



ISSN 0028-1263

# НАУКА И ЖИЗНЬ

6

2012

- Интеллектуальные материалы — будущее авиации, если не всей страны
- Екатерина Великая реформировала нравы, область наименее податливую
- Организовывать и направлять, создавая «уют», — могучая сила белков
- Мозг домашних животных меньше, чем у диких сородичей: дома, при хозяине, жизнь проще
- Даже если вождю не повезло с ростом, головной убор возвысит его над остальными
- На Венере, кажется, кто-то живёт...



# НАУКА И ЖИЗНЬ

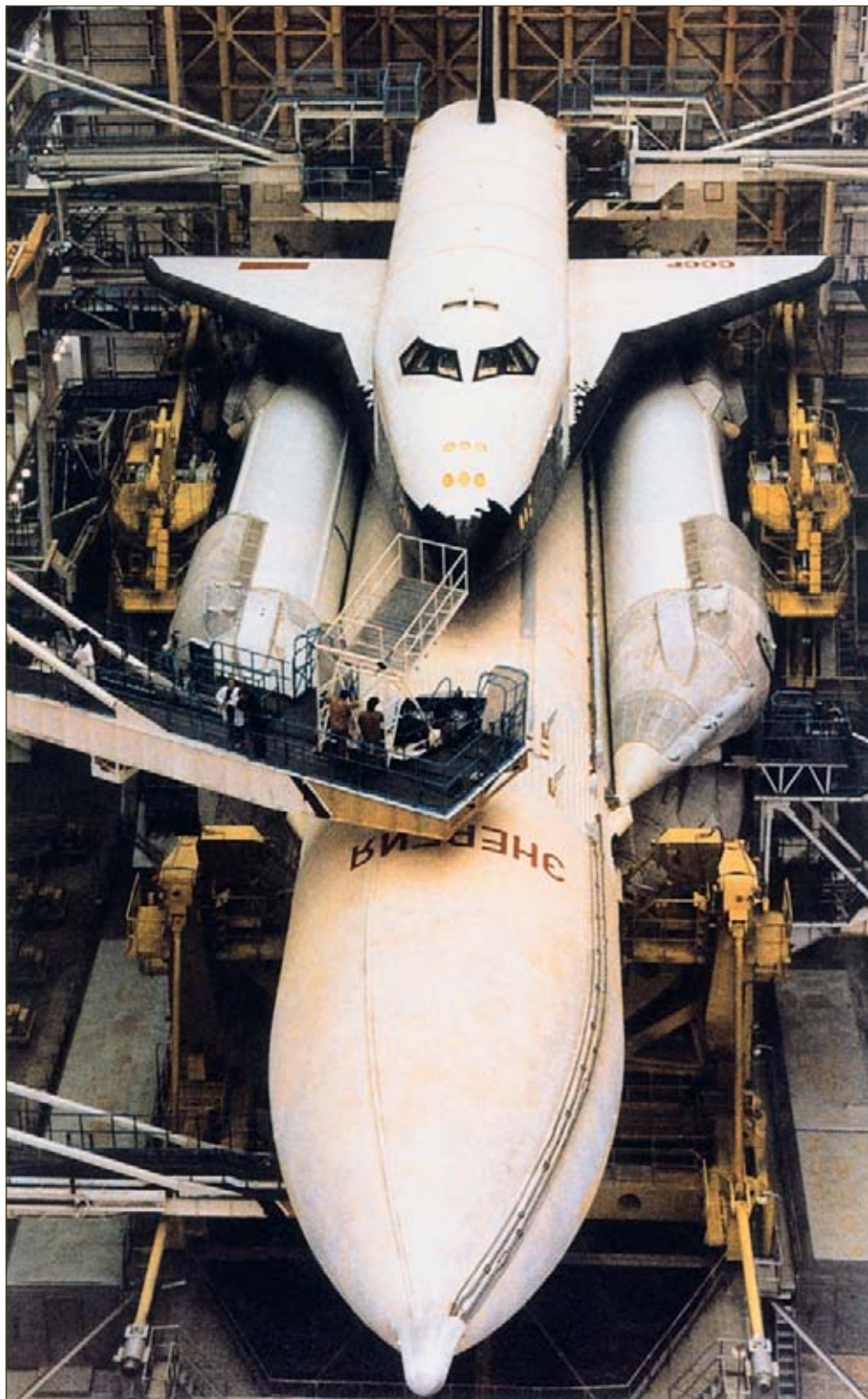
6

2012

КАК СОЗДАВАЛИ «БУРАН»

(См. стр. 32.)

ОТЕЧЕСТВО  
Страницы истории

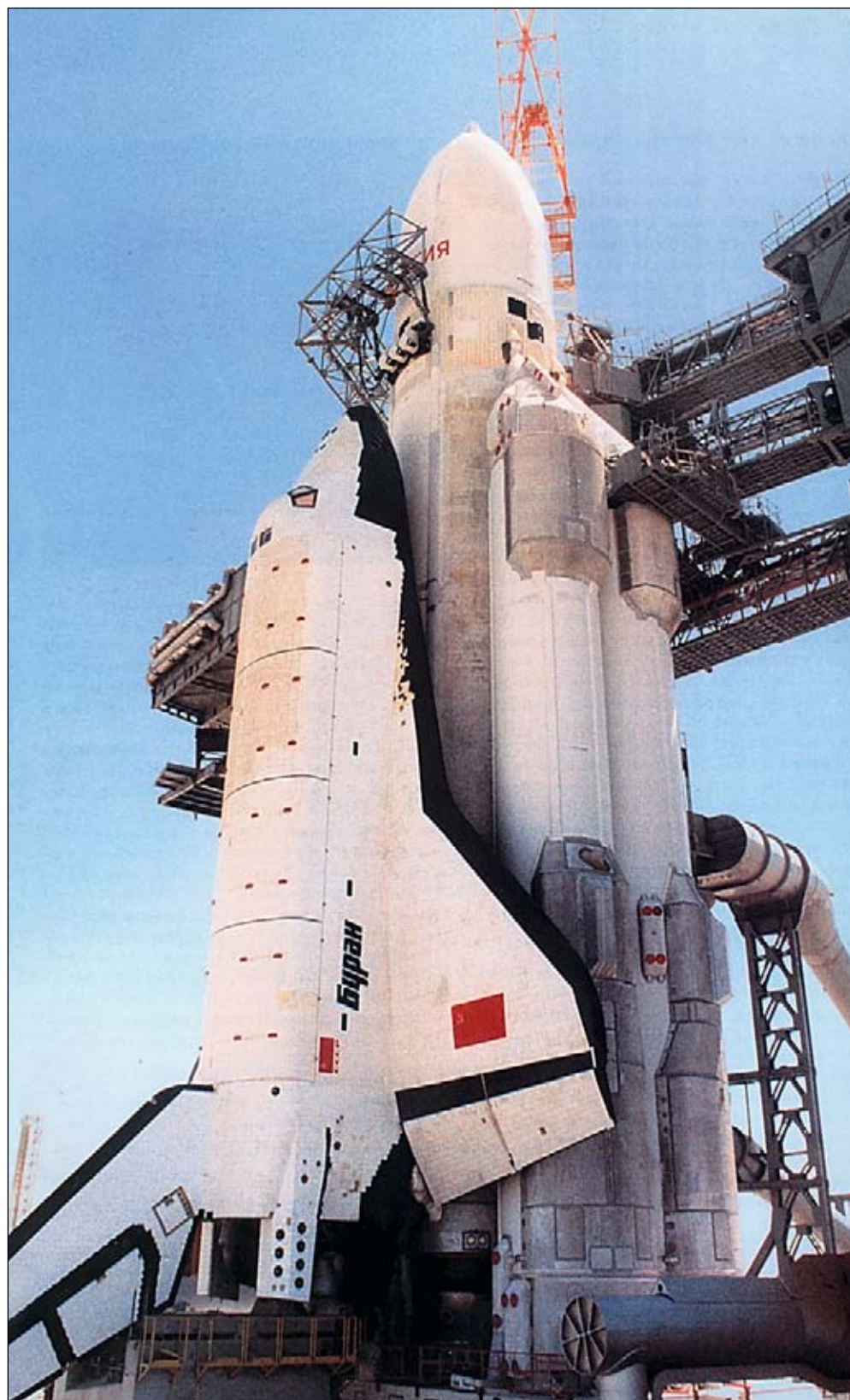


Орбитальный корабль «Буран» с ракетой-носителем «Энергия» в монтажно-заправочном корпусе на космодроме Байконур.



4 607063 070016

Подписные индексы: 70601, 79179, 99349, 99469, 34174.



# КАК СОЗДАВАЛИ «БУРАН»



15 ноября 1988 года на космодроме Байконур произошло событие, которое теперь называют стартом отечественного многоразового космического корабля «Буран». Судьба его драматична — после единственного орбитального полёта в автоматическом режиме «Буран» оказался невостребованным, а вся программа свёрнута. Но остались наработки — уникальные материалы, совершенные технологии и колоссальный опыт кооперации исследователей, машиностроителей, авиаторов. Забыть об этом — преступление, не использовать — глупость.

Создателям «Бурана» — инженерам, конструкторам, технологам, рабочим пришлось впервые решать множество и исследовательских, и технологических задач. На сотрудников Всесоюзного института авиационных материалов (ВИАМ) легла основная тяжесть разработки термостойких и теплоизоляционных материалов. Без них полёт многоразового корабля был бы невозможен.

В середине августа 1987 года в НПО «Энергомаш» прошло совещание руководителей организаций, участвующих в создании «Бурана». Председательствовал Генеральный директор НПО академик В. П. Глушко. В повестке дня был всего один вопрос — о готовности «Бурана» к полёту.

Главный конструктор «Бурана» — генеральный директор НПО «Молния» Глеб Евгеньевич Лозино-Лозинский и директор Тушинского машиностроительного завода Сурен Григорьевич Арутюнов доложили, что комплексная программа отработки корабля «Буран», от материалов, узлов, приборов и агрегатов и до корабля в целом, выполнена полностью. Совещание приняло решение, что «Буран» к полёту готов. Все присутствующие руководители подписали протокол; от ВИАМа подпись поставил заместитель начальника института В. Т. Минаков.

Точности ради заметим, что 15 ноября стартовал не просто «Буран», а многоразовая космическая система (МКС) «Энергия-Буран»: космический челнок выводила на орбиту мощнейшая на то время ракета «Энергия». Через 209 минут после старта, совершив два полных витка вокруг Земли, «Буран» в автоматическом режиме приземлился на взлётно-посадочной полосе Байконура. Позади остались шестнадцать

лет напряжённой работы огромных коллективов по всей стране.

Вернёмся в начало 1970-х годов. Советская программа развития космических исследований не предусматривала в обозримое время создания многоразовых кораблей. Однако активные работы НАСА в этом направлении привлекали пристальное внимание отечественных специалистов. Ведомства, причастные к космическим программам, относились к многоразовым системам весьма скептически. Оснований к тому было немало. Прежде всего, одноразовые системы доставки грузов на орбиту существенно дешевле многоразовых. Кроме того, предприятия Министерств авиационной промышленности и общего машиностроения были плотно загружены работой, и резервы для работы по многоразовым космическим системам практически отсутствовали.

Тем не менее в начале марта 1972 года (всего через месяц после начала в США работ по программе *Space Shuttle*) в Военно-промышленной комиссии (ВПК) Президиума Совета министров СССР прошло совещание, на котором ведущие специалисты ЦНИИМаш (Министерство общего машиностроения), НИИ-4 (Министерство обороны), представители ВВС и Главного управления космических сил (ГУКОС) подробно обсудили вопрос о создании многоразовой космической системы. Уже 17 апреля вышло постановление № 86, и с этого времени работы по ней оказались под постоянным контролем ЦК КПСС и ВПК. В конце апреля состоялось большое заседание, на котором главные конструкторы и руководство Минобщмаша — В. П. Мишин, В. Н. Челомей и В. П. Глушко обсудили проблемы разработки МКС. Их было несколько.

1. Многоразовые системы существенно проигрывают по эффективности и стоимости одноразовым ракетам-носителям при выводе полезных нагрузок на орбиты.

2. Необходимость возврата космических аппаратов с орбиты для вторичного использования отсутствует.

3. По заключению ГУКОС и ВВС непосредственной военной угрозы от создаваемой в США многоразовой системы нет, хотя — в дополнение к существующим

● О Т Е Ч Е С Т В О

Страницы истории



*Посещение министром обороны СССР Д. Ф. Устиновым Тушинского машиностроительного завода. Слева направо: И. К. Зверев, Г. Е. Лозино-Лозинский, С. А. Афанасьев, Д. Ф. Устинов, И. С. Силаев, Л. В. Смирнов, П. С. Кутахов у фюзеляжа аналога орбитального корабля «Буран».*

транспортным — военные МКС могут быть созданы.

4. Чтобы определить круг задач, решаемых этой системой, необходимо серьёзно её проработать на уровне технических предложений.

Споры вызывали многие моменты, в частности размер изделия. Одни специалисты считали, что масса полезной нагрузки при выведении на орбиту должна составлять 35—40 тонн, а при спуске с орбиты — 25—30 тонн. Для такой нагрузки требуется новый мощный носитель, и предполагалось, что им может стать ракета Н-1, работы над которой шли по лунной программе (см. «Наука и жизнь» №№ 4, 5, 1994 г.). Другие полагали, что стартовая масса корабля не должна превышать 20 тонн, и, следовательно, полезная нагрузка оказывалась не более пяти тонн. Для такой системы годилась ракета УР-500 («Протон»). Однако анализ габаритов и грузоподъёмности американского челнока показал, что он, в принципе, может снимать с орбиты аппараты «Алмаз» (он же «Салют») и «Союз» массой 17,8 и более 6 тонн соответственно. СССР в такой ситуации должен был иметь адекватный по техническим параметрам аппарат. Это стало ключевым моментом в расчёте габаритов отечественного орбитального корабля.

При решении вопроса — делать корабль «большим» или «маленьким» — опреде-

лённую роль сыграло и то, что в обоих вариантах научные и конструкторские задачи весьма схожи. Ведь и для того и для другого приходилось создавать теплозащитные материалы, обеспечивать аэродромную посадку, осваивать новые виды топлива (предполагали использовать жидкий водород). Да и время, необходимое для решения этих задач, не зависит от габаритов корабля (в пределах размеров реальных конструкций). Ну и, конечно, по своим параметрам отечественная система не должна проигрывать «американцу».

Задача была сложной, и энтузиастов, желающих её решить, не находилось. Однако когда американский челнок «нырнул» над Москвой с орбиты до высоты всего 80 км, а затем повторил этот манёвр, нашлись и желающие, и средства, и, как теперь принято говорить, «административный ресурс». Военным стало понятно, что подобная система вполне может, по словам академика М. В. Келдыша, «выпустить платформу где-нибудь над Архангельском и спокойно уйти в сторону, а вы не успеете не только её сбить, даже обнаружить толком не успеете».

И тогда вмешался министр обороны маршал Д. Ф. Устинов, после чего вышел приказ Миновиапрома по «изделию 305» (так в приказе был обозначен «Буран»). В нём предписывалось проводить все работы по теплозащите, и особенно по её главному



материалу — керамическим плиткам, которых нет в стране (все понимали, что это самое узкое место), и другим элементам покрытия корпуса.

Ещё на стадии постановки задачи было ясно, что «Буран» должен сочетать в себе свойства обычного атмосферного самолёта и орбитального космического корабля, что, естественно, вызывало дополнительные трудности при проектировании. Особенно остро это коснулось подбора материалов. В дополнение к обычным авиационным требованиям — прочности, невысокому удельному весу, коррозионной стойкости, технологичности — добавилось ещё одно: способность материалов работать в очень широком диапазоне температур, от криогенных — 130°C до «плазменных» + 1600°C, а то и выше. Конечно, такие требования предъявлялись в основном к материалам теплозащиты и лишь некоторых внешних конструктивных элементов, но от этого задача не становилась проще. Решать проблему предстояло Всесоюзному институту авиационных материалов, что, впрочем, естественно: ВИАМ был (и остаётся по сей день) головным предприятием по разработке, испытаниям и паспортизации материалов как для авиации, так и для космоса.

Когда в НПО «Энергия» приступили к созданию «Бурана», специалисты ВИАМа уже вели разработки теплоизолирующих материалов. Их основой были нитевидные кристаллы тугоплавких соединений: карбида и нитрида кремния, оксида алюминия и других. 12 апреля 1977 года в ВИАМе был издан приказ о создании теплозащиты для «Бурана», а заместитель министра авиационной промышленности И. С. Силаев поставил задачу выпустить первые сто керамических плиток к декабрю.

Буквально с первых шагов работы над практически всеми материалами для «Бурана» — либо разработанными в ВИАМе, либо прошедшими там испытания и паспортизацию, — стало ясно: проблему можно решить только в комплексе. Ведь мало разработать теплозащитный материал, надо создать технологию его изготовления в заводских условиях, придумать, какой формы должны быть элементы теплозащиты, суметь сделать плитки такими, чтобы они обеспечивали не только тепловую защиту несущих конструкций корабля, но и его аэродинамику. Как закрепить теплозащиту на поверхности планёра, задача тоже не тривиальная: коэффициенты температурного расширения металла и керамики существенно разнятся, плитка же

не должна отрываться от корпуса. Задачу решили, проложив пластины специального фетра между корпусом и плитками.

Размеры и формы плиток должны быть такими, чтобы при нагреве (и соответственно расширении) они не разрушили друг друга, а при охлаждении между ними не появлялись бы слишком широкие зазоры. Можно было установить между плитками деформируемые вкладыши, но их ещё предстояло создать. При спуске «Бурана» в атмосфере сильнее всего нагреваются носовой обтекатель и передние кромки крыльев, и обеспечить их правильную форму мог только относительно тонкий, весьма термостойкий, лёгкий и прочный материал. На корабле имелся довольно обширный отсек полезного груза. Материал его створок должен быть очень лёгким, жёстким, прочным, сохранять работоспособность при низких космических температурах и прочность при нагреве во время полёта аппарата в атмосфере.

Крепить теплозащиту на корпусе корабля механическими деталями нельзя, подходит только клей. Но подходящего клея не было, хотя некоторые исследования в сходных направлениях проводились. Поверх теплозащиты нужно нанести дополнительное гидрофобное покрытие, защищающее пористую керамику от влаги.

Всё это — далеко не полный перечень задач, которые встали перед ВИАМом в работе над проектом «Энергия-Буран». Материалы теплозащиты «Бурана» не уступали по качеству американским, а плитки и некоторые другие существенно их превосходили.

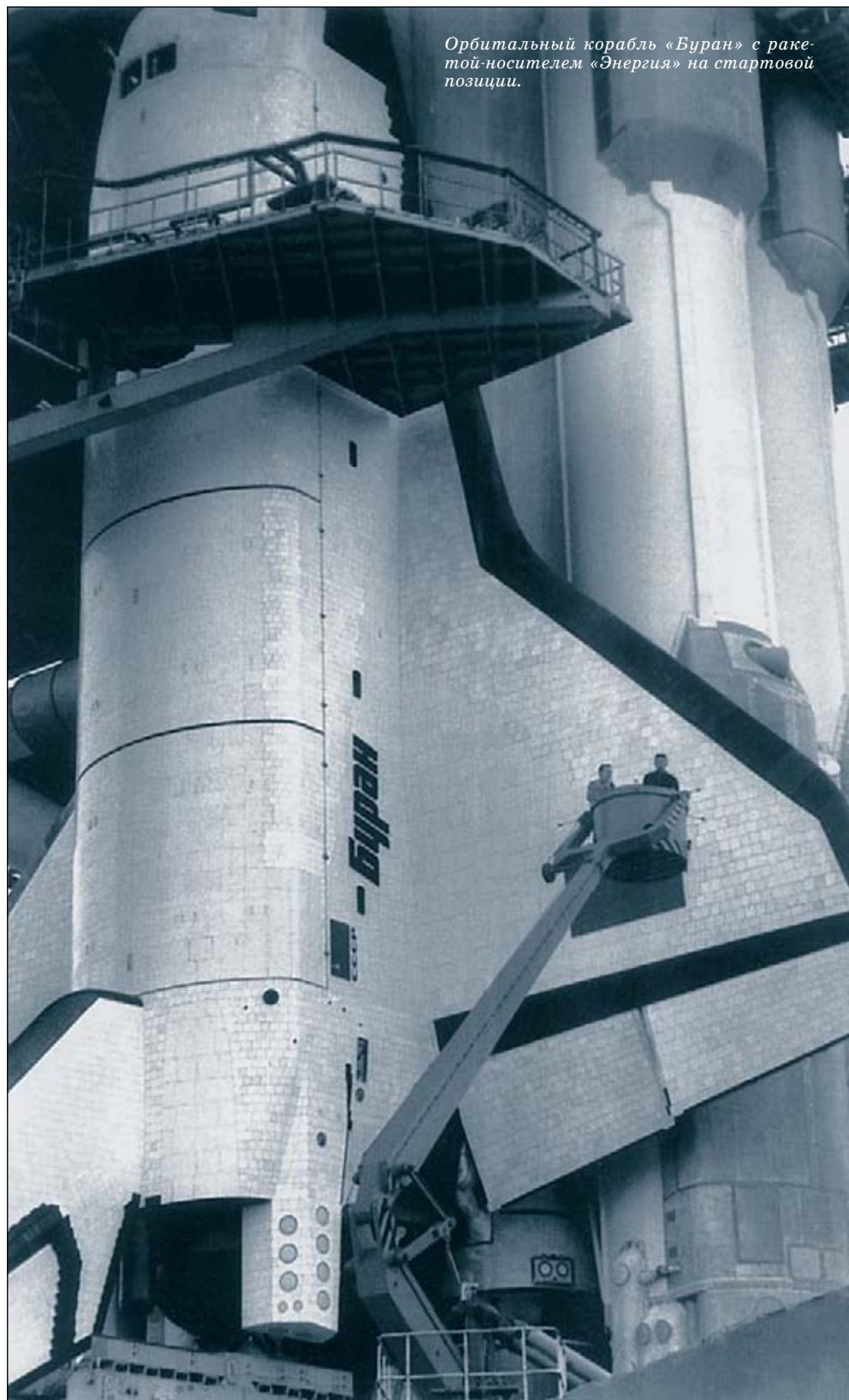
Многие данные, важные при разработке материалов, имелись лишь в теории и расчётах, и проверить их экспериментально можно было только на реальной конструкции или её летающем макете. Но чтобы создать летающий макет, нужно сделать материал. Получается замкнутый круг, и за довольно короткий срок предстояло решить массу научных и инженерных задач. Перечислим некоторые из них:

1. Провести расчётные и экспериментальные исследования внешних и внутренних процессов и условий теплообмена, аэродинамических, акустических, вибрационных и других нагрузок на теплозащиту.

2. Определить требования к свойствам многоразовой теплозащиты на основе прогноза условий её эксплуатации.

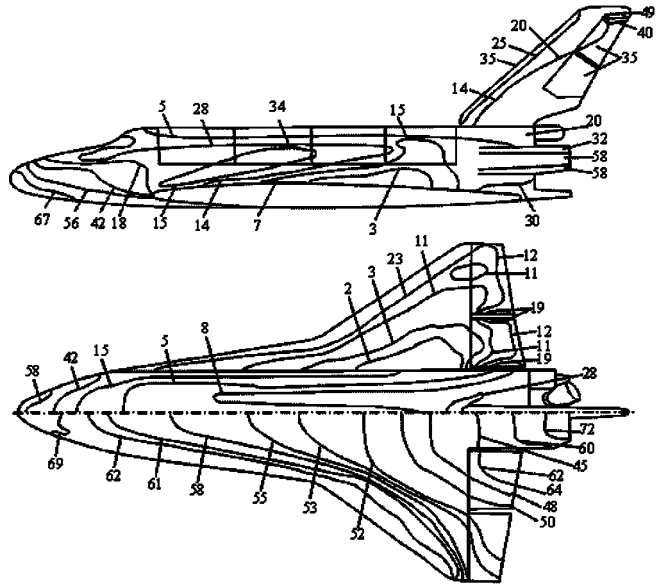
3. Создать необходимые материалы, разработать технологию изготовления и монтажа теплозащитных элементов.

*Орбитальный корабль «Буран» с ракетой-носителем «Энергия» на стартовой позиции.*



4. Испытать на Земле как отдельные элементы теплозащиты, так и её саму в комплексе на полноразмерных фрагментах конструкции орбитального корабля в условиях, максимально приближенных к натурным.

5. Провести лётные испытания натурных элементов конструкции и теплозащиты на самолётах-лабораториях Ил-18, МиГ-25 и крупномасштабных летающих моделях «Бор-4», которые после запуска на орбиту ракетными комплексами совершали бы затем управляемый планирующий спуск в атмосфере.



*При проектировании «Бурана» многие параметры его конструкции определяли теоретически. Экспериментальных данных для построения расчётных моделей попросту не было. Так, расчётным путём были получены необходимые толщины плиток теплозащиты на различных элементах корпуса и оперения корабля. На схеме приведены расчётные линии равных толщин теплозащиты.*

При спуске «Бурана» в атмосфере температура носовой обтекателя и передних кромок крыльев может достигать 1650°C. Изготавливать эти детали предложили из углеродного материала. Однако имевшийся в конце 1970-х годов материал был ещё «сырой», недоработанный и не отвечал техническим условиям. Когда в ВИАМе разобрались в требованиях, предъявляемых конструкторами к материалам, пришлось организовать обширную кооперацию с несколькими организациями.

Г. Е. Лозино-Лозинский решил носовой обтекатель корабля делать точно по американской технологии, но из своих материалов. В качестве армирующих наполнителей использовали углеродную ткань УКМ-8 разработки НИИГрафит. Для обшивки требовался материал с высокой прочностью на сдвиг, и, чтобы создать поперечные связи в заготовке, решили её предварительно прошивать. В Институте синтетического волокна (ВНИИСВ) специально для этого разработали углерод-углеродную ткань, которую можно было обрабатывать на ручных прошивных машинках. Ткань для обтекателя сначала прошивали связующим, потом раскладывали и прошивали углеродной нитью, также разработанной во ВНИИСВе. Оснастку для изготовления обтекателя спроектировали, сделали и наладили в Институте авиационных технологий (НИАТ). Созданный в результате коллективных усилий материал получил название ГРАВИМОЛ, по начальным буквам слов «ГРАфит», «ВИАм» и «МОЛния».

Главный конструктор потребовал разработать для передних кромок крыльев «Бурана» иной углеродный материал,

тоже многослойный, но не прошитый, а объёмного плетения. Таких тканей в СССР ещё не было. ВИАМ разработал на неё техническое задание, по которому ВНИИСВ создал новую ткань — единый многослойный объёмный материал толщиной около 2,5 мм. Работы осложнялись требованием получить заранее заданную пористость ткани, причём открытую. Только открытые поры гарантировали достижение заданных свойств материала. Ткань создали, но проблемы на этом не закончились: технологическое освоение новых материалов шло параллельно с их разработкой.

Одна из нештатных ситуаций возникла при изготовлении створок грузового отсека, больших тонкостенных деталей, требующих очень высокой точности изготовления. Когда сделанную точно по чертежам и в полном соответствии с технологией створку сняли с оснастки, она неожиданно «раскрылась», то есть изменила форму, и уже никаким чертежам не соответствовала. Оказалось, что «раскрывают» створку термические напряжения, возникающие в материале при обжиге. Технологи испробовали разные варианты, вплоть до замены оснастки, однако решение пришло неожиданно, и очень простое. Створку на





*Размещение плиток теплозащитного покрытия носовой части орбитального корабля «Буран».*

время обжига обмотали углеродным волокном, и последние высокотемпературные операции проводили в таком «связанном» состоянии, как в смирительной рубашке. Створки выходили после этого полностью соответствующими чертежам.

Передняя кромка крыла «Бурана» собрана из нескольких элементов. Они монтируются последовательно, и каждый следующий небольшой своей частью перекрывает зазор между секциями. Тем не менее абсолютной плотности при монтаже добиться невозможно, поэтому потребовалось разработать уплотнительный материал, способный выдерживать высокую температуру и не допустить проникновения плазмы во внутренние полости крыла во избежание неминуемой катастрофы.

К тому времени на опытном заводе освоили производство оригинального материала на основе длинных нитевидных кристаллов карбида кремния. В ВИАМе из него сделали термостойкую бумагу для уплотнений, работающих при температурах до 1700°C. Она была очень пористой — доля пустот достигала 95%. И всё бы хорошо, но сделать уплотнение для крыла никак не удавалось. Укладка бумаги в зазор не давала нужной плотности, а свёрнутый из неё жгут рассыпался при любой попытке его согнуть по криволинейному профилю кромки крыла.

И всё же решение нашли. Бумажный жгут намочили водой — получилась мягкая, как пластилин, колбаска, очень пластичная и податливая. Во влажном состоянии жгуты укладывали в зазор, детали стягивали, и бумага плотно и надёжно закупоривала зазор. Вода испарялась, а структура материала полностью сохранялась. Этот уникальный материал применялся только на «Буране».

К моменту выхода приказа по «изделию К305» теплозащитный материал — плитка из кремнезёма — в принципе существовал. Однако было понятно, что кремнезём не годится для многоразового корабля. Один раз слетать в космос на машине, защищённой такой плиткой, можно, и она даже выдержит запредельный нагрев при посадке, но при охлаждении неминуемо разрушится из-за сильного температурного расширения, и всю обшивку придётся менять. Если же между плитками делать широкий зазор, в него, даже при наличии уплотнения, может проникнуть плазма. Для многоразовых плиток нужен кварц высокой чистоты, на уровне 99,99. Такого в СССР не было, и для начала работы несколько килограммов пришлось закупить в Бразилии. Первые образцы кварцевых нитей получили в Институте синтетического волокна. Но строить серьёзную и совершенно секретную работу на импортном



Схема раскроя плиток теплозащитного покрытия носовой части «Бурана».



материале нельзя. Поэтому Министерство геологии получило задание срочно отыскать месторождение кварца подходящей чистоты в нашей стране. И такой кварц — на удивление быстро — нашли.

Первые плитки из отечественного кварцевого волокна получились хорошими, однако через некоторое время пошёл сплошной брак. Оказалось, что весьма важна чистота не только исходного материала и работы с ним, но и обжига тоже. Когда в обжиговую печь попадали примеси, то есть, грубо говоря, когда плитку ставили в грязную печку, всё рассыпалось. Выяснилось, что в присутствии примесей кварц из нитевидной формы переходит в кристобаллит (образованный кристаллами псевдокубической формы — сферолитами), который имеет высокий коэффициент теплового расширения.

Созданная в ВИАМе плитка по теплофизическим свойствам не уступала той, которой защищали шаттлы. Но наша плитка при почти равной плотности была вдвое прочнее. Американская выдерживала напряжение сжатия до 0,2 МПа, наша — до 0,4 МПа. Посмотрим — за счёт чего.

Обычно в материалах, пространственная структура которых состоит из длинных волокон, прочность зависит от их количества: чем больше волокон в единице объёма, тем выше прочность. Но для теплозащитной плитки содержание волокон

критично — чем оно больше, тем плитка тяжелее, тем выше её теплопроводность и соответственно хуже теплозащитные свойства. Прочность, однако, напрямую зависит и от стабильности пространственной структуры плитки. Чтобы она была высокой, волокна жёстко скрепляли друг с другом. Для этого их массу пропитывали синтетическим составом, который за счёт сил поверхностного натяжения тонкой плёнкой растекался по волокнам, а затем полимеризовался. В результате в местах, где волокна соприкасались или располагались на расстоянии менее двух толщин плёнки, возникал связующий мостик. В отличие от американской разработанная в ВИАМе эмульсия скапливалась только в «узлах», то есть в местах соприкосновения волокон. При этом волокна вне «узлов» оставались практически чистыми. Эти соединения оказались чуть более массивными, чем в американской плитке, но вдвое более прочными.

Сейчас уже трудно сказать, исследовали этот вариант американцы или не обратили на него внимания, считая достаточной прочность на уровне 0,2 МПа. Заметим, что после полёта «Бурана» на его корпусе было повреждено или потеряно не более шести плиток, на шаттлах — 30.

Кстати, испытания отечественной плитки проводили и во Франции. Из администрации президента Франсуа Миттеррана



*Изготовление плиток теплозащитного покрытия для «Бурана» на станке с числовым программным управлением от ЭВМ. Тушинский машиностроительный завод (ТМЗ).*

в ВИАМ поступила просьба передать французам технологию изготовления плиток, поскольку для европейского мини-шаттла, над которым тогда трудилось европейское космическое агентство, именно их не хватало. ВИАМ передавать технологию отказался (американцы, впрочем, тоже свою плиточную технологию европейцам не раскрыли). В Союзе в то время наряду с программой по «Бурану» велись работы и по некоторым другим близким темам, в том числе и сходным с европейскими. Очень интересным был проект так называемого воздушного старта. Космический комплекс должен был взлетать с самолёта типа «Мрия», Ан-225 (см. «Наука и жизнь» № 9, 1994 г.).

Как уже говорилось, крепить плитки непосредственно на металлическую обшивку корабля нельзя, в качестве демпфера применили специальный фетр. Сначала на корпусе делали точную разметку расположения плиток (каждой плитке присваивали свой номер). По этой разметке приклеивали полосы фетра так, что они перекрывали границы расположения соседних плиток, а под средними их частями оставались свободные места. Получалась своеобразная фетровая сеть с гнездами. Затем на каждую плитку со стороны, примыкающей к корпусу, приклеивали фетровый вкладыш, совпадающий с соответствующим гнездом. Когда плитку ставили на предназначенное ей место, вкладыш попадал в гнездо, а края плитки прижимались к уже приклеенной к корпусу фетровой сети.

На «Буране» почти каждая плитка имела свою геометрическую форму, толщину, кривизну поверхности. Соседние плитки должны

были совпадать как по сопрягаемым поверхностям, так и по толщинам; ступеньки в сочленениях не допускались. Не только изготовить, но и просто спроектировать их было очень сложно. Наверное, впервые в отечественной практике использовали компьютерное проектирование такого огромного количества разнообразных деталей. Вероятно, иной подход был попросту невозможен, ведь только на плитки пришлось бы выпустить более сорока тысяч чертежей.

Казалось бы, теперь всё просто, плитки и «гнезда» пронумерованы, знай себе наклеивай. Однако сложностей хватало и в этом процессе. Прежде всего нужно было разработать термостойкий клей, не вызывающий ни коррозии в металле, ни напряжений в плитке и удобный в использовании, технологичный. Производство клея организовали на химическом заводе ГНИХТЭОС в Данкове, а институт очень активно с ним сотрудничал.

Клеевых соединений в «Буране» было исключительно много. Не только вся теплозащита крепилась не клеях, многочисленные сотовые конструкции тоже выполнялись склеиванием. Да и сама технология приклеивания плитки к корпусу была уникальной и весьма оригинальной.

В большинстве точек фюзеляжа «Бурана» прижать плитку к металлу было невозможно — отсутствовали места, в которые можно было бы «упереться». И тогда специалисты ВИАМа решили прижимать плитки, используя вакуум. Делалось это так: к металлической поверхности корпуса, предварительно загрунтованной и окрашенной, по контуру приклеивали горловину вакуумного мешка, под которым лежала плитка. Затем из мешка откачивали воздух, и атмосферное давление плотно прижимало плитку к поверхности корабля. После соответствующей выдержки вакуум отключали и мешки удаляли. Вот здесь и срабатывала предварительная подготовка поверхности под края мешков — с поверхности, к которой приклеивали мешки, нужно было полностью удалить клей, чтобы он не повредил фетр и плитки, которые будут приклеиваться на эти места.

Клеи расфасовывали в герметично закрывающиеся тубы, чтобы исключить контакт с воздухом. Нанесённый на поверхность клей контактировал с влагой воздуха



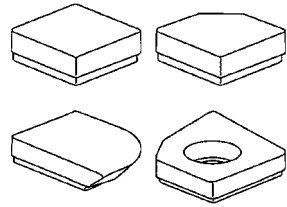
и начинал твердеть. Разработали несколько вариантов клея. Один — штатный, который использовали в нормальном технологическом режиме установки плиток. Время его отверждения при нормальной температуре — 50 минут. За этот период на монтаже успевали нанести клей под несколько плиток, поскольку клеить их по одной нерационально, да и очень долго — уложить в необходимом порядке все плитки, закрыть их вакуумным мешком и прижать на восемнадцать часов, чтобы клей полностью набрал свою рабочую прочность. Второй вариант — ремонтный, когда важна более высокая скорость отверждения. Для этого создали состав, который твердел всего за двадцать минут. Ещё один вариант имел увеличенное время отверждения. Он мог потребоваться при температуре несколько выше расчётной. Такой «долгоиграющий» клей при нормальной температуре твердел почти за два часа. Если же на монтаже температура оказывалась выше нормативной, то он работал так же, как стандартный.

При разработке любого сложного изделия, и «Бурана» тоже, приходится принимать в расчёт самые невероятные ситуации. Но иногда жизнь заставляет разрабатывать приёмы и технологические операции, которые не приходили в голову никому.

Вот пример: створки грузового отсека ремонтировать не предполагали. Действительно — что может произойти со створкой? Это огромная деталь, и единственная мыслимая возможность её повреждения — на стадии транспортировки корабля на космодром. Тогда створка просто меняется целиком. Но случилось иначе. Корабль стоял в цехе на космодроме и проходил последние предполётные подготовительные операции, вокруг него установили леса для монтажа внешних элементов. И вот с этих самых лесов кто-то из рабочих случайно уронил довольно массивный гаечный ключ. И, конечно, по закону бутерброда этот ключ упал прямёхонько на створку отсека, пробив её внешнюю обшивку толщиной всего 0,4 мм насквозь.

Отверстие решили попробовать «заштопать» на месте. Но технологии ремонта углепластика не было, пришлось её срочно придумывать. Створка была трёхслойной: два слоя обшивки — наружный и внутренний, а между ними жёсткие соты. Повреждён-

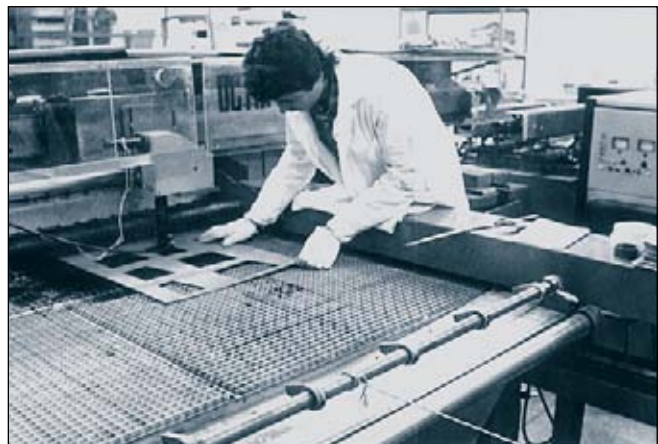
Для всех элементов поверхности корпуса «Бурана» были изготовлены оригинальные плитки, каждой присваивали уникальный номер, и на каждую составлялась программа обработки на станках с ЧПУ.



ный участок небольшой фрезой вырезали из створки вместе с сотами. Затем в отверстие вложили смазанный клеем, вырезанный точно по размеру фрагмент сот с уже приклеенной обшивкой. На всё это хозяйство наложили два слоя пропитанной связующим веществом углеродной ленты и приклеили. Сложность заключалась в том, что в покрытии створки по периметру отверстия нужно было сделать канавку глубиной всего 0,02 мм, в неё точно уложить углеродную ленту, чтобы на поверхности створки не было ступеньки, а прочность склеивания была достаточной для работы всей конструкции.

На американском шаттле толщина обшивки тоже составляла 0,4 мм. Её набирали из четырёх слоёв препрега (композитного материала на основе ткани и волокон, пропитанных смолой), каждый из которых был раскатан до 0,1 мм. У нас такого материала не было, более того — не было и машины, способной раскатать его до «десятки», самый тонкий имел толщину 0,12 мм. Из четырёх его слоёв получается почти 0,5 мм, а это больше, чем надо. Сотрудники ВИАМа и Института

*Лазерная установка для раскроя фетровой подложки под плитки теплозащитного покрытия. ТМЗ.*





*Для лётных испытаний «Бурана» был построен летающий макет, получивший обозначение БТС — большой транспортный самолёт. Данные, полученные в ходе полётов БТС, позволили составить программу управления кораблём и блестяще провести его спуск с орбиты и посадку в автоматическом режиме.*

синтетического волокна после напряжённой работы получили-таки углеродную ленту толщиной 0,08 мм. Чтобы повысить механические характеристики готового материала и при этом уложиться в заданную толщину, его сделали из двух слоёв углеродной ленты и слоя органического керамидного волокна и назвали органитом. Уложились ровно в 0,4 мм, материал получился легче американского. Дело в том, что препрег углепластика имеет плотность 1,6, а органит — 1,2. В итоге отечественный материал оказался не только легче, но и несколько прочнее.

**Г**леб Евгеньевич Лозино-Лозинский на первом совещании, проведённом им в ВИАМе, говоря о подходе к созданию МКС, отчётливо (или, правильнее сказать, в мягкой форме, но весьма жёстко) дал понять, что решения должны быть смелыми и нестандартными, «спокойные» варианты его не устроят. Поэтому многие решения по конструкции и по материалам оказались с точки зрения стандартных подходов за гранью разумного риска. Однако иной подход к работе над «Бураном» был невозможен, рисковали постоянно, поскольку сроки задавались весьма сжатые и требования были очень

строгие. Поэтому нередко принимались парадоксальные решения, примером которых может служить выбор одного из материалов внутри большого «слоёного пирога» обшивки «Бурана» — специальной эпоксидной грунтовки.

Теплостойкость этого материала составляла 150°C. Но реальная максимальная температура, до которой он нагревался, составляла 170°C. Нормальная логика требовала его модификации и повышения теплостойкости на 20 градусов. Анализ цикла изменения температуры обшивки показал, что после входа в атмосферу, полёта до аэродрома и посадки этот слой обшивки не успевал нагреться даже до 150°C. Дальнейший его нагрев за счёт теплопроводности происходит уже после посадки, когда аппарат стоит на земле. Динамические нагрузки с конструктивных элементов уже сняты, а ту статическую нагрузку, которая осталась на покоящемся изделии, материал легко воспринимает и при 170 градусах. Такой анализ не только дал экономию времени, но и позволил использовать очень хороший материал, не увеличивая затрат на его улучшение.

Сейчас об этом говорить легко, но тогда конкретным людям нужно было брать на себя ответственность, что порой давалось им очень непросто...

*Дмитрий ЗЫКОВ.  
По материалам ВИАМа.*

*Фото из книги  
«Многоразовая космическая система  
«Энергия-Буран». М., НПП «ОмВ-Луч». 2004.*

