по надёжности, по сокращению аппаратуры системы управления, а также сохранению без изменений стартовой позиции. Письмо завершается следующим: *"Это предложение было доложено в октябре с.г. тов. Афанасьеву С.А. и одобрено им к проработке. Однако до настоящего времени проработка ещё не завершена.*

*Ввиду важности внесённого предложения прошу Вашего указания о проработке этого предложения с участием ведущих организаций МОМ".*

Это обращение возымело своё действие и уже в том же декабре 1968 г. КБЭМ получило *"Техническую справку о невозможности применения двигателей типа 8Д420 для модификаций ракеты-носителя Н1"*. Справку подписал академик В.П. Мишин. Смысловое содержание справки изложено в её названии, так что добавить к этому ничего не требуется.

В отраслевом НИИТП по приказу министра С.А. Афанасьева был проведён анализ возможности установки двигателя 8Д420К на первую ступень Н1. В результате аналитического исследования зам. начальника института А.П. Ваничев в конце декабря 1968 г. подписал *"Предварительные соображения о возможных областях применения двигателя типа 8Д420К"*, в которых отмечалось, что отсутствие резервирования потребует более высокой надёжности единичного двигателя (0,997...0,998 вместо 0,97...0,98), введения больших конструкторских изменений, нарушающих преемственность конструкторско-компоновочной схемы первой ступени РН Н1, приведёт к нарушению принципа использования однотипных, унифицированных двигателей для первой и второй ступеней, а также к разрушению сложившейся кооперации по разработке и производству двигателей на всех ступенях РН Н1. В заключительной части отмечалось, что вывод ЦКБЭМ о нецелесообразности использования двигателя 8Д420К в составе первой ступени РН Н1 сделан в результате комплексной проработки предложения КБЭМ и является достаточно обоснованным и убедительным. Другие возможности применения двигателя 8Д420К необходимо увязывать с перспективными программами развития ракетной техники и разработкой конкретных РН тяжёлого класса.

Получив отказ на предложение разработать для РН Н1 мощный двигатель на кислородно-керосиновом топливе, Глушко прекратил инициативные попытки принять участие в Лунной программе. В 1969 г. начались лётные испытания комплекса Н1-Л3, сопровождавшиеся авариями. После второго аварийного пуска, уничтожившего стартовую позицию, уже "Госкомиссия по подготовке и проведению ЛИ комплекса Н1-Л3" в июле 1969 г. предложила Глушко разработать кислородно-керосиновый двигатель тягой 600 тс, а также совместно с ЦКБЭМ проработать целесообразность использования двигателя 11Д43К (на кислородно-керосиновом топливе) в ракете Н1. О проведении этих работ и их результатах будет изложено в разделе статьи, посвящённом проведению лётных испытаний.

Параллельно с разработкой комплекса Н1-Л3 в рамках Лунной программы велись работы по обеспечению пилотируемого облёта Луны кораблём Л1 с возвращением экипажа на Землю. Однако эта часть Лунной программы не является предметом изложения в данной статье. Скажу только, что в моём представлении эта часть программы была загублена из-за противостояния и конкуренции между Королёвым - Мишиным с одной стороны и Челомеем с другой. Каждый из них ревниво отстаивал своё участие в этих работах, а в результате программа облёта Луны в первоначальном беспилотном варианте имела множество аварийных исходов и до пилотируемого облёта Луны дело так и не дошло. В подкрепление своего мнения о причинах этих неудач приведу фрагмент дневниковой записи Н.П. Каманина за 8 декабря 1967 г.: *"ЦК и правительство приняли решение, которым обязывали Королёва готовить экспедицию на Луну, а Челомея - облёт Луны кораблём с экипажем на борту. Королёв сумел добиться изменения этого решения: новым Постановлением обе задачи поручались ОКБ-1. Только из-за драчки между Королёвым и Челомеем мы потеряли два года и до сих пор не можем облететь Луну - создалась такая ситуация, что мы можем и не быть первыми на Луне"*.

(Небольшая ремарка. При изложении работ по Лунной программе я намерен и далее ссылаться на свидетельстве генерал-полковника Н.П. Каманина, опубликованные в 4-х книгах "Скрытый космос" (Москва, 1999 г.). Автор дневников не был непосредственным участником работ по Лунной программе, но он был прямым

свидетелем этих работ и отсутствие личной заинтересованности позволяет относиться с большой степенью доверия к его дневниковым записям. Фиксирование в хронологической последовательности происходящих событий по "горячим" следам позволяет знакомиться с ними в первозданном восприятии без последующего переосмысления в зависимости от дальнейшего развития событий. Н.П. Каманин объективен и местами даже, по моему мнению, излишне критичен, в особенности в его оценках методов руководства ракетно-космической отраслью со стороны Д.Ф. Устинова, Л.В. Смирнова, М.В. Келдыша, Г.Н. Пашкова, В.П. Мишина и др. Но уж лучше критика, чем сглаживание острых ситуаций в угоду руководству или собственным пристрастиям к отдельным личностям).

Кроме истории с облётом Луны я опускаю также все работы и успехи американцев по их Лунной программе как не относящиеся к теме статьи. Хотя они опосредованно и влияли на наши работы в части их ускорения, а точнее, на назначаемые сроки их завершения, но фактически это не оказало заметного влияния на проведение наших работ. Мы, я имею в виду работников советской космической отрасли, спешили, но эта спешка часто приводила к пробуксовке. А многочисленные одновременно проводящиеся и не скоординированные работы по боевой и космической тематике, не имеющие отношения к Лунной программе, приводили к распылению людских и финансовых ресурсов.

По Лунной программе работы велись не только в конструкторских залах, научно-исследовательских лабораториях, в заводских цехах и на полигоне, работал руководящий состав организации и предприятий, министерств, Академии наук, ВПК и ЦК КПСС. И часто успехи или неудачи в работе многочисленных коллективов напрямую зависели от умения организовать работу их руководителем и его ближайшим окружением. Народная мудрость, формализованная в пословице, давно отметила справедливость такой причинно-следственной связи: *"Каков поп, таков и приход"*. Неудачи последних лет в отечественной космонавтике осведомлённые люди связывали с методами руководства и личностью Мишина.

По воспоминаниям Чертока, в первой половине декабря 1967 г. у него состоялся откровенный разговор с генералом А.П. Мрыкиным, занимающим одну из командных должностей в РВСН. Ракетной техникой он занимался с 1945 г., со времени изучения Фау-2 в Германии, и пользовался заслуженным авторитетом среди работников ракетной отрасли. В процессе обсуждения с Чертоком сложившегося положения в отечественном ракетостроении, Мрыкин высказал своё мнение, что наше отставание от американцев в Лунной программе, череда аварийных пусков космических аппаратов к Луне, Венере, Марсу произошли по вине Мишина: *"У меня с Королёвым - сказал Мрыкин - были очень сложные отношения, но как бы далеко ни заходили разногласия, мы в конце концов находили компромиссы. Мишин не идёт на компромиссы, без причин портит отношения с другими главными, позволяет себе высказывания, унижающие достоинства других, считает себя абсолютным авторитетом не только в технике, но и в ракетной стратегии. Не желает слушать тех, у кого иные точки зрения. Мишин без основания занимает иногда совершенно непримиримую позицию. Это вредит не только ему, но и всему ЦКБЭМ"*.

Такую же оценку роли Мишина в сложившемся положении с разработкой Н1-Л3 дал М.С. Рязанский в декабре 1967 г. в беседе с Н.А. Пилюгиным и Б.Е. Чертоком. По воспоминаниям последнего, Рязанский так анализировал дальнейшее развитие событий: *"Руководство ЦКБЭМ вместе с Мишиным будут бить за любые грехи, но с работы вряд ли кого-нибудь снимут. Афанасьев не прочь заменить Мишина, но без согласия Устинова, а затем и Политбюро этого сделать нельзя. Устинов сейчас не согласится на замену, потому что Мишин является "заложником" по программе Н1-Л3. В случае провала программы "всех собак можно будет повесить" на него и на вашу фирму. В случае неудачи с Н1 отвечать будет Мишин. Если его снять, то с кого же тогда спрашивать? Ясно одно, что в Политбюро сейчас никто с персональными вопросами обращаться не будет"*. Из этого прогноза на мой взгляд более важным является высказанное одним из участников разработки Н1 неверие в благополучное

завершение работ, чем озабоченность о будущем Мишина. А Рязанский был одним из тех немногих, с кем у Мишина сохранились доброжелательные отношения.

А что же министр, непосредственный начальник Мишина? Каково его отношение к главному конструктору, сконцентрировавшему под своим руководством почти всю космическую тематику страны? Ответы на выше поставленные вопросы содержатся в дневниковой записи Н.П. Каманина за 27 декабря 1967 г. В его приватной беседе тет-а-тет с министром С.А. Афанасьевым возник разговор о последних неудачных пусках космических аппаратов и ответственности Мишина за их результаты. Разговор вёлся в откровенно-доверительной форме: "Афанасьев спросил меня прямо в лоб: "А как вы оцениваете Мишина?". Я не стал скрывать от него своё отрицательное отношение к Мишину (груб, легкомыслен, поверхностно знает космическую технику, мало вникает в суть дела, не слушает чужих советов, испортил отношения с космонавтами, военными, своими подчинёнными и со всей "космической кооперацией" - Челомеем, Глушко, Ворониным, Уткиным, Севериным, Мрыкиным, Тюлиным и другими). Напомнил я министру и о том, что из 10 пусков, которыми руководил Мишин, восемь оказались аварийными, и высказал опасения, что его легкомысленное отношение к делу может привести к ещё более тяжёлым происшествиям. Выслушав меня, Афанасьев сказал: "Полностью согласен с вами. Я три раза разбирался с Мишиным на Коллегии, но это не помогло - его надо снимать с должности. Я неоднократно говорил об этом с Устиновым, но Устинова беспокоит ситуация с Н-1: ракета подходит к лётным испытаниям, но в успех её пуска мало кто верит, и в случае неудачи отвечать будет Мишин. Только поэтому Устинов не решается сейчас же снять Мишина".

Из приведенных фрагментов, а к ним можно добавить аналогичные оценки деятельности Мишина из писем Глушко, определился главный виновник неудовлетворительного положения дел в советской космонавтике во второй половине 60-х годов. Но отвечать перед Совмином или Политбюро за это приходилось министру Афанасьеву. В январе 1968 г. Афанасьев отчитывался в ЦК о состоянии работ в подведомственных министерству организациях и предприятиях. Известно, что при благоприятном положении дел министров в ЦК или на заседание Политбюро с отчётом не вызывали. Разговор был "крутой" и Афанасьев решил поделиться мыслями, которые ему внушили на Старой площади, с главными фигурантами его доклада - руководством ЦКБЭМ. Опять же обращаемся к воспоминаниям Чертока об этом приезде Афанасьева в Подлипки. Далее из всего широкого ассортимента болевых точек в работе ЦКБЭМ приводятся только фрагменты, имеющие отношения к Н1-Л3.

"28 января 1968г. с утра Мишин собрал основных заместителей и предупредил, что к ним едет министр для тяжёлого разговора. Афанасьев начал с того, что решил довести до них мнение Устинова, а также о настроении, царившем в Политбюро. После подъёма по космосу у нас наступил продолжительный спад. Мы в очень



А.С. Кириллов, В.П. Мишин, С.А. Афанасьев

тяжёлом положении. Нашим обещаниям Политбюро перестало верить... Очень много организаций работает на холостом ходу. У нас не загружен завод № 88. Каждый старается изобретать и делать свою систему заново, не считаясь с заделом и чужим опытом. Нет никакого уважения к своим собственным словам и обещаниям. Нет ни одного Постановления, которое бы не было сорвано на год, два, а то и больше.

В области космоса дела идут очень плохо, а у товарища Мишина в особенности. Мы находимся в положении кролика перед удавом. Мы все обязаны поправить главного конструктора товарища Мишина. Мы уважаем его как учёного, но он обязан считаться и с другими людьми. Многие из них не меньше его понимают, но он их не желает слушать. По Н1 надо срочно пересмотреть всю программу и сказать наконец правду. Вы допустили проектные ошибки и теперь боитесь в этом сознаться. Н1 строили на 75 тонн полезного груза, потом переделали на 95 тонн. Куда смотрели экспертные комиссии и наши учёные в головном институте? Глушко просил поручить ему двигатель, а товарищ Мишин капризничает. Он не ищет компромисса с Глушко, а наоборот, обостряет отношения. Мне рассказали, что Мишин был инициатором разрыва Королёва с Глушко по Н1.

Ужасная у нас боязнь хорошей кооперации между главными конструкторами. Н1 в глубоком прорыве, в ЦК меня спрашивают, почему я никого не наказываю. Я могу раздать выговоры, коллегия меня поддержит, но вряд ли это поможет. Как заставить Мишина и его заместителей отвечать за всё, что они творят?

Вот теперь очевидно, что вы всё время пересматриваете свои собственные решения и не желаете считаться с мнением других. И Келдыш, и Глушко справедливо вас критиковали по многим вопросам Н1-Л3. Я прилагал большие усилия, чтобы нормализовать отношения между вами и Глушко. Ведь он заявлял, что готов разработать для Н1 двигатель. Но вы с ним за один стол сесть не хотите. Как прикажете поступать, если ко мне приходит Глушко, кладёт на стол компоновку "Сатурна" и Н1 и доказывает, что вы создаёте ракету, которая будет "возить воздух". Я министр, но он академик, и я, в отличие от товарища Мишина, обязан его выслушать.

Мне говорили, когда я ещё не был вашим министром, что Василий Павлович был основным противником Глушко и настраивал СП против него. Теперь я убедился сам, что дыма без огня не бывает. Глушко мне прямо сказал, что он готов работать с ОКБ-1, но только не с Мишиным. Что прикажете мне делать?

Очень во время вмешался долго молчавший Охупкин:

- Надо признать, Сергей Александрович, что мы у себя действительно недостаточно глубоко прорабатываем идеологическую сторону многих вопросов. Недостаточная глубина проработки привела к тому, что на нас теперь навалился тяжёлый груз нерешённых вопросов.

По Н1 ещё при Сергее Павловиче были допущены проектные ошибки, которые, к сожалению, узаконили Постановлениями. Мы получили ракету, которая по полезному грузу сильно отстаёт от "Сатурна". Ищем решения. Не обвиняйте нас в бездеятельности.

Выступление Охупкина содержало явный намёк на общую ответственность - нашу и высших эшелонов власти, узаконивших параметры Н1 Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров. В открытую об этом говорить было опасно. Постановления были приняты ещё до того, как Афанасьев стал министром. Теперь он вынужден был нести ответственность за ошибки других.

Афанасьев понял, что пора завершать это совещание и переходить к директивам. Обращаясь к Мишину, он сказал: подготовьте для моего приказа всё, что хотите от наших организаций в министерстве, будем всячески помогать. Но не надейтесь на поблажки".

На этом завершим рассказ о разработке альтернативных вариантов двигателей для ракеты Н1 и предложений по замене этой ракеты на ещё более мощную УР-700. Пора переходить к изложению работ по созданию штатных двигателей и результатам пусков ракеты Н1. ▶

(Продолжение следует.)



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



**ООО "ХЕРМЛЕ-ВОСТОК":**

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

Тел.: +7 (495) 627-3634.

Факс: +7 (495) 627-3635.

E-mail: [info@hermle-vostok.ru](mailto:info@hermle-vostok.ru)

[www.hermle.de](http://www.hermle.de)



# ПАРОВОЗЫ КОЛОМЕНСКОГО ЗАВОДА

Владимир Викторович Боченков, Екатерина Владимировна Бычкова, Олег Борисович Галацкий, Иржи Ладиславович Индра

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

Развитию постройки узкоколейных паровозов в довоенное время мешало различие ширины колеи, различавшейся примерно на 9, 14, 16, 30 и 67 мм. Коломенским заводом была сделана удачная попытка стандартизировать основные части узкоколейных паровозов.

Уменьшение заказов на паровозы нормальной колеи в 1882-1890 гг. и установление пошлины на ввозимые из-за границы паровозы заставили русские заводы приступить к постройке узкоколейных паровозов. В 1885 г. их постройку в широких масштабах развернул Коломенский завод. Следуя индивидуальным требованиям владельцев узкоколейных паровозов, завод разрабатывал новые типы, стандартизируя их, насколько это было возможным. С 1885 по 1937 год Коломенский завод создал до 50 вариантов узкоколейных паровозов с двумя, тремя и четырьмя осями, танковых и тендерных, для колеи от 600 до 1067 мм. В конструкции первых двух- и трехосных узкоколейных паровозов было заметно подражание конструкциям паровозов германских заводов. Однако уже в 1894-1895 гг. Коломенский завод строил по своим проектам настолько совершенные паровозы, что германский завод Геншель копировал их конструкцию. Двухосные паровозы Коломенский завод изготавливал только как танковые, паровозы с тремя спаренными осями - и танковые и тендерные, а четырехосные - только тендерные.

Большая часть узкоколейных паровозов была построена для промышленных предприятий, а меньшая часть - для узкоколейных железных дорог общего пользования, а также для специального назначения.

Одни из первых узкоколейных паровозов Коломенского завода для ширины колеи 900 мм, тип 35 и 36, были построены в 1886-1887 гг. для работы на постройке железнодорожного тоннеля на Сурамском перевале в Закавказье. Особенность конструкции этих паровозов состояла в том, что их отопление производилось вне тоннеля до величины давления пара в котле 14 атм. После чего паровоз работал в тоннеле с полученным запасом пара, пока последний не сбавлялся до 3 атм.

Самый маленький танк-паровоз с двумя спаренными осями, тип 104, был построен в 1906 г. для частного подъездного пути графини Берг с шириной колеи 600 мм. Паровоз имел кроме боковых баков еще нижний бак для воды, продольные

стенки которого составляли листы рамы паровоза. Нижний бак соединялся трубами с обоими боковыми баками. Расстройство клепаных швов и трудноустраняемая течь баков такой конструкции заставили отказаться от них.

В конструкции узкоколейных паровозов первых 20 лет постройки не было заметных изменений. Кулисы применялись Стефенсона и Аллана, всегда наружные, паропроводы - преимущественно наружные, регуляторные головки - как горизонтальные, так и вертикальные, конуса - постоянные. Заметно было стремление ставить паровые колпаки большого объема, которое впоследствии исчезает. В основу конструкции ставились ее простота, устойчивость в работе и нетребовательность в ремонте.

Узкоколейные танк-паровозы промышленного типа часто приспособлялись для маневров с вагонами нормальной колеи, для чего узкоколейные рельсы укладывались посередине железнодорожной колеи стандартной ширины. В таких случаях

кроме узкоколейной сцепки паровозы, как, например, танк-паровоз 0-2-0 типа Д<sub>2,875</sub>, имели буфера и стандартную сцепку для вагонов нормальной колеи.

Среди промышленных узкоколейных танк-паровозов с двумя и тремя спаренными осями Коломенского завода выделяются паровозы типа Г<sub>2</sub> и Г<sub>3</sub>, И<sub>2</sub> и И<sub>3</sub> постройки 1910 г. и последующих лет. Они имели котел и паровую машину, спроектированные таким образом, что эти узлы были пригодными как для двухосных, так и для трехосных паровозов.

Давление от оси на рельсы у двухосных паровозов составляло 7,5 тс, а у трехосных - 5,6 тс,

что давало возможность применять при использовании трехосных паровозов более легкие рельсы. Кроме того, унифицированные котел и паровая машина могли быть установлены на рамы паровозов узкой колеи 750, 900, 914, 1000, 1067 и 1220 мм.

Трехосные паровозы изготавливались в основном бестендерными, т.е. танковыми. Паровозы, предназначенные для узкоколейных железных дорог большой протяженности, выпускались с отдельными тендерами, обычно двухосными. Были также трехосные паровозы, которые строились как танковые, но могли работать и с прицепными тендерами. Незначительный запас воды и топлива помещался на самом паровозе, и он обеспечивал непродолжительную работу без тендера. Если же требовалось отправиться далеко от места пополнения запасов воды и топлива, то к нему прицеплялся обычно двухосный тендер, который имел необходимые запасы



Один из первых узкоколейных паровозов (0-2-0, тип 35)



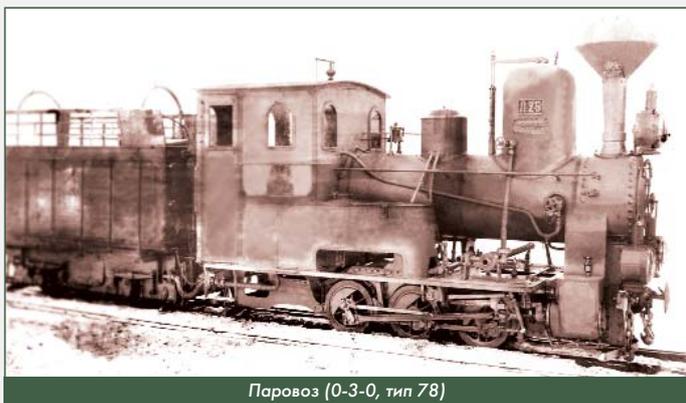
Паровоз (0-2-0, тип 104)



Паровоз (0-3-0, тип 133)

сы. Такой узкоколейный паровоз промышленного типа с тендером, осевой формулой 0-3-0, с баками для воды на паровозе по бокам котла и запасом топлива, тип 133, был выпущен в 1912 г. для Выкусных заводов.

Подобные узкоколейные паровозы с тремя спаренными осями, тип 77, 78 и 86, выпускались Коломенским заводом для Военного министерства. Они использовались на военно-полевых железных дорогах с шириной колеи 750 мм на фронтах Русско-японской и Первой мировой войн. Прицепной тендер этого паровоза представлял собой платформу с боковыми решетками (для хранения водозаборных шлангов), на которой устанавливался съемный водяной бак, имеющий форму перевернутой буквы "П". Середина его предназначена для угля или дров. Сверху на водяной бак мог



Паровоз (0-3-0, тип 78)



Паровоз (0-3-1, тип 79)

ил танк-паровозы типа 0-3-1, тип 79, для линии Шаропань-Чиатуры Закавказских железных дорог с шириной колеи 900 мм. Эти паровозы были изготовлены по образцу и размерам таких же узкоколейных компаунд-паровозов, строившихся раньше Тбилискими мастерскими Закавказских дорог с цилиндрами по системе Воклена. У этих паровозов сзади имелась поддерживающая ось, хотя емкость водяных баков составляла всего 3 м<sup>3</sup> и давление от движущей оси на рельсы доходило до 8 тс.

В 1905 г. на Обоянской ветви с шириной колеи 914 мм потребовалось заменить построенные в 1882 г. Мальцевским заводом трехосные танк-паровозы из-за износа их котлов и неустранимой расшатанности рам и цилиндров. На этой железной дороге старые рельсы узкоколейного типа были заменены ширококолейными, но допускавшими давление от оси до 12,5 тс. По заказу дороги Коломенский завод построил достаточно мощный узкоколей-



5000-й паровоз Коломенского завода (0-3-0, тип 86)

быть установлен нефтяной бак при переоборудовании паровоза на этот вид топлива. При необходимости водяной бак и запас топлива легко удалялись, и с паровозом оставалась открытая платформа, пригодная для других целей. Такой тендер мог быть поставлен спереди и сзади паровоза и питать его водой, для чего были предусмотрены необходимые водяные трубы, помимо этого предусматривалось снабжение водой двух паровозов в голове состава от одного тендера.

В 1898 г. Коломенский завод постро-



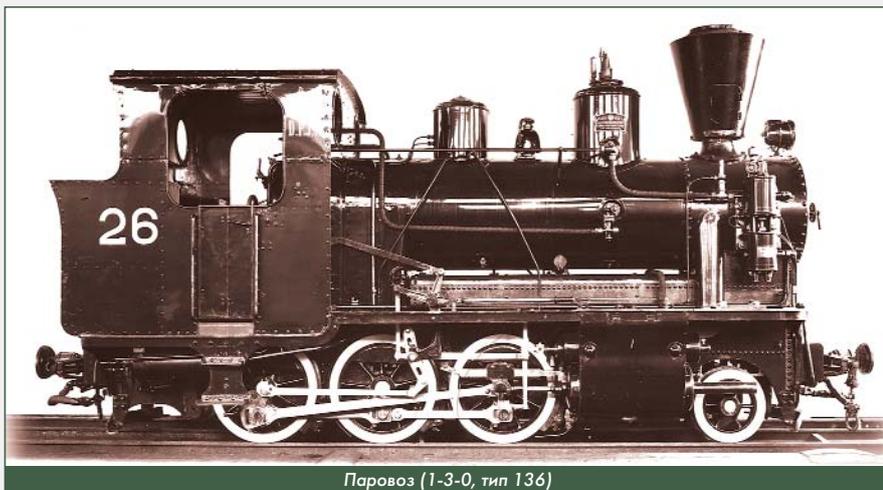
Паровоз (0-3-0, тип 100)

ный паровоз 0-3-0, тип 100, масса которого составляла 30 т и по силе тяги приближающийся к трехосным паровозам нормальной колеи.

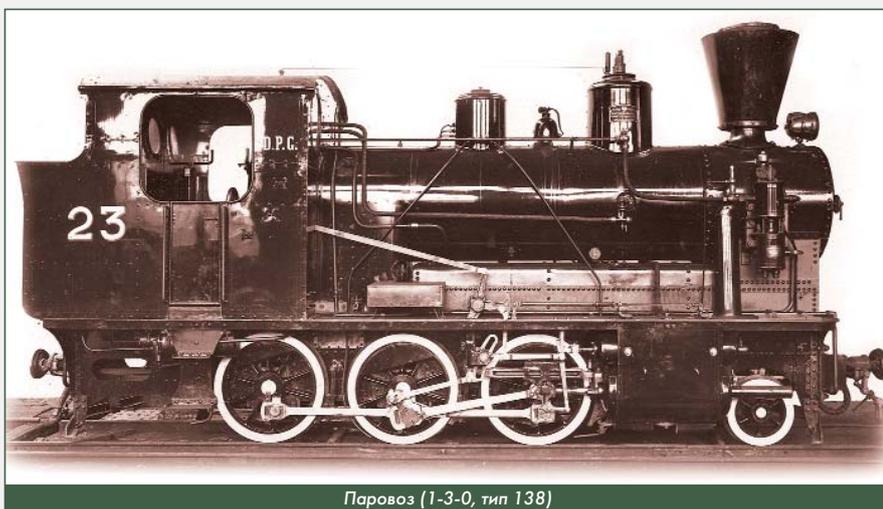
Продолжая разрабатывать и совершенствовать новые типы узкоколейных паровозов, Коломенский завод в 1913 г. построил для Варшавских подъездных путей с шириной колеи 800 мм поездной танк-паровоз 1-3-0, тип 136, для пассажирского и товарного движения. Этот паровоз имел переднюю бегунковую ось, внутрирамный бак для воды, давление пара в котле 12 атм. и при насыщенном паре прямоточную машину Штумпфа с цилиндрическими золотниками, тор-



Паровоз (0-3-0, тип 52)



Паровоз (1-3-0, тип 136)



Паровоз (1-3-0, тип 138)

моз Вестингауза и ацетиленовое освещение. Несмотря на сокращение расхода топлива, паровоз с машиной Штумпфа распространения не получил из-за того, что требовал более сложного ремонта.

В следующем 1914 г. Коломенский завод построил подобный танк-паровоз, тип 138, для Гроецкого подъездного пути в Варшаве, имевшего ширину колеи 1000 мм. Паровоз был изготовлен подобно предыдущему, но большей мощности и без машины Штумпфа и так же, как предыдущий, с тележкой Краусса, т.е. 1-3-0. Он был снабжен кроме двух обычных инжекторов еще третьим инжектором мягого пара.

Последним построенным перед Первой мировой войной узкоколейным танк-паровозом с тремя спаренными осями и одной поддерживающей осью был мощный танк-паровоз Коломенского завода постройки 1914 г. 0-3-1, тип 141, для Шушинской железной доро-

ги в Закавказье с шириной колеи 900 мм. Этот паровоз был снабжен перегревателем Шмидта, мощным котлом и задней тележкой Бисселя для поддерживающей оси. Давление от оси на рельсы достигло 10 тс, а сила тяги была наибольшей из всех русских узкоколейных паровозов с тремя спаренными осями.

Для подъездных путей Московско-Киево-Воронежской железной дороги с шириной колеи 1000 мм Коломенский завод в 1895 г. построил первые 39 тендерных трехосных узкоколейных паровозов, тип 52. Эти паровозы использовались на подъездных путях к Курско-Киевской линии Московско-Киево-Воронежской дороги протяженностью 132 км. Паровозы отапливались углем. При ширине колеи 1000 мм они имели топочную часть котла, располагавшуюся между внутренними листами рамы, с большой поверхностью нагрева. Поэтому топка у них вставлялась в кожу котла не снизу, а сзади. Для этой цели лобовой лист котла был отштампован фланцем наружу и котельный шов делался снаружи. Эта очень удачная конструкция была применена на многих последующих узкоколейных паровозах. Эти паровозы имели внутреннюю раму, кулису Джоя, горизонтальные коробчатые золотники, арматуру и гарнитуру котла по образцу четырехосных ширококолейных паровозов нормального типа, нагрузка от оси на рельсы доходила до 8 тс. Тендер у узкоколейных паровозов Московско-Киево-Воронежской дороги был двухосный с запасом воды 6 м<sup>3</sup>. Через 2-3 года Московско-Киево-Воронежская железная дорога была вынуждена увеличить число узкоколейных паровозов. Не имея воз-

возможности заказать их русским паровозостроительным заводам вследствие перегруженности их заказами на паровозы для казны, дорога обратилась к германскому заводу Геншеля с просьбой предложить свой тип. У завода не было готового проекта тендерного узкоколейного паровоза с тремя спаренными осями требуемого веса. Изучив на месте работу коломенских паровозов, завод Геншеля предложил дороге точно такие же паровозы. Так как Московско-Киево-Воронежская дорога была вполне удовлетворена работой этих паровозов, не имевших недостатков, то несколько десятков точно таких же паровозов было заказано заводу Геншеля по чертежам Коломенского завода.

Через 10 лет Коломенский завод построил такие же паровозы, но без тендеров, т.е. танк-паровозы, тип 94, для Гербы-Ченстоховской железной дороги, имевшей короткие плечи оборота паровозов. Нагрузка от оси на рельсы достигала 10 тс при емкости баков в 2,5 т. Ввиду предстоявшей совместной работы этих паровозов на Гербы-Ченстоховской дороге с паровозами заграничной постройки, оборудованных тормозами Экстера, Коломенский завод поставил на своих паровозах такие же тормоза, единственный раз примененные на русских узкоколейных железных дорогах.

Паровозы с четырьмя спаренными осями для узкой колеи Коломенский завод начал строить в 1895 г. для линий "Первого общества подъездных путей" с шириной колеи 750 мм. Так как паровозы предназначались для поездной службы на линиях значительной протяженности, то они были с тендерами.

Давление от оси на рельсы было ограничено величиной 5 тс, жесткая база должна была обеспечивать прохождение кривых радиусом 60 м, а предельная скорость ограничивалась 30 км/ч. На основе этих требований был построен четырехосный паровоз с диаметром колес 650 мм и массой в рабочем состоянии 19,5 т. Отдельный трехосный тендер имел массу в порожнем состоянии 6,1 т, запас воды 5 м<sup>3</sup> и топлива 3 м<sup>3</sup>. Эти паровозы, тип 60, были выпущены в 1895 г. и были первыми русскими узкоколейными паровозами с тендерами и четырьмя спаренными осями. Они работали вполне удовлетворительно, но, обслуживая товарное и пассажирское движение, для последнего являлись тихоходными.

При дальнейшей постройке паровозов узкой колеи Коломенский завод увеличил диаметр колес до 750 мм и базу паровоза до 2700 мм, оставив котел без изменений. Рама была оставлена

наружная, а для сохранения той же силы тяги, как и у первых паровозов, был увеличен диаметр цилиндров с 330 до 355 мм. Все это увеличило массу паровоза, и нагрузка на ось достигла 5,35 тс, что превысило требуемые 5 тс. Несмотря на это, паровозы, тип 63, были допущены к эксплуатации. В 1898-1929 гг. они получили большое распространение и работали на многих русских железных дорогах с шириной колеи 750 мм.

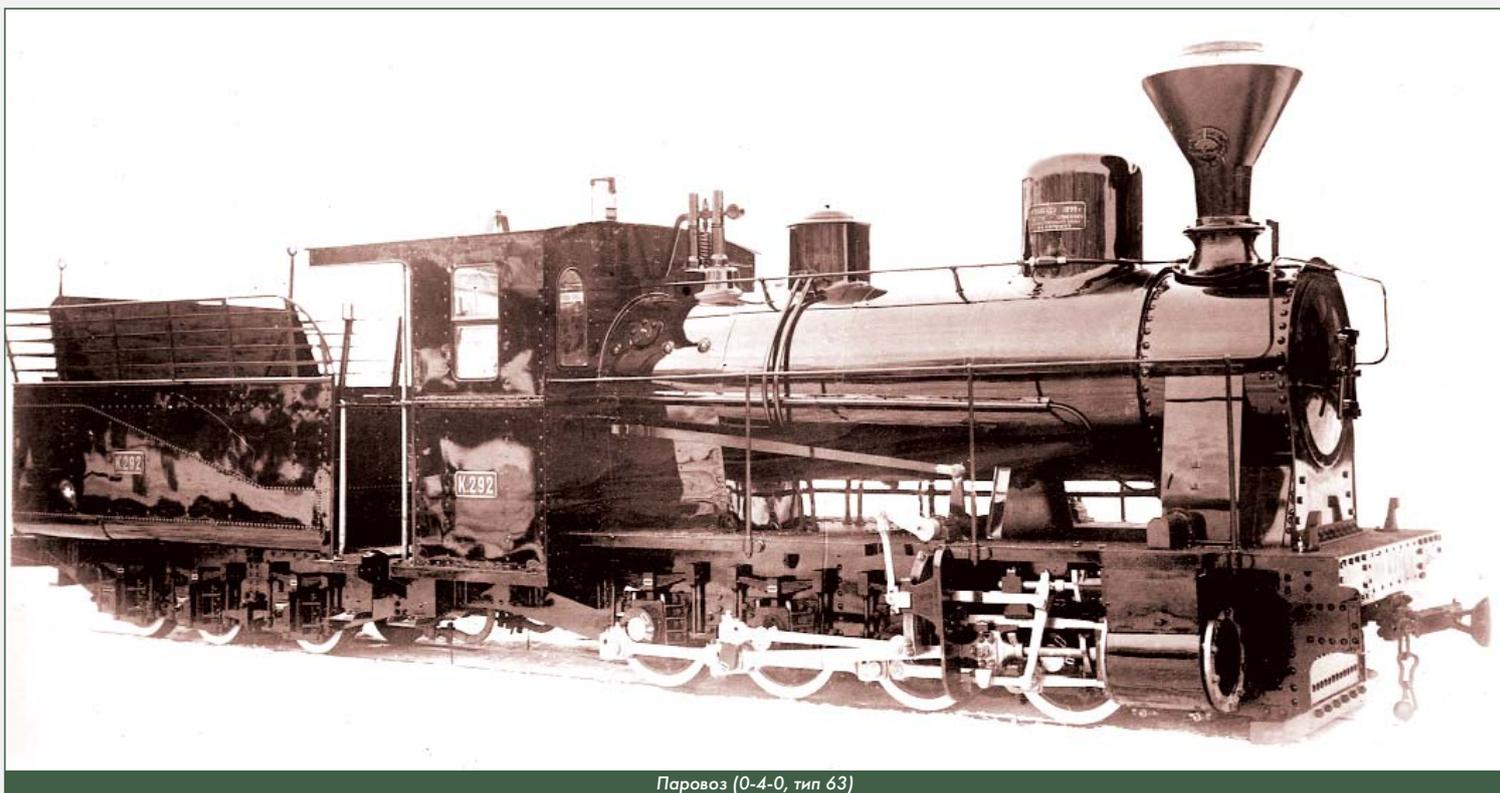
Такого же типа паровоз с четырьмя спаренными осями и трехосным тендером, тип 105, был построен Коломенским заводом в 1907-1909 гг. для путей "Богословского общества" на Урале с шириной колеи 875 мм. Этот паровоз был построен с внутренней рамой и несколько большего веса, чем паровозы предыдущих типов.

В дальнейшем, совершенствуя узкоколейные паровозы, Коломенский завод применил в 1912 г. на следующих паровозах с четырьмя спаренными осями перегреватель пара, тип 122, и машину Штумпфа, тип 127. Перегреватель оказался целесообразным, и применение его продолжилось на некоторых паровозах дальнейшей постройки. Машина Штумпфа из-за сложности ремонта и отсутствия заметных преимуществ не получила дальнейшего распространения, как и на трехосных паровозах.

Четырехосные паровозы этого типа строились Коломенским заводом в нескольких вариантах: с наружной рамой, тип 122, и с внутренней, с медными и стальными топками, с перегревом пара и без него. Тип этого паровоза был весьма распространен на русских железных дорогах колеи 750 мм, как общего пользования, так и промышленно-заводского назначения.

Надо заметить, что Коломенский завод шел смело на внедрение новых конструкций, которой, в частности, являлась и прямоточная машина Штумпфа. Так, завод установил ее на паровозах узкой и широкой колеи типов 107а (серии V - ижица), 127 (серия К, колеи 750), 128 (серия Н<sup>Ш</sup>), 133 (колеи 630 мм), 136 (колеи 800 мм) и 138 (колеи 1000 мм).

В 1911 г. появилась необходимость в обновлении паровозного парка Мальцевской железной дороги с шириной колеи 914 мм из-за износа и малой мощности трехосных танк-паровозов постройки 1872-1880 гг. Мальцевского завода. Так как собственное паровозостроение на Мальцевском заводе было прекращено, то заказ на изготовление паровозов был дан Коломенскому заводу.



Паровоз (0-4-0, тип 63)



Паровоз (0-4-0, тип 142)

Наличие подъемов в 28‰ при кривых с радиусом 75 м и допускаемой нагрузке от оси на рельсы 6 тс заставили составить проект узкоколейного четырехосного паровоза более мощного типа, чем предыдущие. Все основные размеры нового паровоза были увеличены, сила тяги доведена до 4 тс, а скорость до 40 км/ч. Такие паровозы были построены в 1912-1914 гг., тип 126. У них впервые на русских железных дорогах был применен шведский искроудержатель системы "Мотала", в котором отсев искр происходил до смешения продуктов горения с выхлопом пара.

Самым крупным и мощным из узкоколейных паровозов Коломенского завода, построенных до Первой мировой войны, был четырехосный паровоз, специально созданный для Кулебацкого завода, имевшего ширину колеи своих путей 1067 мм, тип 142. Его сила тяги составляла 7060 кгс, масса в рабочем состоянии была равна 34,1 т, масса тендера составляла 24,7 т, а общая длина с тендером составляла 13 930 мм, ось котла у этого паровоза была поднята на высоту 2250 мм над уровнем головки рельсов. Таким образом, этот узкоколейный паровоз по своей мощности, размерам и весу был крупнее трехосных товарных паровозов нормальной колеи.

Всего в дореволюционный период завод создал 148 типов локомотивов широкой и узкой колеи для русских железных дорог, т.е. больше, чем какой-либо другой русский паровозостроительный завод и даже - все вместе взятые. Среди них были такие прогрессивные конструкции, как паровозы системы компаньонд, в которых нашла воплощение идея русского инженера А.П. Бородина о двойном расширении пара - сначала в малом, затем в большом цилиндрах. В 1902 г. был построен пассажирский паровоз с камерным перегревом пара, что позволило увеличить коэффициент полезного действия. В то время такие паровозы строились только в Германии, и их не имели самые развитые страны Англия, Франция и США. Оригинальностью конструкции отличался пассажирский паровоз, тип 114, серии К, разработанный под руководством К.Н. Сушкина. Для увеличения мощности котел этого паровоза впервые в отечественной практике был поднят над рельсами на высоту более 3 м. Такое конструктивное решение не только открывало перспективу дальнейшего увеличения мощности паровозов, но и придавало машинам новый облик - более легкий и эстетичный. **П**

*(Продолжение следует.)*

## ИНФОРМАЦИЯ

В июне этого года исполняется сто лет паровозу серии "Э" - одному из самых массовых паровозов.

Впервые паровозы типа 0-5-0 предложили в 1905 г. инженеры Юго-Восточных железных дорог, однако выполненный ими эскизный проект был отклонён. В 1909 г. в связи с ростом грузооборота и необходимостью увеличения веса поездов Владикавказская железная дорога вновь выдвинула вопрос о постройке таких паровозов. Эскизный проект паровоза типа 0-5-0 был выполнен начальником службы тяги Владикавказской дороги М.Е. Правдосудовичем и за-

ведующим техническим бюро этой службы инженером В.И. Лопушинским.

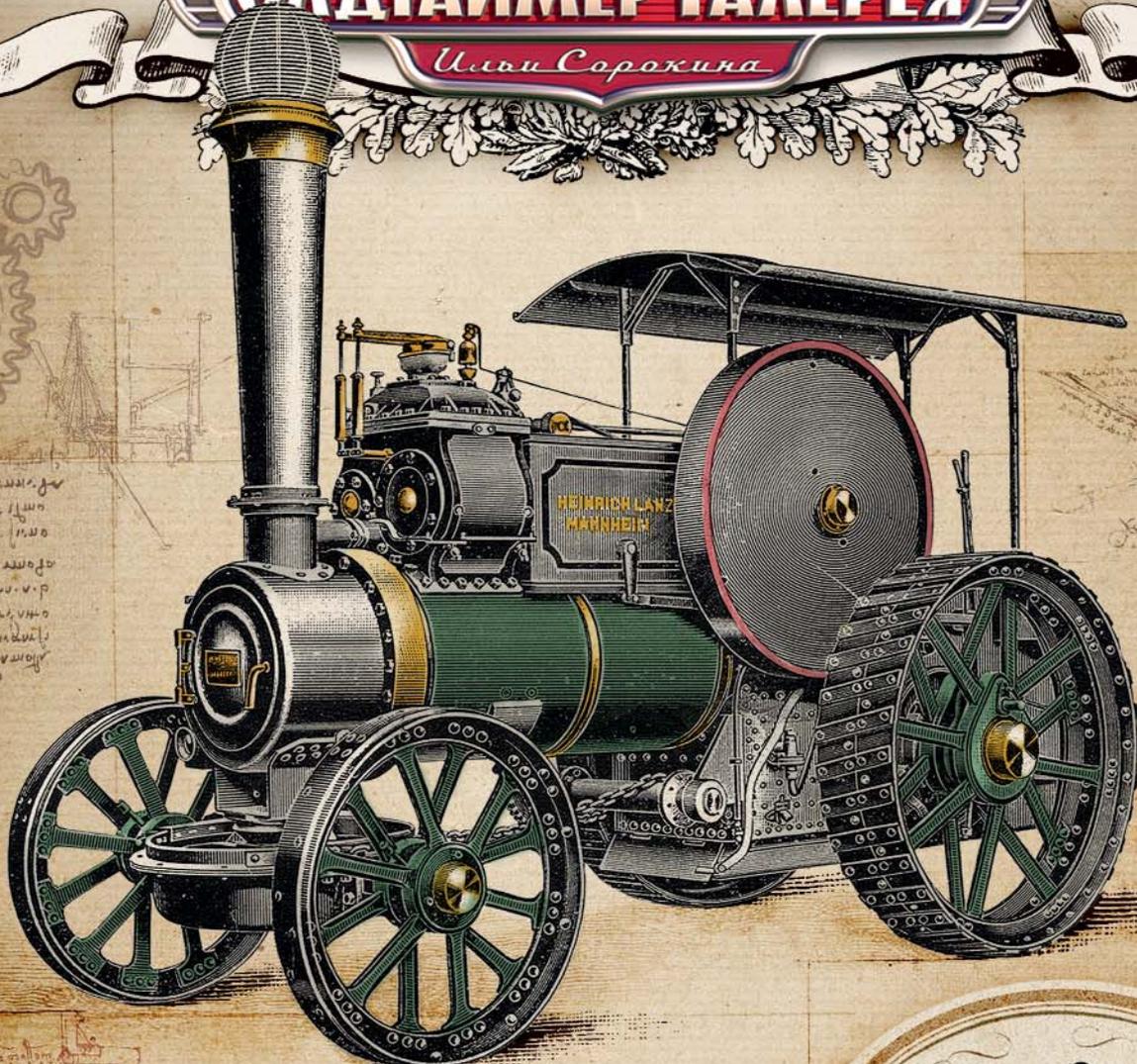
После утверждения Министерством путей сообщения решения комиссии паровоз типа 0-5-0 получил право на существование, и Луганский паровозостроительный завод приступил к проектированию. Рабочий проект паровоза был утверждён 29 октября 1911 г.

В 1912 году Луганский паровозостроительный завод выпустил первые 15 паровозов для Владикавказской дороги. Они получили обозначение серии "Э" и номера с 901 по 915. В 1913 г. было выпущено ещё 15 па-

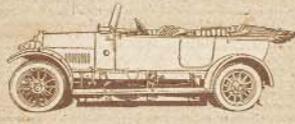
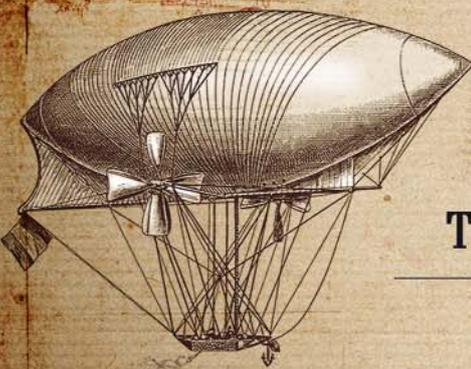
ровозов. Все эти паровозы были приспособлены для нефтяного отопления. **П**



XX  
**ОЛДАЙМЕР-ГАЛЕРЕЯ**  
*Улицы Сорокина*

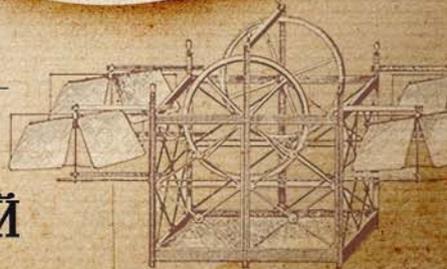


Крокус Экспо  
27-30 Сентября  
[www.oldtimer.ru](http://www.oldtimer.ru)



**ФЕСТИВАЛЬ  
ТЕХНИЧЕСКИХ МУЗЕЕВ**

**ВЫСТАВКА  
СТАРИННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ  
И АНТИКВАРИАТА**



130 135 140 145 150 155 160



Генеральный спонсор  
**BOSCH**  
Разработано для жизни



# 155-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО ПОСВЯЩАЕТСЯ!

**20 апреля 2012 г. в Золотом зале Дома культуры "Чайка" ФГУП "НПЦ газотурбостроения "Салют" состоялся Молодежный симпозиум – заключительный тур IX Международной олимпиады по истории авиации и воздухоплавания им. А.Ф. Можайского, которая ежегодно проводится Клубом авиастроителей и Академией наук авиации и воздухоплавания при поддержке Союза машиностроителей России.**

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

Молодежный симпозиум открыл генеральный конструктор ОКБ им. С.В. Ильюшина, академик РАН, дважды Герой Социалистического Труда, Лауреат Ленинской премии, президент Академии наук авиации и воздухоплавания Генрих Васильевич Новожилов (из-за невозможности личного присутствия, обращение Генриха Васильевича транслировалось через телефон).

На симпозиуме были представлены историко-исследовательские работы одиннадцати участников из различных регионов России и Республики Казахстан.

В работе жюри олимпиады приняли участие: доктор философских наук, профессор МГУ им. Н.Э. Баумана, академик РАН, Председатель жюри Н.Г. Багдасарьян; заслуженный летчик-испытатель СССР, Герой Советского Союза, генерал-лейтенант С.А. Микоян; военный летчик-испытатель 1-го класса, профессор, академик ПАНИ, полковник-инженер, 101-кратная рекордсменка мира, Герой Социалистического труда, профессор, президент Академии им. П.К. Ощепкова М.Л. Попович; заслуженный летчик-испытатель СССР, Герой Советского Союза, заместитель генерального директора по летным испытаниям ОКБ "Сухой" В.Г. Пугачев; главный редактор журнала "Двигатель" А.И. Бажанов; учитель лицея № 1550 города Москвы, Лауреат конкурса "Грант Москвы" в области наук и технологий в сфере образования, автор курса "История авиации и воздухоплавания" А.В. Жилиякова;



Жюри к работе готово

кандидат технических наук, директор института новых образовательных технологий и информатизации РГУ, профессор МАИ С.В. Кувинов; учитель Лицея № 1550 города Москвы, Лауреат конкурса "Грант Москвы" в области наук и технологий в сфере образования, автор курса "Люди и судьбы российской авиации" В.А. Питерская; заслуженный летчик-испытатель РФ, космонавт-испытатель ЛИИ им. И.М. Громова У.Н. Султанов; заслуженный летчик-испытатель СССР, Герой Советского Союза, писатель В.Н. Кондауров; подполковник морской авиации, летчик-истребитель, писатель, художник-иллюстратор, историк Л.М. Вяткин; президент общественного Совета музея В.П. Чкалова, кандидат технических наук, Лауреат государственной премии СССР, Заслуженный изобретатель РСФСР, член союза журналистов В.В. Чкалова.

Поддержать участников симпозиума приехали: директор Лицея № 1550 г. Москвы, Заслуженный учитель Российской Федерации В.М. Жияков; первый вице-президент Клуба авиастроителей, доктор технических наук, профессор МАИ, член Академии наук авиации и воздухоплавания В.И. Зазулов; заместитель руководителя Корпоративного университета ОАО "ОПК "ОБОРОНПРОМ" Т.М. Воротеляк; директор Школы-лицея № 35 города Уральска Республики Казахстан Л.Г. Черыкаев; представитель Молодежного совета района Соколиная гора города Москвы И.Б. Зотов; директор ГБОУ Детского центра технического творчества города Москвы Ю.Г. Бельмач (по поручению руководителя Департамента образования города Москвы); представитель ГБОУ УМЦ ПО "Департамент образования" О.В. Сурова и победители прошлых олимпиад.

По окончании конкурсной программы, в ожидании подведения итогов олимпиады, учащиеся Лицея № 1550 города Москвы традиционно поздравили участников симпозиума и представили музыкально-историческую композицию, посвященную авиаторам.

Участники Молодежного симпозиума получили Сертификаты победителей Первого тура олимпиады и подарки от Издательского дома "Равновесие" (генеральный директор Ю.А. Рожко) - Энциклопедическое издание "Авиация".

Победителями IX олимпиады стали:

- 1 место - Роман Доронин, город Хабаровск, Россия - награжден специальным призом от Союза машиностроителей России;
- 2 место - Максим Храмов, город Ульяновск, Россия - награжден специальным призом от компании Romanoff;
- 3 место - Тимур Карамов, город Нефтекамск, Россия - награжден специальным призом от компании Romanoff.

Специальные призы:

- в номинации "Историческая память" получил Денис Газутдинов, город Уфа, Республика Башкортостан;
- в номинации "Взгляд в будущее" получил Данияр Нурсултанов, город Уральск, Республика Казахстан.

Владимир Николаевич Кондауров подарил свою книгу с личным автографом и пожеланиями автору наиболее понравившей-



Выступает победитель IX олимпиады Роман Доронин

ся ему работе - Азамату Абдуллину, город Нефтекамск, Республика Башкортостан.

В этом году олимпиада получила поддержку от: Администрации Гаврилов-Ямского муниципального района, Администрации городского поселения Гаврилов-Ям, Департамента по молодежной политике Министерства образования Ульяновской области, ЗАО "Авиастар - СП", ЗАО "Московский станкостроительный завод "Салют", компании "Romanoff", НО "Фонд развития авиатехнологий", ОАО "Авиакомпания Якутия", ОАО Гаврилов-Ямский машиностроительный завод "Агат", ОАО "Комсомольское-на-Амуре Авиационное Производственное объединение им. Ю.А. Гагарина", ОАО "Нефтекамский автозавод", ООО "Союз машиностроителей России", Рекламно-производственной компании "Гарусс", Торговой палаты Республики Башкортостан, Уфимского государственного авиационного технического университета, ФГУП "НПЦ газотурбостроения "Салют".

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



Тимуру Карамову - самому молодому участнику IX олимпиады вручают приз и награду Н.Г. Багдасарьян и В.С. Гвоздев



Победители 2-го тура вместе с героями летчиками-испытателями: В.Г. Пугачевым, С.А. Микояном и В.Н. Кондауровым



Через мгновение Costa Concordia ляжет на бок

# ОЧЕВИДНОЕ - НЕВЕРОЯТНОЕ

**Виктор Сергеевич Шитарёв,**

капитан дальнего плавания

Государственный инспектор безопасности Мореплавания и портового надзора

Гибель "Титаника" вызвала резонанс по всему миру. Она потрясла умы общественности и поставила ребром вопрос о сохранности человеческой жизни на море. Первую международную конференцию по этому вопросу планировалось провести в 1914 г., но грянула Первая мировая война, вопрос пришлось отложить на неопределённое время. По её окончании и по сие время мировым сообществом был проведен большой объём мероприятий, связанный с этим вопросом. Остановлюсь лишь на принятых и ныне действующих итоговых документах. Прежде всего, это Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море, от 1 ноября 1974 г., Лондон. Её дополняет Протокол 1988 г. к Международной Конвенции по охране человеческой жизни на море от 11 ноября 1988 г., Лондон. Эта Конвенция с Протоколом в настоящее время действует как единый документ под названием Конвенция SOLAS-74 (СОЛАС-74). Она заменила более раннюю версию: международную конвенцию по охране человеческой жизни на море, подписанную в Лондоне 17 июня 1960 г., хотя прочие договоры, конвенции и соглашения, касающиеся охраны человеческой жизни на море, продолжают сохранять полную силу. Они затрагивают суда, к которым SOLAS-74 не применяется и суда, к которым SOLAS-74 применяется, но в части вопросов, которые специально не предусмотрены настоящей Конвенцией. При этом, когда положения таких договоров, соглашений или конвенций противоречат настоящей Конвенции, приоритет отдаётся SOLAS-74. Все вопросы, специально не рассматриваемые настоящей Конвенцией, решаются национальным законодательством стран-участниц. Конвенция применяется к судам, плавающим под флагом государств - участников SOLAS-74.

В SOLAS-74 всё судно "разложено" по полочкам уже с момента, когда оно находится ещё на ранней стадии проектирования: какие марки стали идут на изготовление корпуса; какая система набора корпуса наиболее приемлема для данного типа судов; сведения об отдельных деталях набора корпуса; тип и требования к судовому двигателю; какие судовые устройства и системы и так далее. Например, сколько спасательных шлюпок должно иметь данное судно и какие это шлюпки. Например, сейчас в качестве спасательных открытые шлюпки не применяются. Сегодня шлюпки должны иметь обязательно двигатель. Учитывая печальный опыт "Титаника", теперь находящиеся на борту шлюпки каждого борта должны вмещать весь экипаж и пассажиров. Регламентируется и количество спасательных нагрудников. На пассажирских судах должны быть дополнительно детские нагрудники в количестве 70 % от нагрудников для взрослых и так далее. Короче, открыв текст Конвенции (объём её бо-

лее 500 страниц), Вы получите исчерпывающий ответ на интересующий Вас вопрос. Все современные морские суда отвечают требованиям SOLAS-74, иначе портовые власти такое судно просто поставят на прикол до тех пор, пока судовладелец не приведёт своё судно в надлежащий порядок. Вот такое эхо катастрофы "Титаника".

Действует сейчас также и Конвенция о Международных правилах предупреждения столкновения судов в море от 20 октября 1972 г. (ныне это МППСС-72). Это - подобие правил дорожного движения на суше, речь в ней идёт только о судоходстве. Она обязательна как для судов торгового флота, так и кораблей ВМФ. Впервые МППСС появились в 1840 г., с тех пор вышло 12 версий, сменяющих друг друга.

Мысль о том, что каждое судно должно быть укомплектовано экипажем из моряков хорошо подготовленных как теоретически, так и практически, была известна ещё в древнем Мире. Например, при Перикле (444-429 гг. до н.э.) в Афинах было организовано обучение морским специальностям в местной морской школе. Каждый горожанин за умеренную плату мог приобрести ту или иную морскую специальность. Сегодня укомплектование экипажа судна высококвалифицированными моряками рассматривается как мероприятие в значительной мере обеспечивающее охрану человеческой жизни на море. Если полистать все Международные Конвенции об охране человеческой жизни на море, включая SOLAS-74 (там это - правило 13, оно так и называется "Экипаж"), обратите внимание, что ни в одной из них вопрос о квалификации экипажа не обойдён стороной. Ещё 24 октября 1936 г. на 21 сессии Генеральной конференции Международной организации труда (МОТ) была принята Конвенция о дипломах лиц командного состава судовых экипажей.

И, наконец, существует и ныне действующая, Международная Конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты от 7 июля 1978 г., Лондон (ПДМНВ-78). Она вступила в силу 28 апреля 1984 г. с Приложением. В Приложение входят: Международный Кодекс о дипломировании, учебные планы по каждой морской специальности; определён объём продолжительности обучения. Разработаны образцы Дипломов и Квалификационных Свидетельств по каждой специальности; определены возраст и медицинские требования для морских специалистов; а также минимальный экипаж для каждого типа судов. Администрации торговых портов предоставлено право проводить инспекторские проверки на предмет соответствия каждого моряка - от капитана до стюарда - занимаемой на судне должности. Как видим, Мировое сообщество очень внимательно следит за пригодностью плавсостава к исполнению своих обязанностей.

И есть ещё один действующий ныне документ, ре-

гулирующий безопасность торгового судоходства и охрану человеческой жизни на море - Это Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения. В обычных документах он именуется Международный Кодекс по управлению безопасностью (МКУБ). Принят резолюцией ИМО А. 741 (18). В России введён в действие Приказом Минтранса от 26 июля 1994 г.

Итак, мною перечислены основные нормативные Акты Международного Морского Права, регулирующие безопасность торгового судоходства и охрану человеческой жизни на море. Если экипаж судна и судовладелец неукоснительно выполняют все положения перечисленных мною документов, никакой аварии, связанной с "человеческим фактором" не происходит вообще. Я имею в виду совсем недавний нелепый случай с лайнером COSTA CONCORDIA.

Судно COSTA CONCORDIA имеет Брутто Регистровый Тоннаж (BRT) = 114 500 Rt (Rt - Регистровые тонны). О величине одной регистровой тонны я уже писал, она равна 2,83 куб. метра, что соответствует 100 куб. футов. BRT рассчитывается по Правилам обмера, выпущенным Классификационным обществом, которое присвоило судну Класс, подтвердив тем самым его надёжность и абсолютную пригодность к выполнению возложенных на него функций в соответствии с проектом. Поэтому все разговоры о каких-то недостатках проекта, неполноценных конструктивных решений и недоделках отмечаем без всякого сомнения. Лайнер имел 13 пассажирских палуб, его длина 290 м, скорость полного хода 23 узла (42,6 км/ч), пассажироместимость 3700 человек, экипаж 1100 моряков. Ну и добавим сюда, что цена лайнера 450 миллионов Евро. В носовой части судна на высоте 60 метров от ватерлинии располагалась прогулочная палуба на 85 персон, любителей понаблюдать окружающую обстановку, как говорится, с высоты птичьего полёта. На 13 палубах лайнера располагались 1500 кают, пять ресторанов, 13 баров, фитнес центр, 4 плавательных бассейна, кинотеатр с огромным экраном, театр и казино. Гребные винты лайнера размещаются в винто-рулевых колонках, которые могут разворачи-

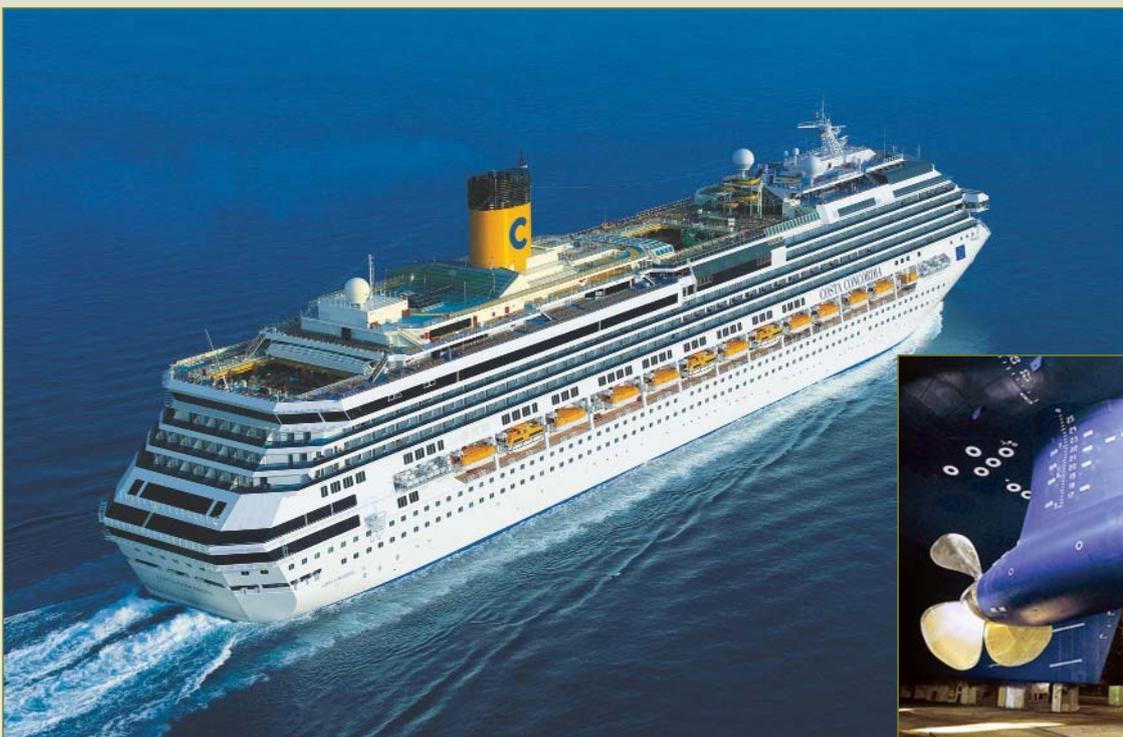


Устройство Costa Concordia

ваться в горизонтальной плоскости на 360 градусов, что позволяет изменять направление вектора тяги на те же 360 градусов. Это делает управляемость судна абсолютной без изменения режима работы судовой энергетической установки. Иначе говоря, без всяких реверсов двигателя судно может развернуться на месте или сменить направление движения с "Полного вперёд" на "Полный назад". Если бы "Титаник" имел такую маневренность, айсберг вообще остался в стороне, лайнер успел бы изменить курс и уклониться от столкновения.

На шлюпочной палубе установлены шлюпки, все они закрытого типа и полностью соответствуют требованиям по качеству и количеству, приведённым выше. Все шлюпки имеют запас питьевой воды и продовольствия. Шлюпочный компас, карту, прокладочный инструмент. Чтобы спасшиеся люди не умерли в шлюпке от тоски, в снабжение шлюпок могут включаться рыболовные принадлежности, две колоды игральных карт и набор молитвенников различных конфессий. В общем, каждый спасшийся находит себе занятие по душе.

Лайнер оборудован успокоителями качки, работающих по принципу рулей глубины на подводных лодках. Каждая пара рулей, по одному с каждого борта, расположена ниже ватерлинии поблизости от скуловых образований корпуса судна и, приблизительно,



Costa Concordia во всей красоте



Рулевые колонки Costa Concordia



Costa Classica

метрах в тридцати друг от друга. Когда судно на стоянке, рули убираются в специальные ниши в судовом корпусе. Успокоители качки включаются в свежую погоду, если лайнер начинает качать. Когда палуба расположена параллельно плоскости горизонта, рули находятся в нейтральном положении. Как только возникает кренящий момент, рули разворачиваются так, чтобы создавать равноценный восстанавливающий момент, гасящий кренящий, и лайнер остаётся в прямом положении. За положением рулей, гасящих качку, в качестве датчика, следит гироскоп, работающий в режиме гировертикали и чутко реагирующий на каждое наклонение корпуса судна. Если судно накренилось, гировертикаль, сохраняя заданное ей положение в пространстве, включает рулевые приводы, которые задают рулям глубины нужный разворот. Такие системы имея высокую эффективность действия, занимая мало места в корпусе судна, и не столь энергоёмкие получили достаточно обширное применение в торговом флоте, особенно на пассажирских и круизных лайнерах, а также на паромов.

Говорить о навигационном обеспечении таких судов сложно, техника в своём развитии продвинулась далеко. Если во времена "Титаника" основным курсоуказателем был магнитный компас, то в настоящее время это в основном системы разной конструкции основанные на гироскопах. Возможно, в качестве главного компаса и сегодня применяется магнитный компас, то он установлен где-нибудь на мостике и таким образом, чтобы судовое железо мало влияло на его работу. Сегодня разработаны специальные репитеры для магнитных компасов. Они могут устанавливаться в любом месте, вдали от основного прибора.

Carnival Miral



Что же касается гироскопов, то на больших лайнерах их устанавливают два. Выход из строя прибора будет тут же обнаружен вахтенным штурманом, и агрегат будет отремонтирован, либо осуществлён немедленный переход на запасной. Существуют инерциальные системы, в которых как единое целое работают 4 гироскопа. Инерциальная система включается перед отплытием судна в море и работает непрерывно до тех пор, пока судно не придёт в порт назначения и не станет к причалу. Эта система постоянно выдаёт штурманам координаты места, где в данное время находится судно. Поэтому заблудиться в океане просто невозможно.

Для определения пройденного расстояния и скорости хода судна служат лаги. Во времена "Титаника" использовали вертушечный лаг. Крыльчатка - вертушка, на длинном лагине опускалась за борт и вращалась набегающим потоком в кильватерной дорожке. Её вращение через лагину передавалось на счётчик оборотов вертушки. По количеству оборотов за время рейса, внося поправку лага, определяли пройденное судном расстояние; а по количеству оборотов в единицу времени рассчитывали скорость. Сегодня всё резко изменилось. Появились гидродинамические лаги; их сменили индукционные электронные лаги. В настоящее время широкое применение получили доплер лаги. Их принцип работы всем известен из школьного курса физики, где даётся пример с проходящим скорым поездом, машинист которого даёт продолжительный сигнал. Тон сигнала при подходе электрички к месту, где Вы находитесь, и после её прохода мимо этого места на слух заметно изменяется. Частота сигнала излучаемого антенной лага известна, величину смещения частоты улавливает Ваш прибор, она зависит от скорости хода судна, так что, не так трудно определить скорость. На сравнительно небольших глубинах моря лаг принимает частоту отражённого от дна сигнала и выдаёт скорость судна относительно дна. На больших глубинах посылка может теряться, антенна лага её не принимает. Но есть, так называемая, реверберация - отражение сигнала от рыб, пузырьков воздуха, границ разделения плотности слоёв воды и т.п. В этом случае доплер лаг даст Вам скорость судна относительно воды.

Говорить об эхолотах можно долго и нудно, их великое множество. Сегодня с помощью эхолота измеряют не только глубину моря под килём судна, но ищут коски рыбы, всевозможные предметы на глубине и т.д. На большом судне их, по крайней мере два (один - речной, другой - для плавания в морских условиях). На принципе эхолота работают судовые гидроакустические станции. Радиопеленгаторы позволяют с высокой точностью определить направление на радиомаяк или какую-либо другую работающую радиостанцию. В мою бытность, когда я плавал на спасателе (СМБ), по радиопеленгу мы выходили на терпящее бедствие судно. Современные радиопеленгаторы могут надёжно работать в автоматическом режиме. Смею утверждать, что на "Титанике" радиопеленгатора не было. Что же касается лайнера "COSTA CONCORDIA", то там радиопеленгатор обязательно был.

Радиолокационные станции (РЛС). Об этом поговорим подробнее Радиолокатор, он же радар, получил широкое распространение на судах торгового флота в середине XX века. Первые РЛС, работавшие на радиолампах, были громоздки и не слишком надёжны. РЛС, применяемые на судах сегодня собраны на современной элементной базе и достаточно на-

дѣжны. И хотя они не сразу были в совершенстве освоены судоводителями, но принесли морякам немалую пользу. Большинство судовых РЛС имеют дальность обнаружения объектов в тумане около 70 миль. Для моряков торгового флота этого вполне достаточно. На всех морских судах сегодня ставят не менее двух РЛС. Моряки на "Титанике" о такой технике даже не мечтали. Если бы там была РЛС, катастрофы не было бы вообще. Современная РЛС на индикаторе покажет не только засветку от объекта (не важно, что это - судно или айсберг), но по желанию штурмана выдаст координаты объекта, его курс и скорость хода (если таковая имеется). Особого уважения заслуживает система автоматического радиопеленгования (САРП). Опытный радионаблюдатель может одновременно контролировать где-то порядка пяти объектов, а САРП одновременно контролирует их около 70 и по каждому может выдать штурману интересующие данные. С помощью САРП можно проиграть на дисплее РЛС возможное расхождение с целью при изменении скорости хода или курса своего (нашего) судна; можно заранее определить, какой объект при расхождении представляет для нас наибольшую опасность и так далее. Круизный лайнер был оборудован такой системой.

В торговом флоте цивилизованных государств широкое применение получает самая новейшая вычислительная техника. ЭВМ уверенно заняли место на мостике современных судов. В память ЭВМ вводятся навигационные карты и штурман может в любое время вывести на крупноформатный плазменный дисплей любую из них. С ЭВМ сопрягаются: РЛС, лаг, компас, эхолот, спутниковые навигационные системы, позволяющие определять место судна в море с точностью плюс-минус 2 метра. Сюда же можно подключить любые радионавигационные системы - импульсную, импульсно фазовую. Что теперь требуется от штурмана: включить электронную карту, с координатами своего судна на данный момент времени, ввести в память ЭВМ координаты точек, в которых судно должно изменить курс и подключить к ЭВМ автопилот. Прокладку пути судна выполнит ЭВМ; она же сменит навигационную карту, когда предыдущая закончится. На подходе к порту назначения капитан по радиосети может востребовать и получить крупномасштабный план порта, где указана расстановка судов у причалов и место швартовки его судна (таким образом, получается, что в порт можно войти и встать к нужному причалу не пользуясь услугами лоцмана). Такой же план порта можно получить и на выход из порта.

Крупная судоходная компания Costa Cruises operates имеет в эксплуатации 16 круизных лайнеров, включая Costa Concordia, который принадлежит её дочерней судоходной компании Carnival. Этот лайнер числится в списках эксплуатируемого флота как самый надёжный и безопасный, поэтому произошедший с лайнером инцидент нельзя считать заурядным.

Возьмём ретроспективу статистических данных об аварийности судов флота Costa Cruises за предыдущие годы, приняв за точку отсчёта аварийный случай с круизным лайнером Costf Concordia. Итак:

1. 24 августа 2005 г. на лайнере Costa Classica возник пожар у острова Порос, Греция. Пожар возник на камбузе и продолжался 35 минут, никто не пострадал.

2. 6 ноября 2006 г. лайнер Carnival Elation"s не вписался в проходе между трапами на мысе Канаверел, четыре пассажира получили лёгкие телесные



Carnival\_Elation

повреждения.

3. 6 июня 2008 г. лайнер Costa Classica столкнулся с круизным судном MSC Poesia на акватории старого порта Дубровник, Хорватия.

4. 22 ноября 2008 г. лайнер Costa Concordia (тот же, многострадальный, о котором начали разговор) столкнулся с плавучим доком в Палермо на Сицилии, никто не пострадал, пассажиры отделались лёгким испугом.

5. 26 февраля 2009 г. на лайнере Costa Romantica после захода в Рио де Женеиро, Бразилия, возник пожар; все находившиеся на борту люди были эвакуированы. Позже судно получило название Costa neo Romantica.

6. 28 января 2010 г. лайнер Carnival Miracl врезался в пирс, получил повреждение правого борта и повредил портовое сооружение в Порту Занте, св. Китс. Авария произошла из-за сильного прижимного ветра.

7. 26 февраля 2010 г. лайнер Costa Europa столкнулся с портовым сооружением (волнолом) в порту Шарм-эль-шейх, Египет. Три члена экипажа погибли; четыре туриста получили телесные повреждения. Два месяца спустя судно было взято в тайм-чартер фирмой Thomson Cruises сроком на 10 лет и переименовано в Thomson Dream.

8. 18 октября 2010 г. лайнер Costa Classica столкнулся с грузовым судном на реке Янцзы, Китай. В результате столкновения три пассажира получили телесные повреждения. На лайнере получилась пробоина с правого борта длиной 20 метров.

9. 8 ноября 2010 г. круизный лайнер Carnival Splendor дважды горел недалеко от Мехико.



Погрузка в Ан-124 "Руслан" нового генератора взамен сгоревшего на Carnival Splendor

Carnival Splendor



10. 13 января 2012 г. лайнер Costa Concordia выбросился на рифы в области Италии Тоскана. Этот аварийный случай привёл к гибели 11 человек; 24 - пропали без вести. Судно получило пробоину длиной 50 метров в районе машинного отделения, что вывело из строя все судовые механизмы, судно лишилось свободы маневрирования, утратило свою способность к безопасному мореплаванию.

Зазвонил колокол по погибшим на итальянских судах круизного флота.

Трудно было себе представить, что количество погибших на борту лайнера Costa Concordia, достигнет 11 человек. Сюда же надо добавить и пропавших без вести. Капитан несёт всю ответственность за гибель своего судна. Видимо, судовладельцы по данному происшествию "заявят абандон", то есть, откажутся от права собственности на судно и получат страховку, тем самым покрыв свои долги перед пассажирами и участниками того злополучного рейса, если окажется, что лайнер уже невозможно восстановить.

Хронометраж этого аварийного случая.

1. Итак, 13 января в 7 часов по полудню Costa Concordia покинула порт Civitavecchia. Перед выходом в море были включены все имевшиеся на борту электронные приборы и средства судовождения. Так что судоводители могли абсолютно надёжно вести судно по маршруту круиза, с точностью плюс-минус 2 м.

2. Убедившись, что на мостике всё в порядке, капитан, как обычно, спустился в салон представить пассажирам и пожелать им счастливого плавания, так обычно поступают капитаны пассажирских судов.

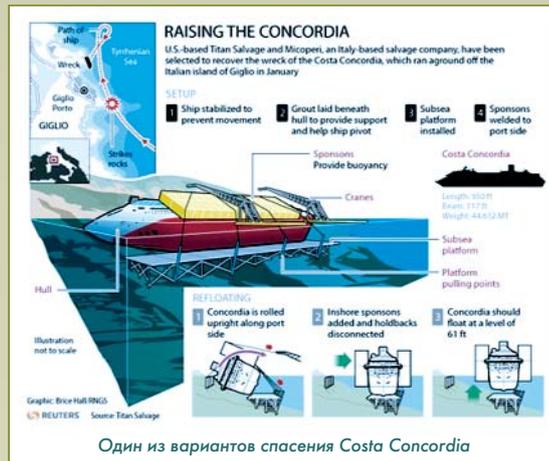
3. В 9.30 по полудню судно ударило о рифы, находясь в 300 метрах от острова Giglio. Через пробоину в корпус начала поступать вода.

4. В 9.50 по полудню Судно начало быстро крениться, и капитан попытался развернуть лайнер, чтобы он смог войти в порт на острове Giglio.

5. В 10 часов по полудню судно легло на грунт, всем дана команда "Покинуть судно!".

Вообще, в гибели итальянского лайнера слишком много напущено "тумана", сведения разноречивы и мало достоверны. На одной карте обозначена точка, в которой лайнер начал уклоняться от маршрута, и дальнейший путь, по которому он должен был следовать показан пунктиром. Почему он изменил свой маршрут, что можно делать только по приказу капитана? Получается, что штурмана действовали по своей инициативе, и избранный ими путь привёл к катастрофе. Лайнер с осадкой 8 метров был загнан за 10-

Так выглядит Costa Concordia сейчас



Один из вариантов спасения Costa Concordia

метровую изобату (глубины менее 10 метров), что для него и оказалось смерти подобно.

На повреждённом судне осталось 2400 т тяжелого дизельного топлива и 200 т горюче-смазочных материалов. На судне установлены тихоходные малооборотные дизели, способные работать на тяжелых сортах дизельного топлива, включая мазут. Если всё это окажется за бортом, природе прекрасных приморских курортов может быть нанесен очень большой урон. Вопрос об откачке имеющихся нефтепродуктов пока не решён. Скорее всего, заделав пробоины, попытаться поставить судно на ровный киль, осушить машинное отделение, а затем, используя судовые системы, откачивать нефтепродукты на лихтера или по трубопроводам на берег, благо до него - рукой подать.

Что же касается общего в ошибках экипажей "Титаника" и Costa Concordia, то здесь можно отметить их бездействие по борьбе за живучесть. С экипажем "Титаника" всё ясно - в те времена в теории корабля тема борьбы за живучесть не была разработана, и моряки просто не знали, что им нужно было делать и как поступить, поэтому они могли только безучастно наблюдать за происходящим. В настоящее время на любом судне есть информация для капитана по непотопляемости: ему остаётся выбрать идентичный пример повреждений корпуса судна и ввести в действия экипажа нужные противодействия затоплению своего судна. То, что экипаж итальянского лайнера бездействовал означает одно - с моряками не проводилась должная учёба, и они также бездействовали.

Я делал по "Титанику", пусть недостаточно точные, но весьма убедительные расчёты. Если бы экипаж "Титаника" перекачал 1000 тонн воды из балластов правого борта (он ударился об айсберг правым бортом) в балласты левого борта (на эту перекачку ушло бы несколько минут), то правый борт судна вышел бы из воды на 8 метров (правда крен тогда достиг бы 30 градусов, но это для такого судна особой опасности не представляло), а главное - пробоина вышла бы из воды, и её моряки смогли бы заделать. В общем, все бы остались живы, и судно, и находящиеся на его борту люди.

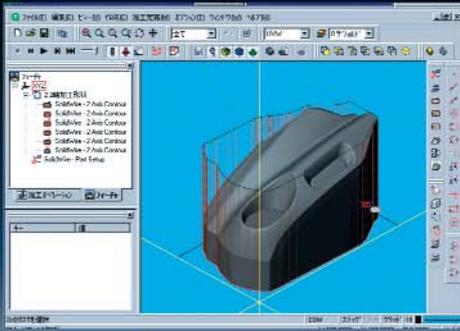
Наши реформаторы любят при каждом удобном и неудобном случае заглядывать "за бугор", дескать, всему-всему мы должны у соседей учиться. По своему опыту могу сказать лишь одно: в 70-е годы XX века, лучшим торговым флотом был наш, Советский флот. А потом - понесло по кочкам! И в том, что сегодня у нас всё происходит не так, как у людей, виноваты совсем не моряки.

Плавали - знаем.





# Nano&Solution



**5-е поколение  
ЭИ станков  
с линейными  
сервоприводами**

## AQ400L

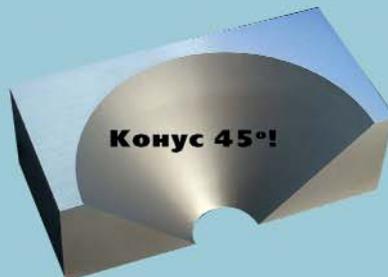
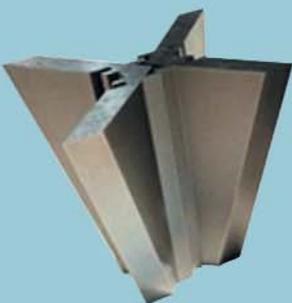
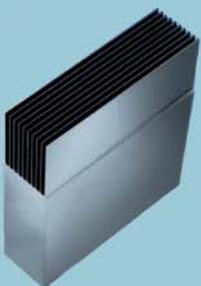


**Пионер и лидер  
нанотехнологий  
в металлообработке**

## AQ600L

# Sodick

### Компактные электроискровые проволочно-вырезные станки



Точность позиционирования:  
гарантия **10** лет  
Впервые в отрасли!

127083, Москва, Мишина, 56-2; метро "Динамо"; тел.: +7 495 787-0970; факс: 787-0971; www.sodick.ru // "Содиком - Днипро" (Украина) // kiyv@sodick.ru

**30 лет мирового лидерства,  
10 лет на российском рынке**



**Партнер  
ГСС и Alenia  
в проекте  
Суперджет 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](http://www.aldservice.com)**

ING | AIRBUS | ALSTOM | AVIADVIGATEL | BAE | DEUTSHCE BAHN | EADS | EMBRAER | FAA | IAA | NASA | BO  
FINMECCANICA | IRKUT | LOCKHEED MARTINI | SUKHOI | SAAB | SELEXIUK | THALES | ALENIA SPACE | SATURN