

обрабатываемых (межлабиринтных) зонах дефлекторов данной конструкции: перевод мехобработки на станки с ЧПУ, удаление слоя материала с грубым наклёпом от лезвийной обработки посредством АЖО, коррекция направления обработки микрошариками межлабиринтной зоны – улучшающие исходное состояние поверхности детали, в том числе и зоны проявления дефекта.

Исследования остаточных напряжений на поверхности полотна в дефлекторах с технологическими мероприятиями по межлабиринтной зоне показали, что мероприятия обеспечивают стабильный уровень остаточных напряжений в поверхностном слое от – 80 до + 40 МПа, что существенно снижает риск возникновения трещин.

Стеновыми испытаниями дефлекторов 152.416.003-3Р с технологическими ме-

роприятиями по межлабиринтной зоне на двигателях подтверждена эффективность проведённых мероприятий по предотвращению дефектов.

Отсутствие случаев проявления дефектов показывает, что мероприятия по устранению отрицательной технологической наследственности эффективны, и позволяет в очередной раз сделать вывод о том, что неучтённая технологическая наследственность может привести к аварийным, а в ряде случаев и катастрофическим ситуациям. И вновь следует обратить внимание на необходимость предварительной расчётной оценки влияния тех или иных остаточных напряжений на надёжность изделия на этапе проектирования и разработки технологии изготовления деталей двигателя.

УДК 629.7

## **АНАЛИЗ КОРПУСНЫХ НАГРУЗОК НА ОТСЕЧКЕ ДВИГАТЕЛЯ ТРЕТЬЕЙ СТУПЕНИ**

©2018 В.А. Кирпичёв, В.М. Муртазин, О.И. Малыхина

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### **THE ANALYSIS OF HULL LOADS ON THE ENGINE CUT-OFF OF THE THIRD STAGE**

Kirpichyov V.A., Murtazin V. M., Malykhina O. I.(SamaraNationalResearchUniversity, Samara, Russian Federation)

*The loading of a launch vehicle is considered at the terminate stage of launch. The analysis is made for the basic sequence of engine cut-off and for the modified sequense with the slower thrust decay. The evaluation was performed using the finite element method in program complex engineering analysis Nastran.*

В процессе эксплуатации изделий ракетно-космической техники и космических аппаратов было замечено, что наиболее интенсивные динамические нагрузки в конструкции возникают при переходных процессах, одним из свойств которых является резкая смена внешнего нагружения.

Обеспечить снижение суммарной продольной силы и ударных нагрузок на связку ракеты-носителя (РН) с полезной нагрузкой (ПН) возможно путём уменьшения значения градиента спада тяги при выключении двигателя РН.

В связи с указанными выше обстоятельствами актуальной является задача анализа влияния изменения функции спада тяги

двигателя РН (при выключении двигательной установки (ДУ)) на величину внутренних силовых факторов.

С этой целью было проведено моделирование динамического нагружения конструкции типового блока III ступени в программе инженерного анализа Nastran для случая его совместной эксплуатации с ПН. Расчёты проводились с помощью метода конечных элементов. Выработан подход к вычислению внутренних силовых факторов при помощи современных средств автоматизированного вычисления.

Рассмотрим заключительный этап выведения, характеризующийся максимальной продольной перегрузкой и выключением ДУ

типового блока III ступени РН. Моделирование нагружения рассматривается с учётом временной функции спада тяги при штатной циклограмме выключения ДУ блока, а также с учётом изменённой циклограммы выключения ДУ.

Были проанализированы нагрузки для двух вариантов внешних воздействий, приложенных в конечном узле элемента, моделирующего ДУ, и обусловленных переменным по времени значением тяги двигателя при его выключении согласно штатной циклограмме для первого варианта и по изменённой циклограмме для второго варианта. При этом градиент спада тяги для второго варианта работы ДУ в процессе выключения примерно на 41 % ниже.

Анализ результатов расчёта моделей для двух вариантов временной функции тяги подтвердили, что в случае варианта для циклограммы с меньшим градиентом спада тяги ДУ типового РН усилия, действующие на конструкцию, снижаются.

Заметно снизились растягивающие продольные силы  $N_{\text{раст}}(x)$ . Конструкция

блока стала испытывать осевые силы растяжения на 55 % меньше, чем при штатных параметрах тяги ДУ. При этом необходимо отметить, что максимальное сжимающее усилие для данного случая нагружения определяется, в основном, начальными условиями (статической составляющей), из-за чего не наблюдается существенного изменения продольных сжимающих усилий. Снижение эксплуатационных значений изгибающих моментов  $M(x)$  в среднем составляет 14 %, перерезывающих сил  $Q(x)$  – 34 % (рис.1). Для стыка переходного отсека (ПХО) с ПН  $Q(x)$  и  $N_{\text{раст}}(x)$  уменьшаются на 38,78% и 45,11% соответственно, что положительно сказывается на работе силовой конструкции и функционировании оборудования ПН. Это снижение также может положительно сказаться на работе силовой конструкции блока, например, растягивающие динамические нагрузки могут оказаться расчётными для болтовых соединений, используемых в стыковочных узлах корпуса носителя.

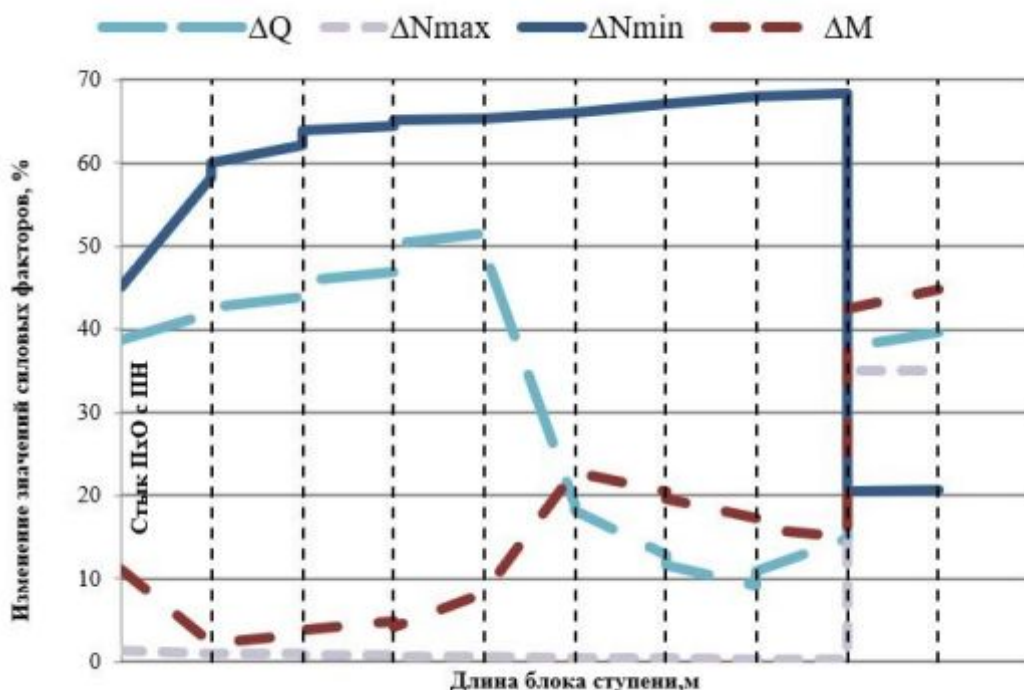


Рис. 1. Изменение силовых факторов по длине блока III ступени