

## Библиографический список

1. Салмин, В.В. Выбор основных проектных характеристик и конструктивно-го облика межорбитальных транспортных аппаратов с электрореактивными двигательными установками с использованием системы «Solid Works»: учебное пособие / В.В. Салмин, С. А. Ишков, О. Л. Старинова. – Самара: СГАУ, 2006. – 82 с.
2. Салмин, В.В. Расчёт приближённо-оптимальных перелётов космического аппарата с двигателями малой тяги с высокоэллиптической на геостационарную орбиту / В.В. Салмин, К.В. Петрухина, А.А. Кветкин // Космическая техника и технологии. – 2019. – №4(27). – С. 94–108.
3. Куренков, В.И. Методика выбора основных проектных характеристик и конструктивного облика космических аппаратов наблюдения / В.И. Куренков, В.В. Салмин, А.Г. Прохоров. – Самара: Издательство СГАУ, 2007. – 160 с.

УДК 629.783

*Шапошников Н.Н., Ишков С.А.*

### **ОБОСНОВАНИЕ МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ РАКЕТОНОСИТЕЛЯ. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

**Введение.** Основной причиной возникновения интереса к многоразному (или частично многоразному) использованию объектов ракетно-космической техники является стремление снизить стоимость изготовления и эксплуатации этих изделий.

Необходимость минимизации стоимости производства ракет-носителей назревала давно и в целом может достигаться путём рационального сочетания применяемых конструкционных материалов и технологий, оптимизации характеристик комплектующих изделий, комплексирования бортовых систем. Немаловажным фактором удешевления является привлечение к производству деталей, узлов и агрегатов сторонних производителей, что снижает затраты на содержание собственных производственных площадей, рабочих, амортизацию оборудования. Однако, несмотря на активное использование всех этих мето-

дов, существенного снижения стоимости пусковых услуг достигнуть не удастся, и вот тогда вступает в силу идея о повторном использовании элементов конструкции ракет-носителей, в частности первой ступени.

Развитие науки и совершенствование производства в последнее десятилетие значительно ускорилось, и это позволило задуматься о переходе к многократному использованию ракет-носителей. В настоящий момент можно говорить уже о сотне успешных запусков ракет с возвращаемой первой ступенью с повторным её использованием до 10 раз. Не возникает сомнений в том, что в будущем многократные ракетные комплексы разных классов вытеснят с рынка одноразовые.

В данной статье рассматривается проблема многократного использования объектов ракетно-космической техники с экономической точки зрения.

**Модель стоимости.** Рассмотрим основные затраты при запуске и эксплуатации многократной космической системы на примере двухступенчатой ракеты-носителя:

1. Стоимость оборудования: стоимость 1-й ступени; стоимость 2-й ступени; стоимость обтекателей.

2. Аренда стартовой площадки (либо её обслуживание, если она находится в собственности, затраты на её постройку здесь не будем учитывать).

3. Расходы на запуск: топливо; работы в монтажно-испытательных комплексах космодрома и на стартовом комплексе; деятельность центра управления; прямая трансляция пуска в средствах массовой информации; непредвиденные расходы, связанные с задержками.

4. Транспортные расходы: транспортировка в монтажно-испытательный комплекс (необходимо отметить, что логистические затраты сильно зависят от расстояния между заводом изготовителем и космодромом); транспортировка на стартовую площадку;

5. Тестирование и обеспечение качества: тестирование агрегатов и узлов при производстве; тестирование в монтажно-испытательном комплексе; проверка стартовой площадки; статический прожиг (включая задержки или повторные затраты).

6. Дополнительные затраты (при многократном использовании), если первая ступень используется повторно, в смету необходимо включить: стои-

мость повторной подготовки ступени; эксплуатационные затраты на обслуживание и выход в море платформы, либо транспортные расходы на возвращение ступени при посадке на удалённую наземную площадку (следует отметить, что данная статья затрат минимизируется при посадке возвращаемой ступени в месте старта).

Затраты на проектирование, проведение испытаний и производство многоразовых ступеней ракет в целом примерно сопоставимы с теми же затратами на одноразовые ступени.

Следует отметить, что при многоразовом использовании возвращаемых ступеней ракет обязательным становится такой этап, как межполётное обслуживание, включающее диагностику состояния изделия и его систем и проведение регламентных и ремонтных работ. Данный этап является затратным и составляет до 30% от стоимости возвращаемой ступени. Диагностика занимает наиболее важное место в этом процессе. Для её проведения необходимо создание соответствующих бортовых и наземных систем, во-первых, характеризующихся высокой надёжностью и достоверностью проведения измерений, и, во-вторых, обеспечивающих измерение всех параметров и характеристик, определяющих текущее состояние конструкции и всех её элементов.

С учётом этих особенностей существенно расширяются объём измерений и требования к их обработке. Необходима автоматизация процессов обработки результатов измерений, в том числе, для сокращения времени межполётного обслуживания. В рамках диагностики должны быть предусмотрены неразрушающие методы контроля состояния конструктивных элементов и соединений корпуса и агрегатов изделия.

Для проведения всех необходимых регламентных и ремонтных работ возвращаемая ступень ракеты должна быть изначально создана с возможностью доступа ко всем агрегатам и системам для проверки или замены каких-либо элементов.

После проведения диагностики и необходимых регламентных и ремонтных работ возвращаемая ступень проходит повторную подготовку к пуску с проведением необходимых работ по приведению в пусковую конфигурацию, а также необходимый цикл испытаний и заправочных операций. Далее следует

цикл работ по сборке и испытаниям ракеты-носителя в целом для её подготовки к старту.

В качестве примера рассмотрим опыт производства и эксплуатации ракет-носителей с возвращаемой первой ступенью компанией Space-X, цифры приведённые ниже собраны из открытых источников и являются усреднёнными, но в целом отражают действительное состояние вещей.

В компании Space-X повторное использование первой ступени ракеты-носителя в целом успешно применяется с 2017 года (РН Falcon-9 уже совершила 100 запусков). Стоимость производства данной РН составляет \$71,5 млн (фактические затраты на производство: 1-я ступень \$50 млн, 2-я ступень 14,4 \$ млн, головной обтекатель и адаптер \$7 млн). Ремонтно-восстановительные работы на первой ступени составляют приблизительно 30% от стоимости её изготовления (\$15 млн). Таким образом используя повторно первую ступень РН фактические затраты на материальную часть при повторном запуске составляют \$36,4 млн вместо 71,5 млн (экономия достигает от 40 до 50%). Данный пример показывает, что развитие многоразовых космических систем будет продолжаться и остановить данную тенденцию будет невозможно.

Для возвращения и посадки ступеней с целью их повторного использования компания Space-X использует возвращение по баллистической траектории к месту старта или к другой подготовленной площадке за счёт использования двигателей многоразового включения, работающих на бортовых запасах топлива (вертикальная посадка) (основным недостатком данного метода является уменьшение массы выводимой полезной нагрузки, по сравнению с одноразовой ракетой того же класса из-за недорасхода топлива. Оставшиеся бортовые запаса топлива нужны для возвращения и посадки на подготовленную площадку).

Существуют и другие способы обеспечения сохранности первой ступени после отделения:

– возвращение первой ступени с использованием парашютно-реактивных систем (основные недостатки данного метода: увеличение веса возвращаемой ступени за счёт наличия гасящих скорость перед касанием с Землёй тормозных двигателей и амортизаторов, необходимость размещения парашютной системы. Но существует возможность вертолётного подхвата парашютирующей возвращаемой первой ступени);

– возвращения первой ступени с применением аэродинамического качества, подъёмных крыльев и воздушно-реактивного двигателя (основные недостатки использования данного метода возвращении первой ступени заключаются в поворотном механизме, необходимости использования длинной и качественной посадочной полосы).

В целом, по результатам произведённой оценки стоимости производства и запуска ракетно-космических комплексов с возвращаемыми ступенями в перспективе оптимальной является именно схема с возвращением по баллистической траектории.

### **Библиографический список**

1. Витковский, А.В. Перспективы развития многоразовых космических транспортных систем / А.В. Витковский, А.П. Калмыков // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – №7. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-mnogorazovyh-kosmicheskikh-transportnyh-sistem> (дата обращения: 18.05.2021).

2. Расчёт стоимости производства, обслуживания и запуска ракет Falcon 9 и Falcon Heavy компании SpaceX. – URL: <https://astronews.space/spacecrafts-2/252-raschet-stoimosti-proizvodstva-obsluzhivaniya-i-zapuska-raket-falcon-9-i-falcon-heavy-kompanii-spacex/> (дата обращения: 15.05.2021).

3. Советкин, Ю.А. Оценка технико-экономической эффективности разработки ракет-носителей с многоразовыми блоками первых ступеней // Вестник СГАУ. – 2010. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-tehniko-ekonomicheskoy-effektivnosti-razrabotki-raket-nositeley-s-mnogorazovymi-blokami-pervyh-stupeney> (дата обращения: 18.05.2021).

4. Иванов, М.В. Выбор рационального варианта схемы возврата в район старта ракетных блоков отечественных ракет-носителей с пакетной схемой компоновки первой ступени / М.В. Иванов, Ю.Л. Кузнецов // Космонавтика и ракетостроение. – 2019. – №3(108). – С. 128–139.