

ГОРЯЩИЕ ЗА ДРУГИХ

Дорогу советским пилотируемым космическим аппаратам прокладывали БОРы – Беспилотные Орбитальные Ракетопланы. Именно на них отработывалась теплозащита, без которой космический корабль просто сгорел бы при входе в плотные слои атмосферы

Подобной спасательной операции мир еще не видел. 3 июня 1982 года к архипелагу Кокосовых островов наперегонки устремились австралийские и советские поисковые корабли (включая даже семь боевых кораблей Черноморского флота!)

Искали они вовсе не потерпевшее кораблекрушение судно, а небольшой необычный "самолетик". Вопреки ожиданиям, советский корабль, первым обнаруживший объект поиска, не стал даже близко подходить к нему. На воду была спущена лодка с гражданскими специалистами, основной задачей которых было ввести в бортовую систему плавающего аппарата специальный секретный код, блокирующий систему самоликвидации. Без этого кода аппарат, по сути, представлял собой свободно плавающую морскую мину: система самоликвидации препятствовала любым попыткам поднятия или транспортировки. И только после обезвреживания "самолетика" наш поисковый корабль под пристальным наблюдением австралийских ВМС поднял его на свою палубу. Четыре других советских военных корабля "прикрывали" эту операцию. И было от чего! К этому моменту в районе приводнения находились уже не только военные корабли и самолеты-разведчики, но и палубные вертолеты ВМС Австралии. Так проходила операция по подъему приводнившегося в Индийском океане космического аппарата БОР-4. Однако БОР-4 был далеко не первым советским экспериментальным ракетопланом.

Деревянный космоплан

Аппараты "БОР" были задуманы и построены в рамках программы создания боевого космического самолета "Спираль" (см. "ПМ" №9, 2004). Конструкторы хотели в условиях реального космического полета проверить выбранную форму аппарата типа "несущий корпус".

Первый аппарат – "БОР-1" – являлся копией орбитального самолета "Спираль" в масштабе 1:3, имел длину 3 м, массу 800 кг и был... цельнодеревянным! Он был запущен ракетой-носителем "Космос-2" (11К65) 15 июля 1969 года на высоту 100 км. При входе в плотные слои атмосферы со скоростью 13 000 км/ч аппарат сгорел, но на высоте 60–70 км была получена ценная телеметрическая информация

РАКЕТОПЛАН

о возможности устойчивого управляемого спуска несущего корпуса выбранной формы.

Аппараты "БОР-2" и "БОР-3", изготовленные в масштабе 1:3 и 1:2 соответственно, были выполнены уже из металла, имели одноразовую (уносимую набегающим воздушным потоком) абляционную теплозащиту и запускались в космос по баллистической траектории той же ракетой.

Но программа "Спираль" была закрыта, а вместо нее в 1976 году в СССР началась разработка многоразового космического корабля "Буран". Для "Бурана" требовалась легкая и надежная многоразовая теплозащита, которую тоже нужно было отрабатывать в реальных условиях. И тут Главный конструктор "Бурана" Глеб Евгеньевич Лозино-Лозинский вспомнил о своих аппаратах "БОР". Эти аппараты подходили для испытаний теплозащиты советского шаттла как нельзя лучше – они уже были испытаны в космосе.

Противопожарные меры

У спускаемых аппаратов космических кораблей, не способных к планированию, температура лобовых поверхностей может достигать нескольких тысяч градусов. В таких случаях, как правило, используется теплозащита на основе абляционных материалов, принцип

действия которых основан на нагреве и последовательном уносе за счет оплавления, испарения, разложения и химической эрозии раскаленного поверхностного слоя. Наибольшее применение получили обугливающиеся пластмассы на основе фенольных, кремнийорганических и других синтетических смол, содержащих в качестве наполнителей углерод (в том числе графит), двуокись кремния (кремнезем, кварц), нейлон. Абляционная защита – одноразовая и тяжелая, а потому для "Бурана" она не подходила.

Крылатые корабли способны планировать, что позволяет снизить максимальные температуры поверхности при спуске до значений 1200–1700°C. Это делает возможным создание многоразовой теплозащиты на основе углеродных и кварцевых материалов.

Для "Бурана" нужно было создать многоразовое покрытие: легкую керамическую плитку и гибкую войлочную теплозащиту, покрывающие основную поверхность корабля, и жаростойкую конструкцию из композита "углерод-углерод" для применения в носовой части и на передних кромках крыла.

Были проведены наземные испытания, имитирующие космический полет и условия входа в атмосферу: опытные образцы покрытий испытывались в тепловакуумных плазменных установках. Затем покрытия были испытаны на самолетах-лабораториях Ил-18 и МиГ-25. И наконец, испытания в космосе на моделях "БОР-4" должны были подтвердить работоспособность теплозащиты в условиях реального полета.

Анатомия БОР-4

"БОР-4", разработанный в Летно-исследовательском институте (ЛИИ) имени Громова, представлял собой беспилотную уменьшенную копию "Спирали" в масштабе 1:2. Он имел длину 3,4 м, размах крыла 2,6 м, стартовую массу около 1450 кг, массу 1074 кг на орбите и 795 кг после возвращения. Аппарат был оснащен реактивными двигателями и отклоняемыми консолями крыла.

Телеметрическая система "БОР-4" записывала информацию и передава-

ла ее в пакетном режиме при пролете над двумя кораблями слежения, а при спуске – на наземный приемный пункт. На дюралевой обшивке под теплозащитными плитками и под внешним покрытием плиток на глубине 0,3 мм было установлено 150 терморпар, использовались также термокраски и индикаторы плавления.

Консоли крыла "БОР-4", как и орбитального самолета "Спираль", могли поворачиваться в корневой части, при этом величина угла "развала" определяла угол атаки, при котором аппарат самобалансируется (то есть становится статически устойчив) при входе в плотные слои атмосферы. Это было революционное решение, оно снимало проблему защиты относительно острой передней кромки крыла от высоких температур: при поднятых консолях скоростной напор встречался с нижним днищем и "стекал" с крыла. При старте на ракете под головным обтекателем консоли крыла полностью складывались "шалашиком" на "спине". Консоли могли отклоняться от балансирующего положения и отдельно – это использовалось для управления по крену.

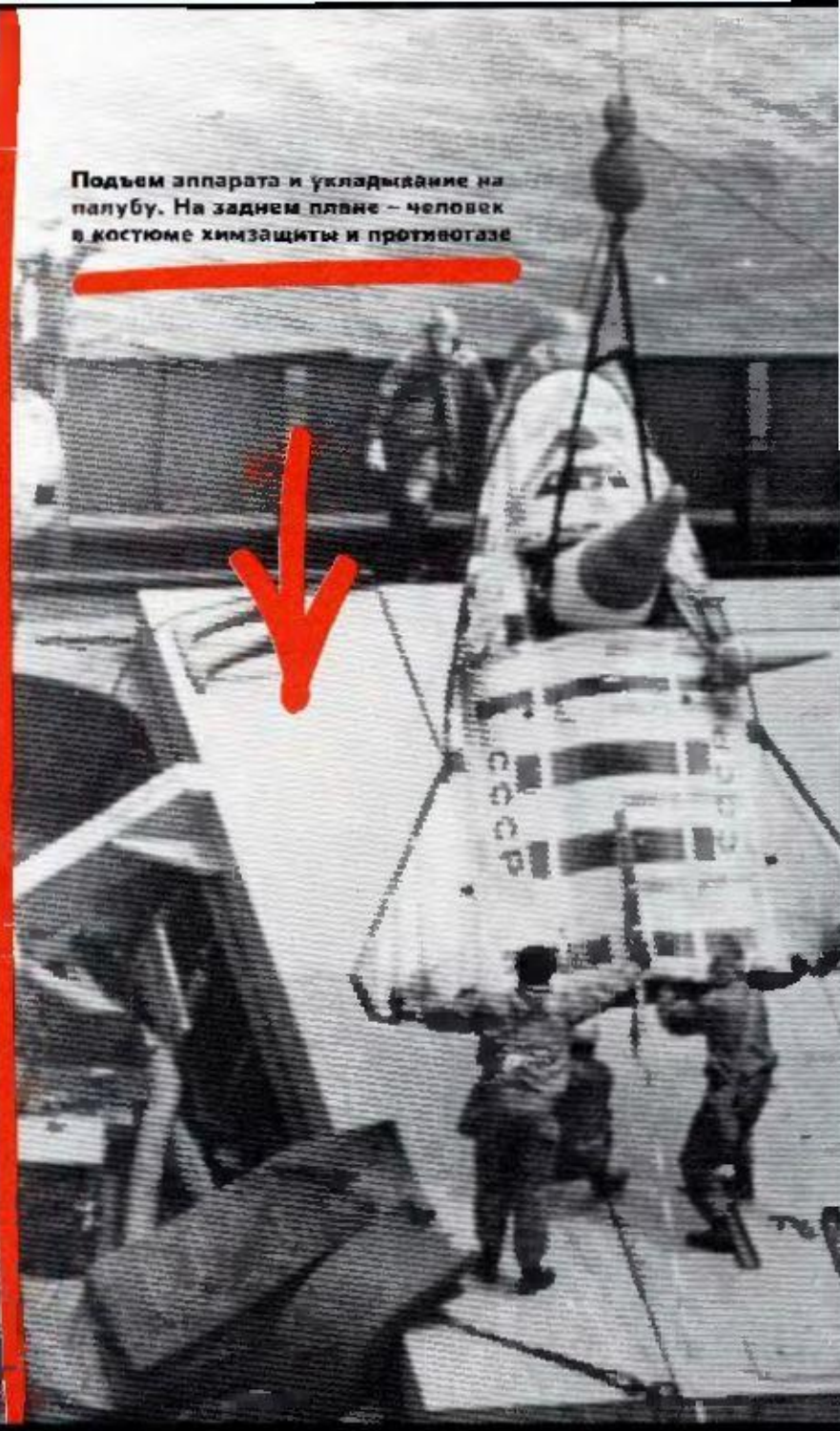
Первый "БОР-4" был запущен по суборбитальной траектории в направлении озера Балхаш 5 декабря 1980 года с целью проверки работоспособности всего комплекса. На нем была установлена уносимая абляционная теплозащита на основе материала марки ПКТ-ФП, состоящего из фенолформальдегидной ткани, пропитанной смесью фенолформальдегидных смол (сходная защита применяется на спускаемых аппаратах кораблей "Союз"). Успешный полет этой летающей модели подтвердил ее надежность.

Последующие аппараты использовались уже непосредственно для испытаний теплозащиты "Бурана", поэтому их пришлось существенно модифицировать. Поверх абляционной теплозащиты уменьшенной толщины ("на всякий случай") на тонкую металлическую обшивку смонтировали соответствующую "бурановскую" теплозащиту – керамические белые и черные плитки на основе ультратонкого кварцевого во-

Съемка эвакуации "БОР-4"
("Космос-1445") с борта патрульного
самолета Р-3С Orion австралийских ВМС



Подъем аппарата и укладывание на
палубу. На заднем плане – человек
в костюме химзащиты и противогазе



локна, маты гибкой теплозащиты на базе органического войлока и носовой кок из композиционного материала "углерод-углерод". Технология наклейки теплозащиты на "БОР-4" полностью соответствовала "бурановской". Носовой кок для "БОР-4" также был изготовлен в соответствии с требованиями "Бурана".

Для теплозащиты консолей крыла из-за аэродинамических ограничений небольшой толщины керамических плиток не хватало, поэтому внутреннюю полость металлической конструкции крыла заполнили пористым фетровым материалом, пропитанным специальным составом на основе воды. Испарение воды в случае перегрева должно было обеспечить эффективное охлаждение.

В полете

С 1982 по 1984 год было произведено шесть запусков аппаратов "БОР-4" с помощью легкой двухступенчатой РН "Космос-3М" (К65М-РБ5) с кос-

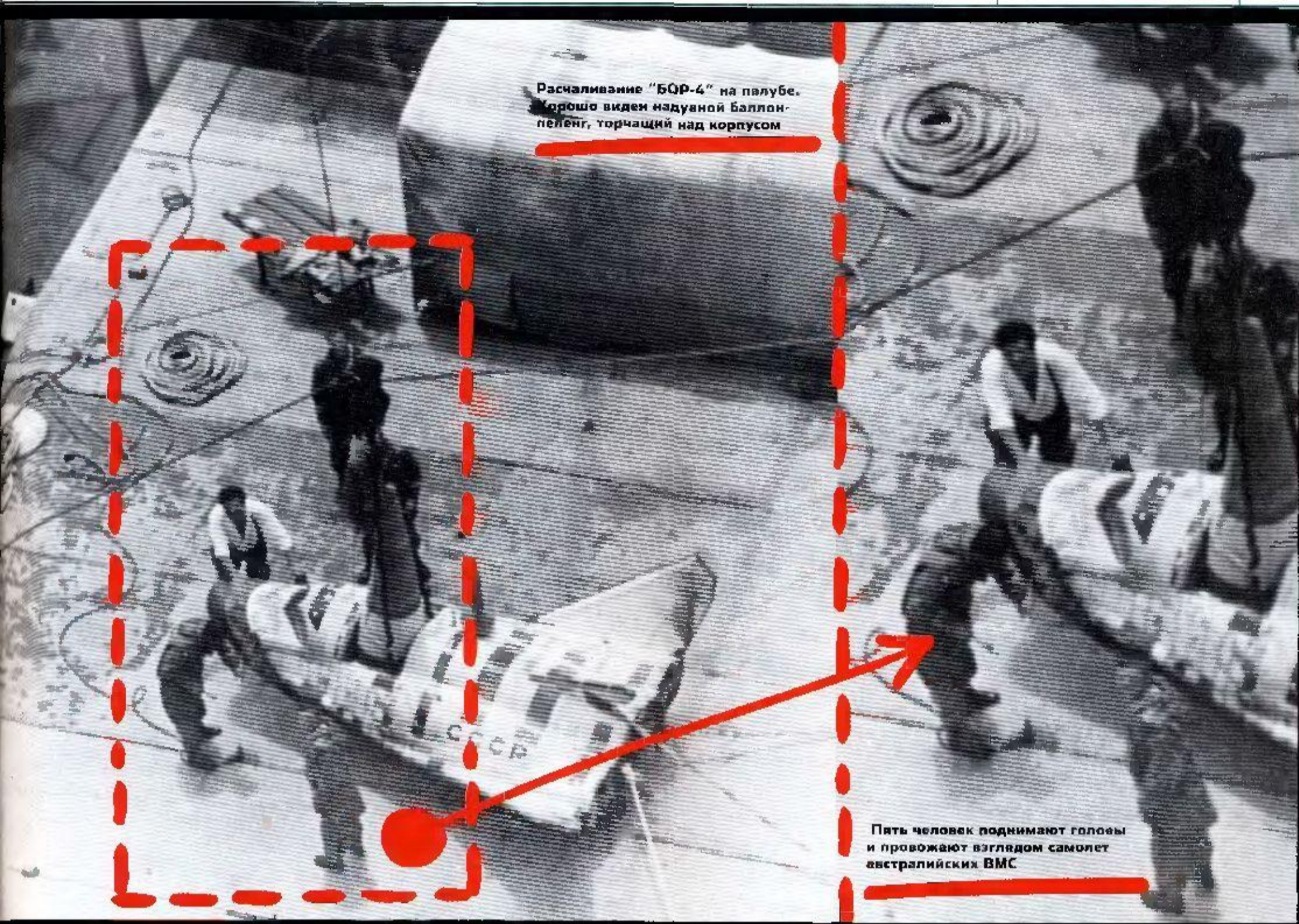
модрома Капустин Яр. Аппараты, выведшиеся на орбиты ИСЗ высотой около 225 км, получали наименования спутников серии "Космос".

В орбитальном полете ориентация поддерживалась газореактивными двигателями. Топливом служили азотный тетраоксид и несимметричный диметилгидразин. В начале второго витка с помощью сбрасываемого порохового двигателя "на спине" аппарата выдавался тормозной импульс – и "БОР-4" входил в атмосферу.

После торможения и планирования в верхних слоях атмосферы, пройдя участок плазмообразования, "БОР-4" на высоте 30 км вводился в крутую спираль для уменьшения скорости, и на высоте 7500 м выпускался парашют, обеспечивающий мягкое приводнение. Для того чтобы аппарат не утонул и его было проще обнаружить, в верхней части аппарата надувался конический баллон с мигающим фонарем, внутри которого располагались антенны радиомаяка.

При первом "зачетном" запуске "БОР-4" выполнил 1,25 витка по орбите, вошел в атмосферу и приводнился в 560 км от архипелага Кокосовых островов в Индийском океане. При посадке аппарат промахнулся почти на 200 км, что и вызвало описанную в начале статьи гонку. Его подобрала корабль ВМФ СССР, сопровождаемые кораблями слежения и эскортом австралийских военных кораблей, самолетов и вертолетов.

Следующий "БОР-4" (Космос-1445) также приводнился в районе Кокосовых островов. За его полетом наблюдали корабли слежения АН СССР и корабль геодезической экспедиции "Чумикан". Помимо тихоокеанской эскадры в район Кокосовых островов снова пришли корабли из Черного моря. Члены экипажа "Чумикана" позднее вспоминали о степени секретности работ – были наглухо задраены все иллюминаторы, чтобы ни один матрос не мог увидеть происходящих событий.



Распалывание "БОР-4" на палубе.
Хорошо виден надувной баллон-пеленг, торчащий над корпусом

Пять человек поднимают головы и провожают взглядом самолет австралийских ВМС

Почему космические корабли нагреваются при посадке?

При входе в плотные слои атмосферы молекулы набегающего воздуха сталкиваются с аппаратом. При этом аппарат тормозится: часть его энергии передается молекулам, разгоняя их до больших скоростей. Температура напрямую связана с энергией движения молекул (пропорциональной квадрату их скорости).

Теоретически, если обтекание имеет установившийся характер и тепло не проникает внутрь конструкции, температура поверхности будет близка к так называемой температуре адиабатического торможения. Например, при вхождении в атмосферу на высотах 11–25 км со скоростью $M=2$ (в два раза выше скорости звука) температура торможения 390°K вызовет нагрев поверхности на 173° , для скорости $M=5$ температура торможения 1300°K добавит к температуре поверхности уже 1083° , а для скоростей $M=10$ температура торможения 4550°K нагревает лобовую поверхность до немыслимой температуры 4333° по шкале Кельвина!

На практике все сложнее. Переизлучение тепла нагретой обшивкой снижает ее температуру, но при движении в воздушной среде со сверхзвуковой скоростью перед аппаратом возникает ударная волна, в которой скорость движения молекул воздуха по отношению к движущемуся объекту скачкообразно меняется со сверхзвуковой на дозвуковую. Несмотря на крайнюю разреженность воздуха на больших

высотах, на космических скоростях входа в атмосферу температура воздуха во фронте ударной волны может достигать $28\,000^\circ$ по шкале Кельвина – в 9 раз выше, чем температура на поверхности Солнца!

Поверхность космического аппарата, находящаяся за ударной волной, нагревается меньше, но интенсивность нагрева существенно зависит от шероховатости и типа материала самой поверхности. Шероховатость влияет на характер обтекания поверхности воздухом, определяя интенсивность трения, обусловленного вязкостью воздушного потока. Спокойное (ламинарное) обтекание вызывает умеренный нагрев, в то время как наличие неровностей вызывает интенсивное вихреобразование, и поток становится турбулентным, повышая температуру поверхности еще на 150–200 градусов.

При столь высокой температуре молекулы распадаются на заряженные ионы, образуя плазму, которая может химически взаимодействовать с материалом поверхности, изменяя его свойства и вызывая дополнительный нагрев.

Общая степень нагрева лобовых кромок и других выступающих частей космических аппаратов при спуске в атмосфере существенно зависит от интенсивности торможения, обусловленной углом наклона траектории спуска, аэродинамическим качеством аппарата и местными углами атаки.

Мифический “Ураган”

Последний полет “БОР-4” был совершен в октябре 1987 года, но он получил свою вторую, вымышленную жизнь на страницах зарубежной печати. На фото ВМС Австралии он не был похож на аппарат, предназначенный для “исследования верхних слоев атмосферы”, как его представляла официальная пропаганда в сообщениях ТАСС.

Иностранным экспертам трудно было предположить, что запуски проводятся только с целью отработки теплозащиты для другого орбитального корабля с принципиально иной аэродинамической компоновкой, похожей на американский шаттл. Рассматривая “БОР-4” как масштабную модель, эксперты получали ожидаемые характеристики “разрабатывавшегося” корабля, для вывода в космос которого хорошо подходила новая советская РН “Зенит” (К11К77). Минобороны США даже поместило материалы о “новой советской космической программе”, получившей имя “Ураган”, в пропагандистской брошюре “Советская военная мощь”!

А после первого запуска ракеты-носителя “Энергия” 15 мая 1987 года иностранцам стало ясно, что “Ураган” может выводиться и “Энергией”, а значит – иметь гораздо большие размеры и массу. Эту точку зрения проиллюстрировал немецкий журнал

“Freie Welt” в декабре 1987 года, опубликовав внешний вид гипотетической многоразовой системы “Энергия-Ураган”. Интересно, что “Буран” в самом деле мог быть именно таким, как его представил немецкий художник, если бы Совет главных конструкторов во главе с В. П. Глушко в 1975 году принял предложение Г. Е. Лозино-Лозинского взять за основу многоразового корабля проект “305-1”, разрабатывавшийся на базе орбитального самолета “Спираль”!

Маленькие “Бураны”

Кроме отработки теплозащиты при создании “Бурана” нужно было проверить и его аэродинамическую компоновку. По уже отработанной на “БОР-4” методике с космодрома Капустин Яр с 1983 по 1988 год было проведено шесть суборбитальных запусков аппаратов “БОР-5”, представлявших собой геометрически подобную копию “Бурана” в масштабе 1:8.

Теплозащита на “БОР-5” принципиально отличалась от “БОР-4”. “БОР-5” имел размеры в восемь раз меньше, чем “Буран”, и для сохранения аэродинамического подобия с орбитальным кораблем пришлось снизить высоты полета на 15–20 км относительно “оригинала”, но при тех же скоростях. Это привело к возрастанию внешних тепловых потоков и необходимос-

ти использования теплозащиты с предельными температурами до 2000°C. Поэтому для “БОР-5” было ограничено полетное число Маха (до $M=15$), а большая часть поверхности покрыта абляционной теплозащитой из материала МСП-К (рабочая температура 1700–1800°C) на основе кварцевого волокна и хром-алюминий-фосфатного связующего (минерального стеклопластика). На этом же аппарате испытывалась радиопрозрачная теплозащита – стеклопластик с кремнеземным наполнителем.

К сожалению, постепенное свертывание, а затем и полное закрытие программы “Буран” не позволили провести интересные эксперименты по радиосвязи на плазменном участке спуска в атмосфере, хотя на базе “БОР-4” и был изготовлен “БОР-6” с охлаждаемыми антеннами, вынесенными в набегающий поток.

Но “БОРы” свою главную задачу выполнили – они проложили “Бурану” дорогу в космос. Материалы полетов “БОР-4” легли в основу теплозащиты “Бурана”, первый полет которого состоялся 15 ноября 1988 года. В отличие от американцев мы обошлись практически без потерь: если Columbia в своем первом полете 12 апреля 1981 года потеряла около 30 плиток, то “Буран” – всего семь. **ПМ**

Вадим Лукашевич