

Двигатель

Научно-технический журнал

№ 1 (97 + 244) 2015



*Лопастки винта вертолёта,
лопатки вентилятора ГТД,
большинство деталей планера и т.д.
будут изготавливаться из композитных материалов*

стр. 2 - 8,

ВСУ: ещё один двигатель каждого вертолётца

стр. 16 - 19



2010



Медаль АМКОС
"Преодоление"



Редакционный совет

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

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор

Александр Иванович Бажанов
член-корреспондент Российской и
Международной инженерных академий

Заместитель главного редактора

Дмитрий Александрович Боев

Ответственный секретарь

Александр Николаевич Медведь, к.т.н.

Финансовый директор

Юлия Валерьевна Дамбис

Редакторы:

Александр Аркадьевич Гомберг,

Ирина Михайловна Иванова,

Андрей Иванович Касьян, к.т.н.

Юрий Романович Сергей, к.т.н.

Литературный редактор

Эрнст Галсанович Намсараев

Художественные редакторы:

Александр Николаевич Медведь

Владимир Николаевич Романов

Техническая поддержка

Ольга Владимировна Лысенкова, к.пед.н.

В номере использованы фотографии, эскизы и рисунки:

А.В. Артамонова, А.И. Бажанова,

Д.А. Боева, А.В. Ефимова,

А.Н. Медведя, В.Н. Романова и др.

Адрес редакции журнала "Двигатель":

111116, Россия, Москва,

ул. Авиамоторная, 2.

Тел./Факс: (495) 362-3925.

dvigatell@yandex.ru

boeff@yandex.ru

aib50@yandex.ru

www.dvigately.ru

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

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

ООО "Редакция журнала "Двигатели" ©

генеральный директор Д.А. Боев

зам. ген. директора А.И. Бажанов

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

Мнение редакции не всегда

совпадает с мнением авторов.

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

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

Научно-технический журнал "Двигатель" ©

зарегистрирован в ГК РФ по печати.

Рег. № 018414 от 11.01.1999 г.

16-й (108-й) год издания.

Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати" Москва.

Тираж 5 000 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная.





О ФОРМИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ПОЛИМЕРНОМУ МАТЕРИАЛУ ПЕРСПЕКТИВНОЙ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ ВЕНТИЛЯТОРА ТРДД

ФГУП ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова":

Тельман Джамалдинович Каримбаев, начальник отдела
Алексей Анатольевич Луппов, начальник сектора
Дмитрий Викторович Афанасьев, научный сотрудник
Денис Сергеевич Пальчиков, инженер первой категории

Правильный выбор композиционного материала для широкохордных рабочих лопаток вентиляторов ТРДД обеспечивает заметное снижение трудовых и временных затрат при их создании, приводит к снижению технического риска получить нерациональную конструкцию. В работе рассмотрены параметры полимерных композиционных материалов (ПКМ), которые составляют основу технических требований к материалу разрабатываемой рабочей лопатки вентилятора ТРДД большой степени двухконтурности. Базовая совокупность параметров, необходимых для формирования технических требований к ПКМ лопатки, установлена путём анализа способов выбора ПКМ зарубежными двигателестроительными фирмами, главным образом, фирмой "Дженерал Электрик" для лопатки вентилятора GE-90, а также опыта работ ЦИАМ.

The right choice of composite material for wide-chord work blades fans of turbofan provides a significant reduction in labor and time costs when they are created, leading to reduction in technical risk of inefficient design. The paper discusses the parameters of polymeric composite materials (PCM) that form the basis of technical requirements at the material developed by the fan blade turbofan high bypass ratio. The basic set of parameters, required for the formation of technical requirements for the PCM blades, installed by analyzing ways to select PCM foreign engine companies, mainly by the General Electric company for fan blade GE-90, as well as the experience of the work of CIAM.

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

Проблемы повышения эффективности ГТД приводят к разработке и использованию ТРДД большой степени двухконтурности, отличающихся большими габаритами вентиляторов. Отмеченная тенденция развития ТРДД большой степени двухконтурности поднимает проблемы массы и стоимости изделия. Решение этих актуальных задач двигателестроительные фирмы мира видят в применении полимерных композиционных материалов (ПКМ) для изготовления широкохордных рабочих лопаток, бронезащитного корпуса и других деталей вентиляторов перспективных ТРДД.

Работы по применению композиционных материалов в двигателях начались в 60-х годах прошлого столетия. В течение этого времени было проведено огромное число исследований. Как удачные, так и неудачные результаты этих исследований заметно обогатили опыт обращения с ПКМ. Накопленный опыт позволил фирме "Дженерал Электрик" впервые в 1995 г. сертифицировать двигатель GE-90 с рабочими лопатками вентилятора, выполненными из углепластика. Опыт эксплуатации двигателя GE-90 позволил фирме бесповоротно заняться внедрением ПКМ в последующие двигатели. В настоящее время фирмой разрабатывается 4-е поколение лопаток вентилятора для двигателя GE-9. Вслед за фирмой "Дженерал Электрик" потянулись все основные двигателестроительные фирмы, каждая из которых вносит свою лепту в развитие как самих ПКМ, так и способов их применения в двигателях. Так применительно к двигателю LEAP-X фирма Snesta совместно с "Дженерал Электрик" ориентируется на тканую структуру рабочей лопатки вентилятора и RTM-технологии. Фирма Rolls-Royce развивает роботизированную технологию создания рабочей лопатки вентилятора.

Особенности механических и эксплуатационных свойств ПКМ, связанных, прежде всего, с их недостаточной вязкостью разрушения, а также ограниченные возможности отечественного рынка в поставке исходных материалов необходимого качества, отсутствие в России опыта эксплуатации высоконагруженных деталей двигателя из ПКМ требуют всестороннего изучения опыта ведущих фирм. На основе изучения опыта создания неметаллической лопатки вентилятора GE-90 проведе-

ны исследования по установлению перечня параметров для формирования технических требований к ПКМ широкохордных рабочих лопаток вентиляторов перспективных ТРДД большой степени двухконтурности. В отмеченных выше условиях анализ и обобщение опыта уже выполненных работ, безусловно, будет способствовать снижению риска при новых разработках и повышению эффективности принимаемых технических решений.

1. Выбор материала лопатки вентилятора GE-90 фирмой "Дженерал Электрик"

Для того чтобы понять важность тех или иных свойств ПКМ и определить критерии отбора материала, стоит обратиться к истории создания рабочей лопатки двигателя GE-90. На рис. 1 представлена конструкция лопатки вентилятора двигателя GE-90. В настоящее время двигатель GE-90 с рабочими лопатками из углепластика является единственным двигателем с наибольшей наработкой в эксплуатации. Нарботка первых экземпляров лопаток из углепластика превысила 30 млн часов. Фирма планирует, что их наработка может быть доведена до 150 млн летных часов. Безотказная эксплуатация двигателя GE-90 является реальным подвее-

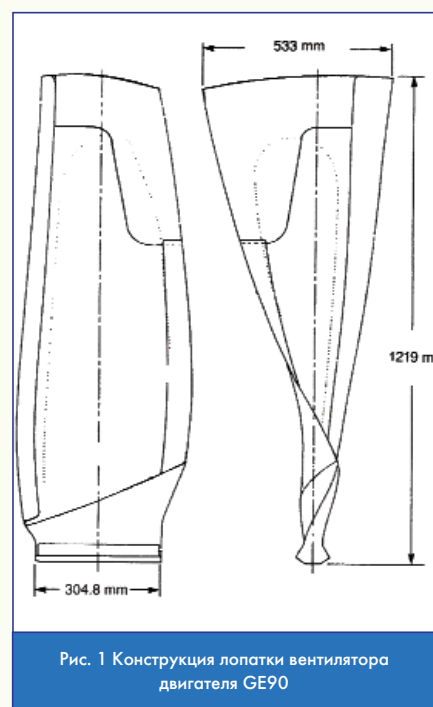


Рис. 1 Конструкция лопатки вентилятора двигателя GE90

рждением верности выбранных технических решений при его создании и необходимости учета этого опыта при новых разработках.

Рабочая лопатка вентилятора двигателя GE-90 изготовлена по технологии автоклавного прессования из предварительно подготовленного препрега. Кандидатами на роль основного материала лопатки GE-90 фирмой были выбраны следующие марки препрегов:

- TOREY F3900 (волокна марки T800/связующее F3900),
- Hexcel F3900 (волокна IM7/связующее F3900),
- BP E7T1-2 (волокна IM7/связующее E7T1-2),
- Fiberite 977-2 (волокна IM7/связующее 997-2),
- Hercules 8551-7 (волокна IM7/связующее 8551-7),
- Amoco 1982,
- Ciba-Geigy RX 121.

1.1 О выборе материала наполнителя. Следует отметить, что в рассматриваемых материалах в качестве наполнителя используются углеродные волокна IM7 или T800. Это высокопрочные волокна, одни из лучших волокон в мире по своим механическим свойствам на тот момент. В таблице 1 приведены сравнительные параметры зарубежных углеродных нитей. Сравнение подчёркивает тот факт, что для такой высоконагруженной детали, как рабочая лопатка вентилятора, следует применять максимально прочные волокна. Наряду с прочностью для наполнителей рассматриваются такие параметры как предельная деформация, стабильность свойств, стоимость, доступность и другие технические и экономические факторы.

Таблица 1
Сравнительные параметры зарубежных углеродных нитей

Волокно	Фирма	Содержание углерода, %	Прочность при растяжении, МПа	Модуль упругости, ГПа	Нитей в жгуте	Свойства ПКМ		
						$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	Ев, ГПа
IM-4	Hexcel	~94	4769	276	12K	2484	н/д	179
IM-7	Hexcel	~94	5175 (6K) - 5760 (12K)	276 (6K) - 290 (12K)	6K - 12K	3036	н/д	176
IM-9	Hexcel	~94	6072 (6K) - 6141 (12K)	290 (6K) - 290 (12K)	6K - 12K	3222	н/д	176
T700S	Toray	~93	4900	230	6K - 24K	2550	1470	135
T800S	Toray	-	5880	294	24K	2950	н/д	154
T800H	Toray	~96	5490	294	6K - 12K	2650	1570	170
T1000G	Toray	~95	6370	294	12K	3040	1570	165
M40J	Toray	>99	4410	377	3K - 12K	2450	1270	230
M55J	Toray	>99	4020	540	6K	2010	880	340
M60J	Toray	>99	3920	588	3K - 6K	2010	785	365

По значениям модулей упругости при растяжении и прочности углеродные нити IM7 и T800 близки. Препреги TOREY F3900 (волокна марки T800/связующее F3900) и Hexcel F3900 (волокна IM7/связующее F3900) выполнены на одном связующем и отличаются только наполнителем. Тот факт, что в результате испытаний обеих марок этих препрегов фирма GE выбрала для лопатки именно препрег на волокнах IM7 (пусть и на другом связующем), косвенно говорит об их лучших качествах относительно волокон T800.

1.2 Эволюция микроструктуры матрицы ПКМ для лопатки GE-90. Применение углепластиков в авиации было первоначально ограничено повышенной чувствительностью этих материалов к повреждениям. Прочностные характеристики ПКМ низки в окрестности технологических отверстий, выполненных для крепления, после эксплуатационных повреждений, полученных от удара посторонними предметами. Углепластики, используемые для таких силовых структур, как рабочие лопатки вентиляторов, должны быть стойкими к технологическим дефек-

там, эксплуатационным повреждениям и их последствиям. В результате многолетних поисков были разработаны композиционные материалы с многофазной матрицей, являющейся смесью терморезактивных и термопластичных полимеров. Такие ПКМ сочетают в себе высокие механические свойства терморезактивных матриц с высокой ударной вязкостью термопластов. Для рабочей лопатки GE-90 выход оказался в создании матрицы с "трёхфазной системой", в которой эпоксидная матрица была модифицирована применением термопластичной фазы и частиц резины (каучука). Благодаря этому удалось поднять остаточную прочность ПКМ при сжатии до уровня 350 МПа после удара с энергией в 30,5 Дж. При решении ряда технических задач с применением современных полимерных связующих материалов отмеченный уровень остаточной прочности ПКМ при сжатии считают базовым.

На рис. 2 показана эволюция материала матрицы, позволяющая на 200% повысить вязкость разрушения ПКМ и обеспечить указанные выше требования к трещиностойкости и сопротивляемости ударным нагрузкам ПКМ для лопатки вентилятора GE-90.



1.3 О выборе ПКМ для лопатки GE-90. Следующие характеристики ПКМ рассматривались при отборе материала для рабочей лопатки вентилятора:

- свойства ПКМ при растяжении и сжатии,
- свойства ПКМ при межслоевом сдвиге,
- усталостные характеристики ПКМ,
- трещиностойкость (при статических и динамических нагрузках),
- стойкость при попадании посторонних предметов (испытывались как плоские панели, так и одиночные лопатки).

Очевидно, что повышенные характеристики статической и динамической прочности и жесткости являются важными критериями при выборе материала для рабочей лопатки вентилятора. Однако эти необходимые требования, как будет показано ниже, оказываются недостаточными.

Известно, что в результате массовых исследований на этапе выбора материала для лопатки GE-90 лидером стал препрег марки Hercules 8551-7 (IM7/8551-7). В настоящее время он выпускается под маркой Hexcel 8551-7. Для формирования требований к ПКМ рабочей лопатки вентилятора представляет интерес сравнение свойств кандидатов и окончательно выбранного материала. Это позволит понять, в чём конкретно были технические преимущества материала IM7/8551-7 перед остальными конкурентами.

Ниже представлен сравнительный анализ результатов испытаний 10 наиболее совершенных материалов авиационного назначения (на момент 1992 г.), четыре из которых были претендентами на материал лопатки GE-90 (на диаграммах они обозначены индексами А, F, H, I). Результаты экспериментов заимствованы из публикации [2] и [3]. Большинство препрегов выполнено на волокнах IM7 и отличаются только полимерной матрицей. Тем интереснее проследить именно вклад полимер-

ной матрицы на формирование тех или иных свойств ПКМ.

Если выбирать лучший препрег для лопатки из ПКМ, сравнивая материалы только по значениям их модулей упругости или прочностей при растяжении, то материал IM7/8551-7, обозначенный литерой "I", не будет самым лучшим (см. рис. 3). Наибольшую прочность при растяжении имеет материал "E". Это препрег на волокнах IM7 и связующем 5260. Материал "C" на волокнах G40-800X и матрице 5255-3 имеет самый высокий модуль упругости при растяжении вдоль волокон, а материалы "G" и "H" (IM7/F655 и T800/F3900) имеют наибольший модуль упругости при сжатии.

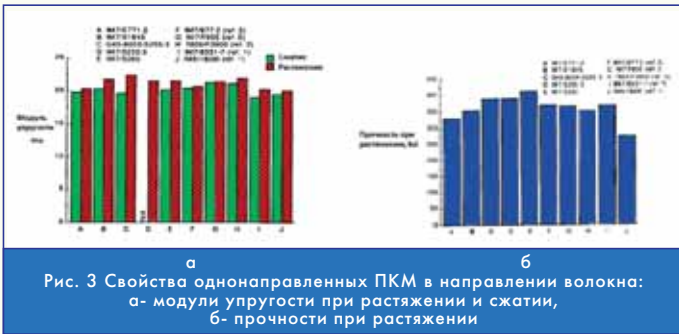


Рис. 3 Свойства однонаправленных ПКМ в направлении волокна: а- модули упругости при растяжении и сжатии, б- прочности при растяжении

По результатам сравнения характеристик трансверсальной прочности (см. рис. 4) в лидерах будут так же препреги других марок, а именно: "E" IM7/5260 (самая высокая прочность) и "C" G40-800X/5255-3 (самый высокий модуль при растяжении). Выбранный материал IM7/8551-7 на рис. 4 с литером "I" по показателю прочности находится на втором месте.

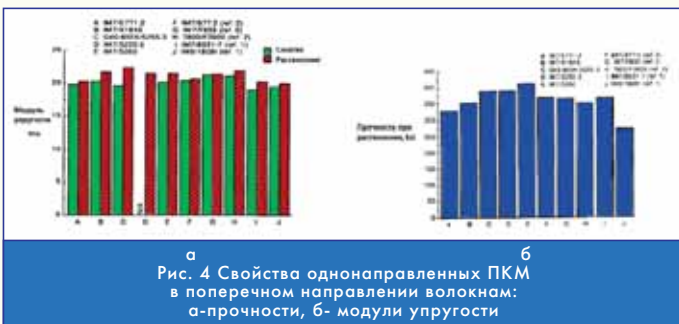


Рис. 4 Свойства однонаправленных ПКМ в поперечном направлении волокон: а-прочности, б- модули упругости

Представленные на рис. 5 характеристики сдвига в плоскости слоя сравниваются путём анализа результатов испытаний на растяжение образцов с симметричной укладкой $[45^\circ]_n$. Видно, что и в этих испытаниях препрег IM7/8551-7 показал не самые лучшие результаты. Более прочными оказались образцы материала, выполненные из препрега марки Fiberite 977-2 (IM7/ 997-2), а максимальную жёсткость показали образцы из материала IM7/5260.

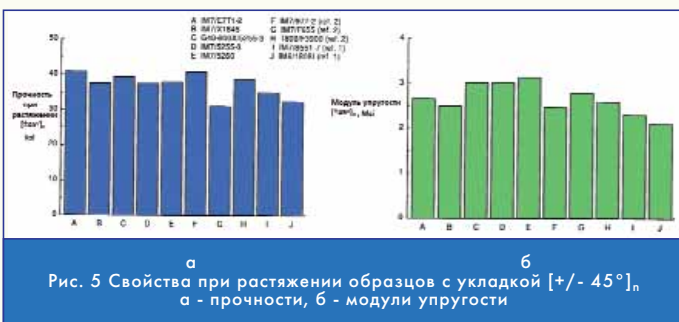


Рис. 5 Свойства при растяжении образцов с укладкой $[+/- 45^\circ]_n$, а - прочности, б - модули упругости

Далее рассматриваются испытания, в которых оценивается стойкость образцов к различным повреждениям. Можно предположить, что испытания образцов квазиизотропной укладкой с отверстиями выявят лучшие качества препрега IM7/8551-7. Но и это оказывается не совсем так. По результатам этого теста лидирует материал "C" G40-800X/5255-3.

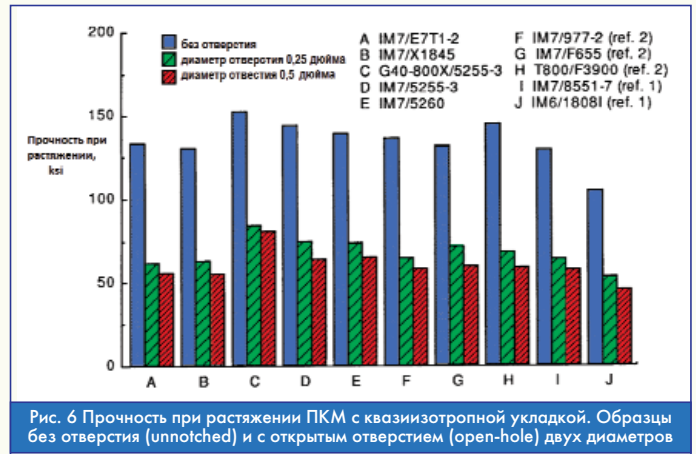


Рис. 6 Прочность при растяжении ПКМ с квазиизотропной укладкой. Образцы без отверстия (unpotted) и с открытым отверстием (open-hole) двух диаметров

Зависимость прочности на растяжение образцов с отверстием от модуля при растяжении ПКМ (рис. 7) также не выявляет материал IM7/8551-7 как наиболее предпочтительный от их модуля упругости при растяжении. Диаметр отверстия 0,25 дюйма (около 6,35 мм).

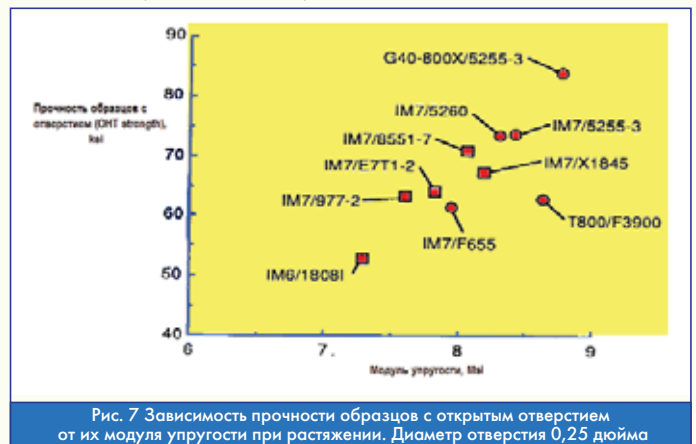


Рис. 7 Зависимость прочности образцов с открытым отверстием от их модуля упругости при растяжении. Диаметр отверстия 0,25 дюйма

Безоговорочное преимущество препрега марки IM7/8551-7 проявляется при сравнении ПКМ по параметру остаточной прочности при сжатии (CAI) как после удара падающим грузом при испытаниях на копре, так и после удара высокоскоростным ударником при стрельбе из пневматической пушки. Результаты сравнительных испытаний конкурирующих материалов по этому параметру приведены на рис. 8. Именно в этих испытаниях проявилось существенное преимущество материала на основе препрега IM7/8551-7. У этого материала практически нет конкурентов. Следом за ним идет материал на основе препрега на волокнах T800 марки TOREY F3900.

К аналогичному заключению можно придти, если сравнить остаточную прочность материала после удара у образцов, испытанных при повышенной температуре и влажности (HW), относительно образцов, испытанных при комнатной температу-

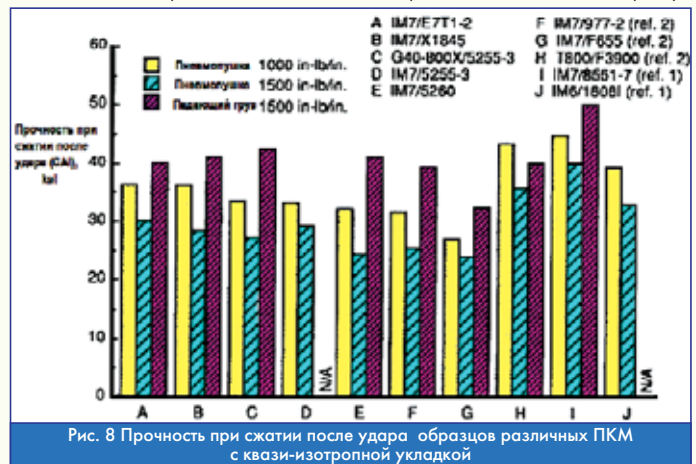


Рис. 8 Прочность при сжатии после удара образцов различных ПКМ с квази-изотропной укладкой

ре (RTD), где преимущества препрегов IM7/8551-7 и T800/F3900 особенно хорошо заметны.

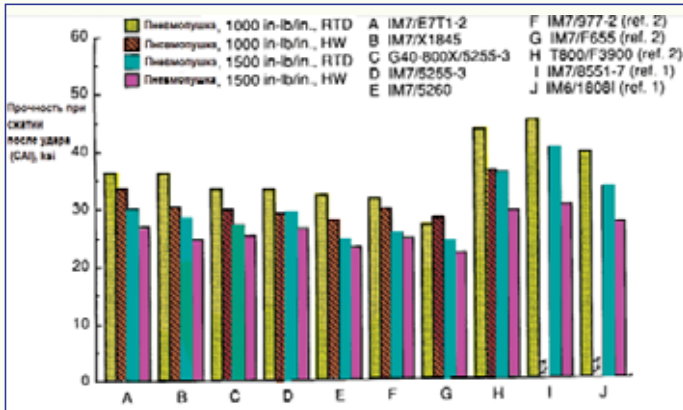


Рис. 9 Остаточная прочность после удара у образцов, испытанных при повышенной температуре и влажности (HW), относительно образцов, испытанных при комнатной температуре (RTD)

Наиболее наглядно преимущества по работоспособности и эксплуатационной надежности ПКМ IM7/8551-7, выбранного для рабочей лопадки вентилятора GE-90, видны при рекомендуемом NASA интегральном сравнении ПКМ с повреждениями одновременно по двум параметрам: по характеристике их остаточной прочности на сжатие после удара и прочности на сжатие образцов с отверстием. На рис. 10 можно видеть, что по указанному сравнительному параметру безоговорочным фаворитом является материал IM7/8551-7.

Из этого краткого анализа можно сделать вывод, что наряду с известными характеристиками прочности и жесткости ПКМ важной сравнительной характеристикой для обеспечения

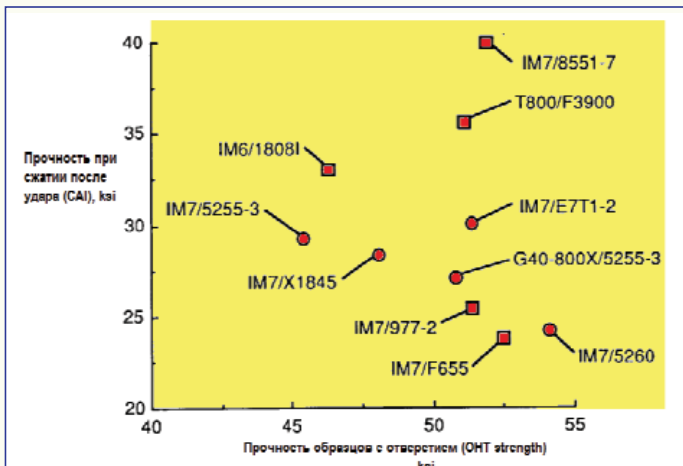


Рис. 10 Прочность на сжатие образцов из различных ПКМ с отверстием 0,25 дюйма в диаметре (ОНС) и их остаточная прочность на сжатие после удара CAI(1500 in-lb/in.)

эксплуатационной надежности неметаллической лопадки вентилятора можно считать совокупность величин остаточной прочности на сжатие после удара и прочности на сжатие образцов с отверстием. Указанные характеристики ПКМ непосредственно не используются при проектировании рабочей лопадки вентилятора. Однако относительная простота их экспериментального определения и их прямая связь с эксплуатационной надежностью изделий определяют их техническую важность. Таким образом, работоспособность материала при наличии повреждений, определение допустимых величин технологических дефектов и эксплуатационных повреждений можно считать решающим фактором, определяющим выбор того или иного ПКМ для лопадки вентилятора при условии, что остальные прочностные характеристики близки. Кроме того, не менее важный вывод, который можно сделать из анализа предыдущих экспериментальных данных, говорит о том, что влияние характеристик вязкости разрушения полимерного связующего

на величину остаточной прочности при сжатии после удара имеет решающее значение.

В подтверждение тезиса о первостепенной важности наличия у лопадки стойкости к ударным нагрузкам можно вспомнить неудачу компании Rolls-Royce с двигателем RB211-06. Лопадки вентилятора двигателя RB211-06, изготовленные из углепластика марки Hifil с относительно мало изученным комплексом свойств в эксплуатационных условиях, в целом, удовлетворяли всем параметрам по прочности и жесткости. Однако в то время они не проходили испытаний на птичестойкость [10]. Именно это стало одной из основных причин банкротства компании Rolls-Royce и замены лопаток из углепластика на двигателе семейства RB211 на полые титановые лопатки.

2 Квалификация материала лопадки вентилятора GE-90

После того, как фирма “Дженерал Электрик” остановила свой выбор на препреге марки Hercules 8551-7 (IM7/8551-7), был проведен полный комплекс квалификационных испытаний материала и других материалов, входящих в конструкцию лопадки. Квалификация ПКМ лопадки GE-90 включала в себя следующие этапы:

- получение характеристик материала путём проведения обширной программы испытаний, выходящих за рамки руководства Mil-Handbook-17;

- получение статистически обоснованных значений расчетных характеристик ПКМ путём статистической обработки результатов экспериментальных исследований, а именно, вычисление средних значений и значений по A-Basis в соответствии с руководством Mil-Handbook-17 и процедурами, рекомендованными координационной группой по композиционным материалам с полимерной матрицей. Следует обратить внимание на то, что рабочая лопадка вентилятора по отечественной классификации не относится к основным деталям двигателя, для которых определение параметров материала должно быть выполнено в соответствии с требованиями A-Basis (99 % вероятность прочности при 95 % доверительном уровне). Тем не менее, фирма “Дженерал Электрик” квалификацию ПКМ лопадки GE-90 провела с удовлетворением требований A-Basis, обеспечив повышенную точность проектных работ. Представляется, что в условиях отсутствия отечественного опыта эксплуатации рабочих лопаток из ПКМ и с учетом качества исходных материалов, расчетные значения характеристик ПКМ для разрабатываемых рабочих лопаток вентиляторов на данном этапе освоения ПКМ следует определять в соответствии с требованиями A-Basis.

В таблице 2 приведен объём квалификационных испытаний материалов, использованных в конструкции лопадки GE90 (однонаправленные ленты, ткани и клеи). Кроме того, в таблице перечислены основные виды испытаний и приведено число испытанных образцов. На выходе квалификационного этапа работ ПКМ присваивается статус: “материал полностью испытан” [1].

В течение 6 лет в период с 1988 по 1994 гг. фирма “Дженерал Электрик” формировала базу данных по материалам. Хронологию создания базы данных документов по исследованию, квалификации, а также методам контроля материалов лопадки двигателя GE-90 можно условно разбить на три этапа:

- 1988-1990 годы. Выбор и исследование материалов - более 800 документов. Исследование образцов в виде панелей и лопаток на удар и попадание посторонних предметов.

- 1991г. Квалификация материала Hercules IM7/8551-7 - более 600 документов. Выпуск документов по спецификации материалов и процессам контроля.

- 1992-1994 годы. Формирование документов по всем материалам, допущенным к применению в конструкции лопадки GE-90. База данных включает более 3400 документов.

В дополнение работ по общей квалификации ПКМ фирма “Дженерал Электрик” выполнила громадный объём исследований по специальной квалификации материала лопадки и её

Таблица 2 Номенклатура испытаний и число образцов, исследованных фирмой “Дженерал Электрик” при общей квалификации ПКМ для лопатки

Свойства / материал	Ленты	Ткани	Клей (адгезивы)
Основные свойства слоёв	1569	393	248
Физические свойства	426	20	
Верификация данных	60	100	59
Усталостные характеристики	388	50	
Характеристики ползучести	35		
Воздействие окружающей среды	136	50	194
Эффект от прошивки слоёв	60		
Сжимаемость в оснатке	200		
Всего образцов	2874	613	501

конструкционной прочности, что является предметом последующих исследований.

3 Альтернативные подходы создания рабочих лопаток вентиляторов из ПКМ

Как указано во введении, в настоящее время продолжается активная разработка и внедрение в авиационные двигатели лопаток вентиляторов из ПКМ всеми ведущими зарубежными двигателестроительными фирмами. Ниже кратко охарактеризованы работы фирм Snecma и Rolls-Royce.

3.1 Двигатели семейства LEAP. Помимо семейства двигателей фирмы “Дженерал Электрик” (GE90, GE115B, GENx, GE9) фирма CFM International, являющаяся совместным предприятием GE/Snecma, разрабатывает новый способ получения лопаток вентилятора и бронезащитных корпусов из ПКМ для перспективных двигателей LEAP. Восемнадцать лопаток двига-

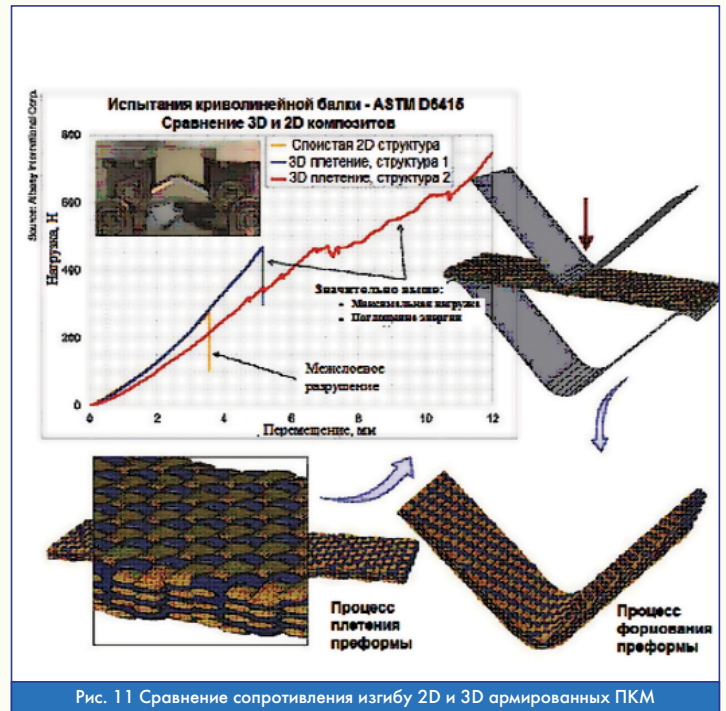


Рис. 11 Сравнение сопротивления изгибу 2D и 3D армированных ПКМ

телей LEAP из ПКМ являются первыми лопатками [4], для изготовления которых используются 3D-тканые материалы и, в отличие от препреговой технологии фирмы GE, RTM-технология пропитки смолой под давлением. Трёхмерная тканая структура материала обеспечивает [4] превосходную стойкость лопатки удару, а технологический процесс RTM оказывается благоприятным для изготовления более тонких и изогнутых лопаток. На рис. 11 представлены результаты сравнительных испытаний образцов ПКМ, выполненных из ткани слоистой 2D структуры и объёмного 3D плетения. Испытаниями [5], проведенными в соответствии с ASTM D6415, показано: несмотря на то, что ПКМ с 3D структурой имеют меньшую жесткость на межслоевой сдвиг, их межслоевая прочность почти в 1.5 раза выше.

В производстве лопаток двигателя LEAP-1 используется

связующее CYCOM® PR520 RTM фирмы Cytec. Особенность данного связующего в том, что в его составе содержится большая концентрация добавок термопластичного материала, которые придают ПКМ, изготовленным с применением этого связующего, повышенную трещиностойкость и стойкость к удару. Энергия разрушения связующего CYCOM® PR520 равна $GIC = 1,41 \text{ кДж/м}^2$. Остаточная прочность при сжатии после удара с энергией 30,5 Дж углеродной лопатки, изготовленного на волокнах T650-35, сос-

Таблица 3 Свойства ПКМ и их компонентов для лопаток вентиляторов ТРДД

Лопатки	GE90					Rolls-Royce	Leap-X			ГК-12	ГД-14 (2014)		
Марка связующего	Hexcel 8551-7	Hexcel 8552	Hexcel M21	Hexcel M21	Hexcel M21	Hexcel M91	Cycom PR 520 RTM	ИИУМТ Т-26	ИИУМТ Т-26	ИИУМТ Т-26	ИИУМТ Т-26	Toho Tenax PEEK	
Температура сушки (алогмаксимальной) стеклования Tg, °C	157 (116)	195 (154)	195 (150)			185-190	161	205 (172)				143 (ЮНИАВУ)	
Максимальная температура эксплуатации, °C	93	121	121			120	104	140					
Прочность при растяжении, МПа	99,3	120,7					82,1	95					
Модуль при растяжении, ГПа	4,1	4,67					4,0	3,1					
Предельная деформация, %	4,40	1,7					3,0	4-7,2					
K _{IC} , МПа·м ^{0,5} (ksi·in ^{0,5})	(3,19)	(1,48)					2,2 (2,0)	0,624					
G _{IC} , Дж/м ² (in lb/in ²)	(5,46)	(3,88)					1410 (8,1)	188					
Марка волокон	IM7 (60%)	IM7 (57,2%)	IM7 (59,2%)	1700 (57%)	1800S (57%)	IM7 (59,2%)	T650-35 88S (60%)	HTA40-3k 8H (60%)	HTA40-3k Пластиф.	T800 (д.уклад.)	IM565-24K exp. HTA40-3K exp.	HT540 [0] ₉₀	HTA40 [0;90]
Прочность при растяжении 0°, МПа	2760	2724	2860	2314	2981	2980	945	910	904	1200	1567,1	2300	955
Модуль при растяжении 0°, ГПа	158,6	164	160	147	170	165	75,8	65	66	92	146,8	123	60
Предельная деформация, %	1,64			1,54			3,0				1,06		
Прочность при растяжении 90°, МПа	75,6	111						661	304	314,5	211,3	68	
Модуль при растяжении 90°, ГПа	8,34	12						66	66	64	29,7	9,8	
Прочность при сжатии 0°, МПа	1586	1680	1790	1461	1657	1860	814	643	638	-	-	1148	725
Модуль при сжатии 0°, ГПа	148,2	149,6	148	118	139	150	63,4					129	59
Прочность при сдвиге в плоскости слоя, МПа	117,2	120	-	112			112			145,9	94	234	144
Модуль при сдвиге в плоскости слоя, ГПа	5,86	-	4,6	4,7	4,8		5,7			18,81	5,38	4,6	4,5
Прочность при межслоевом сдвиге, МПа	100	137	110	113	96	110	61,4 (связ.)	74	66	62	65 (69)		
Прочность на сдвиг после удара, МПа (30,5 Дж)	351		298			350	396	225	301	-	-	255	227
Ударная вязкость по Шарпу б.н. кДж/м ² , торцев [пластик]										141,5 (200,7)	239,5 (235,9)		



твляет сверхвысокое значение в 396 МПа (см. таблицу 3).

Однако термопластичные добавки делают связующее очень густым. При комнатной температуре оно имеет консистенцию густой пасты. Это накладывает свой отпечаток на весь технологический процесс. Для того чтобы произвести процесс дегазации связующего, его требуется разогреть до температур выше 105 °С, а успешную пропитку можно произвести только при температурах, превышающих 165 °С, когда эти добавки перейдут в жидкую фазу и не будут отфильтровываться волокнами наполнителя. Время жизни смолы при такой высокой температуре ограничено. На весь процесс пропитки отводится не более 30 - 40 минут, что, в свою очередь, вынуждает использовать в процессе пропитки высокие давления. По данным [4] смола подаётся в пресс-форму под давлением 8,6 атм. Использование этого связующего требует применения специальной конструкции пресс-формы, оборудованной дополнительными связями для жесткости и каналами разогрева смолы [6].

3.2 Разработки фирмы Rolls-Royce. Компания Rolls-Royce после неудачной попытки с двигателем RB211 повторно возвратилась к решению проблемы создания вентилятора с рабочими лопатками из ПКМ. Для их использования в новом двигателе Trent 1000 фирмы Rolls-Royce и GKN Aerospace открыли новый центр. Технология производства лопаток базируется на процессе автоматизированной укладки ленты, при котором влияние человеческого фактора минимизировано и идентичность изделий гарантирована. Опыт компании GKN в области автоматизации потребовался фирме Rolls-Royce для обеспечения повышенных темпов производства.

Автоматическая выкладка узкими лентами позволяет менять направление укладки волокон даже в пределах одного слоя, направляя ленту, например, по "линиям жёсткости". В настоящее время рядом зарубежных исследовательских центров ведутся работы по оптимизации различных структур из ПКМ с помощью автоматизированной выкладки, в том числе, с оценками влияния нахлёстов лент друг на друга или пробелов между ними [7].

Для изготовления лопаток компания Rolls-Royce применяет препрег марки M91 фирмы Hexcel, имеющий величину остаточной прочности при сжатии после удара (с энергией удара 30,5 Дж) равную 350 МПа, что полностью совпадает с аналогичным параметром у лопатки двигателя GE90 (см. таблицу 3).

4 Разработки ЦИАМ при создании рабочих лопаток вентиляторов из ПКМ

ЦИАМ совместно с ГП "Ивченко-Прогресс", ВИАМ, НИАТ, НИИД включился в работы по созданию материалов и деталей, в том числе рабочих лопаток вентиляторов двигателей IV поколения из ПКМ, во второй половине 60-х годов прошлого столетия [8]. Новый виток исследований начался в 2000 годах.

Таблица 4 Результаты испытаний на межслоевой сдвиг ПКМ, изготовленных методом пропитки (RTM, инфузия) с различными компонентами

Марка волокна (ткани)	Hexcel 0926 сатин	Hexcel 0926 сатин	Hexcel 0926 сатин	Porsher HTA-40 саржа (прессов.)	IMS65-24к HTA40-3К полотно	Porsher HTA-40 саржа	Porsher M46JB-12к однонапр.	IMS65-24к HTA40-3К полотно	HTA-40 Сатин Инфузия
Связующее	RTM-6	ЭДТ-10	ВСТ-1210	ВСЭ-17	ВСЭ-17	УП-610 Э-181 Диаметр-х	УП-610 Э-181 Диаметр-х	T-26	T-26
Прочность при сдвиге, кгс/мм ²	6,02	5,55	5,68	5,4	6,0	6,03	5,93	6,5	7,55
Марка ткани (волокна)	УТ-900 (УКН-3К) саржа	УТ-900 (УКН-3К) саржа	УТ-900 (УКН-3К) саржа	УТ-900 (УКН-3К) саржа	УТ-900 (УКН-3К) саржа	УТ-900 (УКН-3К) саржа	УТ-900 (УКН-3К) саржа	УОЛ-300 (УКН-6К) Однонапр.	T800 саржа
Связующее	RTM-6	Sicomин 1720	NPPN-631 Диаметр-Х	УП-610 Э-181 Диаметр-х	УП-637 Изо МТГФА (инфузия)	T-26	УП-610 Э-181 Диаметр-х	T-26	T-26
Прочность при сдвиге, кгс/мм ²	3,33	4,08	4,12	4,2	5,2	5,32	6,67	5,7	

Результаты исследований 2006-2010 годов, приведшие к освоению RTM-технологии изготовления рабочих лопаток вентилятора ПС-12, изготовлению с её применением партии экспериментальных лопаток, и успешными разгонными и усталостными испытаниями их на стендах ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова", опубликованы в [9]. Следует отметить, что первые модификации лопаток ПС-12 изготавливались полностью из отечественных материалов. Наполнителем служила углеродная ткань УТ-900-240-3К на волокнах УКН-3К. В основе связующего была смола УП-610 (триглицидиловый эфир парааминофенола). Лопатки изготавливались по RTM-технологии и для снижения вязкости связующего оно разбавлялось низковязкими эпоксидными смолами. В разное время использовались такие смолы, как Э-181, ЭА, УП-637. Одновременно велись поиски оптимального отвердителя. В качестве основного отвердителя использовался Диамет-Х (Куамин). Кроме Диамет-Х велись эксперименты с отвердителями ДДС, Изо-МТГФА и др.

Основным критерием выбора связующего и во время была прочность ПКМ при межслоевом сдвиге, определяемом трёхточечным изгибом или методом короткой балки по аналогичному с приведенным на рис. 11 методу.

Повсеместное, в том числе в ВИАМ, использование зарубежного сырья направили наши поиски "хорошего" материала для рабочей лопатки вентилятора ПД-14 в это русло. Во-первых, была произведена замена волокон отечественно производства УКН-3К на импортные волокна T800 (фирма TOREY), из которых фирмой "Ниагара" была изготовлена ткань УТ-900(И). Во-вторых, к этому времени фирмой ЗАО "ИНУМиТ" было создано тетра-функциональное связующее марки T-26, предназначенное для RTM-технологии и высокотемпературной инфузии, которое по своим свойствам не уступало лучшим зарубежным аналогам. В таблице 3 приведены свойства изученных ПКМ и их компонентов, а в таблице 4 приведены результаты проведенных экспериментальных исследований.

Партия лопаток ПС-12, изготовленная на волокнах T-800 и связующем T-26, обладала несколько более высокими прочностными характеристиками по сравнению с первой партией лопаток, изготовленных с применением отечественного сырья.

Что касается улучшения свойств трещиностойкости и стой-

кости к ударным нагрузкам, то решение этой задачи, как говорилось выше, зарубежные фирмы осуществляют с помощью добавления в связующее порошков термопластов и каучуков. Применительно к RTM-технологии изготовления рабочих лопаток вентиляторов в настоящее время совместно с ЗАО "ИНУМиТ" ведутся поиски оригинальных технических решений, опробованных на образцах. Так, например, для образцов углепластика, изготовленных из среднечерных волокон HTA40 трещиностойкость была повышена от уровня 225 МПа до 301 МПа, то есть почти на 34 % (исследованный материал в таблице 3 помещен в столбце 10 с надписью "пластиф.").

Применительно к лопаткам размерности ПД-14, ПКМ наряду с волокнами T800, исследовались другие более высокопрочные волокна, например, IMS65. Это позволило увеличить ударную вязкость по Шарпи образцов без надреза. Для углепластика на волокнах T800 и связующем Т-26 при ударе в торец ударная вязкость по Шарпи составляла 141,5 кДж/м². При замене волокон T800 на IMS65 она поднялась до величины 235,9 кДж/м², т.е. увеличилась на 67 %. Возможно, что свою положительную роль сыграла не только смена марки волокон, но и разная схема армирования образцов. Укладка образцов на волокнах T800 соответствовала армированию лопатки ПС-12. Схема армирования образцов с волокнами IMS65 соответствовали базовой укладке лопатки ПД-14.

Итак, для изготовления опытной партии лопаток вентилятора в размерности ПД-14 в настоящий момент определены следующие материалы: ткань УТО-1000-280 на волокнах основы IMS65 производства фирмы "Ниагара" с нанесённым термопластичным материалом фирмы ЗАО "ИНУМиТ" и связующее Т-26, также производства ЗАО "ИНУМиТ".

В условиях обострившейся конкуренции в последнее время поднялась на другой уровень проблема импортозамещения. В связи с этим ранний опыт работ с ПС-12 приобретает особое значение. Улучшенные на основе достижений последних лет начальные разработки лопаток ПС-12 предстоит исследовать для широкого применения в отечественных разработках.

Заключение

Проблемы эксплуатационной надежности рабочих лопаток вентиляторов, выполненных из ПКМ, нельзя снять с повестки дня, не решив проблемы стойкости материала и конструкции удару посторонних предметов. В технических требованиях на материал наряду с высокими характеристиками традиционных параметров обязательны исследования остаточной прочности после ударных повреждений.

Громадный объем квалификационных испытаний как материала, так и конструкции требует больших трудовых и временных затрат. Сокращение их возможно только путём разработки и внедрения верифицированных аналитических подходов, проведения прямых испытаний и рационального их сочетания.

Для изготовления рабочих лопаток в размерности двигателя ПД-14 выбраны ткань УТО-1000-280 на волокнах основы IMS65 производства фирмы "Ниагара" с нанесённым термопластичным материалом фирмы ЗАО "ИНУМиТ" и связующее Т-26, также производства ЗАО "ИНУМиТ".

Литература:

1. GE90. Fan Blade. Презентация.
2. Donald L. Smith, Marvin B. Dow. Properties of Three Graphite/Toughened Resin Composites. NASA Technical Paper 3102. September 1991.
3. Roberto J. Cano, Marvin B. Dow. Properties of Five Toughened Matrix Composite Materials. NASA Technical Paper 3254. October 1992.
4. George Marsh "Aeroengines lose weight thanks to composites". Reinforced Plastics November / December 2012, www.reinforcedplastics.com
5. Albany International. LEAP engine testing continues on schedule (CFM International SA).
http://article.wn.com/view/2014/02/12/LEAP_engine_testing_continues_on_schedule_CFM_International/
6. CYCOM® PR 520 RTM Resin System. Technical Data Sheet.
<http://www.cytec.com/products/cycom-pr520?uf=eNpLsjVUS7Y1NDExUOu0NTQ3NwUJAJW0D%2Fg%3D%3D>
7. Damiano Pasini. The impact of gaps and overlaps on AFP composite structures: Prediction models, optimum design and experiments. Damiano Pasini. Mechanical Engineering McGill University.
8. Горшков Л.А. - Проблемы обеспечения прочности и жесткости рабочих лопаток компрессора из композиционных материалов - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности Динамика и прочность машин и приборов, 1976г., 194 стр.
9. Каримбаев Т.Д., Луппов А.А., Афанасьев Д.В. Рабочие лопатки вентиляторов из углепластика для перспективных двигателей, Журнал Двигатель №6(78+243) 2011, стр.2-7
10. E. S. Greenhalgh. Failure Analysis and Fractography of Polymer Composites.
https://books.google.ru/books?id=aMikAgAAQBAJ&pg=PA9&lpg=PA9&dq=rb211+carbon+fiber+Hyfil&source=bl&ots=0T8Z7W7YGb&sig=huJDZjixf5wmPSXKB5ixL7_M&hl=ru&sa=X&ei=jumPVL3aAei0ygOZy4HAAg&ved=0CCQQ6AEwAQ#v=onepage&q=rb211%20carbon%20fibre%20Hyfil&f=false

Связь с авторами: karimbayev@ciam.ru

XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2015

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

24 – 27
НОЯБРЯ



ufi
Approved Event

ОРГАНИЗАТОР
Международный выставочный центр

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:
Украинской Национальной Компании
"Укрстанкоинструмент"



Международный выставочный центр
Украина, 02660, Киев
Броварской пр-т, 15
М "Левобережная"

☎ (044) 201-11-65, 201-11-56
e-mail: lilia@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua

ЕДИНСТВО ВО МНОЖЕСТВЕ



ОАО «Объединенная
двигателестроительная корпорация»
Россия, 105118, г. Москва, пр-кт Буденного, д. 16
www.uecrus.com info@uecrus.com



**Объединенная
двигателестроительная
корпорация**

РЕАКТИВНЫЕ ДО РЕАКТИВНЫХ

3 МАРТА 2015 Г. ИСПОЛНИЛОСЬ 70 ЛЕТ С НАЧАЛА ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИСТРЕБИТЕЛЕЙ С ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ-УСКОРИТЕЛЕМ

Юрий Николаевич Филиппов, ведущий инженер-исследователь ЦИАМ

В конце войны на фронте появились немецкие самолеты-истребители с максимальной скоростью 840 км/ч (Me-262). В то же время самолеты Красной Армии (да и наших союзников тоже) имели скорости значительно ниже: Ла-7 - 660 км/ч; Як-9 - 670 км/ч; американский P-63A Kingcobra - 660 км/ч.

Опытные поршневые самолеты смогли достичь 726 км/ч и более, но важным рубежом была цифра 800 км/ч. Требовалась реактивная силовая установка, и она была разработана в 1942-1945 гг. группами специалистов ЦИАМ во главе с К.В. Холщевниковым, ЦАГИ во главе с Г.Н. Абрамовичем и КБ В.Я. Климova.

Под руководством К.В. Холщевникова работала группа сотрудников Института: В.Г. Процеров, Н.Ф. Пешехонов, Н.В. Никитин, Г.Н. Романов, П.Н. Климов, В.А. Стефановский, А.И. Силкин, Г.Б. Черненко, В.В. Соколов, В.А. Байков, М.Н. Николайчик, Н.И. Жидков, Г.Г. Мякинков и др.

Силовая установка состояла из поршневого мотора ВК-107А (основной двигатель) и компрессорного воздушно-реактивного ускорительного двигателя (ВРДК), включающегося на режиме максимальной скорости или на взлете.

Двигатель ВРДК (Э3020) включал одноступенчатый осевой компрессор, приводимый длинным валом от поршневого мотора; узел форкамер; камеру сгорания и двухпозиционное сопло. Воздух после компрессора подавался также на вход мотора. Эксперименты проводились на установках лаборатории № 1 (начальник А.А. Фадеев).

Для размещения такой силовой установки потребовались новые самолеты, которые были построены ОКБ А.И. Микояна, М.И. Гуревича (И-250Н) и ОКБ П.О. Сухого (И-107). Наиболее серьезно к задаче отнеслись микояновцы.

М.И. Гуревич в заводской газете писал: *"Сейчас мы приступаем к разработке самолета "Н" - объекта нового типа, отличающегося от прежних привычных образцов. Мы переходим к новым скоростям, применяем новые материалы и схемы, должны разработать новые разработки, которые не делали до сих пор. Нет ни одного сектора и бригады, которые в этом проекте не встретились бы с новыми трудностями.*

От привычных форм и установок мы переходим к новым, вступаем на новый путь, которые единственно помогут нам перейти к цифрам нового порядка, о достижении которых мы не могли мечтать".

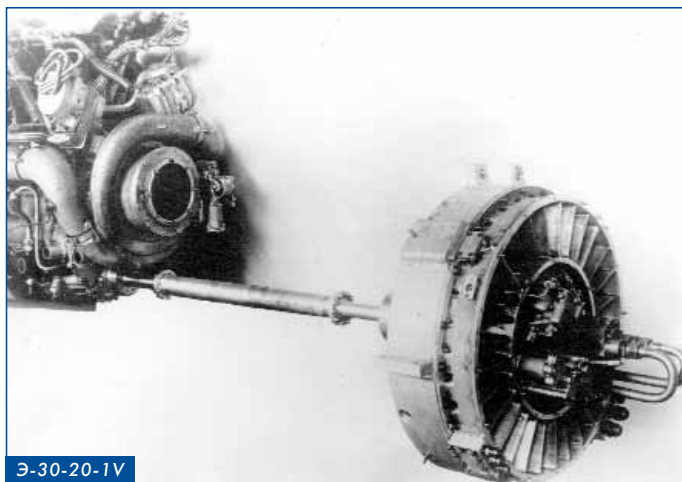
При проектировании самолета использовался опыт создания поршневых истребителей серии "А".

И-250 имел классическую аэродинамическую схему. Его основными отличиями стали:

- крыло уменьшенной площади с более тонким профилем;
- расположение воз-

духозаборника реактив-

Фотографии из отчёта ЦИАМ о создании ВРДК Э3020



Э-30-20-1V

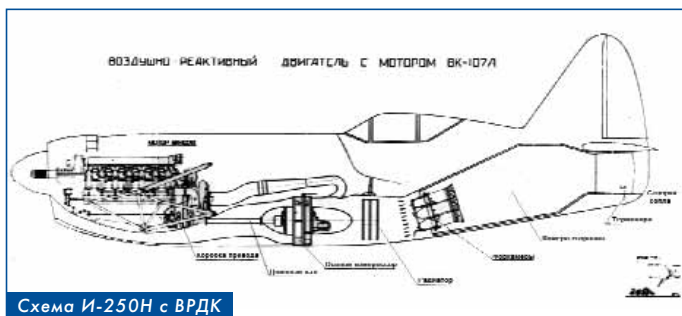


Схема И-250Н с ВРДК



И-250 №1а. Вид сбоку-спереди



И-250 №2. Вид с хвоста на реактивное сопло



К.В. Холщевников в начале 50-х гг. XX века

ной части силовой установки под поршневым двигателем; вал привода отдельно установленного компрессора и воздухопровод к камере сгорания, размещенной за кабиной; сопло заканчивалось хвостовым срезом фюзеляжа.

Первые полеты самолетов с комбинированной силовой установкой состоялись 70 лет назад, в 1945 году. 3 марта летчик А.П. Дев поднял в воздух И-250Н, а 6 апреля летчик Г.Н. Комаров - И-107.

Вскоре, в марте же состоялся полет И-250Н на режиме максимальной скорости. А.И. Микоян обещал летчику подарить свою машину, если он превысит рубеж 800 км/ч. Замеры показали 825 км/ч (на высоте 7800 м) и А.П. Дев получил ключи от машины Артема Ивановича.

В работе принимал активное участие А.Н. Комиссаров - ведущий инженер ЦИАМ по летным испытаниям высотных силовых установок самолетов МиГ, который говорил: "Самолет И-250 (Н) по праву может считаться прообразом реактивного самолета".

По результатам летных испытаний самолет получил положительную оценку и был запущен в малую серию на заводе № 381 в Москве. Всеми работами по И-250 руководил М.И. Гуревич, значительный вклад в отработку силовой установки внес К.Е. Лозино-Лозинский.

А.В. Минаев, заместитель министра авиационной промышленности, в своей книге отметил: "...Начиная с 1944 г. стала создаваться довольно серьезная база. Наверное, эта база по масштабам и глубине знания была меньше, чем у американцев и англичан, но чем больше я изучал этот период, тем больше удивлялся, как много удалось сделать в период войны".

Полная мощность ВК-107А с ВРДК составляла 2063 кВт. Из них: 1070 кВт - мощность собственно ВК-107А, а 993 кВт - мощность уста-

новки ВРДК. Максимальная взлетная мощность ВК-107А без ВРДК 1214 кВт. Нормальная взлетная масса самолета составляла 3680 кг. Посадочная скорость самолета 150 км/ч, дальность полета 1818 км.

Никаких реактивных самолетов в 1946 г. не появилось бы, если бы не эти работы.

Четко высказался в своих воспоминаниях и Министр Авиапрома (1940-1946 гг.) А.И. Шахурин: "... А.И. Микоян и М.И. Гуревич, несмотря на прекращение выпуска МиГов, времени зря не теряли и создали боевую машину нового типа - с реактивным ускорителем, скорость которой превосходила 800 км/ч. Это был полноценный истребитель с сильным пушечным огнем, построенный в серии и состоявший на вооружении нашей страны несколько лет после войны".

Отметим, что разработка установки Э-3020 под руководством Константина Васильевича Холщевникова явилась серьезной удачей работ ЦИАМ военных лет, стала ступенью перехода к реактивным двигателям. Кроме того, компрессор конструкции Холщевникова, по сути, стал началом работ в ЦИАМ над осевыми компрессорами. Работ, что по-настоящему развернулись при переходе к газотурбинным двигателям.

Таким образом, самолет И-250 Н по праву может считаться прообразом реактивного самолета, а воздушно-реактивный компрессорный двигатель (ВРДК) Э-3020, разработанный, построенный и испытанный в ЦИАМ явился первой ступенью в процессе освоения новой реактивной авиатехники в СССР. Работы в период Отечественной войны ценны еще и тем, что они практически были полностью оригинальными, отечественными в отличие от первых послевоенных разработок, активно использовавших зарубежный опыт.

2 - 5 апреля 2015 г. Москва, Россия, КВЦ «Сокольники», павильон №4



XVIII Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий

«АРХИМЕД»



При поддержке
Департамента науки,
промышленной политики
и предпринимательства
города Москвы



Организаторы Салона: Московская городская организация ВОИР, ООО «ИнновЭкспо»



Заявки на участие в XVIII Московском международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2015» принимаются до 25 февраля 2015 г. по адресу: 105187, г. Москва, ул. Щербаковская, д.53, к.В, ООО «ИнновЭкспо».
www.archimedes.ru, www.innovexpo.ru, e-mail: mail@archimedes.ru, mail@innovexpo.ru
 Телефон / факс: +7(495) 366-14-65, +7(495) 366-03-44

ЮБИЛЕИ ЦИАМОВСКИХ РАЗРАБОТЧИКОВ ТУРБОНАСОСОВ ЖРД

Дмитрий Александрович Боев,

помощник генерального директора ФГУП "ГНЦ ЦИАМ им. П.И. Баранова"

Юбилейный для ЦИАМ год ознаменован интересной датой: исполняется 45 лет совместной плодотворной деятельности специалистов мирового уровня по турбонасосам жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) - кандидата технических наук ведущего научного сотрудника Константина Никодимовича Шестакова и доктора технических наук начальника сектора Валерия Игнатьевича Гурова. Без малого 120 лет

суммарно они проработали в ЦИАМ, причем с 1970 года поочередно руководили и руководят коллективом сектора, созданного в 1957 году и нацеленного на исследование рабочих процессов турбонасосов ЖРД. В те далекие времена вновь организованный сектор (тогда отдел) возглавил кандидат технических наук Иван Федорович Гавриков, который провел большую методическую работу по формированию задач коллектива сотрудников и по расширению его состава. Заметен вклад тогдашнего начальника сектора в усовершенствовании турбин ЖРД с учетом опыта создания турбин воздушно-реактивных двигателей, что нашло отражение в монографии (1971 г.) под редакцией профессора В.Х. Абянца.

Много внимания уделялось связям с опытно-конструкторскими бюро (ОКБ) при совместном решении проблем улучшения работы ЖРД. Первым заметным результатом 1958 г. стали теоретические изыскания В.А. Шерстянникова по улучшению характеристик высокоперепадной турбины (подтвержденные испытаниями) двигателя РО-7, созданного в ОКБ, руководимом С.А. Косберг-

гом, для пилотируемой ракеты "Восток". Наш журнал многократно публиковал статьи Валентина Алексеевича, посвященные этому периоду работ. Спустя пять лет систематические испытания кислородного насоса того же двигателя РО-7 на холодной и горячей воде, жидких азоте и кислороде были начаты В.И. Гуровым, причем под кураторством

К.Н. Шестакова, работающего тогда в подразделении компрессоров. Константин Никодимович к тому времени разработал метод эффективного испытания насосов на предельно-срывных режимах их работы.

К 1970 году, когда сектор возглавил К.Н. Шестаков, сложился основной костяк коллектива "турбонасосников", упрочнились связи с ОКБ и окончательно определились направления исследований. В частности, проблема динамической устойчивости роторов криогенных турбонасосов успешно экспериментально и теоретически разрабатывалась Б.И. Герашенко. По результатам разработок Богданом Ивановичем сделано изобретение с приоритетом от 05.10.1979 г. на диагностический способ отслеживания изменения характера прецессионного движения ротора с последующим опубликованием обобщающей монографии. В.А. Зотов провел важное методическое исследование по стандартизации уплотнительных систем роторных машин. В.И. Гуров завершил комплексные испытания и обобщение кавитационных характеристик насосов при их работе на различных жидкостях с подготовкой диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук. К.Н. Шестаков совместно с К.К. Климовским опубликовали в 1967 г. монографию "Методика расчета шнекоцентробежных насосов ТНА ЖРД". Результаты этого обобщающего труда широко использовались специалистами всех ОКБ, создающих ЖРД. Сотрудники сектора обрели высокий авторитет в промышленности в связи с тем, что ТНА стал к этому времени ключевым агрегатом мощных ЖРД, использующих в качестве компонентов топлива криогенные жидкости. Это утверждение было убедительно проиллюстрировано опытом создания ЖРД НК-15 - прототипа уникального кислородно-керосинового двигателя НК-33 тягой 150 тс разработки ОКБ под руководством Н.Д. Кузнецова. Этот ЖРД предназначался для ракеты Н1-Л1, нацеленной на реализацию проекта пилотируемого полета на Луну.

70-е - 80-е годы ознаменовались большим напряжением работы зрелых сотрудников и заметным притоком молодых специалистов в коллектив сектора: Ю.М. Дорфмана, А.Л. Светлакова, В.В. Балепина, О.В. Мальцева, Е.В. Щербакова и др. В эти годы до пятидесяти процентов времени К.Н. Шестаков и В.И. Гуров находились в командировках по всем российским "двигателестроительным столицам". Опыт доводки двигателя НК-33 и анализ результатов аварийных исходов его огневых стендовых испытаний позволил сформулировать вывод о быстротечности (7...10 мс) развития разгара конструкции в потоке жидкого кислорода, когда аварийная ситуация становилась катастрофической для всего двигателя. Такой вывод привел к необходимости разработки безинерционных систем диагностирования технического состояния ЖРД. В сотрудничестве со специалистами различных ОКБ такие патентозащищенные системы были созданы на базе экспериментальных исследований электронагреваемых металлических образцов в потоке жидкого кислорода, проведенных коллективом В.И. Гурова. Под руководством К.Н. Шестакова углублялась теория кавитационного обтекания плоских решеток, укреплялось её экспериментальное подтверждение. На основании полученных результатов разрабатывались рекомендации по совершенствованию работы ТНА. При этом исходили из достаточно обоснованного посыла, что улучшение антикавитационных показателей насоса, подтвержденных его испытаниями на холодной воде, сохранится и на другой жидкости. С 1976 года регулярно публиковались сборники статей сотрудников сектора, в том числе и с привлечением специалистов других подразделений ЦИАМ, а также работников ОКБ по проблемам кавитационных течений различных жидкостей (в том числе криогенных) в насосах и элементах ТНА. Было выпущено четыре таких сборника под редакцией начальника отдела профессора В.Р. Левина. В 1980 году опубликована монография под редакцией академика Н.Д. Кузнецова по обобщению опыта создания ЖРД НК-33.

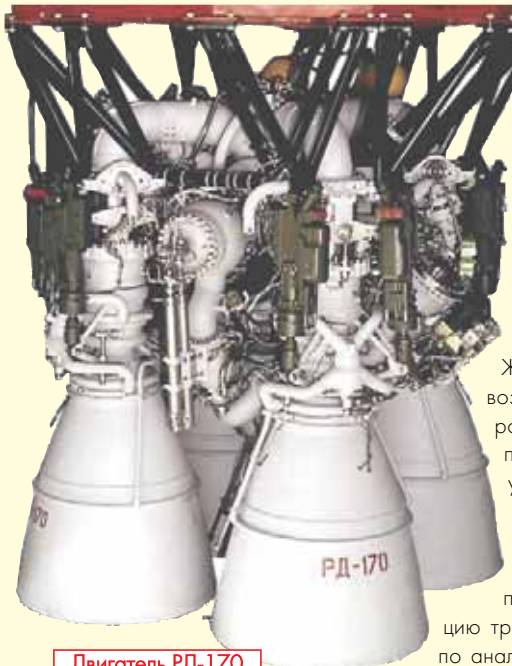


Двигатель РД-0109 (РО-7) третьей ступени ракеты "Восток"



На фотографии В.И. Гурова 1976 г. из его архива, слева направо: М.И. Кузнецова, профессор В.Р. Левин и академик Н.Д. Кузнецов

В ней от ЦИАМ соавторами являлись В.Р. Левин, В.И. Гуров, К.Н. Шестаков. Эта монография внесла существенный вклад в формирование опережающего научно-технического задела по разработке последующих поколений ЖРД, в том числе и самого мощного в мире (тягой 740 тс) кислородно-керосинового двигателя РД-170, созданного в НПО Энергомаш им. академика В.П. Глушко (современное название).



Двигатель РД-170

Очередным важным достижением К.Н. Шестакова, который в 1986 году уступил должность начальника сектора В.И. Гурову, стала разработка методики расчета массы ТНА на основе использования параметров 13-и созданных отечественных ЖРД. Появившаяся возможность прогнозирования массы ТНА перспективных ЖРД усилила направление параметрических исследований, что в итоге позволило предложить концепцию трехкаскадных насосов по аналогии с трехвальными воздушно-реактивными двигателями (ВРД).

В нашем журнале (№ 5 за 2014 год) представлено описание этой концепции на примере кислородного насоса нового поколения для ЖРД тягой 200 тс. Показано, что выигрыш по массе достигает 40 процентов по сравнению с традиционными схемами насосов с одновременным повышением надежности системы.

Итогом совместной деятельности В.И. Гурова и К.Н. Шестакова за 30 лет плодотворного сотрудничества в составе упомянутого сектора явилась их книга "Разработка криогенных турбонасосов", в которой обобщен опыт ЦИАМ по созданию совершенных образцов ракетной техники. Применительно к лопаточным машинам последнее выражается в следующем:

- изучаемые системы исследуются преимущественно в предельном их состоянии, что позволяет резко сократить число определяющих

функцию отклика параметров, повысить точность получаемого результата и, главное, сравнивать системы как бы в одинаковых условиях;

- использование интегральных подходов в представлении свойств изучаемых объектов: для научного работника ЦИАМ типично употребляемым термином является, к примеру, "быстроходность" агрегата, а не его "высокооборотность";

- применение передовых теорий (трех- и четырехмерные модели течений) и численных методов высокого уровня.

В год 50-летия сектора (2007 год) три его начальника (И.Ф. Гавриков - до 1970 г., К.Н. Шестаков - до 1986 г., В.И. Гуров - с 1986 г. по настоящее время) встретились и поздравили друг друга со славным юбилеем. Вспоминали прежних сотрудников, оценили вклад каждого из них в общее дело. Подсчитали количество подготовленных кандидатов наук. За пятьдесят лет их оказалось 10, причем шестеро защитились в период с 1972 по 2003 годы. К этому числу добавили защиту докторской диссертации В.И. Гурова (1990 г.), посвященной, в том числе, и применению водорода в ЖРД и ВРД. С удовлетворением отметили, что из 13 книг, опубликованных специалистами ЦИАМ по ракетной тематике, 5 выпущены только сотрудниками сектора.



На снимке 2007 года, слева направо: И.Ф. Гавриков, К.Н. Шестаков, В.И. Гуров



На снимке 1989 года представлены сотрудники ЦИАМ, внесшие заметный вклад в решение проблемных вопросов кавитации: слева направо - сидят К.К. Климовский, В.А. Стефановский, Б.И. Герашенко; стоят - В.В. Карлушин, К.Н. Шестаков, В.И. Гуров, А.А. Сазонов, Г.С. Назаров

В заключение открою большой секрет, о котором меня просили не упоминать виновники. В мае юбилейного для ЦИАМ года с разницей в одиннадцать дней состоится юбилей К.Н. Шестакова и В.И. Гурова: Константину Никодимовичу исполнится 90 лет, а Валерию Игнатьевичу - 75! Редакция журнала поздравляет с наступающими юбилеями наших коллег - специалистов, несомненно, мирового уровня.

Этот уровень они подтвердили и в иной сфере деятельности - при разработке конверсионных проектов. В частности, в результате личной встречи в 1996 г. В.И. Гурова с В.С. Черномырдиным были одобрены представленные проекты газотурбинных установок нового поколения - КУРС-1 и КУРС-2. После утверждения проектов на совместном заседании НТС двух управлений РАО "Газпром" установки КУРС-1 и КУРС-2 были спроектированы на основе совмещения газогенератора двигателя АИ-20СТ с турбодетандером для снижения давления природного газа или воздуха при их поступлении к потребителю. Опытные образцы указанных установок были изготовлены в ОАО "Мотор Сич" (г. Запорожье) и успешно испытаны в НИЦ ЦИАМ в 2002-2003 годах (о чем журнал "Двигатель" сообщал в № 2 за 2002 г.).

В настоящее время юбиляры полны решимости продолжить свою деятельность в двух направлениях - при разработке инновационных проектов в общей промышленности и в области совершенствования турбонасосов созданных и перспективных ЖРД.

Пусть же вступление в зрелый возраст наших юбиляров с осознанием значимости полученных результатов поможет им продолжить плодотворную деятельность во благо страны.



К ЮБИЛЕЮ В.М. ТОЛОКОННИКОВА



В.М. Толоконников (слева) и Г.В. Новожилов

27 апреля 2015 года исполняется 85 лет одному из последних начальников Главка МАП, лауреату Государственной премии СССР в области моторостроения В.М. Толоконникову. Не ошибусь, если скажу, что нет в России человека, связанного с авиационной (и уж тем более с авиамоторостроительной) промышленностью, который не знал бы лично, или по крайней мере хотя бы не слышал от старших товарищей об этой легендарной личности. Где бы ни работал после окончания КАИ (ныне СГАУ) Валентин Михайлович - на Рыбинском моторостроительном заводе, ММЗ "Салют", в Минавиапроме, различных предприятиях отрасли - вся его деятельность была в максимальной мере связана с авиационными моторами. С ясностью представления путей решения самых сложных задач, исходящих от Валентина Михайловича, спорить невозможно. Вот и в канун своего юбилея он передал нам в редакцию свои соображения по поводу нашего дальнейшего существования. И мы сердечно поздравляем Валентина Михайловича и публикуем его "апрельские тезисы".

О ВОЗРОЖДЕНИИ АВИАПРОМА И АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ (АДС)

Валентин Михайлович Толоконников

Тема авиадвигателестроения определяет не только обороноспособность, но и уровень науки, техники и технологии в России. Потому, пути возрождения и развития Авиапрома - важнейшая компонента прогресса страны, её движения к благосостоянию всего народа. Без хорошего двигателя не бывает самолёта, отвечающего запросам современности. Именно поэтому в этой статье главные идеи возрождения и развития Авиапрома рассматриваются прежде всего под углом зрения возрождения и развития авиационного двигателестроения (АДС).

Исходные позиции возрождения российского авиапрома с 2014 г. очевидно состоят в следующем:

1. Государственная программа РФ развития авиапрома на 2013-2025 гг. (ГПРАП).

2. Состояние АДС по итогам 1-й пятилетки работы ОДК (2008-2013 гг.).

Уместно сравнить в начале анализа основные показатели Третьего Главного управления Министерства авиационной промышленности (3-ГУ МАП) СССР и "ОДК":

Показатель	3 ГУ МАП в 1990 г.	ОДК в 2013 г.	Изменение
Кол-во предприятий		10	33 %
Численность пром. персонала		80 000	25 %
Выпуск двигателей		800	8 %

Извечный наш российский вопрос: "ЧТО ДЕЛАТЬ??"

1. Во главе ОКБ, НИИ должны быть крупные учёные, конструктора - воспитанники авиамоторных школ, а не подводники, бухгалтера, счетоводы и другие "стоп-менеджеры".

2. Существенно увеличить госзаказы на самолёты отечественной разработки Ту-334, Ту-204, Ту-214, Ил-112, Ил-114 и др. Активно списывать устаревшие модели: Ан-24, -26, -30, -32; Ту-134, Ту-154; Як-42 и др. То же - и для ВВС.

3. В мире ещё летают и хранятся до 5000 самолетов Ан-2. Непременно за пятилетие заменить поршневые моторы на ГТД, или строить новые самолёты такого класса.

4. Создать приоритетные условия для эксплуатации новейших отечественных самолетов за счет повышения налогов при покупке самолётов зарубежья и снижения цены билетов при эксплуатации наших, введя дотацию из бюджета.

5. Провести широкомасштабные работы по замене ГПА на агрегаты отечественной разработки и производства.

6. Не ставить главной целью влезть в международные рынки, это отнести на время после 2025 г. Сейчас важнее всего отвоевать свой рынок, своё "небо".

7. Сосредоточить все ремонтные и сервисные услуги на основных заводах АДС.

Безусловно увеличение выпуска АДС должна вестись на новой станкоинструментальной базе, то есть опять же требуется господдержка науки, опытного и серийного производств.

Надо подчеркнуть, что всё-таки определяющим фактором возрождения АДС являются опережающие темпы создания НТЗ и

опытных новейших АДС в ОКБ. Чего нет в ГПРАП, так как в ней лишь решение текущих ближнесрочных задач.

Требуется разработать стратегию на среднесрочные задачи (2025 - 2040 гг.) и на долгосрочные задачи (2040 - 2055 гг.).

Очень важно и безусловно необходимо в ГПРАП внести и задачи по техническому совершенству самолётов и двигателей.

Для гражданской авиации это должны быть, например, расход топлива на пассажирокилометр, а также уровень шума и объёмы вредных выбросов в атмосферу. Если взять за 100 % эти показатели к 2013 г., то достигнуть : к 2025 г. - 90 %, к 2040 г. - 80 %, к 2055 г. - 70 %.

В военной авиации по двигателям достичь к тем же срокам показатели по удельному весу (отношение веса двигателя к тяге): к 2025 г. - 0,08, к 2040 г. - 0,07, к 2055г. - 0,06. Такие ориентиры будут очень даже серьёзным импульсом к развитию инициативы и творчества в делах науки и созданию опытных образцов новейших образцов двигателей.

Пока же итоги пятилетия работы ОДК показали лишь хороший рост по взятым кредитам, но по выпуску двигателей - явный провал. За 2013 г. выпущено 800 двигателей, или 12,5 % к 1990 г., а намечено выпустить в 2025 г. - 3000 двигателей, то есть 33 % к 1990 г.

ОКБ Н.Д. Кузнецова (Самара), О.Н. Фаворского (Микулинский лужнецкий "Союз", Москва) полностью ликвидированы как ведущие ОКБ, а в Санкт-Петербурге (Ленинграде) и Рыбинске ОКБ утратили свою ведущую роль.

И у нас сейчас критическая обстановка по разработке авиадвигателей 5 и 6 поколений.

Очень яркий пример: судьба НК-93, который был разработан (и была выпущена пилотная партия, прошедшая наземные и отчасти лётные испытания) ещё в 80-х годах XX века. Процесс принудительно остановлен решением руководства. Сегодня вложенные в эту конструкции идеи успешно внедряют американцы (проекты "Advance", "VetraFan", "LEAP"). Наш же проект полностью заморожен. Это - несомненная заслуга Минпромторговли и самых высоких руководителей РФ.

ВЫВОДЫ:

- Создать централизованную управляющую структуру ВПК ООП (Военно-промышленный комплекс оборонных отраслей промышленности);

- определить в уставе ОДК **ОТВЕТСТВЕННОСТЬ** за разработку, наращивание объёмов выпуска авиадвигателей, а не просто "содействие" этой работе;

- преодолеть технологическую отсталость;

- завоевать внутренний рынок по авиадвигателям;

- постоянно наращивать объёмы производства;

- систематически увеличивать число рабочих мест;

- развивать работы по НТЗ, укрепляя ОКБ и отраслевые НИИ. **П**



В С Е Г Д А Н А В Ы С О Т Е



МАКС

2015

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЙ
САЛОН**



www.aviasalon.com

МОСКВА • ЖУКОВСКИЙ • 25-30 АВГУСТА

С ПОНИМАНИЕМ СВОЕЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ



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

Ровно год назад, в первом номере 2014 года, мы поместили в журнале интервью с Генеральным директором НПО "Аэросила" С.Ю. Сухоросовым. Было много надежд и перспективных планов. Мы обещали через год вернуться к этой тематике, что и сделали с большим интересом для себя.

Из статьи "Компетентность и компетенции" "Двигатель" №1, 2014 г.

Прямая речь С.Ю. Сухоросова:

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

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

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

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



МС-21



Ми-35



Ми-38



"Зубр"

Реально получилось так, что практически всё из намечаемого год назад сейчас выполняется. "Аэросила" - компания динамично развивающаяся. За 2014 год в 1,6 раз вырос спрос на то, что ею производится. Продукции в натуральном исполнении предприятие стало производить на 60% больше. Расширился диапазон производственной кооперации, расширилась номенклатура связи. Увеличилась нагрузка на конструкторские и технологические отделы предприятия. Это связано с тем, что вырос объём заказов от министерства обороны, всю прошедшую историю "Аэросилы" бывшего её основным заказчиком. Армия требует от промышленности новых летательных аппаратов. Это и Су-34, и Су-35, и Ка-52, и Як-130, и Ми-8 АМТШ (который поставляется в войска). На всех них установлены современные ВСУ ТА-14 с цифровой системой управления, разработанные и изготавливаемые на "Аэросиле". Помимо этого, предприятие ведёт интенсивную работу с "Вертолётами России" по установке этих ВСУ на все выпускаемые и проектируемые типы винтокрылых машин. ВСУ эксплуатируется на вертолётах: Ми-28 НМ ("Ночной охотник"), Ми-35, Ми-38. Эти двигатели неоднократно и весьма успешно представлялись на международных выставках в стране и за рубежом. ТА-14 - удачная ВСУ, она надёжно работает, лёгка в обслуживании и эксплуатации. Её ресурс на данный момент 4000 часов. Эта величина начальная - она ниже заложенного в изделие расчётного ресурса, на "Аэросиле" просто остановили стендовую наработку в ожидании, когда работа в эксплуатации достигнет этой цифры. В принципе, можно продолжать "крутить" на стенде, но ступинцы рассудили: пусть в реальности наработка установленных на бортах ВСУ дойдёт хотя бы до трёх тысяч, тогда можно увеличивать стендовую наработку и дальше.

За последнее десятилетие в Ступино разработана линейка ВСУ различной мощности, многие части в которых взаимозаменяемы. Это уже упомянутый ТА14, в декабре 2001 г. получивший Сертификат типа, а в 2005 году, после успешного завершения ГСИ по программе МО РФ, поставленный на вооружение, ТА18-100, сертифицированный в 2002 г., и различные модификации ТА18-200, прошедшие сертификацию в 2006-2012 гг. Сейчас, используя опыт их проектирования и эксплуатации разрабатываются новые модификации ВСУ.

Все разработки ведутся с использованием современных расчётных методов, электронных систем проектирования и трёхмерного отображения. Но во всех финишных этапах: при согласовании со смежниками, демонстрации заказчику, выдаче окончательного результата, приме-



Стенд испытания винтов



Ил-112-1



Ми-28Н



Ми-35м



Ан-124

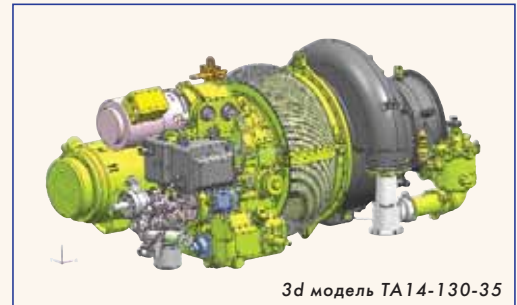
няются исключительно традиционные бумажные копии, сделанные на плоттерах. На предприятии считают, что информация в электронном виде гораздо менее защищена от несанкционированного доступа возможных "третьих сторон". Проще говоря - от кражи. По этой же причине считают популярную ныне идею "облачных технологий" и распределённых творческих коллективов - когда весь коллектив состоит из отдельных творческих групп, физически находящихся в разных местах и общающихся по интернету, прежде всего, слабо эффективной в плане сотрудничества, а главное - слишком доступной.

На предприятии полным ходом идут работы над новыми модификациями ВСУ, согласно заданиям Минпромторга и Министерства обороны. Общий объём выполняемых работ за 2014-2015 гг. составил порядка 1,3 млрд руб. Сложился надёжный коллектив подрядных организаций: часть из них - с коммерческой формой собственности, часть - государственные. Начали рождаться новые рабочие места и на самой "Аэросиле", и у металлургов, и у машиностроительных предприятий, вошедших в кооперацию, и у агрегатчиков, и у прибористов. К работе привлечены научные институты отрасли: ЦИАМ, ВИАМ. В муниципальных и федеральных бюджетах существенно увеличились налоговые отчисления с ростом объёма проводимых работ. В этом - социальная ответственность бизнеса. Если это не есть как раз то частно-государственное партнёрство, к работе в котором нас постоянно призывает руководство страны, то трудно представить себе, как оно должно выглядеть. Очень большое подспорье оказывается профессиональными объединениями, в которых состоит "Аэросила" - таких, как АССАД и "Авиапром". Без обмена информацией и поддержки организации на всех уровнях, привлечения внимания правительства и руководства отрасли к системным проблемам, никакие творческие работы и продвижение вперёд были бы невозможны.

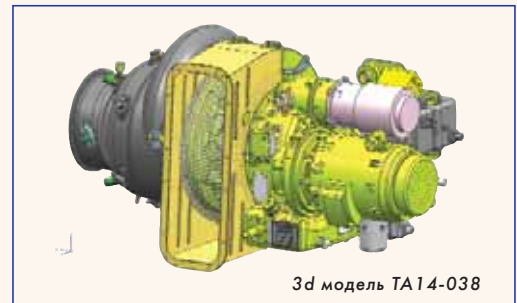
Для того, чтобы консолидировать интересы частных предприятий, работающих на авиационном рынке и не потеряться на фоне мощных концернов, коммерческие предп-



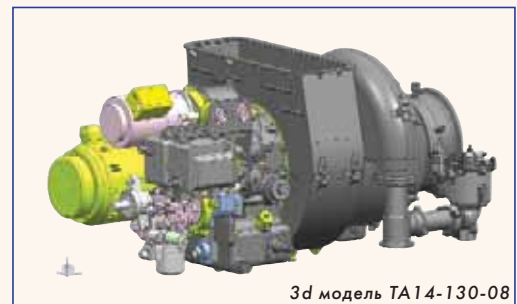
Фотография ТА14-130-35



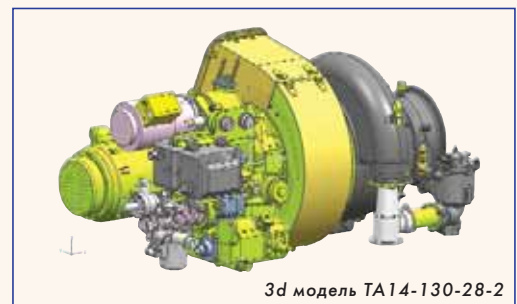
3d модель ТА14-130-35



3d модель ТА14-038



3d модель ТА14-130-08



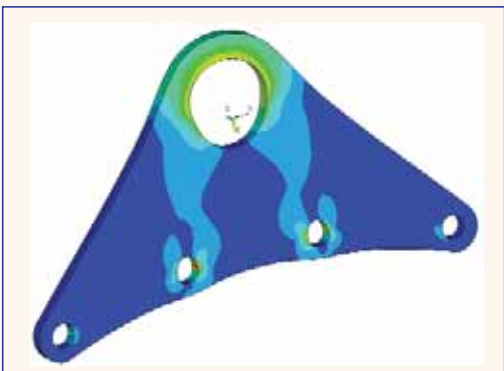
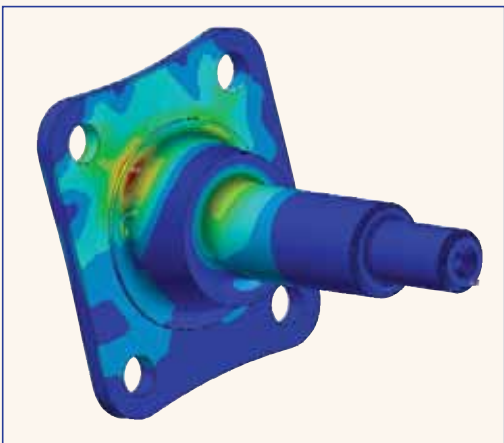
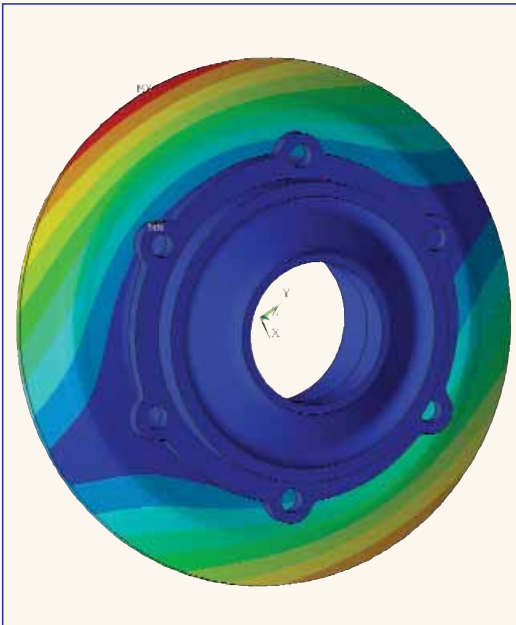
3d модель ТА14-130-28-2



3d модель ТА14-130



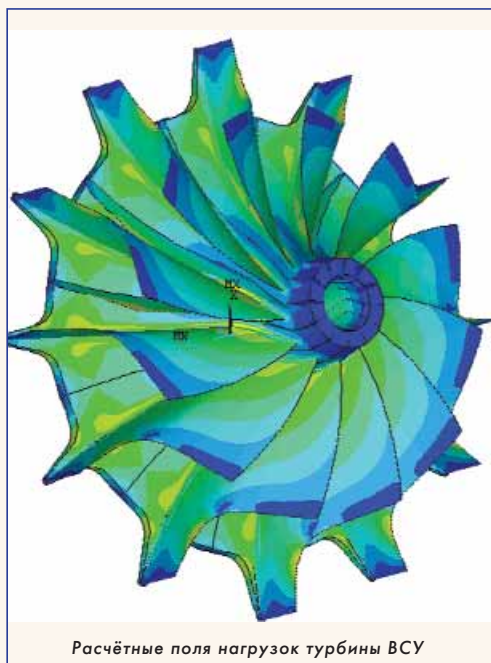
На 75-летию "Аэросилы": летчик-космонавт В.В. Горбатко вручает предприятию памятную награду. Принимает - генеральный директор С.Ю. Сухоросов



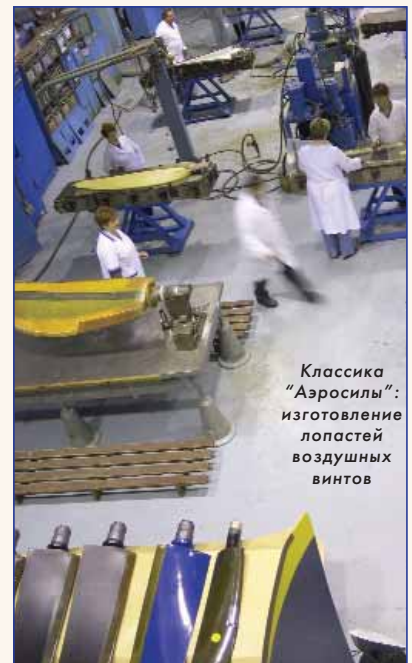
Расчётные модели элементов конструкторов в нагруженном состоянии, рассчитанные на ЭВМ



В фойе КБ предприятия



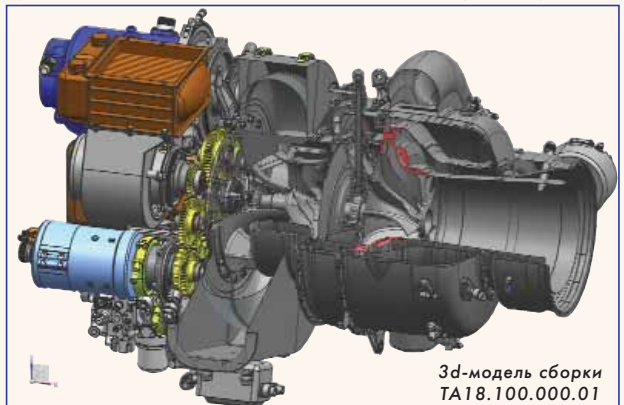
Расчётные поля нагрузок турбины ВСУ



Классика "Аэросилы": изготовление лопастей воздушных винтов

приятия - производители агрегатов и комплектующих, не входящие в госкорпорации, объединились в ассоциацию производителей авиационных систем и агрегатов "АВИСА". В Ассоциацию вошли коммерческие негосударственные (частные) предприятия: НПО "Наука", НПП "Аэросила", АК "Рубин", ОАО "Высокие технологии", завод "Кристалл", ММЗ "Знамя", саратовский завод "Сигнал", компания "Родина" - всего около дюжины предприятий. Этот конгломерат знает и весьма серьёзно относится к его деятельности министерство промышленности и торговли. Для сравнения: в концерне "Технодинамика" сегодня 36 предприятий, которые выпускают около 40% рынка агрегатов страны. Объединив же чуть больше десятка предприятий в "АВИСЕ" получили более 20 % объёма этого рынка агрегатов.

Не надо забывать слова, произнесённые ещё в середине XVIII века одним крупным специалистом в



3D-модель сборки ТА18.100.000.01



Обработка корпусной детали на 5-координатном центре MAZAK



Обработка втулки компрессора на обрабатывающем центре SODICK



Готовые детали ВСУ



Участок контроля готовой продукции

разрешении сложных вопросов, ставшие сейчас крылатыми: "Главное - не мешайте мастеру работать. Остальное он сделает сам". Если люди доказали свою состоятельность в деле, то надо верить в их способности и дальше создавать то, что делать они умеют. А не пытаться переставлять за работника ноги на каждом его шагу. Тот, кто это понимает, всегда будет в выигрыше.

И этот факт, по-видимому, хорошо понятен руководству промышленности страны. На Круглый стол в Минпромторге в начале 2015 г., на котором обсуждалась ситуация работы с поставщиками "Развитие отечественных производителей (поставщиков) систем, узлов и комплектующих для авиационной промышленности РФ", было приглашено руководство "Аэросилы": и как крупного предпринимателя - поставщика, и как участника ассоциации АВИСА: ас-



Цех сборки

социации, представляющей интерес частных компаний (о самой ассоциации более подробно расскажем в следующем номере).

Оказалось, что сейчас государству, как распределителю кредитов и заказчику работ, подчас проще строить отношения с частными предприятиями, чем... со своими же государственными структурами, которые из-за своих огромных размеров и гигантских финансовых оборотах стали ощущать себя почему-то самостоятельными структурами. Частные же предприятия, у которых есть опыт работы и которые дорожат своими производственными связями - и с заказчиками, и со смежниками, и с поставщиками, относятся к своим договорным обязательствам го-



TA 18-200-124



Работники "Аэросилы" на Дне город в Ступино

раздо более серьезно и в любой момент могут ответить по тем договорам, которые заключили на работу. Для них это - вопрос и смысл дальнейшего существования.

Впрочем, как раз по анализу подобной ситуации Дэн Сяопин сказал: "какой бы масти не была кошка, главное, чтобы она ловила мышей". В нашем случае - какой бы формой собственности не было у коллектива, главное, чтобы он грамотно и честно работал. **А**



TA 18-200MC

КРИТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ РОТОРА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ АИ-222-25

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

Рассматриваются плоские колебания вращающегося ротора низкого давления при консольном расположении первой ступени. Предлагается способ, позволяющий погашать колебания ротора при критической частоте вращения ротора на основе применения некруговых колец подшипников.

The planar vibrations of a rotating low pressure rotor with cantilever arrangement of the first stage rotor. Proposes a way to repay the vibrations of the rotor at the critical speed of the rotor based on the use of non-circular rings of bearings.

Ключевые слова: ротор, вал, роликовый подшипник, критическая частота вращения ротора, плоские колебания, собственная частота колебаний, овальное кольцо подшипника.

Keywords: rotor, bearing shaft, roller bearing, critical revolution frequency of the rotor, planar vibrations, self-resonant frequency, bearing oval ring.

Введение

Весьма распространен класс двигателей с консольным расположением одной или нескольких ступеней относительно одной из опор ротора, в частности для компрессоров низкого давления (КНД). При консольном расположении дисков ротора применяются опоры, имеющие высокие жесткостные характеристики. Это связано с увеличением смещений дисков при упругом деформировании опор незначительной жесткости, и как следствие - увеличением центробежных сил дисков от неуравновешенных масс.

Критическая частота вращения ротора НД

Консольное расположение дисков ротора имеет особенность, обусловленную тем обстоятельством, что радиальная нагрузка на опору, у которой имеются консольно расположенные диски, значительно возрастает. Это приводит к увеличению первой критической частоты вращения ротора, которая связана с колебаниями ротора без изгиба вала, а определяется упругим деформированием опоры по типу "скалочная форма" и может находиться в рабочем диапазоне частот вращения роторов [1].

Консольное расположение дисков ротора имеет двигатель АИ-222-25, применяемый на учебно-боевых самолетах Як-130 и у которого центр масс компрессора низкого давления расположен на расстоянии 56 мм впереди передней опоры (рис. 1).

Ротор НД состоит из ротора КНД и ротора турбины низкого давления (ТНД) и в [1] была определена критическая частота ротора КНД совместно с ТНД как двухпролетной балки при расположении масс двух дисков КНД в одной точке

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{C}{m \left[\left(\frac{L_1+b}{L_1} \right)^2 \left(1 - \frac{3EJ_{КНД} \cdot \xi}{C \cdot L_1^2} \right) + \frac{b \cdot \xi}{2} \cdot \frac{L_1+b}{L_1} \right] - \frac{J}{L_1^2}}$$

где $\xi = J_{ТНД} / (L_1 J_{ТНД} + L_2 J_{КНД})$; C - жесткость передней опоры;

L_1 , m и b - пролет вала КНД, масса и консольное удаление центра масс дисков КНД от опоры; $J_{КНД}$ и $J_{ТНД}$ - моменты инерции валов КНД и ТНД; L_2 - пролет вала ТНД; J - осевой момент инерции дисков КНД.

При расположении дисков вблизи опоры собственный вес ротора, приходящийся на опору, может превышать центробежную силу от неуравновешенных масс дисков (дисбаланс). В этом случае на опору в вертикальном направлении постоянно действует сила, направленная вниз, и центробежная сила, изменяющаяся по гармоническому закону.

Собственная частота вращающегося ротора, совершающего плоские колебания, была определена в [1-3] на основе рассмотрения уравнений динамического равновесия инерционных сил дисков и упругого сопротивления вала, а также центробежных сил и гироскопических моментов:

$$\begin{aligned} m\ddot{y} - m\omega^2 y + \alpha y - \delta v &= 0; \\ J_C \ddot{v} + J_C v \omega^2 - \gamma y + \beta v &= 0, \end{aligned} \tag{2}$$

где α и γ - поперечная сила и момент от единичного прогиба вала; δ и β - поперечная сила и момент от единичного углового смещения; J_C - осевой момент инерции диска; y и v - поперечное перемещение и угол поворота диска.

Подставляя решение уравнений (2) в виде $y = y_0 \cdot \cos \omega t$ и $v = v_0 \cdot \cos \omega t$, получим уравнение плоских колебаний вращающегося ротора:

$$\begin{aligned} -2m\omega^2 y_0 + \alpha y_0 - \delta v_0 &= 0; \\ -\gamma y_0 + \beta v_0 &= 0. \end{aligned} \tag{3}$$

Как видно из уравнений (3), динамический момент диска при плоских колебаниях и гироскопический момент при вращении диска погашают друг друга, а инерционная поперечная и центробежная силы действуют совместно и равны между собой.

Если рассматривать гармонический анализ модели непод-

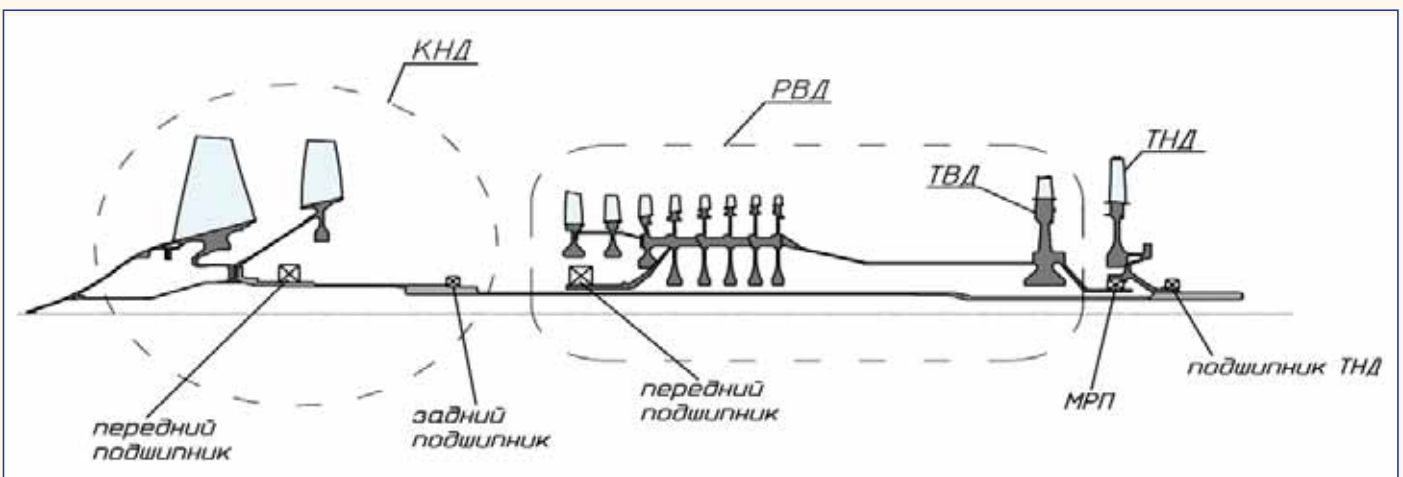


Рис. 1 Кинематическая схема двигателя АИ-222-25

вижного ротора с дисками и лопатками, у которых осевые моменты инерции равны нулю и при увеличении их массы в два раза, то это будет соответствовать плоским колебаниям вращающегося ротора. Критическую частоту можно определить в программном комплексе "Ansys" или "Patran" или по выражению (1) при подстановке нулевого осевого момента инерции и удвоенной массы каждого диска, которая составляет для ротора НД 212 Гц.

Одним из путей преодоления резонанса при критической частоте вращения роторов является применение некруговых колец подшипников, которые способствуют погашению резонансных колебаний [4]. Это достигается путём устранения реакции на опоре в определенные моменты времени и устранения прогиба вала, что предотвращает резонанс при изгибной форме колебаний.

Этот подход применим также и при резонансе ротора по первой (скалочной) форме колебаний, которые присущи для роторов с консольным расположением дисков, расположенных на жестких опорах, и у которых собственный вес ротора, приходящийся на опору с консольным расположением дисков, превосходит центробежную силу от неуравновешенных масс дисков.

Рассмотрим опору ротора, на который установлен роликовый подшипник с круговым неподвижным внешним кольцом, связанным силовыми элементами со статором двигателя и с внутренним кольцом при овальной его беговой дорожке, установленным на валу ротора (рис. 2).

При вращении внутреннего кольца подшипника, связанного с валом ротора от горизонтального положения малой оси овала до вертикального, образующийся зазор между внешним и внутренним кольцами подшипника будет мгновенно компенсирован упругим перемещением опоры. Реакция опоры и колебания за этот отрезок времени погашаются.

При направлении центробежной силы ротора от его дисбаланса по направлению малой оси и расположении малой оси горизонтально вес ротора компенсируется реакцией опоры, и упругое деформирование опоры составит:

$$\Delta_{mg} = mg/C. \tag{4}$$

Принимая уравнение контура кольца овальной формы по синусоидальному закону и при угловом перемещении малой оси овальной беговой дорожки от горизонтального до вертикального положения и при параметре овала, равного упругому смещению опоры Δ_{mg} , реакция опоры будет уменьшаться по синусоидальному закону, а на опору вертикально будет действовать неуравновешенная сила.

Эта сила приведет к перемещению вала ротора на опоре, которое определяется за четверть оборота вала из выражения:

$$\Delta' = \iint \varepsilon L dt = \iint \frac{mg \cdot \sin(\omega t) \cdot L^2 dt}{J_O} = \frac{0,57 mg \cdot L^2}{J_O \cdot \omega^2}, \tag{5}$$

где ε - угловое ускорение ротора при его перемещении отно-

сительно опоры с круговыми кольцами в вертикальном направлении; L - пролет ротора; J_O - осевой момент инерции ротора при его угловом перемещении относительно опоры с круговыми кольцами; m - масса ротора на опоре с овальным кольцом подшипника, g - ускорение свободного падения.

Перемещение вала ротора под действием неуравновешенной силы на опоре вызывает дополнительную величину упругого отпора опоры $F = \Delta \cdot C$, изменение которой принимаем по линейному закону от 0 до максимального значения $F = \Delta \cdot C \cdot t / (T/4)$, и с учетом упругого отпора перемещение вала ротора на опоре составит:

$$\Delta = \Delta' \cdot \int_0^{T/4} \frac{\Delta \cdot C \cdot L^2 \cdot t^2 dt}{2J_O(T/4)} = \frac{0,57 mg \cdot L^2}{J_O \cdot \omega^2} \cdot \frac{\Delta \cdot C \cdot L^2 \pi^2}{24J_O \cdot \omega^2}, \tag{6}$$

Из последнего выражения получаем перемещение вала ротора на опоре от действия собственного веса ротора с учетом упругого отпора опоры:

$$\Delta = \frac{0,57 mg \cdot L^2}{J_O \cdot \omega^2 \cdot [1 + CL^2 \pi^2 / 24J_O \cdot \omega^2]}. \tag{7}$$

Кроме этого, за данный отрезок времени на вал ротора будет действовать центробежная сила, которая приведет к его перемещению в вертикальном направлении:

$$\Delta = \iint \delta \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t) \cdot L^2 dt / J_O = 0,57 \delta \cdot L^2 / J_O, \tag{8}$$

где δ - дисбаланс ротора.

Суммируя величину упругого деформирования опоры от действия собственного веса ротора (4), когда малая ось овала находится в горизонтальном положении с перемещением опоры от собственного веса ротора за четверть периода вращения внутреннего кольца подшипника (7) и от центробежной силы от неуравновешенной массы ротора (8), находим параметр овала, при котором будет происходить полное устранение реакции и упругого деформирования опоры.

Устранение упругого деформирования опоры за четверть оборота ротора будет погашать резонанс ротора при скалочной форме колебаний ротора. ▣

Литература

1. Назаренко Ю.Б. Динамика роторов газотурбинных двигателей: монография/Ю.Б.Назаренко. -М., 2014. -123с.
2. Назаренко Ю.Б., Светашова Л.Ф. Критические частоты роторов газотурбинных двигателей при ударных нагрузках на опорах//Вестник двигателестроения. - Запорожье. - 2010. №2. - С.146-149.
3. Назаренко Ю.Б. Влияние колебаний роторов при ударных нагрузках на опорах на критические частоты их вращения//Материалы XII Всероссийского симпозиума по механике и процессам управления/сборник научных трудов, т. 2. - Миасс.: РАН, 2012. - С.162-169.
4. Патент №2528789 РФ/Ю.Б. Назаренко. - Опубл. 20.09.14 г. Бюл. №26.

Связь с автором: nazarenkojb@rambler.ru



АИ-222-25

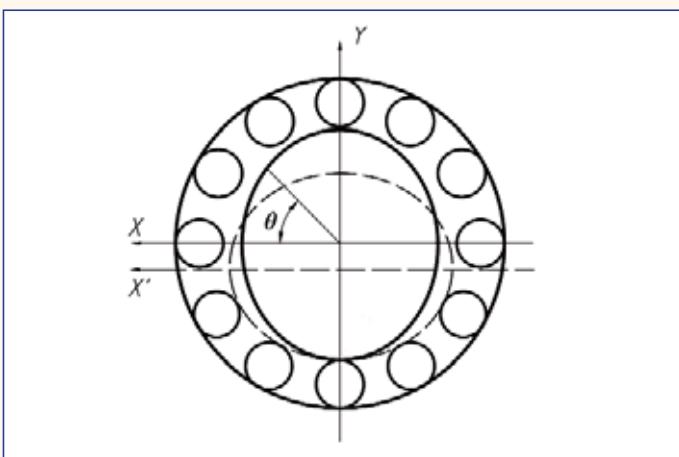


Рис. 2 Роликовый подшипник с круговым внешним кольцом и с овальной беговой дорожкой внутреннего кольца

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ТЕНЗОРЫ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

Показано, что математический аппарат, построенный на базе теории тензоров, позволяет наиболее полно, компактно и взаимосвязано по отношению к ведущим параметрам описывать сложнейшие турбулентные течения реальных жидкостей и газов. На примере потенциальных потоков продемонстрирован физический смысл тензора Князева. It is shown, that mathematical means on the basis of tensor theory permits more completely, briefly and interconnected describe the main parameters of complicated turbulent flow of real liquids and gases. The physical meaning of Knjazev tensor is demonstrated on the example of potential flows.

Ключевые слова: турбулентность, вихрь, волна, тензор.
Keywords: turbulence, vortex, wave, tensor.

Теоретическая газовая динамика в настоящее время наиболее адекватно представляется уравнением Навье-Стокса, учитывающим все свойства реальных жидкостей и газов. К этим свойствам в первую очередь относятся вязкость, сжимаемость, и, если это требуется, теплопроводность. В самом широком смысле, при учете всех свойств не только газов, но и всех веществ, за исключением твердой фазы, таких как жидкость, газ и плазма, следует отметить электропроводность, магнитопроводность, и, может быть, степень черноты газа. Но! Эти нюансы не влияют практически на "чистый" газ и в уравнении Навье-Стокса они естественно опускаются. Их необходимо учитывать в специальных случаях, например, когда газ начинает диссоциировать или излучать. Или когда рабочее тело подвержено воздействию электромагнитного поля и т.д. В связи с этим уравнения движения, описывающие реальную ситуацию, существенно упрощаются в силу отсутствия характерных для перечисленных выше процессов параметров.

Методологически все начиналось с векторного уравнения Леонарда Эйлера, запись которого являлась воплощением умозраительного закона Паскаля, который показал решающую роль давления на производство скорости (ускорения) течения жидкости и наделил этот параметр свойством полевой переменной, в виде скалярной функции точки [1]

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \text{grad } P.$$

Это, в то время, новое революционное представление газодинамических параметров позволило рассчитывать полностью поля любых областей всевозможных видов течения в координатах пространства и времени. Достаточно было лишь правильно задать начальные и граничные условия.

В те романтические времена, когда зачастую помимо Российской Академии наук, Леонард Эйлер излагал свои великопленные достижения в "письмах немецкой принцессе о разных физических и философских материях", мало кого интересовали такие "мелочи", как вязкость и сжимаемость. Все было идеально. Даже уравнение Эйлера в дальнейшем стали называть, и по сей день называют, уравнениями для идеального газа. Но пришло время практических действий. Начали строить пароходы и другие "капиталистические" конструкции. Жизнь жестко потребовала уточнить эти уравнения с целью, например, обосновать правильность выбора количества топлива для двигателя, дабы избежать остановки корабля посреди океанских просторов. Ученые люди начали поговаривать о трении, которое "съедает" большую часть мощности, вырабатываемую паровым двигателем. И тогда появились уравнения Навье-Стокса. Видимо, уместно сказать, что между двумя этими учеными именами следовало бы написать, по крайней мере, еще пять имен великопленных ученых, но для краткости мы всех причастных к этому ученых с благоговением и благодарностью включаем в содержимое этой драгоценной черточки. Среди них особое место занимает великий французский математик и механик Огюстен Луи

Коши, который сделал крупный шаг в развитии гидродинамической теории, введя на тот момент новое понятие - тензор напряжений. После этого уравнение Эйлера превратилось из идеального в реальное. Конечно, потребовались немалые усилия, чтобы привести его (уравнение Навье-Стокса) к современному виду, к такому виду, с помощью которого стало бы возможным решать самые сложные научные и инженерные задачи.

По-видимому, уравнение Навье-Стокса на сегодняшний день является наиболее правильным газодинамическим уравнением, учитывающим практически все особенности сложных течений подвижных сред. Беря его за основу, мы избавляем себя от возможности неправильных решений задач, связанных с турбулентными потоками, ударными волнами, отрывами и т.д.

В гидро-газотехнике для окончательного построения уравнения Навье-Стокса дополнительно требуется соотношение, которое связывает деформационные члены с членами напряжений, возникающими в потоке. Другими словами требуется связь тензора напряжений и тензора скоростей деформации. При этом оговаривается, что для гидромеханики Навье-Стокса справедливыми являются соотношения, описывающие только ньютоновские жидкости. Другие соотношения для неньютоновских жидкостей применяются в специальной науке для вязких жидкостей - реологии.

Таким образом, для оформления векторного уравнения Навье-Стокса, или просто вектора Навье-Стокса [2], непременно потребовался математический аппарат тензорного исчисления. Обычный специалист, как правило, мало обращает внимания на эту сторону проблемы в силу того, что все тензорно-векторные операции являются промежуточными, и в итоге сводятся только к векторным. Это понятно по одной простой причине. Вектор можно наглядно представить. Это отрезок со стрелкой в нужном направлении и начало этого отрезка в виде точки, из которой он выходит. Кстати, эта точка и есть самый главный атрибут полевого представления параметров поля.

А вот тензор - это чисто математическая конструкция. Его нельзя (ну, скажем, когда-нибудь и будет можно, но сегодня - нельзя) представить в виде материализованного объекта. Это - объект идеализированный. Он находится выше наших человеческих чувств, и поэтому мы его воспринимаем как математическую структуру. Эта математическая структура, хоть и является идеализированной и умопонимаемой, но каждый ее элемент является материальным. Здорово получается. Берем материально осязаемые объекты, проводим над ними совершенно понятные действия и "сумма" превращается в идеализированный математический объект.

Таким образом, совокупность трех (конечно, бывает и больше) векторов P_1, P_2, P_3 , преобразующихся по определенным формулам в другие величины p'_1, p'_2, p'_3 , находящихся в другой системе координат, и представляющих собой новую величину Π , называется аффинным ортогональным тензором второго (может быть, и большего) ранга. Записывается тензор условно в виде матрицы:

$$\Pi = \begin{Bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{Bmatrix}.$$

Сопряженным тензором является тензор, у которого относительно основной диагонали произведена перестановка членов (скаляров):

$$\Pi_c = \begin{Bmatrix} P_{11} & P_{21} & P_{31} \\ P_{12} & P_{22} & P_{32} \\ P_{13} & P_{23} & P_{33} \end{Bmatrix}.$$

Симметричным является тензор, у которого при такой перестановке ничего не изменилось: $\Pi = \Pi_c$ или $P_{kl} = P_{lk}$.

Если $P_{kl} = -P_{lk}$, то тензор называется антисимметричным. Для нашего анализа потребуется теорема, в соответствии с которой, всякий тензор можно разложить и при том единственным образом на сумму двух тензоров: симметричного и антисимметричного. Подробные доказательства этой теоремы и всего изложенного выше представлены в великолепной монографии Н.Е. Кочина [3]. Материалы из этой монографии в дальнейшем помогут нам разобраться со сложнейшими нюансами тензорного исчисления применительно к вопросам турбулентности.

Фундаментальный тензор Коши

Введение этого тензора в качестве нового инструмента как общего аппарата познания сложнейших аспектов турбулентности является фактом весьма значительным и поворотным во всей газовой динамике. Известно, что напряженное состояние элемента жидкости, находящейся под воздействием внешних факторов можно коротко описать тензором в виде матрицы. Этот тензор называется тензором Коши, и записывается следующим образом:

$$\Pi = \begin{Bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{Bmatrix}.$$

В краткой лаконичной форме Коши была записана сложнейшая система уравнений Навье-Стокса. После чего эти уравнения можно было наглядно представить в векторной форме и показать каждую составляющую и ее место с целью аналитического исследования турбулентных течений. Для конкретизации и привязывания этого тензора к полевым параметрам потребовалось реологическое соотношение. Окончательно оно было сформулировано Джорджем Габриэлем Стоксом. Это реологическое соотношение было записано в виде тензорного уравнения:

$$\Pi = -PI + 2\mu D,$$

где тензор D является тензором скоростей деформации [4], а I - единичный тензор, μ - динамическая вязкость.

Введенный Коши новый тензор позволил расставить на свои места нормальные и касательные напряжения, что дало возможность вычленив в дальнейшем элементарные виды движений. Так, например, стало понятным, как ведут себя поступательное и вращательное движения. Дальнейшее представление этого

тензора и связанного с ним тензора скоростей деформации позволило представить компоненты уравнения Навье-Стокса в виде комбинаций скоростей реального потока. Появилась возможность рассчитать поле скоростей вязкого сжимаемого потока. Это значит, что появилась возможность аналитически исследовать тончайшие аспекты турбулентного течения и объяснить с помощью уравнений математической физики многие эффекты газовой динамики.

Тензор градиента скорости

Раскрывая субстанциональную производную в уравнении Навье-Стокса, мы получаем некоторую запись практически в тензорном виде. При этом понимаем, что из-за некоторых операций она по размерности и по существу становится векторной:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial \tau} + \vec{V} \text{grad} \vec{V} = \frac{1}{\rho} \text{div} \Pi.$$

Действительно, появился новый тензор $\text{grad} \vec{V}$. Что он из себя представляет? Во-первых, разложим его в виде матрицы

$$\text{grad} \vec{V} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial V_1}{\partial x_1} & \frac{\partial V_2}{\partial x_1} & \frac{\partial V_3}{\partial x_1} \\ \frac{\partial V_1}{\partial x_2} & \frac{\partial V_2}{\partial x_2} & \frac{\partial V_3}{\partial x_2} \\ \frac{\partial V_1}{\partial x_3} & \frac{\partial V_2}{\partial x_3} & \frac{\partial V_3}{\partial x_3} \end{Bmatrix}.$$

Этот тензор является сопряженным тензором, производным от вектора \vec{V} по вектору \vec{r}

$$\frac{d\vec{V}}{d\vec{r}} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial V_1}{\partial x_1} & \frac{\partial V_1}{\partial x_2} & \frac{\partial V_1}{\partial x_3} \\ \frac{\partial V_2}{\partial x_1} & \frac{\partial V_2}{\partial x_2} & \frac{\partial V_2}{\partial x_3} \\ \frac{\partial V_3}{\partial x_1} & \frac{\partial V_3}{\partial x_2} & \frac{\partial V_3}{\partial x_3} \end{Bmatrix}.$$

Теперь по правилам тензорного анализа разложим производный вектор $d\vec{V}/d\vec{r}$ на симметричную и антисимметричную части. Симметричный тензор будет выглядеть следующим образом [3]

$$\left\{ \begin{array}{ccc} \frac{\partial V_1}{\partial x_1} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_1}{\partial x_2} + \frac{\partial V_2}{\partial x_1} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_1}{\partial x_3} + \frac{\partial V_3}{\partial x_1} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_2}{\partial x_1} + \frac{\partial V_1}{\partial x_2} \right) & \frac{\partial V_2}{\partial x_2} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_2}{\partial x_3} + \frac{\partial V_3}{\partial x_2} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_3}{\partial x_1} + \frac{\partial V_1}{\partial x_3} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_3}{\partial x_2} + \frac{\partial V_2}{\partial x_3} \right) & \frac{\partial V_3}{\partial x_3} \end{array} \right\}.$$

И в том случае, когда вектор $\vec{V}(\vec{r})$ представляет собой вектор смещения частиц упругого тела, этот вектор является деформационным тензором, о котором мы уже говорили, исследуя тензор Коши. Другими словами, симметричная часть тензора градиента скоростей есть тензор Коши.

Антисимметричную часть упомянутого выше тензора можно в соответствии с [3] представить в виде:

$$\left\{ \begin{array}{ccc} 0 & -\omega_3 & \omega_2 \\ \omega_3 & 0 & -\omega_1 \\ -\omega_2 & \omega_1 & 0 \end{array} \right\},$$

где $\vec{\omega} = (1/2) \text{rot} \vec{V}$.

Отсюда следует весьма любопытный вывод. Если $\vec{\omega} = 0$, то есть течение потенциальное, и его можно представить как $\vec{V} = \text{grad} \phi$, то тензор Коши симметричен, тогда все компоненты этого тензора, отраженные от диагонали, являются равными. Этот факт и зафиксирован в реологическом соотношении при выводе уравнения Навье-Стокса.

Фундаментальный тензор Князева

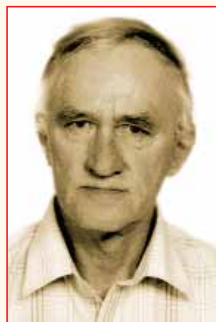
Если вспомнить, в каких предпосылках выводилось уравнение Навье-Стокса, то становится ясным, что это уравнение было полу-



Великий французский математик и механик
Огюстен Луи Коши



Известный советский математик и газодинамик
Николай Евграфович Кочин



Замечательный русский математик и газодинамик
Владимир Андреевич Князев

чено при молчаливой договоренности использования псевдоотверждения жидкой точки. То есть считалось, что маленький объемчик, выделенный из всего поля частиц жидкости или газа, был твердым. Другими словами, ему нарекали статус точки, и поэтому все выводы, полученные для данной ситуации, можно было строго трактовать как динамику центра масс. К счастью, формализация Навье-Стокса не пострадала, а вот уравнения момента импульса и энергии это почувствовали. Причем внутреннее движение относительно центра масс не изменяет импульса тела, и формальная запись самого векторного уравнения сохраняется.

В работе [1] подробно разбирается ситуация, связанная с интерпретацией момента количества движения и энергии потока. По мнению автора упомянутой монографии, запись уравнений для этих параметров исказится формально, а по существу в рамках гипотезы псевдоотверждения жидкой точки может привести к неправильным результатам. Для исправления ситуации автор предлагает ввести новую полевую переменную - динамический тензор \mathbf{K} , поток которого $\oint \mathbf{K}nds$ на некоторую замкнутую поверхность равен импульсу рабочего тела (жидкости или газа), ограниченного этой поверхностью. По определению $\text{div} \mathbf{K} = \rho \vec{V}$, то есть дивергенция от динамического тензора \mathbf{K} характеризует скорость центра масс этого рабочего тела. И тогда, уравнение импульса некоторого жидкого тела (интегральное уравнение импульса) можно представить как тензор уже известных нам напряжений \mathbf{P} :

$$\frac{d}{dt} \oint \mathbf{K}nds = \int \mathbf{P}nds.$$

Дальнейшие преобразования приводят нас к аналогичной записи уравнения Навье-Стокса. Применение тензора Князева не меняет вида локального уравнения импульса, поскольку внутренние движения относительно центра масс и внутренние силы не изменяют импульса тела. Введение нового полевого тензора \mathbf{K} позволяет выделить энергию относительно движения "жидкой" точки и установить нетождественность необратимой мощности внутренних сил и диссипации. Кроме того, изменение энергии относительно движения "жидкой" точки равно разности рассеянной мощности внешних сил, диссипации и необратимой мощности внутренних сил. В естественном процессе, согласно второму закону термодинамики, необратимая мощность внутренних сил должна быть неотрицательной величиной (положительное производство энтропии), в то время как диссипация всегда неотрицательна. Гидромеханика, построенная с использованием полевого динамического тензора Князева, содержит в себе механизм управления потоком (подробнее в [1]), который обеспечивает безусловное выполнение требований термодинамики.

Потенциальные течения

Отметим два потенциальных течения, которые являются следствием изложенного выше материала.

1. Потенциальное течение $\vec{V} = \text{grad} \phi$ приводит к ситуации, когда тензор $\text{grad} \vec{V}$ становится симметричным. При этом антисимметричный тензор, содержащий в качестве компонентов значения угловой скорости потока $\vec{\omega}$, становится равным нулю. То есть в этот момент тензор $\text{grad} \vec{V} = \mathbf{D}$ и равен тензору скоростей деформаций. Это очень любопытный факт, который говорит о том, что конвективный член уравнения Навье-Стокса, а главное, и уравнения Эйлера, имеет в своем составе математическую конструкцию, описывающую деформируемый поток. Другими словами вектор скорости помимо всего прочего представляет собой вектор смещения упругой среды. А если есть вектор смещения упругой среды, то в соответствии с реологическим соотношением можно предположить наличие касательных напряжений. А откуда они взялись в уравнении Эйлера? Вот вопрос. После этого уравнение Эйлера точно нельзя называть уравнением для идеального газа. Нам и раньше было известно из теоремы Ламба-Громеки, что уравнение Эйлера содержит турбулентный член в ускорении Кориолиса, и тогда уже было понятно, что оно (уравнение Эйлера) описывает не только ламинарные течения. Теперь, когда прове-


ден тензорный анализ и показано, что в нем содержится тензор, имеющий деформационные компоненты, в том числе касательные напряжения, этот факт, несомненно, подтверждается.

2. Если считать потенциальным течением поток, который можно записать в виде $\rho \vec{V} = \text{grad} \psi$, тогда можно получить очень интересные преобразования тензора Князева. Но вначале порассуждаем, что это такое - тензор Князева. Ведь Владимир Андреевич его просто ввел, дабы получить полевую переменную. Но он совсем не раскрыл его существа. Конечно, тензор не должен иметь материальную базу. Он - тензор. Он - математическая конструкция. Но: не скрывается ли здесь сюрприз? Допустим, что есть некий тензор, и он каким-то неизвестным нам образом описывает микромир внутри той самой "жидкой" точки. Если взять от него дивергенцию, то мы получаем как бы мостик в нашу реальность, в наш грешный макромир. Учитывая это, попробуем теперь преобразовать потенциал ψ в зависимости от этого тензора. Выразим его через дивергенцию:

$$\text{grad} \psi = \text{div} \psi \cdot \mathbf{I} \text{ или } \rho \vec{V} = \text{div} \psi \cdot \mathbf{I}.$$

Здесь опять же \mathbf{I} - единичный тензор, который равен

$$\mathbf{I} = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}.$$

Если считать, что этот тензор несущественен и играет только роль оператора, то можно сказать, что тот внутренний микромир со своими движениями молекул внутри "жидкой" точки, из которого как бы рождается реальный поток, также зависит от потенциала импульса, и импульс является универсальным параметром газовой динамики. 

Литература

1. В.А. Князев. Гидромеханика без гипотезы псевдоотверждения жидкой точки, изд. LAP LAMBERT Academic Publishing, Германия, 2014 г.
2. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Вектор Навье-Стокса // Двигатель № 6, 2014 г.
3. Н.Е. Кочин. Векторное исчисление и начало тензорного исчисления. М. изд. Академии наук СССР, 1951 г.
4. Г. Шлихтинг. Теория пограничного слоя. М. Наука. 1974 г.

Связь с автором: swgeorgy@gmail.com



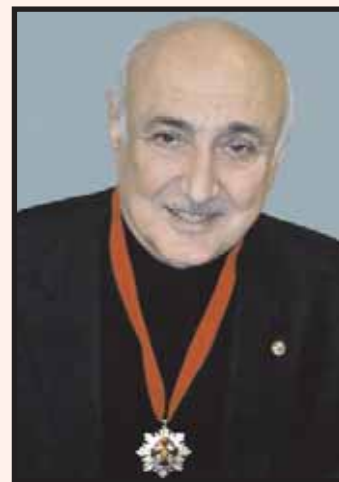
Яхта "Москва" Императора России Александра III

ПАМЯТИ УЛЬЯНА ГАЙКОВИЧА ПИРУМОВА

24 февраля скончался Ульян Гайкович Пирумов – выдающийся отечественный ученый в области ракетного двигателестроения, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, дважды Лауреат Государственной премии СССР, Лауреат премии им. Н.Е. Жуковского, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, член Национального Комитета Российской Федерации по теоретической и прикладной механике. Ульян Гайкович после окончания МФТИ, с 1955 г. по 1976 г., во время бурного становления отечественного ракетостроения, работал в головном НИИ ракетного двигателестроения, решая сложнейшие газодинамические задачи, возникавшие при создании ракетных двигателей. Уже тогда им были разработаны и успешно использованы на практике методы профилирования сопел и определения потерь удельного импульса тяги в соплах ракетных двигателей, в том числе из-за неравновесного протекания химических реакций, колебательной неравновесности и двухфазности. В это же время им была решена задача расчёта моментно-силовых характеристик поворотных сопел и сопел с искажениями контура, а также был разработан метод решения обратной задачи теории сопла, позволивший рассчитывать расходные характеристики сопел и двухфазные течения в соплах. В результате этих работ было выпущено ставшее на многие годы настольной книгой в КБ отрасли Руководство для конструкторов по профилированию сопел ракетных двигателей. По разработанному им методом были выполнены расчёты потерь удельного импульса в соплах из-за неравновесного протекания химических реакций, которые вошли в фундаментальный справочник "Термодинамические и

теплофизические свойства продуктов сгорания" под редакцией академика В.П. Глушко.

С 1976 г. У.Г. Пирумов возглавлял кафедру "Вычислительная математика и программирование" Московского авиационного института, где вокруг него формировалась школа расчётчиков-газодинамиков. Здесь под его руководством была успешно решена задача неравновесной конденсации и кристаллизации в двухфазных продуктах сгорания ракетных двигателей, а методы расчёта химически неравновесных течений были успешно применены для снижения токсичности выхлопных газов ТЭЦ. Ульян Гайкович – автор монографий "Течения газа в соплах" и "Газовая динамика сопел", ставших настольными для многих газодинамиков и переведённых за рубежом. С 1995 г. по настоящее время под его руководством в нашей стране регулярно проводились международные конференции по неравновесным процессам в соплах и струях. Светлый образ Ульяна Гайковича – выдающегося ученого, прекрасного и обаятельного человека навсегда останется в наших сердцах. Светлая и долгая ему память.



Редакция журнала "Двигатель" присоединяется к добрым словам соратников о У.Г. Пирумове и выражает искреннее соболезнование родным и близким.

ИНФОРМАЦИЯ

Представители двух филиалов "Уфимского моторостроительного производственного объединения" – ОКБ им. А. Люльки и "Лыткаринского машиностроительного завода" – в конце января 2015 г. посетили ОАО "Авиадвигатель". Целью двухдневного визита стало знакомство с опытом реализации проекта "ПД-14 для самолета МС-21" с помощью гейтовой системы. В составе делегации пермское КБ посетили: заместитель генерального конструктора-директора ОКБ им. А. Люльки Геннадий Зубарев, директор ЛМЗ Антон Поснов, ведущие специалисты ОКБ.

Сегодня один из ключевых проектов ОКБ – разработка двигателя 2-го этапа для перспективного авиационного комплекса фронтовой авиации (ПАК ФА). Это один из самых высокотехнологичных проектов "Объединенной двигателестроительной корпорации" (ОДК), двигатель поколения 5+, который создается с использованием перспективных материалов, технологий и будет обладать улучшенными параметрами тяги и расхода топлива.

Руководство ОДК положительно оценивает результаты использования пермским КБ гейтовой системы при разработке перспективного двигателя ПД-14 и настоятельно рекомендовало разработчикам ПАК ФА

ознакомиться с передовым опытом "Авиадвигателя".

Пермское КБ на протяжении восьми лет использует гейтовую систему управления проектом. Она позволяет снизить риски и затраты проекта путем установления точек контроля и принятия решения, широко используется во всем мире при создании новых образцов наукоемкой и дорогостоящей продукции. Сегодня "Авиадвигатель" ведет испытания опытных двигателей. В 2015 году намечено начало летных испытаний ПД-14.

В ходе визита представители ОКБ им. А. Люльки и ЛМЗ встретились с ведущими специалистами "Авиадвигателя" во главе с главным конструктором семейства двигателей ПД Игорем Максимовым. Были проведены совещания, в ходе которых гости смогли обсудить все интересующие их вопросы. Также разработчики ПАК ФА посетили испытательные стенды, Центр акустических исследований и производственные цеха ОАО "Авиадвигатель" и ОАО "Пермский моторный завод".

После осмотра КБ и проведенных встреч Геннадий Зубарев сказал: "Я давно знаком с работой "Авиадвигателя" и хотел привезти своих специалис-

тов, чтобы они смогли составить собственное представление о работе по гейтовой системе и о реализации проекта ПД-14 в целом. У нас сложилось очень хорошее впечатление от увиденного. "Авиадвигатель" – первое и пока единственное в России двигателестроительное КБ, которое работает по этой системе. Пермские коллеги хорошо продвинулись в области управляемости проекта. Эта система позволила КБ правильно организовать не только вертикальные, но и горизонтальные связи, что делает работу значительно эффективней".



ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА - ВАЖНЫЙ ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Валентин Владимирович Крымов, профессор, д.т.н.
Владимир Петрович Соколов, профессор, д.т.н.

Президентом Российской Федерации В.В. Путиным перед промышленностью страны поставлены грандиозные задачи - повысить производительность труда к 2020 г. в два раза, создать 2,5 млн эффективных рабочих мест. Это позволит поднять на новую высоту не только нашу промышленность, но и всю экономику России.

В условиях возрождения отечественной промышленности, сталкивающейся с обострением конкурентной борьбы на международных рынках, решающим условием достижения успеха становится интеграция предприятий и организаций, обеспечивающих проектирование, производство и эксплуатацию сложных технических объектов и систем как внутри страны, так и за рубежом.

Возрождение производственного потенциала страны должно происходить на новой технологической базе, включающей в себя современные процессы и методы обработки, производительное оборудование, в том числе с числовым программным управлением (ЧПУ), комплексные автоматизированные системы проектирования и управления предприятием, а также создание центров компетенции, которые позволят обеспечить требуемое качество изготовления деталей и узлов технологически сложной продукции.

Интеллектуальная собственность, характеризующая научно-технический и технологический задел центров компетенции, имеет специфические особенности и формы представления, что предопределяет подходы к организации процессов проектирования и производства, позволяющие выполнять функциональное совершенствование объектов производства и разработку новых технологических процессов и технологических систем, что, в конечном счете, и определяет конкурентоспособность.

Тенденции реорганизации предприятий оборонно-промышленного комплекса, ориентированные на создание интегрированных научно-производственных корпораций обуславливают актуальность новых теоретических и прикладных исследований системных связей и закономерностей функционирования сложных наукоемких технологических систем, объектов производства и процессов создания и эксплуатации конкурентоспособной продукции.

Все это изменило отношение к информационным технологиям, которые стали основной производительной силой в конкурентной борьбе научно-производственных корпораций, выполняющих наукоемкие программы создания и освоения новой продукции, определяющей потенциалы развития страны с учетом научно-технических и технологических возможностей.

Стремительно развивающиеся информационные технологии обеспечили революционные преобразования в методах сопровождения изделий на всех стадиях жизненного цикла. Так как процессы проектирования и формирования описаний объектов, необходимых и достаточных для их реализации в заданных условиях, предшествуют процессам материальных преобразований, то от эффективности проектирования существенно зависит общая эффективность создания инновационной продукции.

Основные особенности технических систем и процессов их конструирования и технологического проектирования, влияющие на функциональное назначение и структуру современных автоматизированных систем и направления кадрового сопровожде-

ния, могут быть сформулированы следующим образом:

- в процессе проектирования формируется информационная модель (электронный макет) нового или модернизируемого объекта;
- процедуры проектирования и информационной поддержки обеспечивают поэтапное преобразование исходного описания объекта в конечном пространстве предметной области;
- процедуры преобразования электронных макетов для сложных объектов являются трудно формализуемыми;
- для обеспечения требуемых качественных показателей и повышения функциональной эффективности изделий процесс проектирования на различных стадиях жизненного цикла выполняют итерационными методами, а проектные решения являются многовариантными;
- в связи с тем, что при проектировании сложных объектов на различных стадиях и этапах привлекаются разные коллективы специалистов, требуются совместимость методик и систем проектирования, организация процессов передачи информации и согласования проектных решений.

Повышение функциональной эффективности вызывает усложнение технических объектов и приводит к увеличению трудоемкости и затрат на их создание, что, в свою очередь, требует развития методов и средств автоматизации интеллектуального (рис. 1) и физического труда и их согласования на всех стадиях жизненного цикла изделия.



Рис. 1 Конструкторское бюро по компьютерному проектированию узлов двигателя

В условиях совершенствования новых информационных технологий и перехода к безбумажным методам проектирования и безлюдному производству жизненный цикл изделия, включающий проектирование, производство и эксплуатацию, подразделяется на ряд стадий и этапов. Для каждой стадии жизненного цикла сложного технического объекта характерны два слоя: информационный и материальный. В информационном слое создаются описания изделий и процессов различного назначения. Он характеризуется преобладанием интеллектуального труда (рис. 2).



Рис. 2 Системы обеспечения и сопровождения стадий жизненного цикла сложных технических объектов

В материальном слое по описаниям, представленным в различной форме, выполняется материализация изделий и процессов.

В информационном слое при сопровождении изделий и технологических систем на всех стадиях жизненного цикла на основе новых информационных технологий должны решаться задачи научно-технической и технико-экономической экспертизы и сертификации объектов и процессов в системе управления качеством, которая формируется с учетом российских и международных стандартов.

Задачи управления качеством актуальны для всех стадий жизненного цикла, так как качество закладывается при проектировании, обосновывается при функционально-стоимостном анализе, обеспечивается в производстве, подтверждается при испытаниях и поддерживается в эксплуатации.

Таким образом, для реализации процессов создания и применения сложных технических систем на различных стадиях жизненного цикла необходимы четыре основные взаимосвязанные и взаимодействующие системы обеспечения и сопровождения: система материально-технического обеспечения; система информационной поддержки; система управления качеством; система учебно-научного сопровождения.

Комплексное решение всех задач, связанных с проектированием, производством и эксплуатацией сложных наукоемких изделий, необходимо осуществлять в рамках постоянно совершенствуемых: автоматизированных систем научных исследований (АСНИ); систем автоматизированного проектирования (САПР); автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП) и гибких производственных систем (ГПС), использующих единые методы и средства для решения всех задач конструирования, технологической подготовки, производства и эксплуатации на основе применения современных методов проектирования, средств вычислительной техники и промышленного оборудования с ЧПУ.

Развитие комплексной информатизации производства можно проследить на примере предприятия, изготавливающего авиационные газотурбинные двигатели (ГТД). Основные направления информатизации научно-производственного предприятия представлены на рис. 3 структурной схемой подразделений и работ на всех стадиях жизненного цикла, а также иллюстрациями автоматизированных рабочих мест.

Создание наукоемкого изделия начинается с формирования технической и организационной документации в конструкторских подразделениях предприятия.

Основой дальнейшей автоматизации производства двигате-

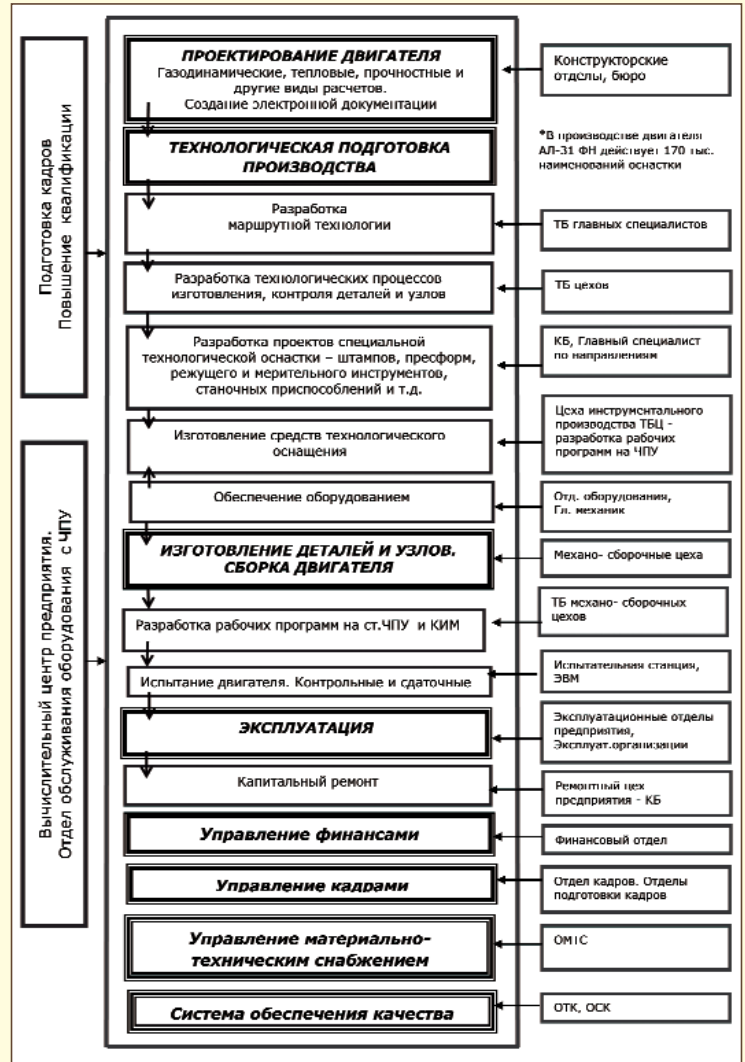


Рис. 3 Структурная схема комплексного автоматизированного управления предприятием на базе информационных технологий

лей является современное высокопроизводительное оборудование с ЧПУ, включающее: токарно-лобовые станки (рис. 4), токарно-карусельные станки, многокоординатные машинные центры с ЧПУ, контрольно-измерительные машины с ЧПУ и другое автоматизированное оборудование.



Рис. 4 Участок токарно-лобовых станков с ЧПУ обработки дисков компрессора, турбины и кольцевых деталей

Наибольший эффект получается при сочетании современных высокопроизводительных методов изготовления деталей и узлов с автоматизированными системами конструирования и технологической подготовки производства, обеспечивающими переход к



Рис. 5 Установка с ЧПУ лазерного раскроя листовых материалов



Рис. 7 Рабочее место оператора

безбумажному проектированию и малолюдному производству. Например, лазерный раскрой листовых материалов (рис. 5), электроэрозионная обработка деталей и инструментов, высокоскоростное фрезерование профиля лопаток компрессора и многие другие технологии основаны на электронных (цифровых) моделях изделий, формируемых автоматизированными системами проектирования.

Наиболее сложными и ответственными системами автоматизированного проектирования при сопровождении изделий на различных стадиях жизненного цикла являются автоматизированные системы технологического назначения. Так для технологического оснащения производства двигателя 4-го поколения потребовалось спроектировать и изготовить более 150 тысяч наименований технологической оснастки: штампов, прессформ, станочных приспособлений, специального режущего и измерительного инструмента, элементов модернизации оборудования.

При изготовлении высокотехнологичной продукции, какой является ГТД, более половины трудоемкости и технологической себестоимости заложено в механической обработке деталей и узлов. Поэтому высокопроизводительное оборудование с ЧПУ находит все большее применение (рис. 6-8). Именно "цифровые" технологии позволяют получать продукцию более высокого качества, и автоматизированные технологические процессы могут быть интегрированы в общую информационную систему предприятия.

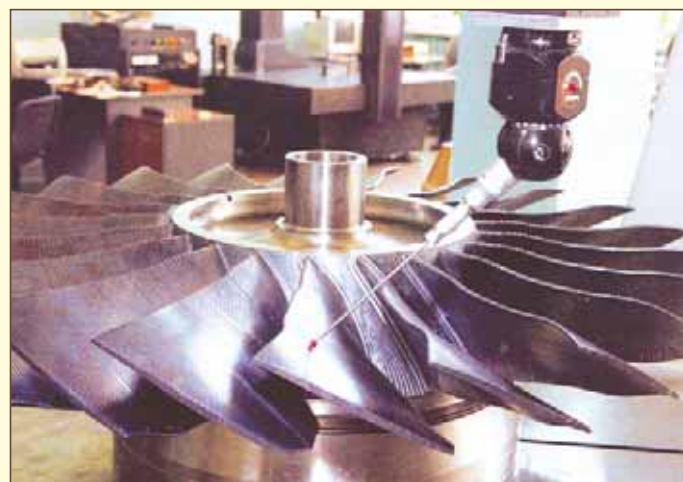


Рис. 8 Участок координатно-измерительных установок с ЧПУ. Контроль профиля пера лопаток моноколеса компрессора

товления и конкурентоспособность производимой продукции, а также резко сократить затраты и циклы подготовки производства новой продукции. Информатизация производства может быть одной из основ новой индустриализации нашей страны. **П**

Литература

1. Крымов В.В., Елисеев Ю.С., Зудин К.И. "Производство лопаток газотурбинных двигателей" Издательство "Машиностроение", Москва, 2002 г.
2. Елисеев Ю.С., Крымов В.В., Нежурин И.П., Новиков В.С., Рыжов Н.М. "Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей" Издательство "Высшая школа", Москва, 2001 г.



Рис. 6 Участок фрезерных станков с ЧПУ обработки профиля пера лопаток компрессора низкого давления

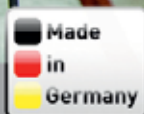
Дальнейшее ускоренное внедрение автоматизированного проектирования и управлением предприятием требует больших инвестиций на приобретение оборудования, вычислительной техники, подготовку соответствующих кадров. Это создает для предприятия определенные трудности. Но это необходимо делать, чтобы повысить производительность труда, качество изго-



Рис. 9 АЛ-31Ф серия 42

ВИДЕОЭНДОСКОП VUCAM X0

ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ АВИАДВИГАТЕЛЯ



**Артикуляция 130°
в любом
направлении**

**Возможность
производить
стереоскопические
измерения
геометрических
параметров
дефектов**

Визуально-оптическая диагностика с применением видеоэндоскопа **VUCAM X0** позволяет выявить забоины, трещины, эрозионный износ, прогары, деформации, нарушение покрытий на деталях компрессора, турбины, камеры сгорания, реактивного сопла и других узлов без разборки двигателя.

Современный
сенсорный дисплей

Документирование
результатов контроля

Фотоснимки во время
записи видео

Удобный файл
менеджер

Ретроспектива записи
видео изображения

Поддержка карт
памяти SD

Горячие клавиши

Прочная и легкая
конструкция

Источник света
с пожизненной
гарантией

Возможность
регулировки уровня
наклона монитора



Официальное представительство
viZaar Industrial Imaging AG
в России и странах СНГ

197022, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Профессора Попова 37В
+7 (812) 748-28-47

info@vizaar.ru
www.vizaar.ru

ТРАНСПОРТ НА СОВРЕМЕННЫХ БАНКНОТАХ РАЗЛИЧНЫХ СТРАН МИРА

Андрей Викторович Барановский

Мы неоднократно размещали статьи о различных технических устройствах, размещённых на монетах мира. Но кроме нумизматических изысков есть ещё и не менее интересная тема в близкородственной области: бонистике. Посмотрим, что же здесь...

Редакция

Различные виды транспорта, как то суда, локомотивы, самолеты, автомобили и прочие виды транспорта на своих банкнотах размещали и сейчас размещают многие страны мира. В настоящий момент почти в 30-ти из них банкноты с изображением транспортных средств находятся в обращении.

В основном - это развивающиеся государства, которые транспорт рассматривают как символ технического прогресса. А такие, как Папуа-Новая Гвинея на 100 кина и Малайзия на 10 рингиттов поместили сразу самолет, транспортное судно и грузовик.

Так как значительное число развивающихся стран имеют

выход к морю, то они на своих бумажных деньгах предпочитают изображать морские порты со стоящими в них судами и кранами. Правда одна из таких банкнот сразу же вызывает сомнение в достоверности изображенного. Речь идет о 5000 франках Бурунди. На ней изображен порт и судно под погрузкой. Но государство расположено в центре Африки и не имеет выхода к морю, а только лишь к озеру Танганьика. Может быть я ошибаюсь, но изображенный на банкноте порт больше соответствует морскому. Подтвердить или опровергнуть это могут люди, побывавшие в Бурунди.

Вот какие ещё африканские страны показали свои морские порты и суда на своих банкнотах. Это Центрально-африканские государства (они имеют единую валюту как в ЕС) с номиналом банкноты в 5000 франков. Демократическая Республика Конго на 500 франках изобразила панораму Матади - главного порта страны, расположенного на реке Конго в 148 километрах от ее устья. Через этот порт вывозится, в основном, кофе и древесина, а также снабжается столица рыбой.

Столица расположенного в самой узкой части Аденского залива Джибути также называется Джибути. И это государство на 1000 франках поместило столичный порт, кстати "порто-франко". На переднем плане банкноты виден контейнеровоз.

Сомали банкноту в 1000 шиллингов выпуска

1990 и 1996 гг. посвятило столице, также называемой Сомали, и ее грузовому порту со стоящими под погрузкой сухогрузами.

Эритрея на обратной стороне банкноты в 50 накфа изобразила многострадальный порт Массауа. На переднем плане ее мы видим сухогруз.

Почему же. Массауа многострадальный? Этот, некогда самый большой порт на восточном побережье Африки, во время эфиопско-эритрейской войны служил штабом эфиопского флота. С отделением Эритреи работа его заглохла и он принимает по одному судну в месяц. Об этом порте можно ещё сказать, что в годы указанной войны от эритрейских повстанцев его защищали советские морские пехотинцы ТОФ. Оказывая помощь правительственным войскам Эфиопии, они внесли весомый вклад в ведение обороны, не потеряв при этом ни одного человека убитыми и ранеными.

Мавритания на банкноте в 2000 угий разместила судно, похожее на большой рыболовный траулер, морскую нефтяную платформу и портовые краны. Помещение на банкноте траулера не случайно: океан, омывающий Мавританию богат рыбой. Само рыболовство выступает одной из основных отраслей хозяйства этой страны. Рыба и рыбопродукты составляют также половину мавританского экспорта. На банкноте в 5000 угий можно видеть тепловоз, который не часто появляется на денежных знаках.

Поместили на банкнотах свои морские порты со стоящими в них судами и несколько азиатских стран. Среди них Саудовская Аравия, которая на 5 риалах 2007 г. изобразила панораму Эль-Джубайл - одного из основных нефтеэкспортных портов страны в Персидском заливе. На банкноте четко виден нефтеотгрузочный терминал и стоящий возле него танкер. Вообще в Эль-Джубайле работает целый ряд предприятий, выпускающих смазочные масла, бензин, дизельное топливо, другие продукты нефтехимической промышленности. Город является одним из наиболее динамично развивающихся про-





мысленных центров Саудовской Аравии.

Расположенный на другом конце Азии Вьетнам на 500 донгах поместил панораму Хайфона - главного порта северной части страны и третьего по величине её города.

Камбоджа оборотную часть банкноты в 1000 риелей посвятила крупнейшему морскому порту своей страны - Сиануквиль.



Сиануквиль, или Кампонгсаом - это не только город, но и целая провинция страны. Известен он больше среди туристов мира как развивающийся пляжный курорт. Основан он сравнительно недавно, в 1950-е годы - как глубоководный порт. Проект строительства спонсировали французы, а американцами была построена автотрасса до столицы.

Из азиатских стран ещё Пакистан банкнотой в 5 рупий выпуска 2008 и 2009 гг. отметил свой морской порт Гавадер. Это крупнейший морской порт провинции Белуджистан. Он был построен Китаем в период 2002-2005 гг. и открыт весной 2007 г.



Из бумажных денег, имеющих в настоящее время хождение, одна страна Латинской Америки посвятила банкноту своему порту. Это Багамские острова, которые на местных 20 долларах поместили гавань столичного города Нассау.



До российской денежной реформы 1997 г, когда рубль был деноминирован в 1000 раз, у нас была банкнота в 1000 рублей, на которой был изображен Владивосток. На аверсе её была изображена панорама морского порта города в бухте Золотой Рог, а также памятник русскому паруснику "Манчжур", экипаж которого основал первый российский порт на берегах Тихого океана.



К транспортным судам надо отнести и парусное судно дау (или доу). Суда этого типа были широко распространены в прибрежных водах Аравийского полуострова, Индии и восточной Африки. Они появились задолго до нашей эры, но и сейчас их можно встретить во многих странах этого региона. Термин "дау" также используется для небольших, традиционно построенных судов, используемых до сих пор преимущественно для торговли в Красном море и Индийском океане от Мадагаскара до Бенгальского залива. Такие суда, как правило, имеют водоизмещение 300-500 тонн, и обладают длинным, тонким профилем корпуса. Как правило, современные дау являются парусно-моторными судами, производимыми из тикового дерева, растущего в Индии, по выв-

освалы изображены не одни, а с экскаваторами, бульдозерами и другой горной техникой. Это гвинейские 1000 франков 2006 г., малагасийские 10000 ариаров, 100 кина Папуа-Новая Гвинея. Лесовоз, едущий по дороге, изобразил Свазиленд на 20 эмалангени. Куба на 10 конвертируемых песо поместила электростанцию и

решенным веками технологиям. Дау размещали на своих банкнотах несколько стран Ближнего Востока. Но сейчас в обращении находится только одна. Это 10 реалов Катар.

Среди бонистов-людей, коллекционирующих банкноты, большой популярностью всегда пользуются бумажные деньги непризнанных государств. Среди них африканская Кабинда. Это эксклав Анголы, богатый нефтью. Все трения между ними возникают по вопросу распределения доходов от неё и что важно, Кабинда - один из наиболее нищих регионов Анголы. Так вот Кабинда выпускает бумажные эскудо номиналом 50, 100, 200 и 500 единиц. Все они имеют одинаковый рисунок (с одной стороны суда под погрузкой, с другой - рыба) и отличаются друг от друга только по цвету бумаги.

Совершенно уникальная история с валютой островов Джейсон (Себальдес), которые входят в группу островов Фолклендского архипелага, принадлежащего Великобритании. Два острова были приобретены филантропом Майклом Стейнхардтом и впоследствии пожертвованы Обществу охраны дикой природы. С целью сбора средств на сохранение этих островов им были выпущены банкноты. Называются они аустрали и имеют номинал в 50, 100 и 500 этих единиц. На лицевой стороне банкноты в 50 аустрали изображен ледокол, на обратной - сухогруз. На банкноте в 100 аустрали с обеих сторон - дирижабль, а на 500 аустрали - с лицевой помещен Титаник, и с обратной - его поперечный разрез.

Помимо морского, из других видов транспорта на современных банкнотах можно видеть большегрузные самосвалы. Они все похожи друг на друга и вероятно это канадские "Юнит Риг". Са-



мосвалы изображены не одни, а с экскаваторами, бульдозерами и другой горной техникой. Это гвинейские 1000 франков 2006 г., малагасийские 10000 ариаров, 100 кина Папуа-Новая Гвинея. Лесовоз, едущий по дороге, изобразил Свазиленд на 20 эмалангени.

Куба на 10 конвертируемых песо поместила электростанцию и

электростанцию и





пожарный автомобиль. Малави на 50 квача 2012 г. разместила Лендровер на фоне слона и раскидистого дерева.

А вот гражданской авиации свои банкноты, помимо указанных выше двух стран, посвятила только Австралия. На обратной

стороне 20 долларов этой страны помещен портрет миссионера и проповедника в пустынных районах страны - создателя воздушной врачебной службы Джона Флинна (1880-1951). Там же помещен рисунок санитарного самолёта VNUER "Victory", на котором летал Флинн.



История Джона Флинна необычна. Закончив обучение на пресвитерианского священника, он был назначен в отдаленную миссию Южной Австралии. Благодаря его многолетним усилиям в 1928 г. была создана

воздушная медицинская служба Внутренней миссии, а во многих филиалах миссии появились портативные радиостанции с дальностью действия до 500 км, благодаря чему стали возможны регулярные медицинские консультации и экстренное прибытие в случае опасности "летающего доктора". В 1934г. инициатива Флинна получила поддержку на государ-

ственном уровне. Была создана австралийская воздушная медицинская служба, получившая официальное название "Королевская служба летающих докторов", которая и до сих пор является самой большой и самой аэромедицинской спасательной и лечебной службой в мире.

И в заключение - паровоз на банкнотах. Увы, сейчас его можно видеть только на одной - мексиканских 100 песо, выпущенных в 2007 г. в память 100-летия мексиканской революции (состав везет революционеров). А в довоенные и первые послевоенные годы многие страны, особенно Китай, изображали его как символ технического прогресса. Есть даже сайт, где почти на 45 страницах размещены фотографии банкнот с паровозами различных типов - начиная от первых и кончая скоростными пассажирскими локомотивами.



11-й МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ – ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

проводится в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 апреля 2014 г. № 541-р

19-21 мая '2015

Москва Павильон
ВДНХ №69

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ
ВЫСТАВКИ

- MetrolExpo
- Control&Diagnostic
- ResMetering
- LabTest
- PromAutomatic



СИМПОЗИУМ
«ТОЧНОСТЬ. КАЧЕСТВО.
БЕЗОПАСНОСТЬ»

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

129223, Москва, а/я 35. ул. Сельскохозяйственная, д. 35, стр. 182
Тел./Факс: +7 (495) 937-40-23 (многоканальный)
E-mail: metrol@exprom.ru - www.metrol.exprom.ru

ОРГАНИЗАТОР

Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России) и Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

СОДЕЙСТВИЕ

Аппарат Правительства Российской Федерации

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПАРТНЕРЫ

The International Bureau of Weight and Measures (BIPM)
International Organization of Legal Metrology (OIML)
The International Committee for Non-Destructive Testing (ICNDT)
Euro-Asian Cooperation of National Metrology Institutions (COOMET)

С ЭКСПОЗИЦИОННЫМ УЧАСТИЕМ

Минпромторг России, Минэнерго России, Минобрнауки России, МВД России, Росстандарт, Ростехнадзор, Роскосмос, ГК «Росатом», ГК «Ростехнологии», ОАО «РОСНАНО», ОАО «РЖД», Фонд «Сколково»

КОНКУРСНАЯ КОМИССИЯ

ФБУ «Ростест-Москва»



УСТРОИТЕЛЬ И ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР

Компания «Вэстстрой Экспо»

ПРОГРАММА ФОРУМА

- 11-я выставка средств измерений и метрологического обеспечения «METROLEXPO-2015»
- 4-я выставка промышленного оборудования и приборов для технической диагностики и экспертизы «CONTROL&DIAGNOSTIC-2015»
- 4-я выставка технологического и коммерческого учета энергоресурсов «RESMETERING-2015»
- 3-я выставка лабораторного, испытательного и тестового оборудования «LABTEST-2015»
- 3-я выставка КИПиА и компонентов для промышленной автоматизации «PROMAUTOMATIC-2015»
- 7-й Всероссийский симпозиум метрологов «ТОЧНОСТЬ. КАЧЕСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ»
- Всероссийская выставочно-конкурсная программа «ЗА ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ»



АвиаПОРТ

отраслевое агентство



Новости



События



Аналитика



Справочник



Персонал



Рынок



Сообщество

ИСПОЛЬЗОВАТЬ

И

РАБОТАТЬ

ЦИФРЫ

ФАКТЫ

ГЛАВНЫЙ

АНАЛИЗИРОВАТЬ

И ПЛАНИРОВАТЬ

ИСТОЧНИК

РАБОТАТЬ

ИСКАТЬ И НАХОДИТЬ

ИНФОРМАЦИИ

ЗНАКОМИТЬСЯ

И

ОБЩАТЬСЯ

НАХОДИТЬ

ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ

ИСКАТЬ

АНАЛИЗИРОВАТЬ

КОММЕНТАРИИ

ЦИФРЫ

ИСКАТЬ

АВИАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ

РАБОТАТЬ

ПЛАНИРОВАТЬ

ФАКТЫ

ИСПОЛЬЗОВАТЬ



ТАНКИ ОТ И ДО

Олег Никитич Брилёв,

д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ,
начальник кафедры танков ВАБТВ (1975-1987 гг.)

(Продолжение. Начало в 6 - 2014)



3 Танки между двумя войнами

В годы Первой мировой войны танки показали себя эффективным и перспективным оружием. Но возможности, заложенные в их концепции, были реализованы далеко не в полной мере, что объясняется техническим уровнем производства того периода и трудностями военного времени. Однако стало ясно, что по мере развития танков они изменят сначала материальную базу вооруженной борьбы, а затем и ее характер.

В послевоенные годы на фоне совершенствования техники, в частности зарождения танковой промышленности, проявилось стремление существенно повысить боевые возможности танков, увеличить танковый парк и, наконец, наилучшим образом использовать возможности и численность данного оружия. Именно на этой основе в межвоенный период армии ведущих государств подверглись коренной реорганизации, существенно изменились их доктрины. После длительных поисков новых стратегических подходов и оперативно-тактических решений, после увлечения идеями скоротечной войны и малой механизированной армии военные теоретики в СССР и ряде других стран пришли к выводу о неизбежности большой войны и к идее глубокой операции, материальной основой которой были, прежде всего, танки и авиация.

Можно сказать, что эти годы были временем общего совершенствования танков и поиска такого сочетания боевых свойств, которое в максимальной степени отвечало бы ожидаемым условиям. Свою роль сыграл и опыт войны в Испании, показавший малую эффективность танков с легким бронированием в условиях, когда появилась противотанковая артиллерия и стали неизбежными столкновения танков с танками. Основные характеристики зарубежных танков рассматриваемого периода приведены в табл. 2.

В Англии после войны первоначально были созданы танки "Виккерс" (6 т), а затем получивший наибольшее распространение



«Виккерс», захваченный РККА у финнов в ходе Зимней войны. Накануне Зимней войны танками "Виккерс" были вооружены 3-я и 4-я роты единственного финского танкового батальона. Боевые машины 4-й роты 26 февраля 1940 г. приняли участие в первом для финской армии танковом бою под Хонканиemi (Лебедевкой). Финские "Виккерсы" столкнулись здесь с "Виккерсами" советскими - танками Т-26 из 112-го танкового батальона 35-й легкотанковой бригады. В этом бою финны потеряли восемь машин. Советская сторона потерь не имела



Vickers Mk.E mod.A - двухбашенный вариант, танк сопровождения пехоты. Башни цилиндрической формы размещены рядом на подбашенной коробке. Вооружение - два пулемета Vickers калибра 7,7 мм. Горизонтальный обстрел для каждого пулемета в башнях составляет 265°. Боекомплект - 6 тыс. патронов



Английский Vickers Mk.E mod.B - легкий танк огневой поддержки, однобашенный вариант. Корпус - клепаный коробчатого сечения. Механик-водитель располагается в передней части корпуса справа. Башня конической формы размещена на подбашенной коробке ближе к левому борту. Вооружение - 47-мм пушка и 7,7-мм пулемет в спаренной установке. Боекомплект 50 выстрелов и 4 тыс. патронов. Бронирование - 5...13 мм. Двигатель - Armstrong Siddeley, 4-цилиндровый, карбюраторный, воздушного охлаждения.

ние средний "Виккерс" (16 т, трехбашенный) и в ограниченном количестве тяжелый "Индепендент" (пятибашенный). На всех этих машинах броня по существу была противопульной. Кроме того, была создана танкетка "Карден-Ллойд" - предшественница бронированной пехоты. Различные модификации этой танкетки производились на основе лицензий во Франции, Польше, Японии и других странах.

Англичане раньше других пришли к выводу о необходимости использовать танки и для поддержки пехоты, и для развития успеха, причем в обоих случаях с достаточным уровнем броневой защиты. Однако это, безусловно, объективное решение вылилось в создание двух типов танков с отдельными функциями: крейсерских танков "Крусейдер" различных модификаций и пехотных танков All. У крейсерских танков предпочтение отдавалось подвижности, уровень защищенности у них был несколько ниже. У пехотных танков на первом плане была защищенность. Последующие



Vickers Medium Mk. I на испытаниях. Танк создан в 1922-1923 годах компанией «Виккерс». Изначально он квалифицировался как легкий, но позже, после появления более легких танков, стал квалифицироваться как средний. Первый британский серийный танк, вооружение которого было размещено в башне. Танк производился с 1923 до 1925 год, после чего был заменен на более современный Vickers Medium Mk. II.

Вооружение — пушка QF 3 pounder Vickers 47 мм, пулемет 1х7,7 «Гочкисс» M1914 и пулемет 2х7,7 «Виккерс». Двигатель — 8-цилиндровый, 90 л/с



A1E1 «Independent» - опытный британский пятибашенный тяжелый танк. Машина была создана фирмой «Виккерс» в 1926 г. Вооружение располагалось в пяти башнях. Размещение всех пулеметов в четырех однотипных башенках, сгруппированных вокруг главной башни кругового обстрела с 47-мм пушкой, значительно увеличивало гибкость огня и позволяло нацелить на один объект как минимум два пулемета и орудие. A1E1 «Independent» не был принят на вооружение и не пошел в серию, был изготовлен всего один экземпляр. Вооружение — пушка QF 3 pounder Vickers 47 мм, пулеметы 4х7,7 «Виккерс». Двигатель — карбюраторный V-образный, 12-цилиндровый, мощность 370 л/с



Vickers Medium Mk. II, вид с кормы



Английский Vickers 16 т, трёхбашенный.

Его разработка началась в 1926 году для замены Mk.I и Mk.II, имевших много недостатков. Первый проект танка с тремя пулеметными и одной пушечной башнями, получивший обозначение A6, был военными отвергнут — он не укладывался в ограничение по массе. В ходе переработки чертежей число башен сократилось до трех, и в 1927 году фирма «Виккерс» изготовила два прототипа — A6E1 и A6E2, отличавшиеся лишь типом трансмиссии.

В качестве силовой установки использовался 180-сильный карбюраторный двигатель Armstrong-Siddley V8 с воздушным охлаждением.

Вооружение размещалось в трех башнях: большой (47-мм пушка и 7,71-мм пулемет) и двух малых (по два 7,71-мм пулемета в каждой).

Экипаж состоял из шести человек. Бронирование 9—14 мм.

Испытания, проведенные в конце 1927 г. на полигоне в Фарнборо, показали, что машины развивают максимальную скорость до 40 км/ч, однако их подвеска, во многом заимствованная у танков Mk.I и Mk.II, оказалась неудачной. В 1928 г. был изготовлен третий экземпляр танка — A6E3. Количество пулеметов на нем сократили до трех (по одному в каждой башне) и установили новую шестискоростную планетарную коробку передач конструкции Вильсона

боевые действия в ходе Второй мировой войны показали, что подобное разделение танков по функциям - не лучшее решение. Оптимальным является создание единого универсального танка, способного успешно решать обе задачи (например, советский образец Т-34). Всего к началу Второй мировой войны английская армия имела 1500 машин. Танки организационно использовались в виде батальонов, полков и бригад. Кроме того, была сформирована одна бронетанковая дивизия.



Британская танкетка «Карден-Ллойд» Модель VI (Carden-Lloyd Mk. VI). Эта танкетка явилась прародителем и дала толчок к развитию этого вида техники в ряде стран мира. Наиболее массовым по производству продолжением танкетки «Карден-Ллойд» стала советская танкетка Т-27.

Кроме СССР, танкетки «Карден-Ллойд» поставлялись в 11 стран мира, среди которых Бельгия, Канада, Чили, Китай, Португалия, Италию, Чехословакия и даже Латвия (1 машина). Поставленные в Боливию танкетки «Карден-Ллойд» приняли активное участие в Чакской войне между Парагваем и Боливией (1932-1935 года), где достаточно неплохо зарекомендовали себя при наступлениях боливийской армии.

Купленные танкетки «Карден-Ллойд» Финляндией приняли участие в Зимней войне 1940 года в качестве разведывательных машин финских пехотных подразделений. Эффективность их применения оказалась не очень высокой, так как большинство из них были потеряны от огня советской артиллерии. Как ни парадоксально, но танкетка «Карден-Ллойд» проявила чудеса долгожительства и приняла даже участие во Второй мировой войне. В составе армий Польши, Великобритании и Финляндии эти машины использовались, как тягачи в тыловых частях и даже как санитарные транспортные средства



«Карден-Ллойд» Mk. VI буксирует 94-миллиметровую гаубицу



Cruiser Tank Mk.I с пушкой QF 2 Pounder.

Основной силой британских танковых сил в двадцатые и в начале тридцатых годов считались средние танки Vickers Medium Mk.II и различные легкие (малые) танки, принятые в качестве разведывательных. Планы замены Mk.II средним танком Mk.III (16-тонным) и тяжелым «Индепендентом» остались на бумаге из-за высокой стоимости. Фирма «Виккерс-Армстронг» разработала новый средний танк, получивший обозначение А9.

Новый танк включал в себя лучшие черты прерванного в развитии Mk.III, но был значительно легче, хотя заданная масса в 10 тонн оказалась превышенной.

Опытная модель оснащалась двигателем «Роллс-Ройс Фантом» II объемом 7,67 л, но он не позволял достичь требуемой скорости, поэтому его заменили рядным 6-цилиндровым карбюраторным двигателем жидкостного охлаждения АЕС Туре 179 объемом 9,64 л. мощностью 150 л.с.

В главной башне предполагалось устанавливать 40-мм пушку или 94-мм гаубицу, а в две передние малые башни 7,7-мм пулеметы «Виккерс». Испытания опытной модели начались в июле 1936 г. Производство танка началось в 1937 г., а на следующий год уже были готовы 125 машин



Renault Char D2

"Рено" D2 и S35 "Сомуа", в ограниченном количестве тяжелые В1. Средние танки "Сомуа" отличались удачным сочетанием боевых свойств и рядом технических новинок (литая броня, двухполточная трансмиссия и др.).



S35 Сомуа

Во Франции преобладали взгляды, вытекающие из опыта войны, и танки рассматривались, прежде всего, как средство поддержки пехоты. В первые послевоенные годы осуществлялась модернизация многочисленного парка легких танков "Рено" Д1 и AMR33.

Затем были созданы три типа танков - легкие R35, средние



Renault AMR33



В1 - французский тяжелый танк.

История В1 началась после Первой мировой войны, когда была принята перспективная программа послевоенного танкостроения. Одной из концепций танка, предусмотренной этой программой, был «боевой танк», который занял бы промежуточное место между лёгкими танками поддержки пехоты (FT-17) и тяжёлыми «танками-крепостями» (Char 2С).

Начальные тактико-технические требования к новому танку были сформулированы в январе 1921 г. К марту 1925 г. техническое задание было уточнено. Масса будущего танка должна была составлять 19...22 т. В качестве силовой установки был выбран двигатель «Рено». На В1 устанавливался 6-цилиндровый двигатель мощностью 250 л.с., а на В1bis, отличавшимся более толстой броней, двигатель мощностью 307 л.с.

Основным вооружением В1 являлась 75-мм пушка SA32. Пушка размещалась в правой лобовой части корпуса в установке, позволявшей её наведение только в вертикальной плоскости, в пределах -15...+25°. Наводку орудия осуществлял со своего места механик-водитель. У него же имелись на В1 — два, на В1bis — один 7,5-мм пулемёт «Шателъро», наводившийся поворотом всей машины.

На В1 устанавливались башни модели APX1 с короткоствольной 47-мм пушкой и двумя пулемётами.

Экипаж танка состоял из четырёх человек: механика-водителя, выполнявшего также функции стрелка из основного орудия; заряжающего обих орудий; радиста и командира танка, являвшегося также стрелком 47-мм орудия.

С 1935 г. по 1940 г. изготовлено 403 танка В1 на заводах пяти фирм: Renault (182 единицы), FCM (72), Schneider (32), FAMH (70), AMX (47)



Французский легкий танк Renault R35

Всего к началу Второй мировой войны французская армия насчитывала 2700 машин. Танки организационно были оформлены в виде батальонов, которые предполагалось использовать в интересах пехотных дивизий. Только перед самой войной началось формирование бронетанковой дивизии.

В Германии взгляды на необходимые боевые свойства танков и принципы их использования по существу соответствовали теории глубокой операции в сочетании с идеей скоротечной войны. Танковые войска считались ядром армии, способным самостоятельно прорывать оборону и развивать успех - как "вершина клина" для рассечения фронта и самостоятельных действий на большую глубину.

В соответствии с этим замыслом в Германии были построены легкие разведывательные танки T1, TII, средний основной танк TIII, средний танк поддержки TIV. Лишь самоходная артиллерийская установка "Штурмпанцер" предназначалась для поддержки пехоты. Впоследствии с установкой длинноствольной пушки она использовалась и против танков, но уже под другим названием - "Ягдпанцер".



Немецкий легкий танк Pz. Kpfw. I Ausf. A (T1).
Разработан фирмой "Крупп" в 1933 г. Серийно выпускался с 1934 г. Танк оснащался 4-цилиндровым двигателем "Крупп" M305 мощностью 57 л.с. и развивал скорость до 37 км/ч. Подвеска выполнялась смешанной: использовался передний каток со спиральной пружиной, остальные, сблокированные по два, снабжались листовыми рессорами. Обе тележки катков соединяла внешняя балка жесткости. Масса машины составляла 5,4 т. Толщина брони - 6...13 мм. Вооружение состояло из двух 7,9-мм пулеметов MG-13 во вращающейся башне. Экипаж - 2 чел. За период 1934-1935 гг. было построено 818 танков.



Немецкий легкий танк Pz. Kpfw. I Ausf. B (T1).
В 1935 г. началось производство усовершенствованной модели - Pz. I Ausf. B, на которой устанавливался двигатель "Майбах" NL38TR мощностью 100 л.с. Скорость возросла до 40 км/ч. По сравнению с модификацией А, корпус танка удлиннили, а в ходовую часть добавили еще по одному катку. Пулеметы MG-13 заменили на более совершенные MG-34. Бронирование осталось прежним, однако боевая масса увеличилась почти до 6 т. До 1937 г. было выпущено 680 танков модификации В

Всего к началу войны германская армия располагала танковым парком в 3195 машин. Танки были организационно оформлены в виде танковых дивизий, которые в сочетании с моторизованными дивизиями составили танковые корпуса. На высшем уровне танковые и моторизованные корпуса объединялись в танковые группы (1940 г.), а впоследствии - в армии (1941 г.).

Отличаясь высокой подвижностью, образцы TIII и TIV не в полной мере отвечали возможным условиям на поле боя. Явно



Танк Pz Kpfw II Ausf A (TII).

Легкий танк PzII своим появлением обязан скорее всего Г. Гудериану, пожелавшему видеть в будущих танковых дивизиях сравнительно легкий танк с противотанковым вооружением. Такая машина массой 10 т в 1934 г. была заказана фирмам "Крупп-Грузон", "Геншель" и MAN. Танк с 20-мм пушкой предназначался для использования в качестве разведывательного и замены пулеметного Pz Kpfw I. Из-за Версальского договора он официально создавался как сельскохозяйственный трактор LaS 100.

Ни один проект полностью не устраивал заказчика, и в производство была передана комбинированная машина: шасси от фирмы MAN, корпус и башня - от "Даймлер-Бенц". В 1936-1937 гг. было изготовлено 75 танков. Все они имели ходовую часть из шести опорных катков малого диаметра, сгруппированных в три тележки на борт. Боевая масса составляла 7,6 т.



Танк Pz Kpfw II Ausf C (TII).

Фирмой "Геншель" было изготовлено 25 машин с ходовой частью из пяти опорных катков среднего диаметра на индивидуальной подвеске в виде четвертьэллиптических рессор, ставшую затем классической.

На Pz.Kpfw.II всех серийных модификаций устанавливался один и тот же тип двигателя - рядный 6-цилиндровый карбюраторный двигатель. На танках основных серийных модификаций Ausf. B, C и F устанавливался двигатель фирмы «Майбах» HL 62 TR, имевший рабочий объем 6191 см³ и развивавший максимальную мощность в 140 л.с. при 3000 об/мин. Топливо - бензин с октановым числом не ниже 76. Двигатель HL 57 TR, устанавливавшийся на Ausf. A, имел рабочий объем 5698 см³ и развивал максимальную мощность в 130 л.с. На «скоростных» модификациях Ausf. D и Ausf. E устанавливался двигатель HL 66 P, имевший рабочий объем 6754 см³ и развивавший мощность в 180 л.с.

До апреля 1940 г. было выпущено 1088 машин модификаций А, В и С



Танк PzKpfw II Ausf D Schnellkampfwagen (TII).

В 1938-1939 гг. фирмы "Даймлер-Бенц" и MAN выпустили для танковых батальонов легких дивизий 143 так называемые быстрые машины (Schnellkampfwagen). Эти модификации (D и E) отличались от предыдущих ходовой частью, имевшей по четыре больших опорных катка без поддерживающих роликов (типа Кристи). Без изменений осталась лишь башня с вооружением. 140-сильный двигатель "Майбах" HL62TRM сообщал танку скорость 55 км/ч. Боевая масса составила 10 т, запас хода - 200 км. Бронирование: лоб корпуса - 30 мм, борт корпуса и башня - 14,5 мм



Танк PzKpfw III Ausf. A (TIII).

В 1934 году служба вооружения сухопутных войск выдала заказ на боевую машину с 37-мм пушкой, которая получила обозначение ZW (Zugfuhrerwagen - ротная командирская машина). Из четырех фирм, участвовавших в конкурсе, только одна - "Даймлер-Бенц" - получила заказ на изготовление первой опытной партии из 10 машин. В 1936 г. танки были переданы на войсковые испытания. Отличие от последующих модификаций - пять опорных катков большого диаметра. Масса Ausf. A составила 15 т, максимальная скорость составила лишь 35 км/ч (по ТЗ - 40 км/ч). На танк был установлен двигатель «Майбах» HL 100 мощностью 300 л.с.



Танк PzKpfw III Ausf. B (TIII).

Очередной заказ, выданный «Даймлер-Бенц» и «Крупп», предусматривал производство второй предсерийной партии из 15 машин, получивших обозначение Ausf. B. По некоторым источникам было изготовлено всего 10 танков, т.к. остальные шасси были использованы для изготовления других машин. Ausf. B отличалась от Ausf. A прежде всего ходовой частью, имевшей с каждого борта по 8 опорных катков малого диаметра, сблокированных попарно в тележки, подвешенные на двух группах листовых рессор и снабжённых гидравлическими амортизаторами. Вооружение как и на Ausf. A: 37-мм пушка KwK 36 на поворотной башне, изготовленной фирмой «Крупп», и три 7,92-мм пулемета MG-34. Двигатель Maybach HL 108TR мощностью 250 л.с. позволил удовлетворить требование заказчика - 40 км/ч.



Танк Pz IV Ausf. A (TIV).

По своей конструкции Pz. IV был очень близок к Pz. III, но отличался более широким корпусом и большим диаметром башенного погона, что изначально заложило определенный резерв для его модернизации. Забронированный объем обеспечивал нормальную работу экипажа из 5 человек. До начала Второй мировой войны было выпущено 356 Pz IV Ausf. A. Вооружение - 75-мм пушка KwK 37 с длиной ствола в 24 калибра и два пулемета MG 34 калибра 7,92 мм (один - спаренный с пушкой, другой - курсовой). Танк оснащался 12-цилиндровым V-образным карбюраторным двигателем жидкостного охлаждения Maybach HL 108TR мощностью 250 л.с.

недостаточной оказалась их огневая мощь (TIII был вооружен 37-мм пушкой, TIV - 75-мм короткоствольным орудием), что сказалось в столкновениях с французскими танками S35 уже в компании 1940 г. Защита не имела запаса, чтобы противостоять возрастающей мощи танкового вооружения и нарождающейся противотанковой артиллерии. В годы Второй мировой войны это привело к необходимости создания более мощных образцов ("Пантера", "Тигр") и перевооружению армии, что не могло не сказаться на численности танкового парка. Чтобы ее поддержать хотя бы на минимальном уровне, до конца войны было сохранено производство модернизированного TIV с усиленной защитой и 75-мм длинноствольной пушкой.

В США танки рассматривались только как оружие поддержки пехоты. Серийного производства танков не было. Однако велись поисковые проработки интересных в техническом отношении образцов, в том числе создания колесно-гусеничного танка "Кристи", послужившего прототипом для быстроходных танков в других странах. Танки организационно были сведены в отдельные роты. Кроме того, была сформирована одна механизированная бригада. Весь танковый парк США не превышал 300 машин.



Первый колесно-гусеничный танк "Кристи" M1919



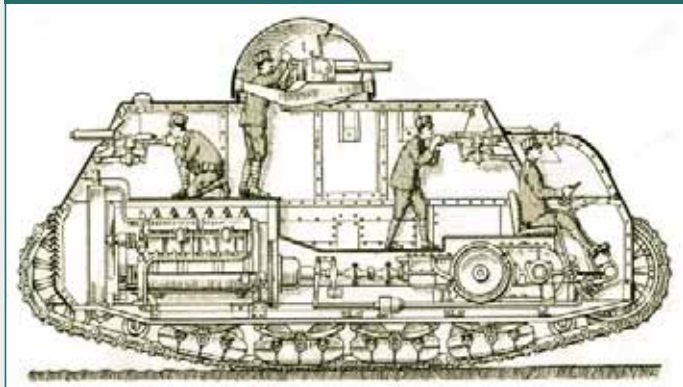
Американский средний колесно-гусеничный танк T3E2. Создан как одна из версий танка "Кристи" M1931, главным преимуществом которого была высокая скорость, достигавшая, по разным данным, от 92,8 до 111 км/ч на колесах и до 65 км/ч на гусеницах. Вооружение, монтировавшееся в восьмигранной башне, состояло из одной 37-мм пушки и пяти 7,62-мм пулеметов. Было изготовлено три T3E2 для испытаний, которыми все и закончилось...

Собственное танкостроение так же имели Италия, Япония, Швеция, Чехословакия, Польша, Венгрия. **П**
(Продолжение следует.)



Итальянский тяжелый танк "Фиат"-2000 (Fiat Tipo 2000).
Первый "серийный" образец был показан на стадионе в Риме 1 апреля 1919 г. "Фиат"-2000 имел "трехъярусную" схему компоновки. В башне на раме монтировалась качающаяся часть 65-мм горной пушки. Ее снаряд массой 4,3 кг имел начальную скорость 345 м/с. Максимальная дальность стрельбы - 6800 м. Придание установке больших углов возвышения было предусмотрительным, поскольку положение башни оставляло вокруг танка большую мертвую зону, и огонь из пушки приходилось вести в основном навесной. Вращение башни и наведение пушки производились вручную. В корпусе по углам и посередине бортов и кормы монтировались 6,5-мм пулеметы "Фиат" модели 1914 г. с водяным охлаждением. Автоматика пулемета действовала благодаря отдаче ствола с коротким ходом, питание производилось от коробчатого магазина на 50 патронов, боевая скорострельность - 400 выстр./мин. Пулеметы давали почти круговой обстрел.

Водитель (он же командир машины) размещался по оси машины в выступающей передней рубке и имел самое удобное рабочее место. На марше пользовался окном в изогнутом лобовом листе рубки, закрывавшимся глухой бронекрышкой, в бою - зеркальным перископическим прибором. В центре боевого отделения во вращающейся полусферической башне стоял наводчик, по периметру корпуса - пулеметчики. Моторно-трансмиссионное отделение занимало пространство между днищем корпуса и полом обитаемого отделения по всей длине. В кормовой части монтировался авиационный карбюраторный двигатель "Фиат"-12А мощностью 240 л.с. Ходовая часть включала на борт восемь двоярных опорных катков, сблокированных попарно в тележки, подвешенные к корпусу на полуэллиптических рессорах. На 1920 г. было построено всего 4 машины, официально состоявшие на вооружении до 1934 г.



Японский средний танк "2589 Оцу" тип 89.
Был создан в 1929 г. и стал первым японским серийным танком собственной разработки. Основой для его конструкции послужили британские танки Medium Mk.C, закупленные японской армией в 1927 г. Тип 89 имел две четко определенных модификации — более ранняя "2589 Коо" и поздняя "2589 Оцу". Масса танка достигла 15,4 тонн. Тип 89 явился первым в мире серийным танком с дизельным двигателем. На "Оцу" стоял дизельный двигатель мощностью 120 л.с. Вооружение танка включало 57-мм пушки Тип 90 или Тип 97 с боекомплектом 100 выстрелов. И два 6,5-мм пулемёта Тип 91. Один из пулемётов находился в лобовом листе корпуса, первоначально в правой его части, а на модификации «Оцу» — в левой. Второй пулемёт располагался в корме башни, на первой модификации строго в центре, а начиная с варианта «Оцу» с изменённой формой башни — в левой её части. В боях на Халхин-Голе в 1939 г. большинство из них были потеряны в первые же дни сражения от огня 45-мм танковых и противотанковых пушек, превосходивших японские орудия по дальности стрельбы и с лёгкостью пробивавшие тонкую броню японских танков.



Чешский легкий танк LT vz.35.
Поступил на вооружение Чехии в 1935 г. Всего было построено 298 штук. На танк устанавливалась 37-мм пушка с полуавтоматическим клиновым затвором, обеспечивавшим скорострельность порядка 12-15 выстрелов в минуту. В боекомплект орудия входили бронебойные и осколочно-фугасные снаряды (24 и 54 шт соответственно). Начальная скорость бронебойного снаряда массой 0,85 кг составляла 675 м/с, чего было достаточно для пробития 30-мм бронелиста на дальности 500 м. Вспомогательным вооружением танка являлись два тяжёлых 7,92-мм пулемёта ZB vz.37. Один устанавливался в лобовом листе корпуса, другой - в лобовом листе башни справа от пушки. Боекомплект пулемётов - 2700 патронов. Танк оснащался 6-цилиндровым карбюраторным двигателем Skoda T-11 мощностью 120 л.с. при 1800 об/мин. При этом танк мог развивать максимальную скорость 34 км/ч, а запас хода был 190 км

Танки, разработанные между Первой и Второй мировыми войнами

Показатель	Англия				Франция			Германия		
	"Карденн-Ллойд"	"Викерс" 6 т	"Викерс" 16 т	"Крусейдер"	R35	S35	V1	TII	TIII	TIV
Годы производства	1926-1930	1930-1937	1929-37	1938-42	1935	1935	1935	1936-40	1936-43	1936-45
Масса, т	1,4	8	18	19,7	14	20	34	9	18	18
Экипаж, чел.	2	3	6	3	2	3	4	3	5	5
Калибр пушки, мм	7,62-мм пулемет	47	47	57	37	47	75 и 47	20	37	75
Начальная скорость снаряда, м/с	-	-	-	870	-	-	-	-	835	550
Боекомплект к пушке, выстр.	3500 патронов	50	180	65	118	58	-	180	99	87
Толщина брони корпуса, мм	6...9	8...13	12,7...25,4	12,7...50	10...40	10...40	15...60	10...15	10...30	10...50
Максимальная скорость, км/ч	45	35	50	60	40	47	30	45	40	40
Запас хода по шоссе, км	160	160	185	180	160	200	200	200	200	200
Мощность двигателя, л.с.	22,5	88	200	345	82	190	-	140	263	300
Среднее давление на грунт, кг/см ²	-	-	-	1,0	-	-	-	0,7	1,0	0,89

Таблица 2

КОЛЕСНЫЕ ПАРОХОДЫ

НА ЗАРЕ ВЕКА ПАРА И ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Виктор Сергеевич Шитарёв,
капитан дальнего плавания



"Н.В. Гоголь" - последний колесный пароход Советского Союза и России

Часть I. Первые судовые двигатели и приводы

О гребном весле и парусе, благополучно доживши до наших дней, кажется, уже известно все. Эта тема достаточно полно освещена в моей книге "Паруса над океаном", но только ли они беспредельно "господствовали" на флотах всего Мира? Отнюдь. Окружающий нас мир гораздо сложнее и многообразнее. Поиск альтернативных двигателей судов не прекращался никогда.

На одном из римских барельефов, датированном 527 г. до н.э., изображена либурна с тремя парами гребных колес. С помощью специального привода их вращают три пары волов, ходящих по кругу. Были предложения по созданию механизмов типа "беличьего колеса" больших размеров, куда вместо белки предполагалось поместить вола или лошадь. К сожалению, эти деревянные конструкции были громоздки, неудобны и недолговечны, поэтому и не получили практического применения.

Но поиск продолжался. В нем принял участие и знаменитый живописец и механик Леонардо да Винчи. Среди дошедших до нас рисунков и чертежей великого мастера есть изображение судна с приводом на два гребных колеса, каждое с двумя ободами, между которыми крепилось по шесть плиц. Есть мнение, что в качестве двигателя Леонардо предполагал использовать паровую машину. И хотя чертежа его двигателя пока не обнаружено, вполне возможно, что он задумывался и над этим проектом.

Сила пара была известна еще древним эллинам. Различными механизмами с паровым приводом, например, занимался в Александрии инженер, математик и топограф Герон по прозвищу Механик, современник Цезаря. О его опытах, видимо, хорошо знал и Леонардо да Винчи. Не исключено, что он мог попытаться спроектировать и судовую паровую машину. Многие великие умы часто опережали свое время.

Но суда с гребными колесами строили и позже. В 1543 г. покинул Барселону "Тринидад", судном командовал капитан де Гарай. Оно имело водоизмещение 209 т и приводилось в движение парой гребных колес, каждое колесо крутили по 25 человек. Скорость достигала 4-х узлов. Среди многочисленных зрителей присутствовал сам король Карл V, но не дремала и святая инквизиция, которая поспешила выяснить у изобретателя, - не состоит ли он в сговоре с дьяволом. После столь тесного общения со святыми отцами, де Гарай забросил свои изыскания и подался в монастырь. Но не только гребное колесо занимало умы мореходов и корабельных мастеров.



Либурна с тремя парами волов



Чертежи лодки Леонардо да Винчи



Мраморная лодка императрицы Цыси



Модель лодки по чертежам Леонардо да Винчи

Репродукция одной из европейских картинок (примерно XV век)



Китайская джонка XII века

Верповальные суда

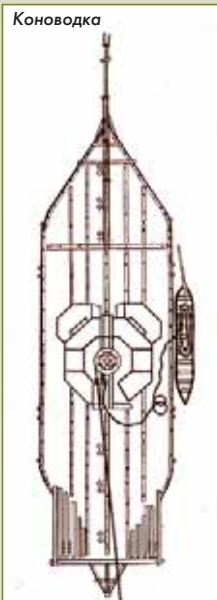
Способ перемещения судов с помощью завозки якорей в морской практике известен издавна. На шлюпку брали легкий якорь /верп/ и якорный канат. Его ходовой конец брали на силовой барабан /турчакку/ шпиля, а коренной - крепили к верпу морским якорным узлом. Гребцы разбирали весла и гребли в нужном направлении, стравливая канат по мере его натяжения. Когда весь трос оказывался вытравленным за борт, отдавали верп, который падая на дно, зарывался в грунт



Якорь на шлюпе

Освободившись от груза, шлюпка возвращалась к борту. Когда верп оказывался на грунте, экипаж судна навалившись на вымбовки шпиля, начал выбирать канат, а судно начинало двигаться к якорю. Таким образом парусники изменяли место якорной стоянки, подтягивались к причалу, отходили на рейд, где, отдав становой якорь, ожидали попутного ветра. При необходимости процедура повторялась. Этот способ движения судна называли верпованием. С помощью верпования снимались с мели, - карты в старину были не столь точными, поэтому посадки судов на мели случались нередко.

Когда впервые стали применять верпование на



Коноводка

реках при плавании против течения, никому не ведомо; эти суда получили известность, когда барабан шпиля стали крутить пристегнутые упряжью к вымбовкам лошади, ходившие по кругу. Так появились на свет коноводные машины или просто, коноводки. Для увеличения скорости движения судов, как правило, использовали два верпа. Пока якорный канат одного верпа выбирают, второй якорь завозят вверх по течению. И так - до окончания рабочего дня. Скорость хода коноводок на Волге достигала 18...20 верст в сутки, в то время как ватага бурлаков за то же время едва одолевала 10...12 верст.

В 1753 г. на Нижегородской судовой верфи, по присланному из Москвы чертежам, были построены две коноводки для перевозки по Волге соли с озера Эльтон. Успешная эксплуатация этих судов подвигла сенат издать указ от 18 апреля 1756 г. о строительстве 40 коноводок. К их строительству подключалась и Казанская судовой верфь, весь заказ был выполнен к 1766 г. На некоторых судах якорный шпиль вращали волю. Но, видимо, предпочтение отдавалось всё же лошадям, ибо никто о судах с "воловодками" не слышал.

Надо сказать, что коноводка "прижилась" и



Верхний клюз для верпования корабля

вскоре на Волге флот верповальных судов насчитывал уже около 200 единиц, встречались они и на других реках - Оби, Иртыше и др. Это были суда с полными обводами, типичные речные баржи, длиной около 85 м, шириной 17 м, с высотой борта от основной плоскости 3,2 м. Верхняя палуба выходила за пределы корпуса приблизительно на 1 м. На ней могли свободно работать и люди, и лошади. "Лошадиная смена" длилась 3-4 часа непрерывной работы, затем на смену уставшим животным впрягали свежих. Поэтому на борту коноводки располагалось от 40 до 60 лошадей.

Экипаж судна насчитывал 50-60 человек, вместе с коноводами, гребцами на шлюпках, завозивших верпы, и матросами со шкипером. К корме коноводки крепились на буксире несколько барк с грузом, общая масса перевозимого груза могла достигать 8000 тонн. Поэтому коноводки составляли серьезную конкуренцию артелям бурлаков и были дешевле в эксплуатации.

Занимался проектированием речных судов талантливый механик, великий гражданин России, подлинный ее патриот, Иван Петрович Кулибин. Первое его верповальное судно было испытано на Неве в ноябре 1782 г. Вместе с восторженными зрителями за испытаниями следила и императрица Екатерина II. Результат был превосходным: имея на борту 65,6 т груза, судно шло против течения и сильного ветра, разогнавшего крутую волну, столь быстро, что двухвесельный ялик едва поспевал за ним. Наградой изобретателю была крупная денежная премия, пожалованная ее императорским величеством.

Все гениальное просто, течение реки крутило два гребных колеса с широкими плитами. На их общей оси располагался силовой барабан, на котором шлагами крепился якорный канат. За счет вра-

Макет верповального судна конструкции И.П. Кулибина





Гребное колесо верповального судна конструкции Кулибина



Водоход из европейских картинок (примерно XV век)

щения гребных колес происходила его выборка, экипажу водохода оставалось только побыстрее завести верпы вверх по течению на шлюпках. Казалось, успех очевиден, выгода ощутимая. По расчетам Кулибина, грузоперевозчик экономил на перевозке каждых 16,4 т груза по 80 рублей! Но внедрения в практику речного судоходства судна М.П. Кулибина не последовало.

В чем же причина? Вряд ли ее следует искать в косности и бюрократичности царских чиновников. Дело в том, что водоходы И.П. Кулибина могли составить серьезную конкуренцию коноводкам и бурлацким артелям. Таким образом, многие крестьяне, уходившие из деревень в "отхожий промысел", лишались дополнительного заработка. А были среди них и люди, не имевшие за душой, как говорится, "ни кола и ни двора". Работа на реке была их единственным источником средств к существованию.

Покинув службу при дворе, Иван Петрович поселился в Нижнем Новгороде. Там он построил и предложил местному купечеству ещё один водоход, успешные испытания которого прошли 28 сентября 1804 г. Для большей убедительности на борту судна находилось 139,4 т песка. Результат оказался прежний, купечество проигнорировало предложение великого мастера. Судно долго стояло без дела и, наконец, было продано на дрова за 200 рублей.

Но творческие изыскания Кулибина на этом не закончились. Посмотрев плававшие в те далекие времена коноводки, он нашел у них крупный недос-

"Бурлаки на Волге" И.Е. Репина



таток: якорный канат на барабане шпилья укладывался в несколько шлагов. В процессе работы шлага перемещались по барабану, накладывались друг на друга, часто трос "заедало", приходилось останавливать барабан и распутывать якорный канат. Решение проблемы было так же просто и гениально.

Силовой барабан шпилья он заменил шкивом большого размера, по желобу шкива укладывался якорный канат, прижимаемый к нему восемью "собачками" на трех четвертях окружности жёлоба. Трос удерживался от проскальзывания по жёлобу, а со свободной части, равной одной четверти окружности, свободно сходил. Работать экипажу коноводки стало гораздо удобнее. Надо сказать, что это изобретение Кулибина стало прообразом современных кулачковых механизмов на различных судовых шпильях, широко применяющихся в составе якорного устройства на морских и прочих судах.

При жизни И.П. Кулибин был дружен с Николаем Сергеевичем Всевожским, путешественником, типографом, литератором, а с 1617 г. тверским губернатором. Его двоюродный брат Всеволод Андреевич Всевожский, камергер высочайшего двора, крупный русский промышленник, владелец Пожвинского железоделательного завода, был сторонником прогресса и стоял у истоков паростроения в России. На его заводе работал Жан Батист Пуадбард (в русской службе - Иван Иванович). Именовал себя он весьма "скромно" - "инженер-механик, профессор, член многих обществ".

События развивались как в детективном романе. В своем письме Н.С. Всевожскому, И.П. Кулибин подробно описал изобретенный им механизм для коноводки. Будучи человеком высоко образованным и правильно поняв всю практическую ценность изобретения, Николай Сергеевич передал письмо и эскизы брату Всеволоду Андреевичу. Далее документы попадают в руки уже известного нам "Ивана Ивановича". Будучи человеком очень неглупым и предприимчивым, он по достоинству оценил изобретение И.П. Кулибина, и к навигации 1811 г. под его руководством на Огурдинской верфи Всевожского, что располагалась на 40 км выше Пожвы, были построены три коноводки с новыми механизмами, затем "Иван Иванович" в эту навигацию совершил плавание на двух коноводках от Усольских соляных промыслов до Нижнего Новгорода.

Коноводки вышли из устья Пожвы 27 мая 1811 г. и 10 июля были уже на рейде Нижнего Новгорода, опередив барки с ватагами бурлаков на 5 дней. Добившись таким образом ощутимого успеха, хитрый иностранец поспешил объявить себя изобретателем и 20 июля у нижегородского вице-губернатора получил Свидетельство, в котором, в частности, говорилось: "Находим сие изобретение полезным для судоходства, которое быть может приложено к подъему по всем рекам с большими против течения выгодами".

Всеволод Андреевич был очень возмущен поступком своего инженера, разразился скандал, закончившийся судебным разбирательством, которое продолжалось в течение года, в результате Пуадбард сохранил на 10 лет привилегию, а В.А. Всевожский - право беспрепятственного и безвозмездного использования этого изобретения. Ну а само это изобретение описано в рукописи И.П. Кулибина "Описание вчерне коньми действующия машины".

Интересную коноводку сконструировал и построил крепостной мужик графа Шереметева, Миха-

ил Андреевич Сутырин из села Кадниц Нижегородской губернии, в 1816 г. Его конструкция аналогична хорошо известному нам спортивному тренажеру типа "бегущая дорожка". Лошади располагались на круглой платформе неподвижно. Во время работы вращалась сама платформа, от нее через механические передачи работали силовой барабан брашпиля и осушительный насос. Судно могло принять на борт до 300 т груза.

Известный нам Пуадебард поспешал обвинить М.А. Сутырина в том, что он, якобы, воспользовался изобретением "Ивана Ивановича" и потребовал 30 тыс. руб. на возмещение убытка. Но все ухищрения хитрого иностранца оказались тщетны. Было организовано расследование Министром внутренних дел, в результате которого М.А. Сутырин был признан изобретателем, а "Иван Иванович" получил "по шапке". Новые коноводки получили широкое распространение, так как механизмы легко собирались и разбирались, что позволяло устанавливать их на любых судах, имевших необходимую грузоподъемность.

Надо сказать, что появление на русских реках пароходов не принижало значение верповальных судов, ибо брать такой же воз на буксир пароходы не могли, первые паровые машины были неэкономичны и не обладали достаточной мощностью. Поэтому до конца их века верповальные суда перевозили грузы, которые не требовали срочной доставки. Со временем лошадей заменила паровая машина. Она применялась в качестве привода шпиля или брашпиля, ее мощность была в 3...4 раза меньше, чем на аналогичном пароходе, способном перевозить такое же количество груза.

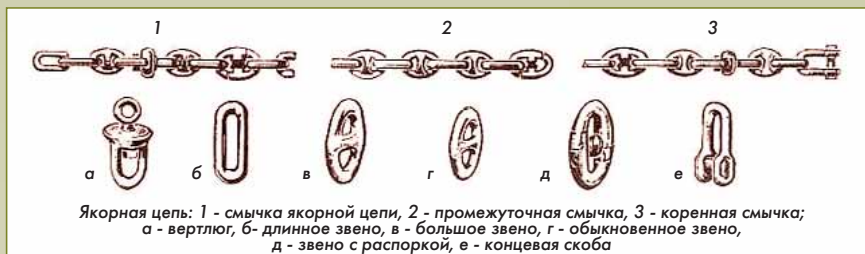
Верпы обычно завозили два небольших паровых катера, они же помогали судну швартоваться к причалу и отходить на рейд. С появлением на реке компактных и мощных дизелей закончился век верповальных судов, но это вовсе не значит, что опыт их эксплуатации утратил свое значение. При определенной экономической ситуации использование верповальных судов снова может оказаться целесообразным, экономически выгодным. Так что не будем забывать о прошлом.

Туэрные или цепные суда

Их можно считать дальнейшим усовершенствованием типа верповальных судов с той лишь разницей, что верпы и якорные канаты там использовались по мере необходимости. Со временем судостроители задумались над вопросом - А надо ли заниматься завозкой якорей? Гораздо проще на фарватере реки уложить на грунт длинную якорную цепь. Расположенный вверх по течению её конец прикрепить к мертвому якорю, а на противоположном конце прикрепить бридель - тонкую цепочку или тросик с томбуем. Томбуй или просто буй не дает утонуть свободному концу бриделя.



Томбуй и якорь



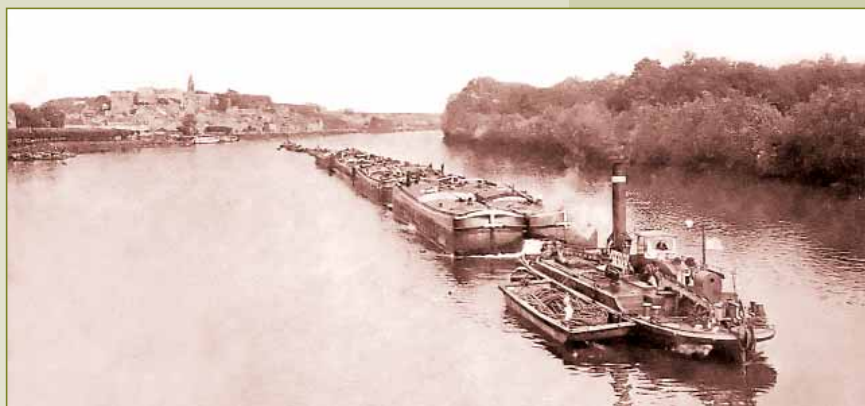
Якорная цепь: 1 - смычка якорной цепи, 2 - промежуточная смычка, 3 - коренная смычка; а - вертлог, б - длинное звено, в - большое звено, г - обыкновенное звено, д - звено с распоркой, е - концевая скоба

Идея заключается в следующем, Судно подходит к томбую и поднимает его на борт, за ним тянется бридель. Его берут на турачку шпиля или брашпиля и вытягивают на борт саму, лежащую на грунте, якорную цепь. Её укладывают на звёздочку-шкив, жёлоб которого имеет гнезда размером, соответствующим звеньям якорной цепи, звездочка скрепляется с силовым валом брашпиля или шпиля, в зависимости от типа якорного устройства данного конкретного типа судна. Включают привод и начинают выборку якорной цепи, а томбуй с бриделем с кормы судна опускают за борт, за ним травится и якорная цепь, вернее, ее свободный конец, сошедший со звёздочки. Судно начинает движение против течения реки в сторону мертвого якоря.

Скорость движения туэра зависела от скорости выборки якорной цепи и была около 6 км/ч. Ясно, что таких цепей на фарватере реки можно уложить сколько угодно одну за другой, так, чтобы туэр, пройдя одну цепь, мог подключиться к другой и т.д., и т.д... Такое переключение ещё необходимо там, где русло реки делает поворот, поэтому путь судна будет в виде отдельных прямолинейных отрезков, равных по величине длине соответствующих проложенных якорных цепей.

Первое сообщение о судах этого типа пришло из Франции в 1855 г., где в низовьях Сены был испытан туэр с приводом от паровой машины.

Туэр на Сене



Летом 1661 г. аналогичные испытания были проведены на Неве между Васильевским и Петровским островами. Первые рейсы такого парохода носили чисто рекламный характер. Но затем популярность туэров возросла, так как при маломощной машине они брали на буксир до семи барж общей грузоподъемностью около 1150 т.

Особенно туэры "пришли к двору" на притоках Волги, в частности, река Шексна, соединявшая Волгу с Мариинской водной системой, имела быстрое течение и малую глубину фарватера, достигавшую на перекатах всего лишь 0,61 м. Исходя из этого, осадку судов пришлось ограничить величиной в 0,48 м. Соотношение длины и ширины было в пределах 1/3...1/5. Все туэры были плоскодонными, а большая ширина корпуса делала их рыскливыми, с плохой устойчи-



Туэр "Василий" с караваном на реке Шексна (фото С.М. Прокудина-Горского, 1909 г.)

востью на курсе. Этот недостаток компенсировали установкой двух рулей, носового и кормового.

В качестве материала для постройки использовалась судостроительная сталь. Построенный из нее корпус был в полтора раза легче деревянного, хотя по прочности они были приблизительно одинаковы. Наладить строительство железных судов на отечественных верфях Россия в те годы не могла, так как по выплавке чугуна и стали сильно отставала от передовых европейских государств. Короче, в стране ощущалась нехватка судостроительных материалов. Поэтому первые туэры были заказаны в Англии. В Россию их доставляли в разобранном виде и затем собирали на сормовском заводе в Нижнем Новгороде.

Уже в августе 1861 г. по Шексне пошли первые туэры "Иоанн" мощностью 42 л.с. и "Шексна" - 25 л.с. Постепенно туэрный флот увеличился до 14 единиц. В первые годы на туэрах работало много иностранных специалистов, особенно не хватало персонала для обслуживания паровых машин. Но постепенно русские расторопные мужики освоили и эту премудрость. Так что вскоре на туэрах работали только русские экипажи из 18-20 человек.

В 1869 г. в Твери появилась "Акционерная компания Волжско-Тверского пароходства по цепи...", осуществлявшая сообщение между Тверью и Рыбинском на участке пути протяженностью 394,8 км. Скорость движения судов достигала 53...64 км в сутки, линию обслуживали 10 туэров.

"Товарищество туэрного Москворецкого пароходства", которое было создано в 1873 г., к 1887 г. построило 6 шлюзов и другие гидротехнические сооружения. Но в условиях шлюзования работа туэров оказалась неэффективной, так как по дну шлюзов прокладывать якорную цепь нельзя, особенно в створе ворот, что, практически, не позволяет сделать их водонепроницаемыми. Поэтому при шлюзовании су-

дов приходилось прибегать, как в старину, к услугам бурлаков или использовать конную тягу. Понеся большие убытки, "Товарищество..." в 1901 г. прекратило своё существование, а всё имущество перешло во владение московского округа путей сообщения, 4 туэра переоборудовали в буксирные пароходы.

Преимущество туэра по сравнению с обычным пароходом заключалось в том, что при его движении затрачивалась мощность двигателя, при прочих равных условиях, значительно меньшая. В этом отношении по своим характеристикам туэры были близки к верповальным судам. Неудобства заключались в другом. При интенсивной эксплуатации довольно быстро изнашивалась цепь и звёздочки шпилей и брашпилей. Их относительно часто приходилось менять, неэкономичность первых паровых машин, для выработки пара для которых в паровом котле приходилось сжигать много дров, давала туэру некоторое преимущество. Но со временем, когда основным топливом для пароходов стал каменный уголь, а потом и мазут, они потеснили туэрный флот. Однако на перекатах, где течение реки быстрое, туэры еще долго оставались вне конкуренции.

Например, на Енисее буксирные пароходы с возом не могли успешно преодолевать стремнину Казачинского порога. Поэтому пришлось переоборудовать в туэры построенные в Англии пароходы "Св. Иннокентий" (получивший новое имя "Ангара") и "Бурлак" мощностью по 240 л.с. Так в 1888 г. появилась возможность организовать регулярное пароходное сообщение между Енисейском и Красноярском.

Были попытки организовать туэрное движение по Ангаре, чтобы единым путем связать Енисей с Байкалом. Известный русский промышленник Сибиряков в 1887 г. приобрел три туэра "Св.Николай" мощностью 560 л.с., "Св.Иннокентий" - 240 л.с. и "Илим" - 100 л.с. с баржами. Началась прокладка туэрной цепи. В 1889 г. её довели до устья Илима, но дальше путь преградили непреодолимые Падунские пороги. Таким образом, довести цепь до Байкала не удалось.

В конце XIX в. наступает закат туэрного судоходства, новые пароходы с мощными, экономичными паровыми машинами оказались рентабельнее. В 1894 г. "Акционерная компания волжско-тверского пароходства по цепи..." переделала 3 туэра в пассажирские суда, а в 1899 г. все туэры были выведены из эксплуатации. Якорная цепь для туэров массой 3280 т была продана на металлолом. Но на Ангаре, уже известный нам туэр "Ангара" прослужил до 1964 г. и был заменен другим, дизель-электрическим туэром "Енисей", мощностью 2000 л.с., построенным в Красноярске.

Век туэрного судоходства продолжается.

Одним из умопомрачительных изобретений Викторианской эры было предложенное в 1897 г. роликое судно Чапмана. Судно должно было выглядеть следующим образом. Основу конструкции составляло огромное помещение прямоугольной формы. Справа и слева от него располагались прогулочные палубы. К ним с носа и кормы крепились два огромных барабана с плицами. Внутри каждого барабана, в его средней части, по специальному пути, как белка в колесе, должен был двигаться локомотив, имеющий электрический привод.

Своей массой, двигаясь внутри барабанов, локомотивы должны были их крутить с той же скоростью, с которой двигались сами. По мнению изоб-

Чтобы закончить о буксировке по р. Свири, необходимо сказать, что туэрная тяга на р. Свири в настоящее время уже отжила свой век, и добрая туэрная компания не только не ставит туэров на весь протяжении, но концессии ей представляются, но в некоторые годы даже совсем не ставит туэров, так как с расчисткой порога всю буксировку с успехом исполняют буксирные пароходы.

Следовательно, в последний год работы туэров, в 1901 г. ими проведено было обратных судов лишь 9% от общего числа подъемных судов, а в 1899 г., 1902 и 1903 гг. туэра совсем не работали.



Во Франции, на одном из участков канала Сен-Кантен, туэры использовались вплоть до недавнего времени. Туэры использовались для проводки судов по участку длиной в двадцать километров, в состав которого входят два тоннеля: Большой тоннель Риквевалля, длиной 5,5 км (самый длинный судоходный тоннель Франции) и тоннель Лесдэ (1,1 км). Так как использование двигателей внутреннего сгорания в тоннелях запрещено, туэр являлся электроходом и приводился в движение электрическим двигателем, который получал электричество от натянутой над фарватером двухпроводной контактной сети постоянного тока напряжением 600 В. Туэр брал на буксир караван из десяти-сорока пенишей - речных грузовых судов с максимальной длиной в сорок метров. Туэр с караваном преодолевал двадцать километров за десять часов. Каждый туэр был 25 м в длину, 5 м в ширину, и имел осадку в 1 м. Водоизмещение каждого туэра составляло 90 тонн. Эксплуатация туэров на канале Сен-Кантен была прекращена в конце 2005 года в связи с модернизацией канала

ретателя, этот монстр должен был прокатиться через Атлантику со скоростью курьерского поезда. Во всяком случае, не более чем за 48 часов ходового времени изобретатель надеялся быть на противоположном берегу океана.

Другой невероятный проект судна был разработан мсье Базеном в 1890 г. Судно представляет собой платформу, на которой расположены жилые и служебные помещения, а также места для укладки перевозимых грузов. С каждого борта платформа опирается на четыре огромных пустотелых колеса (катки), которые приводятся в движение паровыми машинами. Катки поднимают платформу над водой на высоту около 20 футов, они же обеспечивают и плавучесть всей конструкции. Но этот "водокат" так и не покатила по просторам океана.

В общем, проекты самые невероятные, но о них всё же стоит упомянуть, существенно не вдаваясь в подробности. Главное понять, что область поисков для конструирования беспредельна, а поиск продолжается.

В местах отдыха и развлечений

Надо сказать, что идеи и технические находки наших предков находят себе применение и сегодня. Приведу лишь два примера. Так в 1877 г. был изобретен гидравлический локомотив, перемещавшийся по железнодорожному пути. Идея этой машины представляет собой одну из интерпретаций "водохода" Ивана Петровича Кулибина.

Так как по воде рельсы не проложить, то создатели аттракциона пошли другим путем.

Ими был изготовлен длинный гидрлоток, в который напустили воду. Течение в гидрлотке можно создать либо сделав небольшой перепад высот начала и конца сооружения, тогда в верхней его части в лоток надо постоянно подавать воду, она самотеком пойдет вниз и на выходе из лотка её можно отвести в естественный водоем. Гидрлоток можно расположить и по окружности без перепада высот. Тогда течение воды в нем можно организовать с помощью насоса, которым будет гонять воду по кругу.

Итак, мы создали течение воды в гидрлотке. Как же выглядит судно для прогулок? Это удобная с прямоугольными обводами, водонепроницаемая карета, располагающаяся на колесах, установленных на рельсы, проложенные по бортику гидрлотка. Колеса, которые на рельсах, скрепляются с гребными колесами, установленными в носу и корме экипажа. Их вращает течение воды в гидрлотке. От гребных колес вращение передается на ходовую часть экипажа. И он плавно начинает катиться по рельсам вверх по течению.

Вариантов устройства такого аттракциона мо-

жет быть видимо-невидимо, все зависит от знаний и изобретательности строителей. Мне известно, что в знаменитом Диснейленде создатели его использовали и туэрную тягу, и течение реки. Уму и таланту создателей этой натуральной сказки для детей можно и подивиться, и позавидовать.

А вот ещё очень оригинальная лодка-велосипед, появившаяся в Бостоне в 1881 г. Два изящных легких поплавка соединены платформой, на которой с удобствами разместились пассажиры. За ними прекрасный лебедь изогнул шею, слегка расправив крылья. На спине лебедя восседает respectable мужчина, которого также можно принять за пассажира. Судно плавно двинется по водной глади в нужном направлении.

Никому и в голову не приходит, что внутри птицы расположено гребное колесо, имеющее педальный привод. Педали крутит тот самый человек, восседающий на лебедь. Он же и управляет рулем, расположенным позади гребного колеса, с помощью двух шнуров как вожжами.

Нечто подобное можно встретить на лодочных станциях в местах отдыха и в наших краях. Конструкция более упрощенная. Два поплавка скрепляются платформой, на нее ставится скамейка. Двое пассажиров не спеша крутят педали. От них вращение передается на гребное колесо, помещенное позади скамьи между поплавками. Судно очень просто и удобно, недостатка в желающих прокатиться, как правило, нет. Эти прогулки по воде нравятся и взрослым и детям. Вот так, идеи древних мастеров дожили до наших дней и с успехом применяются на практике.

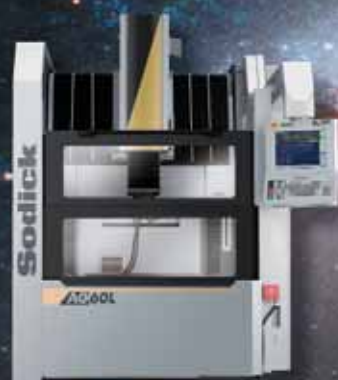
Из всего сказанного можно сделать вполне определенный вывод - гребное колесо является весьма удачным, удобным и надежным судовым двигателем. Поэтому появление его на первых пароходах вполне понятно и объяснимо, хотя после установки паровых машин на судах проводились эксперименты и с другими двигателями...

(Продолжение следует.)



Для прогулок по воде

Sodick



37000 линейных электроискровых станков в эксплуатации

(свыше **700** в России, Украине и др. государствах
бывшего СССР; на 12.2014 г.)

Единственный в мире изготовитель электроискровых (электроэрозионных) станков с проверенными временем плоскопараллельными линейными двигателями (ЛД).

Производство электроискровых линейных станков (станков с ЛД) с 1998 г.

Все линейные станки Sodick, включая самые первые 1998-1999 гг., по настоящий момент сохраняют неизменную точность позиционирования!

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



Точность позиционирования:

гарантия **10** лет

Впервые в отрасли!

60 лет опыта производства ЭИ станков!

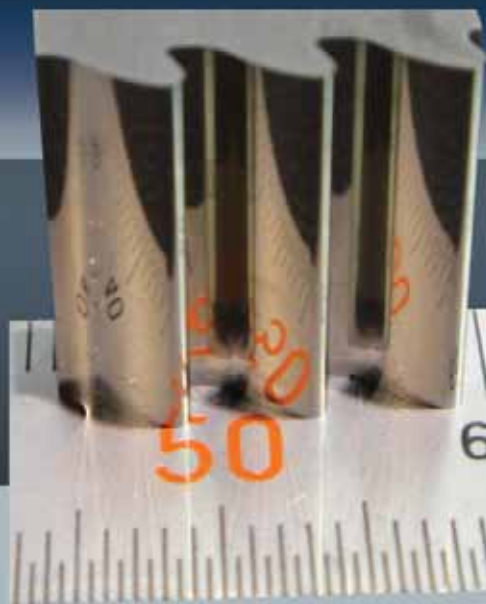
НАНОШЕРОХОВАТОСТЬ

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



Sodick

www.sodick.ru



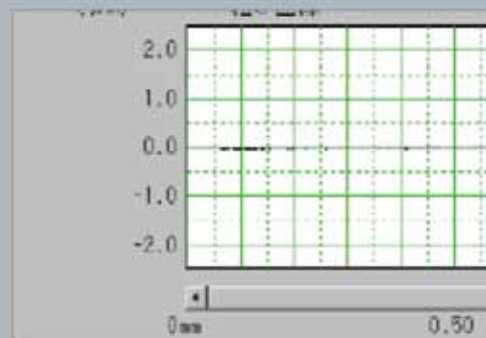
AP250L

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

Сверхточная вырезка твердых сплавов
без выпадения кобальта;

Прецизионная вырезка тонкой проволокой
высоких пуансонов.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В МАСЛЕ =
= ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В ВОДЕ



パラメータ名	値	単位
Ra	0.0061	μm
Ra(1)	0.0072	μm
Ra(2)	0.0088	μm
Ra(3)	0.0062	μm
Ra(4)	0.0060	μm
Ra(5)	0.0043	μm
Rz	0.0576	μm
Rz(1)	0.0600	μm
Rz(2)	0.0440	μm

Рекорд отрасли!

И как пример для подражания.



Чтобы стать **большим примером для подражания**, крупные размеры не требуются. Наоборот. Концепция нашего нового станка С 12 восхищает своей **компактностью**, **чрезвычайной малогабаритностью** конструкции – причем с наличием **встроенного инструментального магазина**. Он может быть оснащен **71 инструментом**. И все это в сочетании с широко известными **качеством, долговечностью и точностью** оборудования Hermle для самой современной **5-осевой технологии обработки**.

ООО Хермле Восток
ул. Полковая д. 1, стр. 6
1270 18 Москва, Россия
Тел.: +7 495 627 36 34 Факс: +7 495 627 36 35 E-mail: info@hermle-vostok.ru

