

ДМИТРИЙ ВОРОНЦОВ, ИГОРЬ АФАНАСЬЕВ

Фальстарт



«Зенгер». Так виделся запуск космического самолета немецким инженерам в середине 1980-х годов. Первая ступень — самолет-разгонщик с прямоточными воздушно-реактивными двигателями. Вторая орбитальная ступень стартует на высоте более 30 км при скорости 6,8 Маха. Стартовая масса системы — 340 т, из них 100 т водорода. Вторая ступень несет 65,5 т ракетного топлива. Экипаж — 2 пилота, 4 пассажира, груз — 2–3 тонны. Первая ступень проектировалась как гиперзвуковой пассажирский самолет на 250 мест. Орбитальная допускала туристическую модификацию для размещения 36 пассажиров

SPL/EAST NEWS

КОСМИЧЕСКИХ ЧЕЛНОКОВ

100 лет назад отцы — основатели космонавтики вряд ли могли себе представить, что космические корабли будут выбрасывать на свалку после одного-единственного полета. Неудивительно, что первые проекты кораблей виделись многоразовыми и зачастую крылатыми. Долгое время — до самого начала пилотируемых полетов — они конкурировали на чертежных досках конструкторов с одноразовыми «Востоками» и «Меркуриями». Увы, большинство многоразовых кораблей так и остались проектами, а единственная система многократного применения, принятая в эксплуатацию (Space Shuttle), оказалась страшно дорогой и далеко не самой надежной. Почему так получилось?

Ракетостроение имеет в своей основе два источника — авиацию и артиллерию. Авиационное начало требовало многоразовости и крылатости, тогда как артиллерийское было склонно к одноразовому применению «ракетного снаряда». Боевые ракеты, из которых выросла практическая космонавтика, были, естественно, одноразовыми.

Когда дело дошло до практики, конструкторы столкнулись с целым комплексом проблем высокоскоростного полета, в числе которых — чрезвычайно высокие механические и тепловые нагрузки. Путем теоретических исследований, а также проб и ошибок инженеры смогли подобрать оптимальную форму боевой части и эффективные теплозащитные материалы. И когда на повестку дня встал вопрос о разработке реальных космических кораблей, проектанты оказались перед выбором концепции: строить космический «самолет» или аппарат капсульного типа, похожий на головную часть межконтинентальной баллистической ракеты? Поскольку космическая гонка шла в бешеном темпе, было выбрано наиболее простое решение — ведь в вопросах аэродинамики и конструкции капсула куда проще самолета.

Быстро выяснилось, что на техническом уровне тех лет сделать капсульный корабль многоразовым практически нереально. Баллистическая капсула входит в атмосферу с огромной скоростью, а ее поверхность может нагреваться до 2 500—3 000 градусов. Космический самолет, обладающий достаточно высоким аэродинамическим качеством, при спуске с орбиты испытывает почти вдвое меньшие температуры (1 300—1 600 градусов), но материалы, пригодные для его теплозащиты, в 1950—1960-е годы еще не были созданы. Единственной действенной теплозащитой была тогда заведомо одноразовая абляционная обмазка: вещество покрытия оплавлялось и испарялось с поверхности капсулы потоком набегающего газа, поглощая и унося при этом тепло, которое в противном случае вызвало бы недопустимый нагрев спускаемого аппарата.

Попытки разместить в единой капсуле все системы — двигательную установку с топливными баками, системы управления, жизнеобеспечения и энергопитания — вели к быстрому росту массы аппарата: чем больше размеры капсулы, тем больше масса теплозащитного покрытия (в качестве которой использовались, например,

стеклотекстолиты, пропитанные фенольными смолами с довольно большой плотностью). Однако грузоподъемность тогдашних ракет-носителей была ограничена. Решение было найдено в делении корабля на функциональные отсеки. «Сердце» системы обеспечения жизнедеятельности космонавта размещалось в относительно небольшой кабине-капсуле с тепловой защитой, а блоки остальных систем были вынесены в одноразовые отделяемые отсеки, естественно, не имевшие никакого теплозащитного покрытия. К такому решению конструкторов, как представляется, подталкивал и небольшой ресурс основных систем космической техники. Например, жидкостный ракетный двигатель «живет» несколько сотен секунд, а чтобы довести его ресурс до нескольких часов, нужно приложить очень большие усилия.

ПЕРВОЕ ВОПЛОЩЕНИЕ

И все же идея многоразовости ракетно-космической техники оказалась живучей. К концу 1960-х годов в США и несколько позднее в СССР и Европе был накоплен изрядный задел в области гиперзвуковой аэродинамики, новых конструкционных и теплозащитных

«Гермес», Франция/ЕКА, 1979—1994. Орбитальный самолет, запускаемый вертикально ракетой «Ариан-5», садящийся горизонтально с боковым маневром до 1 500 км. Стартовая масса — 700 т, орбитальная ступень — 10—20 т. Экипаж — 3—4 человека, выводимый груз — 3 т, возвращаемый — 1,5 т



ПРЕДЫСТОРИЯ МНОГОРАЗОВЫХ КОРАБЛЕЙ

Одним из первых технических проработанных проектов космического челнока был ракетоплан конструкции Ойгена Зенгера. В 1929 году он выбрал этот проект для докторской диссертации. По замыслу австрийского инженера, которому было всего 24 года, ракетоплан должен был выходить на околоземную орбиту, например, для обслуживания орбитальной станции, а затем возвращаться на Землю с помощью крыльев. В конце 1930-х — начале 1940-х годов в специально созданном закрытом научно-исследовательском институте он выполнил глубокую проработку ракетного самолета, известного как «антиподный бомбардировщик». К счастью, в Третьем рейхе проект реализован не был, но стал отправной точкой для многих послевоенных работ как на Западе, так и в СССР.

Так, в США, по инициативе В. Дорнбергера (руководителя программы V-2 в фашистской Германии), в начале 1950-х годов проектировался ракетный бомбардировщик *Вот1*, двухступенчатый вариант которого мог бы выходить на околоземную орбиту.

В 1957 году американские военные начали работу над ракетопланом *DynaSoar*. Аппарат должен был выполнять особые миссии (инспекция спутников, разведывательно-ударные операции и др.) и в планирующем полете возвращаться на базу.

В СССР, еще до полета Юрия Гагарина, рассматривалось несколько вариантов крылатых пилотируемых аппаратов многоразового использования, таких как ВКА-23 (главный конструктор В.М. Мясищев), «136» (А.Н. Туполев), а также проект П.В. Цыбина, известный как «лапоток», разработанный по заказу С.П. Королева.

Во второй половине 1960-х годов в СССР в ОКБ А.И. Микояна, под руководством Г.Е. Ложино-Лозинского, велась работа над многоразовой авиационно-космической системой «Спираль», которая состояла из сверхзвукового самолета-разгонщика и орбитального самолета, выводимого на орбиту с помощью двухступенчатого ракетного ускорителя. Орбитальный самолет по размерности и назначению в общих чертах повторял *DynaSoar*, однако отличался формой и техническими деталями. Рассматривался и вариант запуска «Спирали» в космос с помощью ракеты-носителя «Союз».

Из-за недостаточного технического уровня тех лет ни один из многочисленных проектов многоразовых крылатых аппаратов 1950—1960 годов не вышел из стадии проектирования.

материалов. А теоретические исследования подкрепились экспериментами, в том числе полетами опытных летательных аппаратов, самым известным из которых был американский X-15.

В 1969 году NASA заключило первые контракты с аэрокосмическими компаниями США на исследование облика перспективной многоразовой транспортной космической системы *Space Shuttle* (англ. — «космический челнок»). По прогнозам того времени, к началу 1980-х годов грузопоток «Земля-орбита-Земля» должен был составить до 800 тонн в год, и шаттлам предстояло ежегодно совершать 50—60 полетов, доставляя на околоземную орбиту космические аппараты различного назначения, а также экипажи и грузы для орбитальных станций. Ожидалось, что стоимость выведения грузов на орбиту не превысит 1 000 долларов за килограмм. При этом от космического челнока требовалось умение возвращать с орбиты достаточно большие нагрузки, например дорогие многотонные спутники для ремонта на Земле. Надо отметить, что задача возврата грузов с орбиты



«Клипер», Россия, с 2000 года. Разрабатываемый новый космический корабль с многоразовой кабиной для доставки экипажа и грузов на околоземную орбиту и орбитальную станцию. Вертикальный запуск ракетой «Союз-2», посадка горизонтальная либо парашютная. Экипаж — 5—6 человек, стартовая масса корабля — до 13 т, посадочная масса — до 8,8 т. Ожидаемый срок первого пилотируемого орбитального полета — 2015 год

Venture Star, США, 1993—2001. Проект одноступенчатой много-разовой транспортной космической системы с вертикальным стартом и горизонтальной посадкой. Работы были свернуты на стадии прототипа (проект X-33) из-за многочисленных технических проблем. Основная — недостаточная прочность конструкции при жестких ограничениях на массу аппарата в целом



в некоторых отношениях сложнее вы-вода их в космос. Например, на кораб-лях «Союз» космонавты, возвращаясь с Международной космической стан-ции, могут взять менее сотни кило-граммов багажа.

В мае 1970 года, после анализа по-лученных предложений, NASA выбрало систему с двумя крылатыми ступенями и выдало контракты на дальнейшую проработку проекта фирмам North American Rockwell и McDonnell Douglas. При стартовой массе около 1 500 тонн она должна была выводить на низкую орбиту от 9 до 20 тонн полезного груза. Обе ступени предполагалось оснащать связками кислородно-водородных дви-гателей тягой по 180 тонн каждый. Однако в январе 1971 года требования были пересмотрены — выводимая мас-са выросла до 29,5 тонны, а старто-

вая — до 2 265 тонн. По расчетам, пуск системы стоил не более 5 миллионов долларов, но вот разработка оценива-лась в 10 миллиардов долларов — боль-ше, чем был готов выделить конгресс США (не будем забывать, что США ве-ли в то время войну в Индокитае).

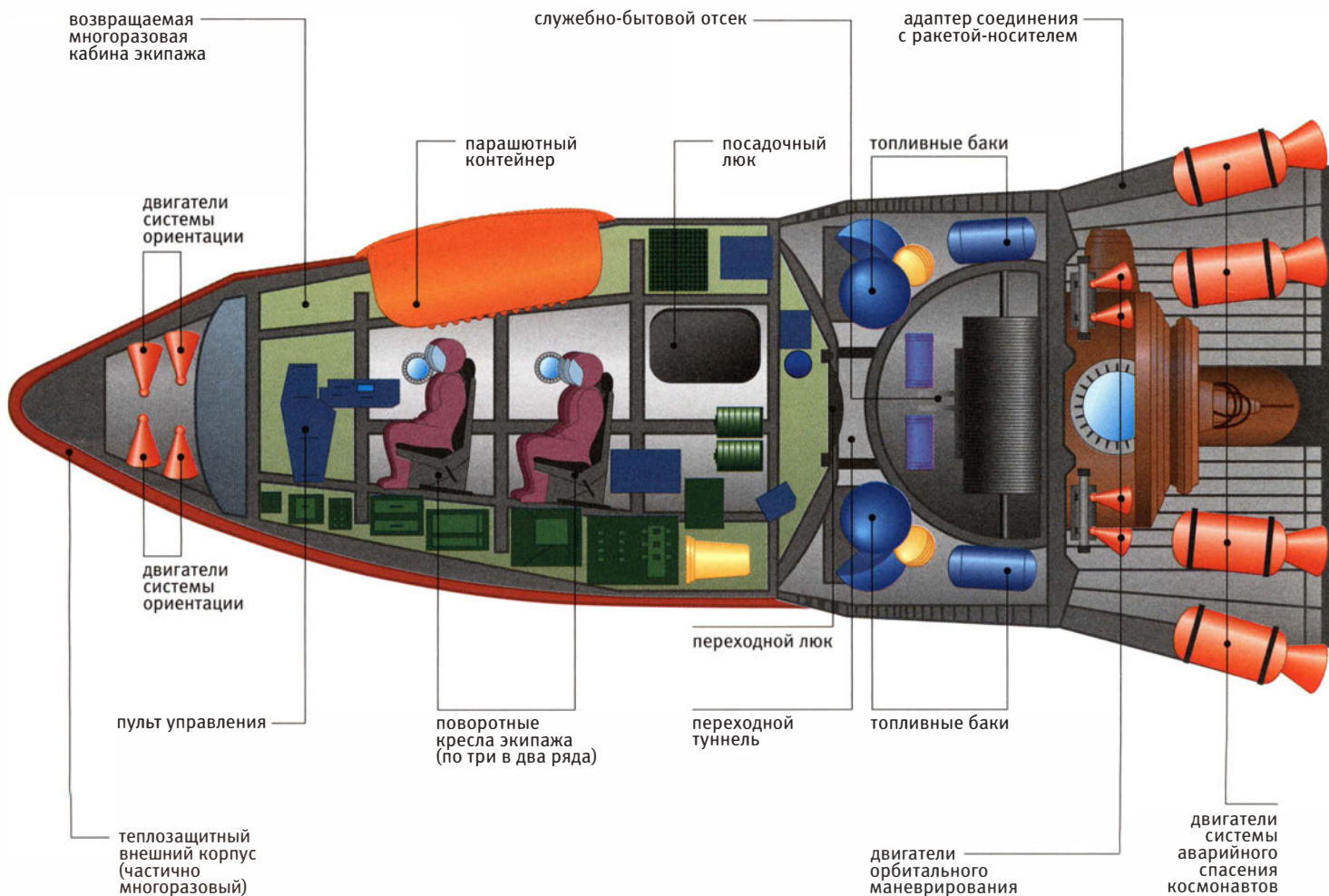
Перед NASA и фирмами-разработ-чиками встала задача — снизить сто-имость проекта по крайней мере вдвое. В рамках полностью многоразовой концепции этого добиться не удалось: слишком сложно было разработать теп-лозащиту ступеней с объемистыми криогенными баками. Возникла идея сделать баки внешними, одноразовы-ми. Затем отказались и от крылатой первой ступени в пользу повторно ис-пользуемых стартовых твердотплив-ных ускорителей. Конфигурация систе-мы приобрела знакомый всем вид, а ее

стоимость, око-ло 5 миллиардов долла-ров, укладывалась в заданные пре-делы. Правда, затраты на запуск при этом выросли до 12 миллионов долла-ров, но это считалось вполне приемле-мым. Как горько пошутил один из раз-работчиков, «челнок спроектировали бухгалтеры, а не инженеры».

Полномасштабная разработка Space Shuttle, порученная фирме North American Rockwell (позднее Rockwell International), началась в 1972 году. К моменту ввода системы в эксплуатацию (а первый полет «Ко-лумбии» состоялся 12 апреля 1981 го-да — ровно через 20 лет после Гагари-на) это был во всех отношениях тех-нологический шедевр. Вот только за-траты на его разработку превысили 12 миллиардов долларов. На сегодня ▶

Эскиз стартовой компоновки космического корабля «Клипер»

(один из вариантов с несущим бескрылым корпусом)





SPL/ISTOCKPHOTOS (3)

«Буран», СССР, 1976—? (программа не была официально закрыта). Многоразовый космический корабль, аналог системы Space Shuttle. Вертикальный старт, горизонтальная посадка с боковым маневром 2 000 км. Стартовая масса (с ракетой «Энергия») — 2 375 т, орбитальная ступень — 105 т. Экипаж — 10 человек, полезная нагрузка — 30 т. (Для сравнения: у Space Shuttle стартовая масса — 2 050 т, орбитальная ступень — 114–120 т. Экипаж — 7 человек, полезная нагрузка — 29,5 т). На снимке крупнейший в мире транспортный самолет Ан-225 «Мрия» перевозит «Буран»

стоимость одного пуска достигает и вовсе фантастических 500 миллионов долларов! Как же так? Ведь многоразовое в принципе должно быть дешевле одноразового (по крайней мере, в пересчете на один полет)?

Во-первых, не оправдались прогнозы по объемам грузопотока — он оказался на порядок меньше ожидавшегося. Во-вторых, компромисс между инженерами и финансистами не пошел на пользу эффективности челнока: стоимость ремонтно-восстановительных работ для ряда агрегатов и систем достигла половины стоимости их производства! Особенно дорого обходилось обслуживание уникальной керамической теплозащиты. Наконец, отказ от крылатой первой ступени привел к тому, что для повторного использования твердотопливных ускорителей пришлось организовывать дорогостоящие поисково-спасательные операции.

Кроме того, шаттл мог работать только в пилотируемом режиме, что существенно удорожало каждую миссию. Кабина с астронавтами не отделяется от корабля, из-за чего на некоторых участках полета любая серьезная авария чревата катастрофой с гибелью экипажа и потерей челнока. Это случилось уже дважды — с «Челленджером» (28 января 1986 года) и «Колумбией» (1 февраля 2003 года). Последняя катастрофа изменила отношение к программе Space Shuttle: после 2010 года «челноки» будут выведены из эксплуата-

ции. На смену им придут «Орионы», внешне весьма напоминающие своего дедушку — корабль «Аполлон» — и обладающие многоразовой спасаемой капсулой экипажа.

ЧЕЛНОКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

С момента начала реализации программы Space Shuttle в мире неоднократно предпринимались попытки создания новых многоразовых кораблей. Проект «Гермес» начали разрабатывать во Франции в конце 1970-х годов, а потом продолжили в рамках Европейского космического агентства. Этот небольшой космический самолет, сильно напоминавший проект ДунаСоар (и разрабатываемый в России «Клипер»), должен был выводиться на орбиту одноразовой ракетой «Ариан-5», доставляя к орбитальной станции несколько человек экипажа и до трех тонн грузов. Несмотря на достаточно консервативную конструкцию, «Гермес» оказался Европе не по силам. В 1994 году проект, на который израсходовали около 2 миллиардов долларов, был закрыт.

Куда более фантастично выглядел проект беспилотного воздушно-космического самолета с горизонтальным взлетом и посадкой HOTOL (Horizontal Take-Off and Landing), предложенный в 1984 году фирмой British Aerospace. По замыслу, этот одноступенчатый крылатый аппарат предполагалось оснастить уникальной двигательной установкой, сжижаю-

щей в полете кислород из воздуха и использующей его в качестве окислителя. Горючим служил водород. Финансирование работ со стороны государства (три миллиона фунтов стерлингов) через три года прекратилось из-за необходимости огромных затрат на демонстрацию концепции необычного двигателя. Промежуточное положение между «революционным» HOTOL и консервативным «Гермесом» занимает проект воздушно-космической системы «Зенгер» (Sanger), разработанный в середине 1980-х годов в ФРГ. Первой ступенью в нем служил гиперзвуковой самолет-разгонщик с комбинированными турбопрямоточными двигателями. После достижения 4—5 скоростей звука с его спины стартовали либо пилотируемый воздушно-космический самолет «Хорус», либо одноразовая грузовая ступень «Каргус». Однако и этот проект не вышел из «бумажной» стадии, в основном по финансовым причинам.

Американский проект NASP был представлен президентом Рейганом в 1986 году как национальная программа воздушно-космического самолета. Этот одноступенчатый аппарат, который в прессе часто называли «Восточным экспрессом», имел фантастические летные характеристики. Их обеспечивали прямоточные воздушно-реактивные двигатели со сверхзвуковым горением, которые, по утверждениям специалистов, могли работать при числах Маха от 6 до 25. Однако проект столкнулся с техническими ►



HOTOL, Великобритания, 1984—1987. Одноступенчатая система с горизонтальными стартом и посадкой. Взлетная масса — 196—250 т, посадочная — 34—47 т, полезная нагрузка — 7—11 т. Беспилотный. В начале 1990-х, уже после закрытия проекта HOTOL, рассматривался упрощенный вариант проекта Interim HOTOL или HOTOL 2, стартующий с самолета-носителя Ан-225 «Мрия»

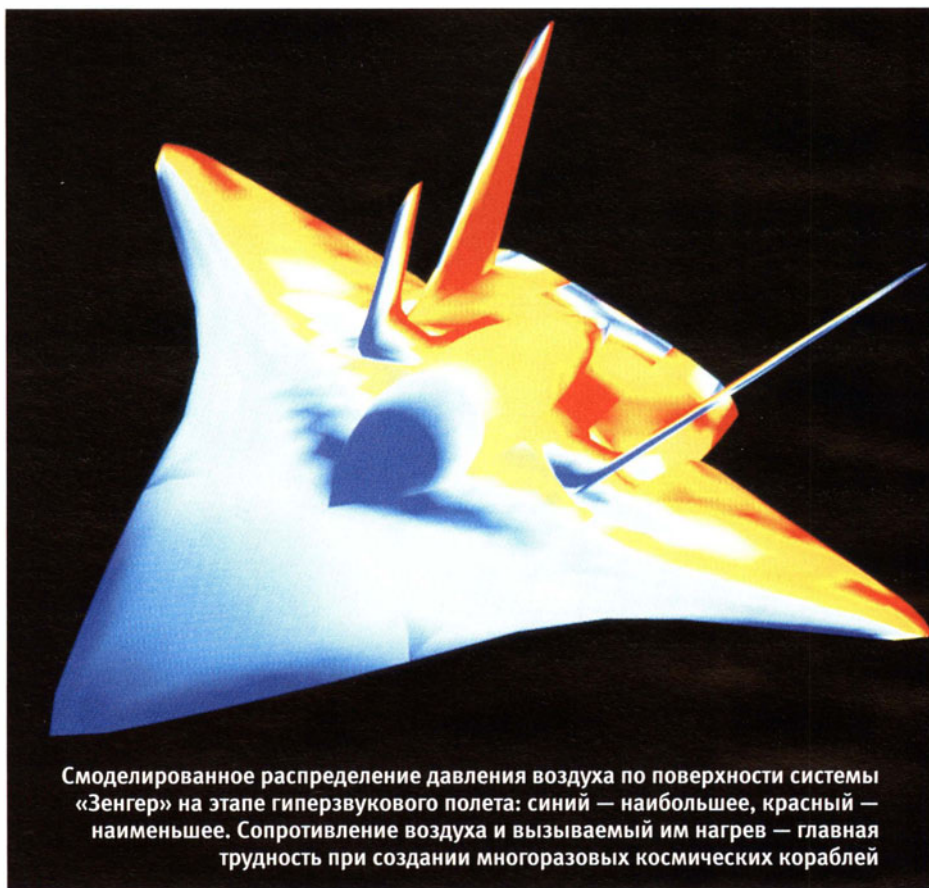
проблемами, и в начале 1990-х годов его закрыли.

Советский «Буран» подавался в отечественной (да и в зарубежной) печати как безусловный успех. Однако, совершив единственный беспилотный полет 15 ноября 1988 года, этот корабль канул в Лету. Справедливости ради надо сказать, что «Буран» оказался не менее совершенен, чем Space Shuttle. А в отношении безопасности и универсальности применения даже превосходил заокеанского конкурента. В отличие от американцев советские специалисты не питали иллюзий по поводу экономичности многоразовой системы — расчеты показывали, что одноразовая ракета эффективнее. Но при создании «Бурана» основным был иной аспект — советский челнок разрабатывался как военно-космическая система. С окончанием «холодной войны» этот аспект отошел на второй план, чего не скажешь про экономическую целесообразность. А с ней у «Бурана» было плохо: его пуск обходился, как одновременный старт пары сотен носителей «Союз». Судьба «Бурана» была решена.

ЗА И ПРОТИВ

Несмотря на то что новые программы разработки многоразовых кораблей появляются как грибы после дождя, до сих пор ни одна из них не принесла успеха. Ничем окончились упомянутые выше проекты Hermes (Франция, ЕКА), HOTOL (Великобритания) и Sanger (ФРГ). «Завис» между эпохами МАКС — советско-российская многоразовая авиационно-космическая система. Потерпели неудачу и программы NASP (Национальный аэрокосмический самолет) и RLV (Многоразовая ракета-носитель) — очередные попытки США создать МТКС второго поколения на замену Space Shuttle. В чем же причина такого незавидного постоянства?

По сравнению с одноразовой ракетой-носителем создание «классической» многоразовой транспортной системы обходится крайне дорого. Сами по себе технические проблемы многоразовых систем решаемы, но стоимость их решения очень велика. Повышение кратности использования требует порой весьма значительного увеличения массы, что ведет к повышению стоимости. Для компенсации роста массы берутся (а зачастую)

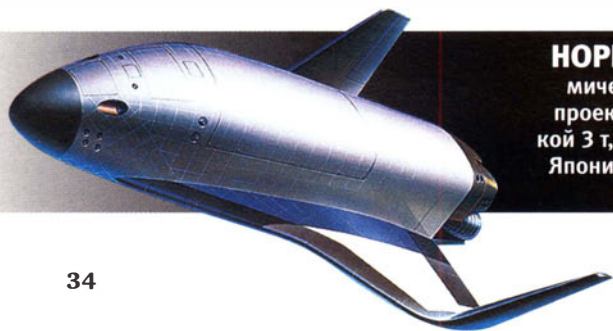


ГИПЕРЗВУКОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Наиболее перспективным типом двигательных установок для многоразовых воздушно-космических самолетов с горизонтальным взлетом некоторые специалисты считают гиперзвуковые прямоточные воздушно-реактивные двигатели (ГПВРД), или, как их чаще называют, прямоточные воздушно-реактивные двигатели со сверхзвуковым горением. Схема двигателя крайне проста — у него нет ни компрессора, ни турбины. Поток воздуха сжимается поверхностью аппарата, а также в специальном воздухозаборнике. Как правило, единственной подвижной частью двигателя является насос подачи горючего. Основная особенность ГПВРД в том, что при скоростях полета, в шесть и более раз превышающих скорость звука, поток воздуха не успевает затормозиться во впускном тракте до дозвуковой скорости, и горение должно происходить в сверхзвуковом потоке. А это представляет известные сложности — обычно топливо не успевает сгорать в таких условиях. Долгое время считалось, что единственное горючее, пригодное для ГПВРД — водород. Правда, в последнее время получены обнадеживающие результаты и с горючими типа керосинов.

Несмотря на то что гиперзвуковые двигатели исследуются с середины 1950-х годов, до сих пор не изготовлено ни одного полноразмерного летного образца: сложность расчетов газодинамических процессов при гиперзвуковых скоростях требует проведения дорогостоящих натурных летных экспериментов. Кроме того, нужны жаропрочные материалы, стойкие к окислению при больших скоростях, а также оптимизированная система топливоподдачи и охлаждения ГПВРД в полете.

Существенный недостаток гиперзвуковых двигателей — они не могут работать со старта, аппарат до сверхзвуковых скоростей надо разгонять другими, например, обычными турбореактивными двигателями. И, конечно, ГПВРД работает только в атмосфере, так что для выхода на орбиту понадобится ракетный двигатель. Необходимость ставить несколько двигателей на один аппарат значительно усложняет конструкцию воздушно-космического самолета.



HOPE, Япония, начало 1980-х — 2003. Планировался как четырехдвигательный космический самолет с вертикальным стартом на будущей ракете H-2. Но сначала проектировался уменьшенный беспилотный вариант HOPE-X с полезной нагрузкой 3 т, запускаемый более легкой ракетой H-2A. Он считался основным вкладом Японии в проект МКС. Работы были прекращены из-за реорганизации японской космической программы



МАКС, СССР/Россия, с 1985 года. Многоуровневая система с воздушным стартом, посадка горизонтальная. Взлетная масса — 620 т, вторая ступень (с топливным баком) — 275 т, орбитальный самолет — 27 т. Экипаж — 2 человека, полезная нагрузка — до 8 т. По утверждению разработчиков (НПО «Молния»), МАКС — наиболее близкий к реализации проект многоуровневой ракеты-носителя

изобретаются с нуля) сверхлегкие и сверхпрочные (и более дорогие) конструкционные и теплозащитные материалы, а также двигатели с уникальными параметрами. А применение многоуровневых систем в области малоизученных гиперзвуковых скоростей требует значительных затрат на аэродинамические исследования.

И все же это вовсе не значит, что многоуровневые системы в принципе не могут окупаться. Положение меняется при большом количестве пусков. Допустим, стоимость разработки системы составляет 10 миллиардов долларов. Тогда, при 10 полетах (без затрат на межполетное обслуживание), на один запуск будет отнесена стоимость разработки в 1 миллиард долларов, а при тысяче полетов — только 10 миллионов! Однако из-за общего сокращения «космической активности человечества» о таком числе пусков остается только мечтать... Значит, на многоуровневых системах можно поставить крест? Тут не все так однозначно.

Во-первых, не исключен рост «космической активности цивилизации». Определенные надежды дает

новый рынок космического туризма. Возможно, на первых порах окажутся востребованными корабли малой и средней размерности «комбинированного» типа (многоуровневые версии «классических» одноразовых), такие как европейский Hermes или, что нам ближе, российский «Клипер». Они относительно просты, могут выводиться в космос обычными (в том числе, возможно, уже имеющимися) одноразовыми ракетами-носителями. Да, такая схема не сокращает затраты на доставку грузов в космос, но позволяет сократить расходы на миссию в целом (в том числе снять с промышленности бремя серийного производства кораблей). К тому же крылатые аппараты позволяют резко уменьшить перегрузки, действующие на космонавтов при спуске, что является несомненным достоинством.

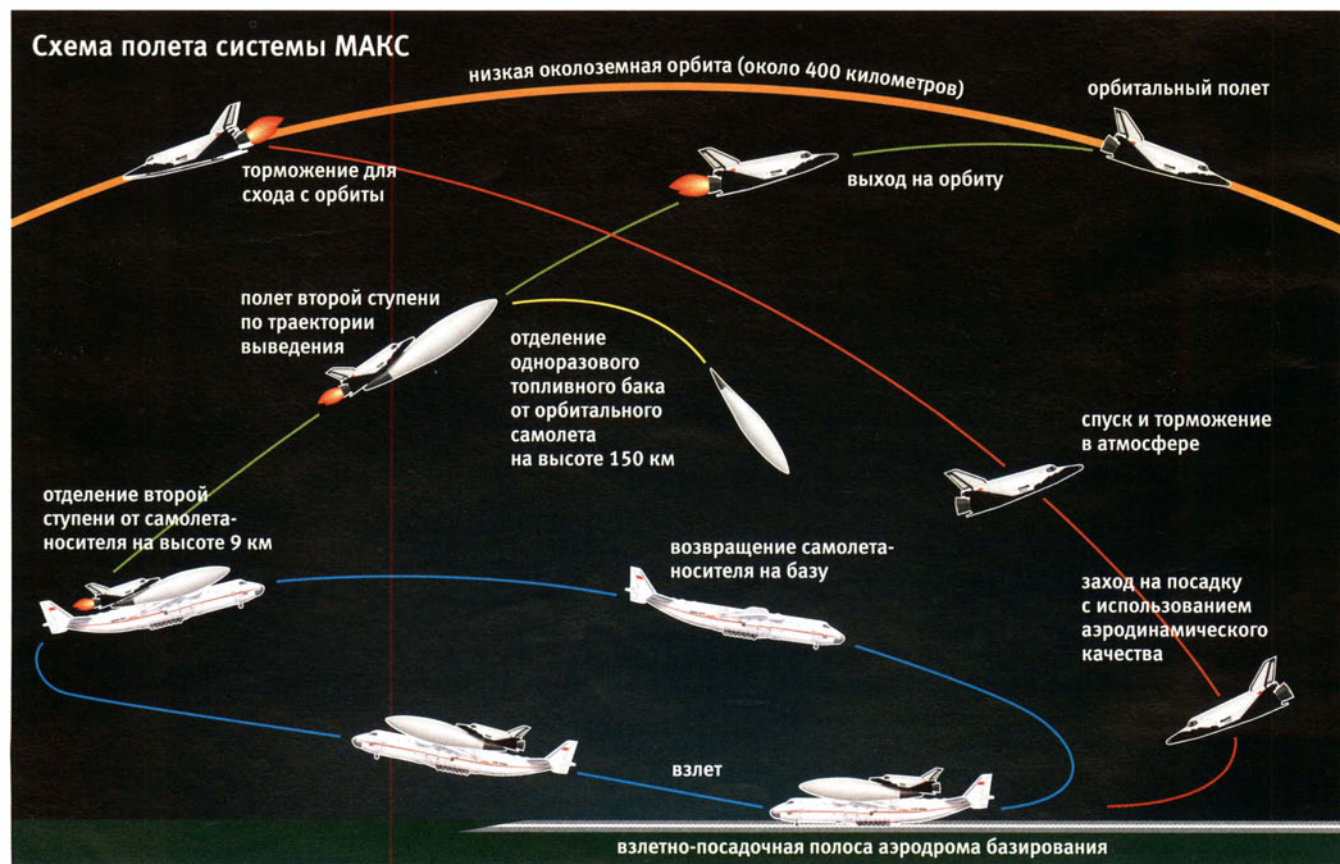
Во-вторых, что особенно важно для России, применение многоуровневых крылатых ступеней позволяет снять ограничения на азимут пуска и сократить затраты на зоны отчужде-

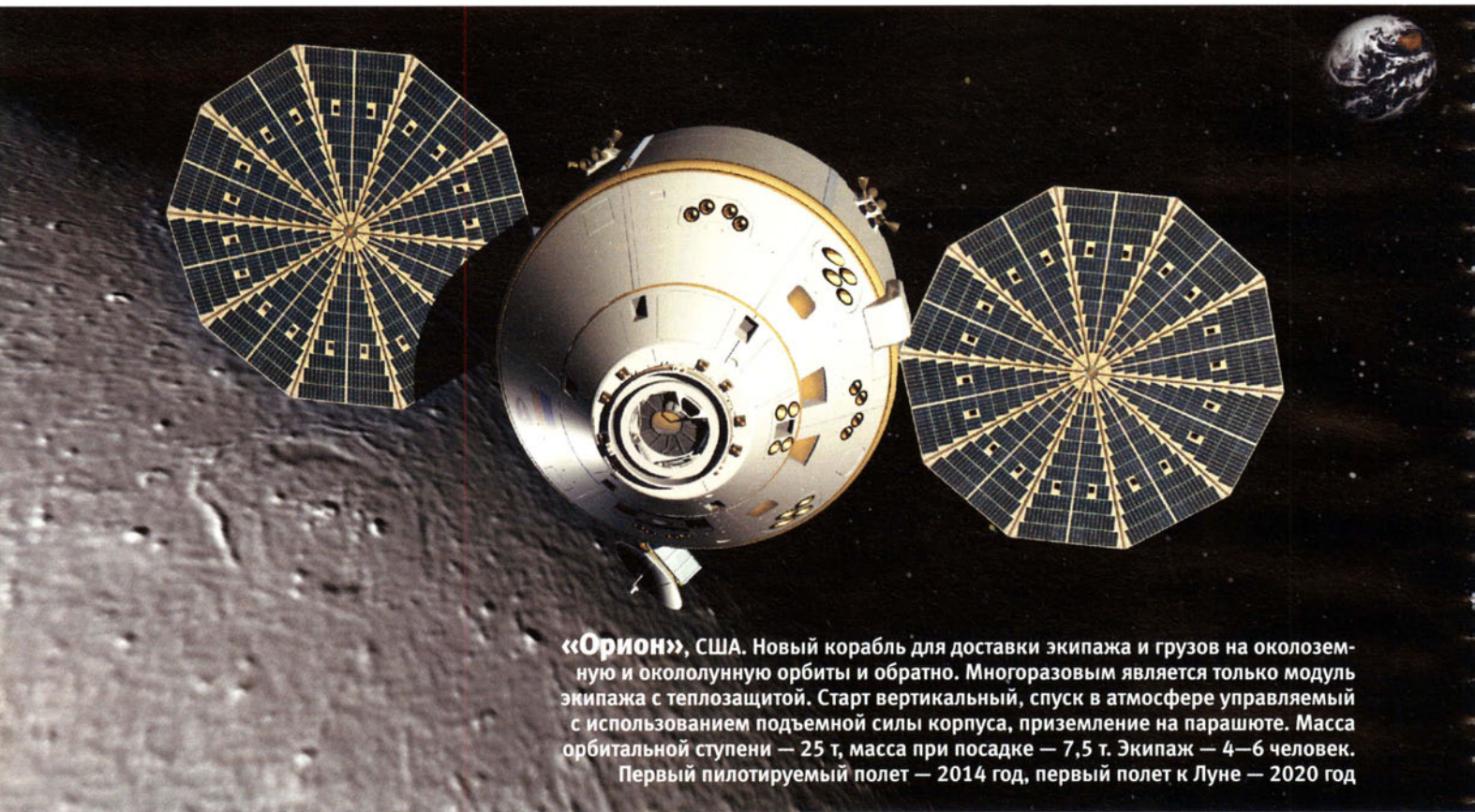
ния, выделяемые под поля падения фрагментов ракет-носителей.

МНОГОГРАННАЯ МНОГОКРАТНОСТЬ

Варианты конструктивной реализации многоуровневых систем весьма разнообразны. При их обсуждении не стоит ограничиваться только кораблями, надо сказать и о многоуровневых носителях — грузовых многоуровневых транспортных космических системах (МТКС). Очевидно, что для снижения стоимости разработки МТКС надо создавать беспилотными и не перегружать их избыточными, как у шаттла, функциями. Это позволит существенно упростить и облегчить конструкцию.

С точки зрения простоты эксплуатации наиболее привлекательны одноступенчатые системы: теоретически они значительно надежнее многоступенчатых, не требуют никаких зон отчуждения (например, проект VentureStar, создававшийся в США по программе RLV в середине 1990-х годов). Но их реализация находится «на грани возможного»: для создания▶





«Орион», США. Новый корабль для доставки экипажа и грузов на околоземную и окололунную орбиты и обратно. Многоразовым является только модуль экипажа с теплозащитой. Старт вертикальный, спуск в атмосфере управляемый с использованием подъемной силы корпуса, приземление на парашюте. Масса орбитальной ступени — 25 т, масса при посадке — 7,5 т. Экипаж — 4–6 человек. Первый пилотируемый полет — 2014 год, первый полет к Луне — 2020 год

таковых требуется снизить относительную массу конструкции не менее чем на треть по сравнению с современными системами. Впрочем, и двухступенчатые многоразовые системы могут обладать вполне приемлемыми эксплуатационными характеристиками, если использовать крылатые первые ступени, возвращаемые к месту старта по-самолетному.

Вообще МТКС в первом приближении можно классифицировать по способам старта и посадки: горизонтальному и вертикальному. Часто думают, что системы с горизонтальным стартом имеют преимущество, поскольку не требуют сложных пусковых сооружений. Однако современные аэродромы не способны принимать аппараты массой более 600–700 тонн, и это существенно ограничивает возможности систем с горизонтальным стартом. Кроме того, трудно представить себе космическую систему, заправленную сотнями тонн криогенных компонентов топлива, среди гражданских авиалайнеров, взлетающих и садящихся на аэродром по расписанию. А если учесть требования к уровню шума, то становится очевидным, что для носителей с горизонтальным стартом все равно придется строить отдельные высококлассные аэродромы. Так что у горизонтального взлета здесь существенных преимуществ перед вертикальным стартом нет. Зато, взлетая и садясь вертикально, можно отказаться

от крыльев, что существенно облегчает и удешевляет конструкцию, но вместе с тем затрудняет точный заход на посадку и ведет к росту перегрузок при спуске.

В качестве двигательных установок МТКС рассматриваются как традиционные жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), так и различные варианты и комбинации воздушно-реактивных (ВРД). Среди последних есть турбопрямоточные, которые могут разогнать аппарат «с места» до скорости, соответствующей числу Маха 3,5–4,0, прямоточные с дюзковым горением (работают от $M=1$ до $M=6$), прямоточные со сверхзвуковым горением (от $M=6$ до $M=15$, а по оптимистичным оценкам американских ученых, даже до $M=24$) и ракетно-прямоточные, способные функционировать во всем диапазоне скоростей полета — от нулевых до орбитальных.

Воздушно-реактивные двигатели на порядок экономичнее ракетных (из-за отсутствия окислителя на борту аппарата), но при этом имеют и на порядок большую удельную массу, а также весьма серьезные ограничения на скорость и высоту полета. Для рационального использования ВРД требуется совершать полет при больших скоростных напорах, защищая при этом конструкцию от аэродинамических нагрузок и перегрева. То есть, экономя топливо — самую дешевую компоненту системы, —

ВРД увеличивают массу конструкции, которая обходится гораздо дороже. Тем не менее ВРД, вероятно, найдут применение в относительно небольших многоразовых аппаратах горизонтального старта.

Наиболее реалистичными, то есть простыми и относительно дешевыми в разработке, пожалуй, являются два вида систем. Первый — типа уже упомянутого «Клипера», в которых принципиально новым оказался только пилотируемый крылатый многоразовый аппарат (или большая его часть). Небольшие размеры хоть и создают определенные трудности в части теплозащиты, зато уменьшают затраты на разработку. Технические проблемы для таких аппаратов практически решены. Так что «Клипер» — это шаг в правильном направлении.

Второй — системы вертикального пуска с двумя крылатыми ракетными ступенями, которые могут самостоятельно вернуться к месту старта. Особых технических проблем при их создании не ожидается, да и подходящий стартовый комплекс можно, наверное, подобрать из числа уже построенных.

Подводя итог, можно полагать, что будущее многоразовых космических систем безоблачным не будет. Им придется отстаивать право на существование в суровой борьбе с примитивными, но надежными и дешевыми одноразовыми ракетами. ●