

МНОГОРАЗОВЫЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И СИСТЕМЫ – ОСОБЕННОСТИ ПОЛЁТА И РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ

Э.Н. Дудар

Российская инженерная академия,
ОАО «НПО «Молния»

REUSABLE AEROSPACE FLYING VEHICLES AND SYSTEMS – PECULIARITIES OF FLIGHT AND MISSIONS

E.N. Dudar

Обсуждаются проблемы преемственности в аэрокосмической отрасли, наиболее яркие достижения программы создания многоразового орбитального корабля «Буран», которые во многом базировались на результатах проектов «Спираль» и «Бор». Рассматриваются перспективы дальнейшего использования накопленного опыта при создании перспективных авиационно-космических и ракетно-космических транспортных систем, крылатых космических кораблей нового поколения и суборбитальных космических аппаратов.

Ключевые слова: орбитальный самолёт, самолёт-носитель, ракетный двигатель, ракетный ускоритель, тепловая защита, автоматическая посадка.

The problems of continuity in Russian aerospace industry are discussed as well as the most remarkable achievements of BURAN reusable spaceship creation that were based on the results of SPIRAL and BOR programs. This experience is a technological base for the further development of aerospace activity in the field of aerospace and space-rocket launching systems, reusable winged rocket boosters, winged spaceships of new generation and suborbital space vehicles.

Keywords: winged orbiter, carrier-plane, rocket engine, rocket booster, thermal protection, automatic landing.

ТИПЫ МНОГОРАЗОВЫХ КРЫЛАТЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

К многоразовым крылатым аэрокосмическим летательным аппаратам можно отнести [1, 2]:

- крылатые космические корабли (орбитальные самолеты – ОС) в составе вертикально стартующих ракетно-космических или горизонтально стартующих авиационно-космических транспортных систем;
- суборбитальные космические аппараты (для космического туризма и других задач);
- крылатые ракетные ускорители [1];
- одноступенчатые носители, в том числе с прямоточными воздушно-реактивными двигателями (ПВРД или ГПВРД).

КРЫЛАТЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ КОРАБЛИ МНОГОРАЗОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В дни, когда отмечается 50-летие первого полета человека в космос, уместно напомнить, что крылатый многоразовый корабль был темой дипломной работы Юрия Алексеевича Гагарина в Военно-воздушной академии им. проф. Н.Е. Жуковского (рис. 1). Задачи, решаемые многоразовыми крылатыми космическими кораблями:

- доставка экипажей и грузов на орбиту;
- обслуживание космической станции;
- возврат экипажей и грузов с орбиты на землю;
- инспекция и ремонт орбитальных объектов;
- наблюдение, дистанционное зондирование земли;

- подготовка межпланетных экспедиций;
 - обслуживание орбитальных производств;
 - специальные задачи.
- Основные особенности их применения:
- пологий аэродинамический спуск;
 - низкие перегрузки и более высокий уровень комфорта по сравнению с кораблями капсульной конфигурации;
 - точная посадка самолетного типа – как на основной, так и на запасные аэродромы;
 - минимизация числа витков ожидания на орбите.

Первые экспериментальные образцы орбитального самолета аэродинамической схемы «несущий корпус» [8] были построены в США еще в начале 60-х (рис. 2). Отечественные разработки крылатых аэрокосмических аппаратов и систем связаны с именем Глеба Евгеньевича Лозино-Лозинского (рис. 3), главного конструктора орбитальных самолетов («Спираль» [8], «Буран» [4]) и авиационно-космических систем (МАКС). Большое значение для развития направления «крылатый» космос имели летные исследования экспериментальных космических аппаратов серии «Бор» (рис. 4). По массе они примерно соответствуют американскому беспилотному аппарату X-37В (рис. 5).

К важнейшим обобщенным параметрам, влияющим на облик орбитального самолета, относятся параметр планирования $\sigma_y = C_y / (G/S)$ – отношение коэффициента подъемной силы на полетном угле атаки к удельной нагрузке на крыло в плане – и



Рис. 1. Ю.А. Гагарин и крылатый космический корабль будущего



Рис. 3. Г.Е. Лозино-Лозинский

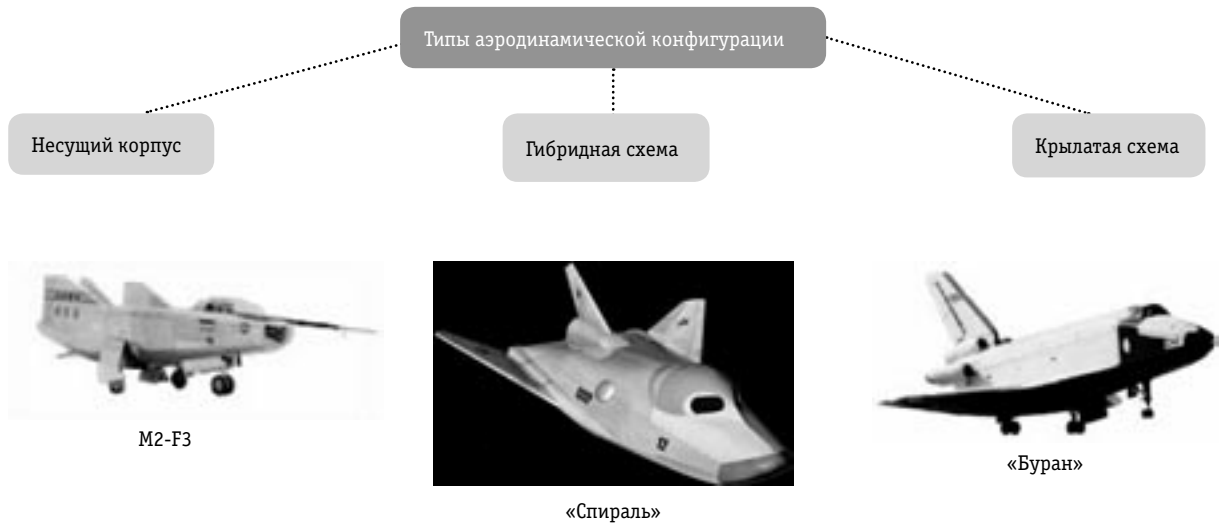


Рис. 2. Основные типы аэродинамической конфигурации многоразового крылатого космического корабля



Рис. 4. Экспериментальные космические аппараты «Бор-4» и «Бор-5»



Рис. 5. Беспилотный космический аппарат X-37B

аэродинамическое качество $K = C_y / C_x$. Они влияют на: уровень температур T (рис. 6); боковую дальность спуска $Z \sim K^2$, наклон посадочной глиссады $\theta \approx \arctg(1/K)$; посадочную скорость $V_{\text{пос}} \sim \sqrt{2 / (\rho \sigma_y)}$, где ρ – плотность атмосферы.

Допустимые температуры зависят от применяемых материалов. В разработке материалов для «Бурана» (рис. 7) участвовала большая кооперация: ВИАМ, ВИЛС, НИИ «Графит», НПО «Композит» и другие, – разработавшая новые металлические и композитные материалы, например, ГРАВИМОЛ (Графит + ВИАМ + Молния), материалы для плотной и гибкой теплозащиты, новые конструкции и технологические процессы. Конструкция носков крыла «Бурана» с дополнительной внутренней теплоизоляцией позволяет спасти корабль даже в ситуации, которая произошла с челноком «Колумбия» [7]. Одна из важнейших наукоемких задач при создании орбитального самолета – система управления, которая обеспечивает: полет по изотемпературным траекториям, соответствующим материалам и конструкции теплозащиты; приведение в район аэродрома; предпосадочное маневрирование и горизонтальную посадку [4]. Принципиальная особенность бездвигательной посадки – использование воздушного тормоза для управления скоростью.

Адаптивность алгоритмов автоматического управления позволила «Бурану» справиться с экстремальной ситуацией – при сильном ветре был реализован отворот на дальний цилиндр выверки курса (ЦВК), что позволило рассеять избыточную энергию и войти в заданную трубку кинематических параметров (рис. 8). Важную роль в отработке автоматической посадки сыграли пилотажный стенды (включая полноразмерный стенд оборудования), летающие лаборатории и аналог БТС-002, на котором отряд летчиков-испытателей во главе с И.П. Волком выполнил программу горизонтальных летных испытаний (рис. 9). В системе управления был заложен алгоритм спасения корабля и экипажа при нештатной ситуации в любой точке траектории выведения. В этом случае «Буран» экстренно

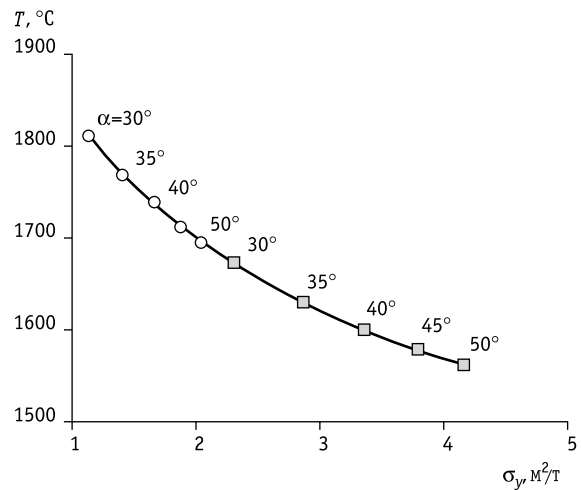


Рис. 6. Влияние параметра планирования на температуру аэродинамического нагрева: конфигурация ОС МАКС в размерности □ – 100%; ○ – 70%; σ – угол атаки



Рис. 7. Конструкция орбитального корабля «Буран»

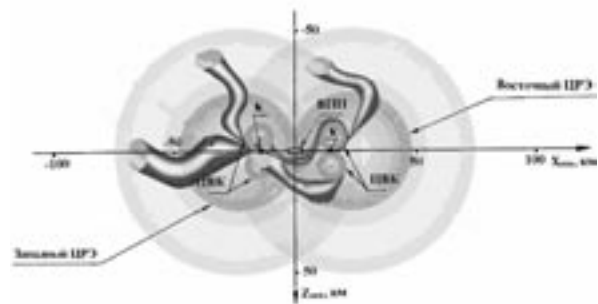


Рис. 8. Статистические трубки траекторий предпосадочного маневрирования «Бурана»

отделяется от ракеты-носителя, выполняет маневр возврата к Байконуру или спускается по неравновесной траектории на один из запасных аэродромов, расположенных вблизи трассы выведения. При аварии в конце выведения предусматривался одновитковый возврат. Даже в ситуации, которая случилась с «Челленджером», у «Бурана» были бы шансы на спасение [2].

Успешный пуск 15 ноября 1988 года системы «Энергия-Буран», космический полет и автомати-



И. Волк



Р. Станкявичус



А. Бородай



А. Левченко



А. Щукин



И. Бачурин

Рис. 9. Летчики-испытатели «Бурана»

ческая посадка крылатого космического корабля в Байконуре подвели итог многолетней напряженной работы. Это был выдающийся успех многих коллективов [4]. Точность автоматической посадки была высокой: отклонение точки касания от осевой линии составило всего 6,6 м при допуске ± 38 м (рис. 10).

АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Независимо от типа старта, наличие многообразных крылатых элементов влияет на характер движения ракетно-космических и авиационно-космических комплексов на всех участках полета – старт, выведение, возврат спасаемых ускорителей и возврат с орбиты. Авиационно-космические системы (АКС – рис. 11) благодаря подвижности воздушного старта, мобильности базирования и авиационным принципам эксплуатации в ряде задач могут иметь преимущества по сравнению с вертикально стартующими ракетно-космическими системами (РКС) [5]. Кроме того, самолет-носитель (СН), выполняя предстартовый маневр, создает благоприятный для запуска второй ступени угол наклона траектории около 40° (рис. 12).

При наклонном воздушном старте обеспечивается оптимальный баланс аэродинамических и гравитационных потерь. Общий вклад СН в энергетику выведения оценивается выигрышем по идеальной скорости примерно в 600...650 м/с, тогда как при пуске космической ступени собственная скорость такого СН, как Ан-225, – 180 м/с.

В проекте МАКС, финансирование которого остановлено, уже реализован ряд прогрессивных

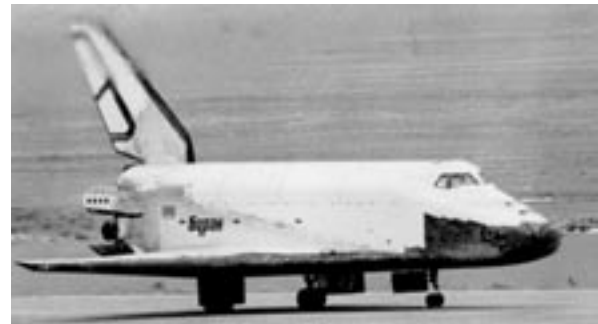


Рис. 10. Пробег «Бурана» по ВПП при посадке после космического полета

решений: самолет Ан-225; трехкомпонентный двигатель (огневые испытания экспериментального образца проведены в НПО «Энергомаш»); конструкция орбитального самолета – он по массе в 4 раза легче «Бурана» или «Шаттла», и такая размерность оптимальна в большинстве задач, включая пилотируемые [2, 4, 5].

Сейчас в эксплуатации только одна АКС – американская система «Пегас» (рис. 13), обеспечивающая воздушный старт с внешней подвески одно-разовой ракеты-носителя легкого класса (РНЛК) с массой выводимого полезного груза на низкой орбите до одной тонны.

Из отечественных АКС подобного типа наиболее близок к реализации проект «Воздушный старт». РНЛК «Полет» для воздушного старта с Ан-124 разрабатывает Центр Макеева (рис. 14).

Сравнительный анализ различных типов старта РНЛК, проведенный ранее «Молнией» совместно с Центром Хруничева, показал, что, несмотря на



Рис. 11. Многоцелевая авиационно-космическая система (МАКС): СН – Ан-225

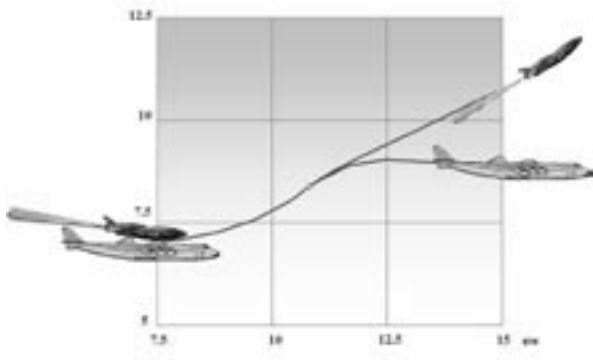


Рис. 12. Предстартовый маневр СН и отделение 2-й ступени АКС

снижение аэродинамического качества комплекса, старт с внешней подвески проще по технической реализации и безопаснее в полете (рис. 15).

СУБОРБИТАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Для воздушного старта наиболее удобно размещение космической ступени на нижней подвеске, тогда пуск проходит без энергетических потерь. Под руководством Лозино-Лозинского был разработан проект двухфюзеляжного носителя схемы триплан грузоподъемностью до 400 тонн (рис. 16). Нижняя подвеска сейчас реализована в двухфюзеляжном СН суборбитальной системы Spaceship Two, предназначенной для оказания услуг по космическому туризму. Суборбитальные транспортные системы (СТС) – направление, которое стало стремительно развиваться после 2004 года, когда в конкурсе X-Prize, победил проект Spaceship One американского конструктора Берта Рутана.

Компания Virgin Galactic в 2012 г. намерена начать эксплуатацию коммерческого варианта суборбитальной туристической системы (рис. 17).

ЭМЗ им. Мясищева и НПО «Молния» в 2008 г. разработали технико-экономическое обоснование туристической СТС на базе самолёта ЗМ-Т.

В 2009 году в НПО «Молния» проработан также предварительный облик одноступенчатого

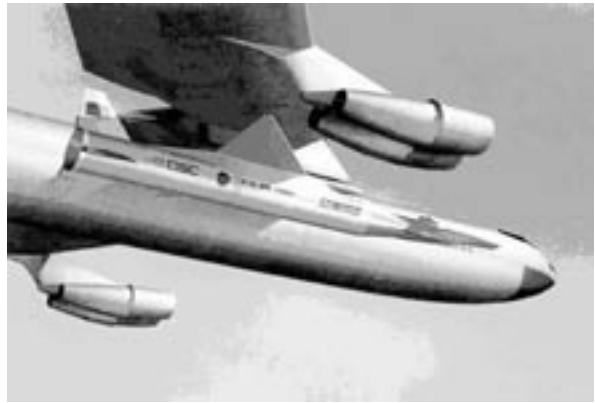


Рис. 13. Авиационно-космическая система «Пегас»: СН – В-52G



Рис. 14. АКС «Воздушный старт»

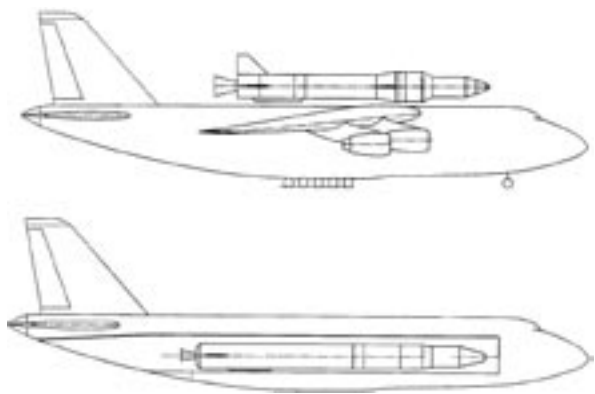


Рис. 15. Варианты размещения РНЛК на самолете-носителе Ан-124

суборбитального самолета (рис. 18), который может стать альтернативой европейскому проекту фирмы Astrium. Принципиальная особенность такого суборбитального самолета, имеющего, помимо ЖРД и авиационные двигатели для взлета, возможность вернуться на аэродром в нештатной ситуации из любой точки траектории полета. Помимо космического туризма суборбитальные транспортные системы могут иметь и другие применения [3, 6].



Рис. 16. Проект двухфюзеляжного самолета-носителя «Геракл» схемы триплан



Рис. 17. Суборбитальная система SpaceShip Two

Проект СТС вертикального старта разрабатывается в МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством профессора С.В. Резника [3]. Одна из сложных проблем создания СТС – большие перегрузки на неравновесных траекториях крутого входа суборбитального космического аппарата в плотные слои атмосферы.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАРТА

Такая же проблема возникает и при возврате крылатых ускорителей первых ступеней в много-разовых РКС вертикального старта. Слева на рис. 20 – вариант ракеты «Ариан-5» с ускорителем «Баргузин», облик которого сформирован в НПО «Молния» совместно с ЦНИИМАШ.

Проработан облик двухступенчатой РКС с трехкомпонентными двигателями от системы МАКС [4]. В пилотируемом варианте ОС МАКС массой 18 тонн не имеет маршевых ЖРД – они установлены на ускорителе. В грузовом варианте сбрасывается обтекатель. Полностью многоразовая система (рис. 19в) – это второй этап.

Оптимальное разделение ступеней в много-разовой системе вертикального старта – при числе Маха 6 [1]. Наиболее острая проблема – большие пики скоростного напора, перегрузки и шарнирных моментов на элевонах, как и при экстренном спуске «Бурана». Поэтому траектория выведения должна быть более пологой (рис. 20).

Значительный эффект, повышающий весовую эффективность РКС с многоразовыми ускорителями, дает перелив топлива во вторую ступень и регулируемость сопел [1]. На ускорителе 1-й ступени сложная теплозащита не требуется, а для ускорителя 2-й ступени возникает проблема температур до 1400°С при повышенной продолжительности полета в плазме по сравнению со спуском с круговой орбиты. Одна из ключевых проблем – компенсация температурных расширений криогенных баков.

Наличие многоразовых ускорителей требует по-другому формировать циклограмму работы



Рис. 18. Проект суборбитального туристического самолета (НПО «Молния»)

маршевых двигателей – при разделении тяга второй ступени должна быть пониженной в течение 6 секунд, иначе факел струи попадает на хвостовую часть отделившихся блоков. Еще в рамках программы «Буран» в ЦИАМ по заданию «Молнии» были разработаны методы герметизации турбореактивного двигателя (ТРД). Нарботки по обеспечению гарантированного запуска ТРД в полете и его надежной работы после пребывания за пределами плотной атмосферы необходимо использовать при создании многоразовой РКС вертикального старта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достижения программы «Энергия-Буран» используются теперь в самых различных отраслях, они по-прежнему представляют большой интерес и непосредственно в аэрокосмической области [2, 3], в первую очередь, по отмеченным направлениям. Но для эффективного использования имеющегося опыта необходима концепция развития космической деятельности в части многоразовых аэрокосмических ЛА и систем, увязанная с концепцией развития гиперзвуковых технологий. Проект такой концепции подготовлен в НПО «Молния» в феврале этого года, когда исполнилось 35 лет со дня основания нашего аэрокосмического предприятия, специально созданного для решения задач на стыке авиационной и ракетно-космической техники.

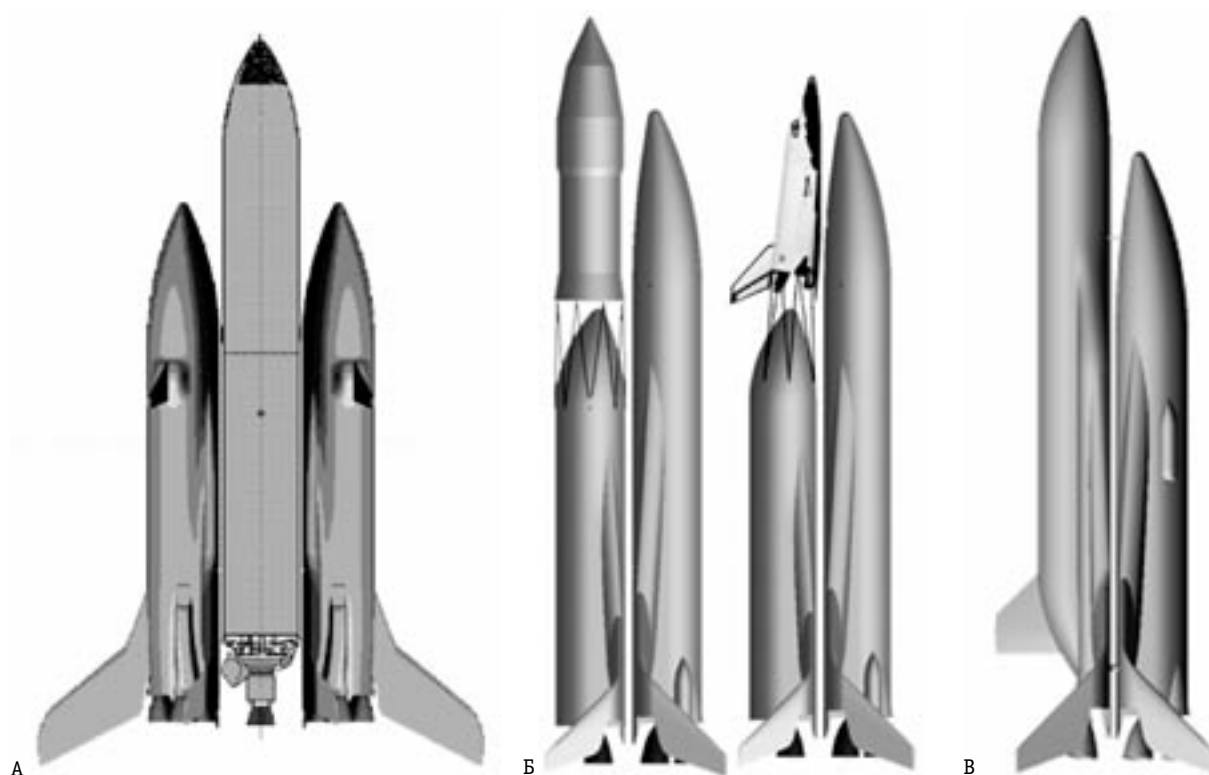


Рис. 19. Ракетно-космические системы выведения с многоразовыми ускорителями: А – «Ариан-5»/«Баргузин»; Б – грузовой и пилотируемый варианты РКС; В – перспективная полностью многоразовая РКС второго этапа

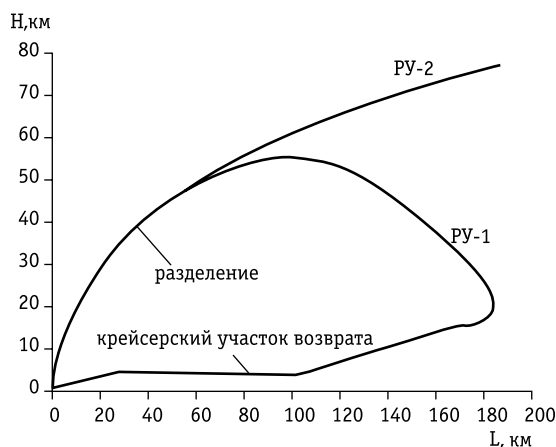


Рис. 20. Продольный профиль траектории полета ракетных ускорителей первой (РУ-1) и второй (РУ-2) ступени многоразовой РКС

ЛИТЕРАТУРА

1. Дудар Э.Н. Оптимизация соотношения масс ступеней полностью многоразовой космической транспортной системы // *Авиакосмическая техника и технология*, 2006, № 4. С. 3–13.
2. Дудар Э.Н. «Крылатый космос» – основные достижения и перспективы // *Авиакосмическая техника и технология*, 2008, № 3. С. 3–8.
3. Дудар Э.Н., Брук А.А., Резник С.В. Оптимизации технических характеристик перспективных космических аппаратов туристического класса // *Авиакосмическая техника и технология*, 2009, № 4. С. 37–41.

4. Лозино-Лозинский Г.Е. Стратегия и перспективы развития многоразовых космических транспортных систем // Сб. статей под ред. Г.Е. Лозино-Лозинского и А.Г. Братухина. М. Изд-во МАИ, 1997. С. 7–11.
5. Lozino-Lozinsky G.E., Dudar E.N., Joyner R. Comparative Analysis of Reusable Space Transportation Systems // 31th AIAA/ASME/SAE/ ASEE Joint Propulsion Conference, San Diego, CA, USA, 1995.
6. Lozino-Lozinsky G.E., Dudar E.N., Plokhikh V.P. Russian Sub-Orbital Commercial Passenger Transport System // International Pacific Aerospace Conference (IPAC'91), Gifu, Japan, October 1991. SAE Paper, Number 920aaa, 1992.
7. Тимошенко В.П. Расчетные и экспериментальные методы моделирования процессов теплообмена в теплозащите и конструкции аэрокосмических летательных аппаратов // Труды 1-й международной авиакосмической конференции «Человек-Земля-Космос». Москва, 28.09.92–02.10.92. Т. 5. Материалы и технология производства авиакосмических систем. М.: Футуром, 1995. С. 230–245.
8. Лукашевич В., Афанасьев И. Космические крылья. М.: Лента странствий, 2009. 463 с.
97. Лукашевич В.П. X-37В – «лебединая песня» или «гадкий утенок»? // [http:// www.buran.ru/ htm/x-37b. htm](http://www.buran.ru/html/x-37b.htm).

Эдуард Николаевич Дудар, к.т.н., член-корр. РИА, начальник отделения ОАО «НПО «Молния»
125459 Москва, ул. Новопоселковская, д. 6,
тел.: + 7 (495)-223-54-33, e-mail: edw-dudar@yandex.ru