

УДК 629.7.01/.76

Оценка силовых нагрузок, возникающих в конструкции многоблочных ракет-носителей, при аварийном выключении двигателей

Бахтин Александр Георгиевич¹**Мухамедов Леонид Павлович²****Кириевский Дмитрий Алексеевич¹**

kda9700@mail.ru

¹ АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», Москва, Россия² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В данной работе проводится исследование процесса аварии двигательной установки многоблочной ракеты-носителя (РН) с точки зрения реализуемых на конструкцию РН нагрузок. Определяются факторы, влияющие на уровни нагрузок и возможные пути снижения данного уровня.

Ключевые слова: многоблочная ракета-носитель, аварийная ситуация, аварийное выключение двигателя, система аварийной защиты

Введение. Проектирование перспективных ракет-носителей (РН) неразрывно связано с решением вопроса безопасности эксплуатации изделия. Наиболее опасным, труднопрогнозируемым и имеющим наиболее катастрофические последствия при аварийной ситуации является этап полета ракеты космического назначения (РКН). Данный этап является продолжительным как по времени, так и по протяженности, то есть существенные площади Земли находятся в зоне падения аварийной ракеты.

Для минимизации ущерба, а также возможного последующего продолжения полета РН для выполнения целевой задачи разрабатываются так называемые системы аварийной защиты двигательных установок (ДУ) РН или rocket engine health monitoring system [1, 2]. В настоящее время передовые космические державы ведут активную разработку таких систем. Этот факт подтверждается последними пусками ракет-носителей LongMarch 8 [1], Falcon 9 [2] и Starship [3].

В Российской Федерации ведутся аналогичные работы по созданию эффективной системы аварийной защиты (САЗ), предназначенной для контроля состояния ДУ и его выключения в случае развития аварийной ситуации с момента предстартовой подготовки до его выключения в конце активного участка траектории.

Задачей настоящей работы является оценка возможности применения системы аварийной защиты на многоблочных ракетах-носителях с точки зрения сохранения целостности РН и выработка требований к системе управления (СУ) в случае, если данное условие не выполняется.

Результатом решения данной задачи будет являться определение рациональных последовательностей команд СУ в случае срабатывания САЗ с це-

лью ограничения нагрузок, действующих на конструкцию РН до уровня, близкого к уровню нагрузок при штатной эксплуатации.

Задача сводится к расчету динамических нагрузок при переходных процессах, сопровождающих переход из штатного состояния в нештатное.

Учитывая сложность задачи, связанной с многоблочностью РН, наличием жесткостных и массо-инерционных характеристик, а также с изменением массы по времени, задача может быть решена только приближенно с применением численных методов. В данной работе применяется метод конечных элементов.

Исходными данными для расчета являлись следующие параметры: массо-инерционные характеристики сухих отсеков и баков, жесткостные характеристики конструкции, тяга двигателей, характеристика спада тяги аварийной ДУ, скорость отклонения ДУ.

В данной работе показаны результаты проведенных расчетов, приведены огибающие максимальных значений внутренних силовых факторов по конструкции РН, а также их временные реализации.

Заключение. В результате проведенного анализа результатов расчета определены основные факторы, влияющие на уровень нагружения, которые можно варьировать для снижения нагрузок до уровня штатной эксплуатации. Определены дальнейшие шаги для выработки рациональных последовательностей команд СУ с целью ограничения нагрузок.

Список источников

- [1] Wang T., Ding L., Yu H. Research and Development of Fault Diagnosis Methods for Liquid Rocket Engines. *Aerospace*, 2022, vol. 9, art. no. 481. <https://doi.org/10.3390/aerospace9090481>
- [2] *Component fatigue caused early shutdown of Merlin engine on last SpaceX launch.* URL: <https://spaceflightnow.com/2021/03/01/component-fatigue-caused-early-shutdown-of-merlin-engine-on-last-spacex-launch/> (accessed 30.10.2024).
- [3] *SpaceX's 1st Starship launches on epic test flight, explodes in 'rapid unscheduled disassembly'.* URL: <https://www.space.com/spacex-starship-first-space-launch> (accessed 30.10.2024).