

УДК 338.512, 658.58

## Экономическая модель затрат отказа многоразового элемента космической системы на примере первой ступени ракеты-носителя Фалькон 9

Бадиков Григорий Александрович<sup>(\*)</sup>

badikovga@bmstu.ru

Колпаков Артем Константинович

kolpakovak@student.bmstu.ru

Руднев Сергей Владимирович

rudnevsv@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Аннотация.** С увеличением числа использований одной и той же первой ступени количество пусков в год ракеты-носителя Фалькон 9 непрерывно растет, растет и количество отказов. Актуальной задачей является разработка модели затрат отказа многоразового элемента космической системы. Его потеря на первых пусках приводит к упущенной выгоде, в разы превышающей затраты на пуск ракеты-носителя. Показано, что затраты отказа первой ступени Фалькон 9 при первом пуске составят 875,6 млн долл.

**Ключевые слова:** многоразовые ракеты-носители, модель отказа, упущенная выгода, снижение стоимости, методы анализа эффективности

**Введение.** Компания SpaceX ежегодно увеличивает число пусков в год: в 2021 г. — 31, в 2022 — 61, в 2023 — 91. Соответственно увеличивается число отказов. Используя существующую [1] модель затрат пуска ракеты-носителя, можно разработать модель затрат отказа многоразового элемента космической системы, например первой ступени. Эта модель позволит получить ожидаемую стоимость отказа первой ступени на протяжении всего жизненного цикла ракеты-носителя. Провал пуска ракеты-носителя приводит к затратам, превосходящим простую замену деталей, возможный перезапуск ракеты-носителя и потерю полезной нагрузки. На это обращает внимание Келле в TRANCOST [2]. Паркинсон также поднимает эту тему [3]. Келле утверждает, что провал или прерывание пуска могут привести к затратам, которые в 2–3 раза превышают полезную выручку, получаемую за 1 пуск. В то же время у Паркинсона в 3–5 раз.

Очевидно, что затраты отказа, неуспеха сокращаются по мере приближения ракеты-носителя к орбите.

Таким образом, актуальной задачей является разработка экономической модели затрат отказа элемента космической системы. Особенно это важно для многоразовых элементов, отказ которых до выработки ресурса приводит к ощутимой величине упущенной выгоды.

**Материалы и методы; результаты.** Модель затрат отказа многоразового элемента космической системы представляет собой сумму затрат на изготовление этого элемента и произведения числа нереализованных повторных пусков из ресурса на прибыль одного пуска. Прибыль определяется как разность

цены пуска и затрат пуска, определяемых по ранее разработанным моделям [1]. Цена пуска новой ракеты-носителя составляет 67 млн долл. Цена пуска с использованной первой ступенью — 50 млн долл.

При ресурсе первой ступени 20 повторных пусков и числе пусков в год: 2021 — 31; 2022 — 61; 2023 — 91 затраты отказа уменьшаются от 875,6 млн долл. до 60 млн долл. Это приблизительно в 20 раз больше затрат на пуск новой ракеты-носителя.

**Заключение.** Разработанная экономическая модель затрат отказа много-разового элемента космической системы позволяет оптимизировать затраты отказа в широких пределах, меняя исходные данные, например числа повторных пусков и пусков в год, затраты на разработку, изготовление и полетные услуги.

#### Список источников

- [1] Badikov G.A., Mazurin E. B. Goncharov K. N. Reduced launch costs using reusable heavy and superheavy launch vehicles. *AIP Conference Proceedings*, 2021, vol. 2318, no. 180004. <https://doi.org/10.1063/5.0036008>
- [2] Koelle D.E. *Handbook of Cost Engineering and Design of Space Transportation Systems. Number TCSTR200*. TransCostSystems (TCS), Ottobrunn Germany, 2013.
- [3] Parkinson R.C. The Hidden Costs of Reliability and Failure in Launch Systems. *Acta Astronautica*, 1999, vol. 44 (99), pp. 419–424.