УДК 629.78

Афанасьев В.А., Дегтярёв Г.Л., Мещанов А.С.

КОМПОНОВКИ МНОГОРАЗОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ТРАНСФОРМИРУЮЩИМИСЯ ПОДСИСТЕМАМИ

Введение

Предлагаются конструктивно-компоновочные схемы (ККС) новых многоразовых космических транспортных систем (МКТС). Многократность применения каждой из трёх подсистем основана на принципе трансформации их ККС в полёте [1].

Воздушно-космический трансформирующийся аппарат (ВКТА)

В исходной стартовой и посадочной компоновке ВКТА представляет собой пакетное соединение по боковым поверхностям двух одинаковых одноступенчатых ракет с жидко-топливными маршевыми ракетными двигателями – МРД (рис. 1). МРД предназначены для создания только осевых сил тяги. Полезная нагрузка (ПН) размещается в соответствующих отсеках (рис. 1).

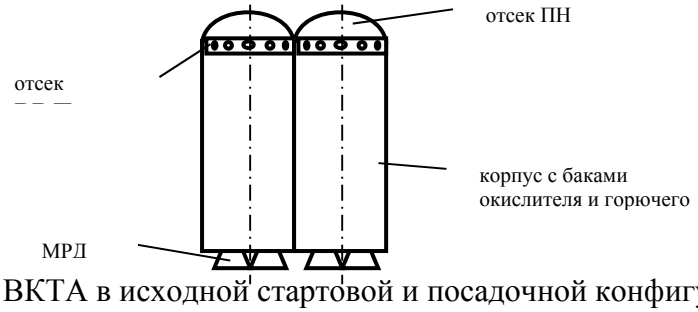


Рис. 1. ВКТА в исходной стартовой и посадочной конфигурации

Управление угловыми движениями ВКТА осуществляется с помощью рулевых ракетных двигателей (РРД), неподвижно установленных в специальном отсеке (рис.1) перед отсеком ПН. Сопла РРД выходят на поверхность корпуса и расположены так, чтобы при включении создавать угловые ускорения по каналам тангажа, рыскания и крена. В такой же пакетной компоновке ВКТА после выхода на орбиту выполняет необходимые манёвры для сближения и стыковки с космической станцией. Трансформация ВКТА происходит при входе в атмосферу за счёт освобождения шарнирного соединения ракет и разворачивания обеих ракет друг относительно друга с помощью сил тяги РРД до образования осесимметричной компоновки (рис. 2).

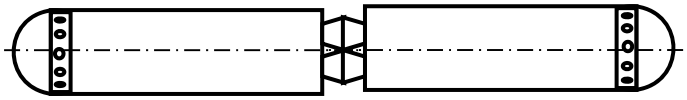


Рис. 2. ВКТА в трансформированной одноосной компоновке при спуске в атмосфере

Одноосная аэродинамическая конфигурация автоматически обеспечивает ориентацию продольной оси перпендикулярно вектору скорости, за счёт чего образуется

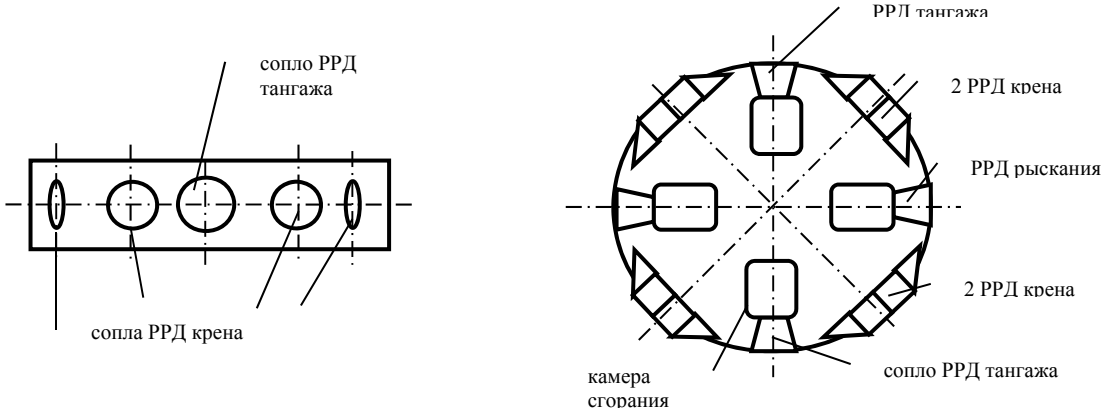
весьма значительное аэродинамическое сопротивление в атмосфере без дополнительных приспособлений и затрат топлива. При спуске и торможении в атмосфере корпус ВКТА подвергается интенсивному нагреву. Чтобы сохранить прочность корпуса и защитить внутреннюю аппаратуру от перегрева, поверхность корпусов обеих ракет ВКТА покрывается теплозащитным материалом. Образование на поверхности критических точек и масса теплозащитного материала минимизируются вращательным движением ВКТА вокруг продольной оси с помощью РРД с определённой угловой скоростью, позволяющей равномерно распределить тепло по всей поверхности. Торцевые шпангоуты, по которым происходит стыковка и соединение ракет в одноосной компоновке, закрывают сопла МРД от нагрева потоком при полёте ВКТА в одноосной компоновке (на рис.1,2 не показаны). Когда центр масс ВКТА в осесимметричной компоновке не совпадает с геометрическим центром (при специальной укладке грузов), продольная ось ВКТА ориентируется не строго перпендикулярно вектору скорости, а под некоторым углом. Пропорционально этой угловой разности возникает составляющая полной аэродинамической силы, перпендикулярная вектору скорости. Для управления полётом в атмосфере ВКТА в одноосной конфигурации используются РРД обеих ракет. РРД канала крена создают угловую скорость и обеспечивают её регулирование. РРД каналов тангажа и рыскания, включаясь в определённые моменты, создают моменты сил, в результате которых под действием подъёмной силы образуется прецессионное движение, используемое для управления поступательными движениями в атмосферном полёте [2]. При достаточно продолжительном спуске в атмосфере ВКТА может удалиться в поперечном направлении на расстояние 100 – 200 км для посадки в заданном районе [2]. Сила лобового сопротивления практически не уменьшается и в результате интенсивного торможения ВКТА в одноосной конфигурации входит в отвесное падение с высоты 10–15 км. В этот момент ВКТА претерпевает обратную трансформацию в пакетную компоновку для мягкого вертикального приземления.

Вторая ступень. Вторая ступень предназначена для разгона МКТС после отделения первой ступени. ККС практически ничем не отличается от ККС ВКТА, за исключением отсека ПН, который на каждой ракете заменён на головной обтекатель. Для оптимизации рабочих характеристик МРД второй ступени сопла делаются удлинёнными.

Первая ступень. Первая ступень, как и вторая, также состоит из двух ракет, трансформирующихся из стартовой пакетной компоновки в одноосную при спуске в атмосфере и затем после атмосферного торможения трансформирующихся обратно в пакетную компоновку для вертикального приземления. Для технологичности производства обе ракеты в каждой из подсистем имеют одинаковый диаметр. Поскольку спасение каждой подсистемы осуществляется этими же МРД, то для вертикального

приземления первой ступени используется меньшее их число, чем при старте. У второй ступени и ВКТА используются все установленные на них МРД.

Рулевые ракетные двигатели и управление полётом. Для управления полётом при разгоне МКТС с помощью МРД первой и второй ступеней используются РРД, установленные в специальном отсеке, расположенном в верхней части каждой из двух ракет в каждой из трёх систем МКТС (рис.3 а,б).



а) вид на отсек РРД спереди б) поперечное сечение отсека РРД

Рис. 3. Отсек рулевых ракетных двигателей

Для управления по тангажу и рысканию используются по два одинаковых РРД, сопла которых расположены диаметрально противоположно и выходят наружу заподлицо с поверхностью корпуса (рис. 3, б)). Для управления по крену используются спаренные РРД, создающие силы тяги противоположных направлений. На рис. 3, б показаны четыре пары РРД крена, установленные таким образом, чтобы сила тяги каждого двигателя образовывала момент вокруг продольной оси. Четыре двигателя создают момент крена одного направления и четыре двигателя – другого направления.

Поскольку каждая подсистема МКТС состоит из двух ракет, то при полёте подсистемы в исходной пакетной компоновке сила тяги по тангажу удваивается, а для тяги по рысканию используется РРД одной ракеты в одном направлении и другой ракеты в противоположном направлении. Кроме того, двигатели тангажа могут использоваться для управления по крену в дополнение к специально предназначенным для этого спаренным РРД крена [3]. При полёте в атмосфере в одноосной компоновке для управления по тангажу и рыскания образуется момент от двух РРД тангажа (одной и второй ракет). Для управления по крену можно использовать восемь РРД крена в одном направлении и столько же в другом направлении.

Стартовые компоновки МКТС

Старт МКТС может осуществляться в нескольких компоновках из трёх подсистем (первая ступень, вторая ступень, ВКТА). Первая показана на рис. 4. Вид снизу на пакетную стартовую компоновку МКТС показан на рис. 5.

На рис. 6 показана пакетная стартовая компоновка МКТС, в которой ВКТА расположен между первой и второй ступенями, когда плоскости, содержащие продольные оси в каждой подсистеме, параллельны друг другу. Вид снизу на такую компоновку практически совпадает с видом на рис. 5, если поменять местами вторую ступень с ВКТА. Преимущество такой компоновки (рис. 6) состоит в меньшей величине момента от сил сопротивления, создаваемых первой ступенью и второй ступенью совместно с ВКТА при атмосферном разгонном полёте, который должны парировать маршевые двигатели первой ступени при вертикальном разгоне (рис. 5). С другой стороны, этот же момент от сил сопротивления первой ступени и второй ступени совместно с ВКТА (на плечах, определяемых из суммы моментов, приравниваемой нулю) следует использовать для разворота по программному углу тангажа с преодолением сил сопротивления обеих ступеней и ВКТА.

На рис. 7 показана «двутавровая» стартовая компоновка МКТС, когда ВКТА расположен между первой и второй ступенями и развёрнут на 90º по сравнению с компоновкой, показанной на рис. 6. Здесь плоскость, проходящая через продольные оси ВКТА, перпендикулярна плоскостям, проходящим через продольные оси ракет первой и второй ступеней. Преимущество такой стартовой компоновки состоит, (при одинаковом числе образующих соприкосновения поверхностей ВКТА и ступеней, равном пяти), в возможности использования практически всех РРД обеих ракет ВКТА для управления полётом МКТС. Вид снизу на «двутавровую» стартовую компоновку показан на рис. 8. Сравнение рис. 5 и рис. 8 показывает, что «двутавровая» компоновка имеет меньший объём просветов между подсистемами, которые могут искажать аэродинамические характеристики МКТС и усложнять процесс её управления.

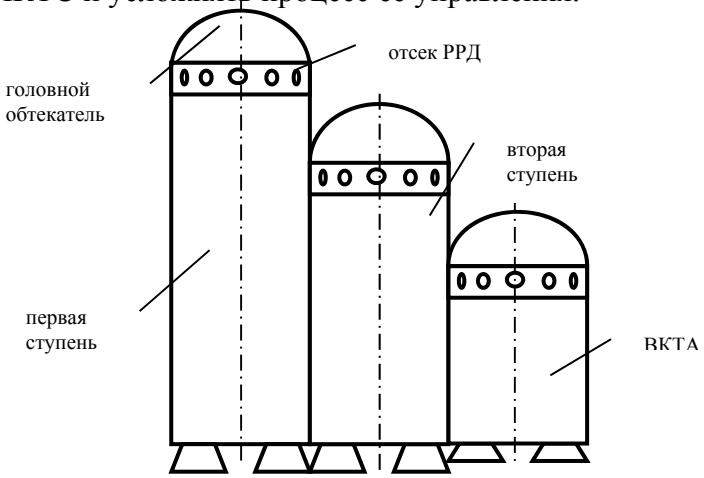


Рис. 4. Пакетная стартовая компоновка МКТС

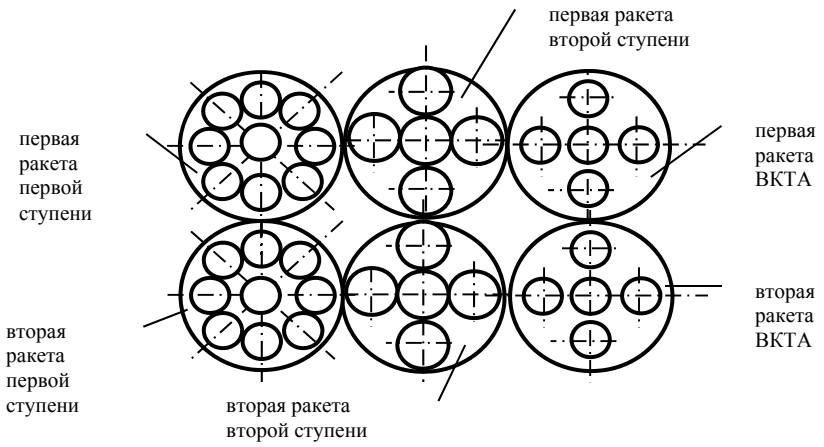


Рис. 5. Вид снизу на пакетную стартовую компоновку МКТС

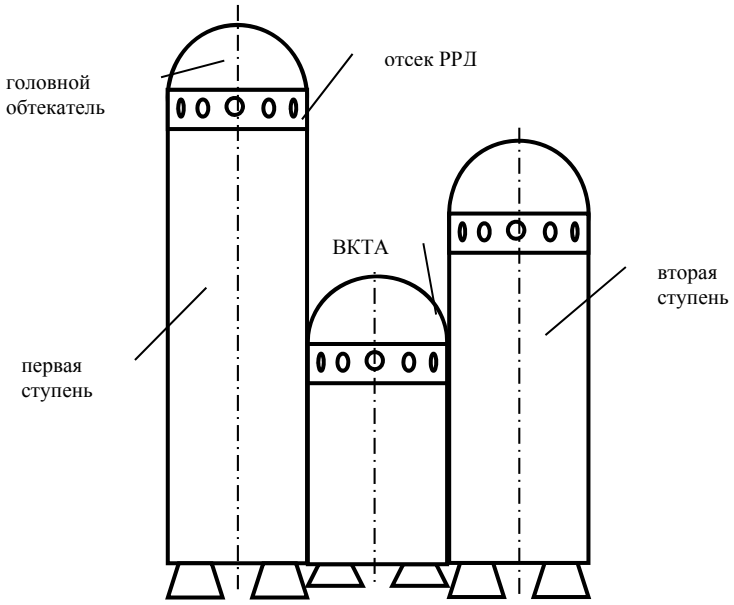


Рис. 6. Стартовая компоновка МКТС с ВКТА посередине

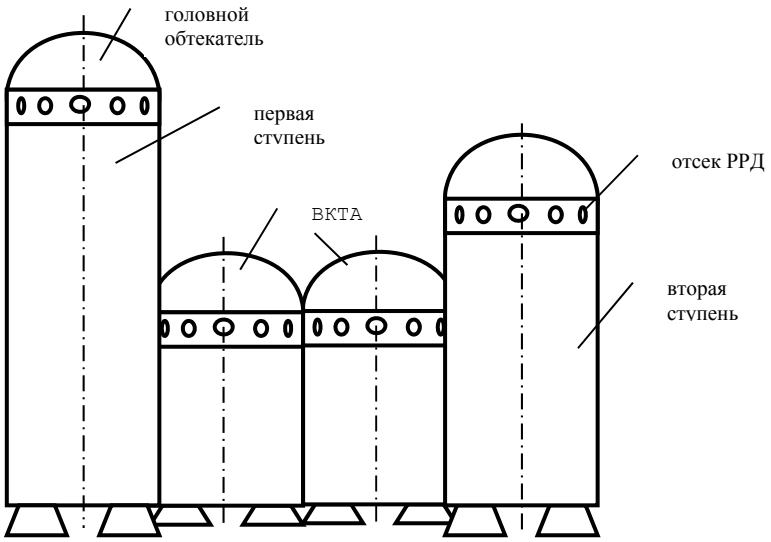


Рис. 7. «Двутавровая» стартовая компоновка МКТС

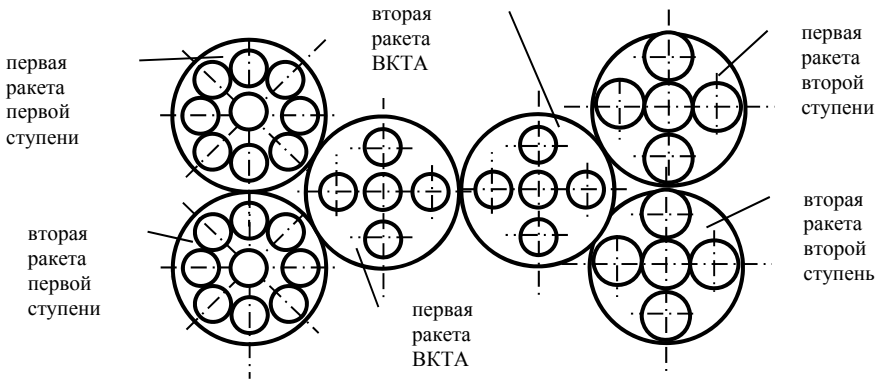


Рис. 8. Вид снизу на «двутавровую» стартовую компоновку МКТС

Заключение

Предложенная пакетная конфигурация МКТС обладает следующими достоинствами: существенно уменьшается высота МКТС, что облегчает её предстартовую подготовку; усиливается конструкция МКТС, что позволяет увеличить массу грузов, доставляемых на орбиту и возвращаемых на землю; заменяется первая и вторая ступени в зависимости от большей или меньшей массы ВКТА; можно использовать одну ракету под хранение горючего, а другую для хранения окислителя, что упрощает подготовку МКТС к старту.

Публикация осуществлена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 15-48-02101.

Библиографический список

1. Патент № 2202500, МПК 7B64G 1/62, 1/14; F42B 15/10. Способ спасения ракет-носителей многоразового применения и устройство для его осуществления / В.А. Афанасьев, В.С. Борзов, В.А. Данилкин, Г.Л. Дегтярёв, В.Г. Дегтярь, А.Ф. Марусик, А.С. Мещанов, Т.К. Сиразетдинов, Г.Г. Сытый, Ю.С. Телицын // Б.И. – 2003. – № 11.

2. Афанасьев В.А., Дегтярев Г.Л., Мещанов А.С., Сиразетдинов Т.К. К математическому описанию движения многоразовых спускаемых летательных аппаратов нетрадиционных аэродинамических компоновок // Изв. вузов. Авиационная техника. – 2001. – № 3. – С.10-14.

3. Афанасьев В.А., Дегтярёв Г.Л., Мещанов А.С. Энергосберегающая космическая транспортная система. Труды XV Международного симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение». Сборник докладов. г. Казань, 1–3 апреля 2015 г. С.345–348.