

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРЕКОСА И ОСЕВОГО УСИЛИЯ В ОПОРНЫХ ПОДШИПНИКАХ НА МОМЕНТ ТРЕНИЯ ШАРНИРНЫХ РУЛЕВЫХ АГРЕГАТОВ ЖРД

Лаврин А.В.¹, Долгих Д.Е.²

¹Приволжский филиал АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко», г. Самара, av_lavrin@mail.ru

²Самарский университет, г. Самара, i@dolgih-work.ru

Ключевые слова: рулевой агрегат ЖРД, узлы качания, момент трения, опорный подшипник, осевая нагрузка, перекос.

В отечественных изделиях РКТ самый распространенный способ корректировки вектора тяги маршевого ЖРД с неподвижными камерами осуществляется посредством шарнирных рулевых агрегатов (РА). Данные РА совершают угловые перемещения в узлах качания в одной плоскости. Энергетические возможности соответствующих рулевых машин (РМ) должны с определенным быстродействием преодолевать всю совокупность моментов, реализуемых в РА. Одним из наиболее важных компонентов данной комплексной величины, выступающей в качестве момента сопротивления вращению вала РМ, является момент трения в узлах качания. Проблема повышенных значений момента трения имеет большую актуальность для РА ЖРД РД-107А/108А. Относительное количество РА, превысивших по результатам огневых испытаний (ОИ) верхний предел по моменту, может составлять 0,5...4 % годового выпуска. Каждый случай превышения влечет за собой дополнительные временные и материальные затраты, связанные с приостановкой производства до выяснения причин отступления, которые не всегда очевидны, и проведением повторных ОИ. Для выявления «узких» мест и выработки рекомендаций по снижению моментной характеристики РА в период 2014-2019 гг. с привлечением Самарского государственного университета был проведен обширный комплекс исследований по входящим в узлы качания элементам. Полученная в результате комплексная методика определения момента трения РА являлась значительным шагом вперед, так как имевшаяся на тот момент расчетная схема была создана в 70-х годах прошлого века, не отличалась точностью и по ряду трибосопряжений демонстрировала более чем двукратную ошибку относительно современных эмпирических данных.

В настоящее время имеется практическая возможность оценки достоверности вновь разработанной методики расчета, а также ее корректировки по результатам обширной статистики испытаний, накопленной на текущий момент. В первую очередь это касается опорных подшипников узлов качания, имеющих специфическую особенность исполнения и применения, отличную от общемашиностроительных условий.

При теоретическом расчете серийных РА, обладающих среднестатистическими характеристиками трибосопряжений, выявлено занижение момента трения относительно экспериментальных данных. Расхождение составляет ~ 5%, что является относительно небольшой величиной. Однако систематическое проявление указанной погрешности свидетельствовало о наличии неучтенной дополнительной составляющей совокупного момента трения. Указанный компонент был выявлен, теоретически рассчитан и подтвержден статистическим анализом результатов более чем четырехсот огневых испытаний. В качестве причины его появления установлено наличие дополнительного осевого усилия в подшипниках, связанного с воздействием криогенных температур окислителя на один из узлов качания. Необходимо отметить, что ранее возможность работы подшипников в условиях комбинированного нагружения не рассматривалась и не учитывалась. По результатам дополнительного полноресурсного пуска экспериментального РА выявлено незначительное влияние самой длительности температурного воздействия. Более существенными факторами признаны сочетания монтажных допусков, влияющих на натяг в сопряжении подвижной подшипниковой опоры, в совокупности с температурой окружающей среды в момент

прохождения огневого испытания. Проведение уточненных расчётов с использованием вновь определенного дополнительного слагаемого показало полную сходимость расчетных и среднестатистических данных. Проверочный расчет максимально допустимого момента трения при условии комбинированного нагружения показал расхождения менее чем в 2% относительно требований технических условий, ранее определенных на базе эмпирических данных результатов испытаний, выполненных в 60-70-х годах двадцатого века.

Другим направлением экспериментальных исследований было выбрано определение моментов трения подшипников при значительных углах перекоса. Ранее Самарским университетом была разработана соответствующая методика расчета, но она касалась только умеренных величин, не превышающих 10...12 угловых минут. Однако опорные подшипники РА характеризуются значительными радиальными зазорами. Это позволяет им сохранять работоспособность до перекоса в 21 угловую минут включительно. С использованием специальной установки был проведен соответствующий эксперимент, который показал прирост момента трения подшипника в этих условиях в 2,88 раза относительно аналогичной величины без перекоса. Применяя полученное значение в качестве коэффициента, была осуществлена проверка предположения о том, что основной причиной превышения момента трения серийных РА является выход конструкции на значительные углы перекоса из-за сочетаний допусков. Проведенные расчеты показали хорошую сходимость расчетных данных со средним значением момента трения выборки из 20-ти серийных РА, имевших соответствующие превышения по данной характеристике.

Проведенный анализ дополнительных факторов, влияющих на момент трения шарнирных РА ЖРД, позволил дополнить существующую расчетную методику. В итоге получено минимальное расхождение между экспериментальными и расчетными данными. Указанные обстоятельства позволяют предусмотреть все особенности моментной характеристики РА, вследствие чего она становится полностью управляемой с возможностью любой коррекции по желанию разработчика.

Сведения об авторах

Лаврин Андрей Владимирович, начальник сектора Приволжского филиала АО «НПО ЭНЕРГОМАШ имени академика В.П. Глушко». Область научных интересов: изучение трибосопряжений агрегатов ЖРД.

Долгих Дмитрий Евгеньевич, аспирант кафедры основ конструирования машин. Область научных интересов: жидкостные ракетные двигатели.

CALCULATION AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE EFFECT OF MISALIGNMENT AND AXIAL FORCE IN THE BEARING BEARINGS AT THE MOMENT OF FRICTION OF THE INSTALLED STEERING MECHANISM OF THE ROCKET ENGINE

Lavrin A.V.¹, Dolgih D.E.²

SC NPO Energomash named after academician V.P. Glushko, Samara, Russia, av_lavrin@mail.ru.

¹Samara University, Samara, Russia, i@dolgih-work.ru.

Keywords: steering unit of the LRE, swing units, friction moment, support bearing, axial load, misalignment.

Based on the statistics of ground fire tests, a comparison of calculated and experimental data on the moments of friction of the most massive domestic articulated steering units of a rocket engine was carried out.