

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАГРУЗОК НА ФИКСАТОР СРЕДНЕГО ПОЛОЖЕНИЯ ГИДРОПРИВОДА

Описаны результаты работ по определению оптимальных материалов для одного из элементов фиксатора среднего положения в обеспечение повышения силовых характеристик и контактной стойкости фиксатора среднего положения. Приведены результаты экспериментальной проверки влияния материала штока с поршнем гидропривода на контактную стойкость и нагрузочную способность фиксатора среднего положения двухканального гидропривода системы управления вектором тяги. В качестве заменителя выбрана сталь 18ХГТ, позволяющая после цементации и закалки получить в поверхностном слое материала твердость HRC₃ 56-62 при пластичной сердцевине вместо HRC₃ 36-42 после закалки у применяемой стали 09Х16Н4Б. Сравнительные результаты получены в испытаниях экспериментального образца фиксатора, укомплектованного двумя штоками с поршнем: шток с поршнем, изготовленный в соответствии с КД, и экспериментальный шток с поршнем, прошедший цементацию на глубину 0,9-1,3 мм и закаленный до HRC₃ 56-62. Цементации и закалке подвергнута кольцевая канавка штока - один из элементов фиксатора. Оба штока с поршнем были испытаны в составе макета фиксатора в диапазоне нагрузок: до 1200 кгс штатный шток с поршнем и до 3000 кгс экспериментальный шток с поршнем при статическом и циклическом нагружении. Результаты испытаний положительны: штатный шток с поршнем подтвердил свою работоспособность при нагрузках до 1200 кгс включительно; экспериментальный шток с поршнем выдержал нагрузки до 3000 кгс при статическом и циклическом нагружении. Оценка контактной стойкости проводилась по сопоставлению размеров отпечатков, оставленных шариками на поверхностях канавки штока при нагружении фиксатора. Размеры отпечатков на экспериментальном штоке с поршнем при нагрузке до 3000 кгс включительно не превысили размеров отпечатков на штатном штоке с поршнем, что свидетельствует о возрастании контактной стойкости. Считаем перспективным направление поиска марок сталей в сочетании с прогрессивными методами термической обработки в повышении силовых характеристик фиксатора.

Ключевые слова: система управления вектором тяги, маршевый двигатель, испытания, шток с поршнем.

Описано результати робіт з визначення оптимальних матеріалів для одного з елементів фіксатора середнього положення для забезпечення підвищення силових характеристик і контактної стійкості елементів фіксатора середнього положення. Наведено результати експериментальної перевірки впливу матеріалу штока з поршнем гідроприводу на контактну стійкість і навантажувальну здатність фіксатора середнього положення двоканального гідроприводу системи керування вектором тяги. Як заміник було вибрано сталь 18ХГТ, що дозволяє після цементації та загартування одержати на поверхневому шарі матеріалу твердість HRC₃ 56-62, якщо пластична сердцевина, замість HRC₃ 36-42 після загартування у застосовуваній сталі 09Х16Н4Б. Порівняльні результати одержано у випробуваннях експериментального зразка фіксатора, укомплектованого двома штоками з поршнем: шток з поршнем, виготовлений відповідно до КД, та експериментальний шток з поршнем, що пройшов цементацію на глибину 0,9-1,3 мм і загартований до HRC₃ 56-62. Цементації та загартуванню було піддано кільцеву канавку штока – один з елементів фіксатора. Обидва штоки з поршнем були випробувані у складі макета фіксатора в діапазоні навантажень: до 1200 кгс штатний шток з поршнем і до 3000 кгс експериментальний шток з поршнем під час статичного та циклічного навантаження. Результати випробувань позитивні: штатний шток з поршнем підтвердив свою працездатність під час навантажень до 1200 кгс включно; експериментальний шток з поршнем витримав навантаження до 3000 кгс під час статичного та циклічного навантаження. Оцінювання контактної стійкості проводили після порівняння розмірів відбитків, залишених кульками на поверхнях канавки штока під час навантаження фіксатора. Розміри відбитків на експериментальному штоку з поршнем під час навантаження до 3000 кгс включно не перевищили розмірів відбитків на штатному штоку з поршнем, що свідчить про підвищення контактної стійкості. Вважаємо перспективним напрям пошуку марок сталей у поєднанні з прогресивними методами термічного оброблення для підвищення силових характеристик фіксатора.

Ключові слова: система керування вектором тяги, маршовий двигун, випробування, шток з поршнем.

The results of work are described to determine optimal materials for one of the elements of middle position lock to increase load bearing characteristics and contact resistance of the middle position lock. The results are presented of experimental check of impact of material of rod with hydraulic actuator piston on contact resistance and load capacity of the middle position lock of thrust vector control system two-channel hy-

draulic actuator. As replacer, the 18ХГТ steel was selected allowing (after carbonization and hardening) obtaining in surface layer of material the HRC₃ 56-62 hardness with plastic core, instead of HRC₃ 36-42 after hardening of applied 09Х16Н4Б steel. The comparative results were obtained in the tests of experimental sample of the lock completed with two rods with piston: the rod with piston manufactured according to DD and the experimental rod with piston that passed carbonization to the depth 0.9-1.3 mm and hardened to HRC₃ 56-62. The rod's ring groove - one of the elements of lock was subjected to carbonization and hardening. Both rods with piston were tested in the lock's dummy in the load range: up to 1200 kgf – standard rod with piston and up to 3000 kgf – experimental rod with piston under static and cyclic loading. The test results are positive: the standard rod with piston confirmed its serviceability at the loads up to 1200 kgf inclusive; the experimental rod with piston withstood the loads up to 3000 kgf under static and cyclic loading. The evaluation of contact resistance was made by comparison of dimensions of traces left by the balls on the surface of rod's groove under lock loading. The dimensions of traces on the experimental rod with piston under the load 3000 kgf inclusive did not exceed the dimensions of traces on the standard rod with piston, which testifies to the increase of contact resistance. We believe that the direction of search for steel brands in combination with advanced methods of thermal treatment is promising in increasing the lock's load-bearing characteristics.

Key words: thrust vector control system, main engine, tests, rod with piston.

Введение

При создании маршевого двигателя РД861К третьей ступени ракеты-носителя «Циклон-4» был разработан гидромеханический фиксатор среднего положения (ФСП), входящий в состав гидропривода системы управления вектором тяги (СУВТ).

В статье описаны результаты работ по определению оптимальных материалов для одного из элементов ФСП в обеспечение повышения силовых характеристик и контактной стойкости ФСП.

Основная часть

Назначение ФСП – фиксация маршевого двигателя относительно опорного фланца при транспортировке двигателя (ступени, ракеты-носителя), старте, полете ракеты-носителя до первого включения маршевого двигателя третьей ступени.

Основные элементы фиксатора приведены на рис. 1.

Конструкция ФСП следующая. Переходник 1 и сепаратор 8 с отверстиями под шарики (12 шт.) Ø3,969 мм зажаты накидной гайкой 2 в корпусе 7, образуют неподвижное звено ФСП. Управление фиксатором осуществляется подвижной втулкой 9.

При зафиксированном положении шарики расположены одновременно в канавке штока, стороны которой выполнены под углом к оси штока, и в отверстиях сепаратора, чем обеспечивается неподвижность штока с поршнем относительно корпуса гидроцилиндра при воздействии нагрузки. Положение шариков в сепараторе и распо-

ложение кольцевой проточки на штоке соответствуют среднему положению штока с поршнем. В результате обеспечивается фиксация штока с поршнем в среднем положении.

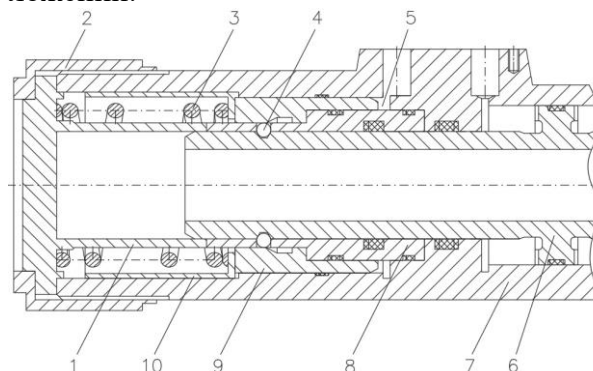


Рис. 1. Элементы ФСП:

- 1 – переходник; 2 – накидная гайка; 3 – пружина;
- 4 – шарики; 5 – управляющая полость фиксатора;
- 6 – шток с поршнем; 7 – корпус гидроцилиндра;
- 8 – сепаратор; 9 – втулка; 10 – стакан

Расфиксация штока с поршнем происходит при подаче гидропитания на СУВТ. Рабочее давление через управляющую полость 5 воздействует на торец втулки 9. Втулка 9 перемещается до упора (≈6,5 мм), сжимая пружину 3 через стакан 10. При этом движение штока с поршнем вызовет скольжение шариков 4 по наклонным стенкам канавки штока в расточку втулки 9. Размеры расточки втулки 9 несколько превышают диаметр шариков, что обеспечивает свободное движение штока с поршнем.

Фиксация происходит в следующем порядке. Давление на СУВТ понижается до уровня, когда пружина 3 через стакан 10 начинает смещать втулку 9 в исходное положение, а шток с поршнем под действием

командного сигнала движется в сторону среднего нулевого положения. В момент прохождения штока с поршнем через среднее положение шарики из расточки втулки вытесняются в канавку штока, обеспечивая его фиксацию.

В дальнейшем были проведены работы по поиску возможностей увеличения нагрузок на ФСП. Направление поиска – выбор марки стали, обеспечивающей высокую твердость в сочетании с пластичностью штока ФСП.

Проведен анализ различных марок сталей для изготовления штока с поршнем и режимов их термообработки. Была выбрана сталь 18ХГТ, позволяющая после цементации и закалки получить твердость HRCэ 58–62 при пластичной сердцевине.

Был изготовлен макетный образец ФСП с комплектом штоков с поршнем:

- штатным, изготовленным из стали 09Х16Н4Б и каленным до HRCэ 37,5–44,5;
- экспериментальным, изготовленным из стали 18ХГТ, цементированной на глубину

0,9–1,3 мм в области канавок штока, и каленным до HRCэ 55–61.

Затем проведены испытания макетного образца ФСП с нагрузками в диапазонах:

- 300–1200 кгс для штатного штока с поршнем (в соответствии с ТУ на СУВТ);
- 300–3000 кгс для экспериментального штока с поршнем.

Испытания показали:

- работоспособность обоих штоков с поршнем обеспечивается при нагрузках до 1200 кгс (ТУ на СУВТ);
- при нагрузке до 3000 кгс включительно экспериментальный шток с поршнем сохранил свою работоспособность;
- размеры отпечатков шариков на боковых стенках канавки штока, изготовленного из стали 18ХГТ, в диапазоне нагрузок до 1200 кгс меньше размеров соответствующих отпечатков на штатном штоке. В отдельных случаях из общего количества шариков отпечатки оставили только некоторые из них;

Таблица 1

Параметры макетного образца ФСП со штатным штоком с поршнем*

Параметр	Нагрузка, кгс					
	0	300	600	900	1200	3000
Перемещение штока до нагружения, мм	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,13
Перемещение штока после нагружения, мм	0,24	0,24	0,24	0,26	0,28	–
Перемещение штока под действием нагрузки, мм	0,24	0,25	0,34	0,373	0,366	0,586
Перемещение штока под действием нагрузки после циклического воздействия, мм	0,24	0,24	0,36	0,38	0,4	–
Давление расфиксации штока ФСП под действием нагрузки, кгс/см ²	24,2	«На вход» 23,7 «На выход» 25	«На вход» 26,3 «На выход» 28,3	«На вход» 34,3 «На выход» 35	«На вход» 37,3 «На выход» 38,6	«На вход» 50 «На выход» 65
Давление расфиксации штока ФСП под действием нагрузки после циклического воздействия, кгс/см ²	–	«На вход» 24 «На выход» 23	«На вход» 29,6 «На выход» 30,3	«На вход» 33,3 «На выход» 35,3	«На вход» 38 «На выход» 39,6	–

Таблица 2

* Отчет по испытаниям макета ФСП 06.1228.0000.0000.00.0 21.18365.607 ОТ. – Днепр: ГП "КБ "Южное", 2018. – 69 с.

Параметры макетного образца ФСП
с экспериментальным штоком с поршнем*

Параметр	Нагрузка, кгс								
	0	300	600	900	1200	1500	2000	2500	3000
Перемещение штока до нагружения, мм	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,17
Перемещение штока после нагружения, мм	0,14	0,15	0,136	0,14	0,14	0,19	0,16	0,17	0,2
Перемещение штока под действием нагрузки, мм	0,14	0,18	0,26	0,303	0,343	0,39	0,443	0,5	0,583
Перемещение штока под действием нагрузки после циклического воздействия, мм	0,14	0,18	0,28	0,306	0,32	0,43	0,456	0,506	0,55
Давление расфиксации штока ФСП под действием нагрузки, кгс/см ²	24	«На вход» 49 «На выход» 49,3	«На вход» 28,6 «На выход» 28,6	«На вход» 34,3 «На выход» 34,3	«На вход» 37,3 «На выход» 40	«На вход» 41,3 «На выход» 43	«На вход» 48,3 «На выход» 50,6	«На вход» 55,3 «На выход» 56,6	«На вход» 58,6 «На выход» 63,6
Давление расфиксации штока ФСП под действием нагрузки после циклического воздействия, кгс/см ²	–	«На вход» 43 «На выход» 43	«На вход» 28 «На выход» 28,3	«На вход» 31,6 «На выход» 34,6	«На вход» 36,6 «На выход» 39,6	«На вход» 40 «На выход» 43	«На вход» 47,3 «На выход» 51,6	«На вход» 52,6 «На выход» 57,3	«На вход» 40,6 «На выход» 61,6

Таблица 3

Размеры отпечатков от шариков ФСП
на штоках макетного образца ФСП*

Нагрузка, кгс	Штатный шток		Экспериментальный шток	
	Диаметр отпечатка, мм	Глубина отпечатка, мм	Диаметр отпечатка, мм	Глубина отпечатка, мм
+600	0,744	0,0351	0,384	0,0092
-600	0,65	0,0268	0,305	0,0059
+1200	0,821	0,043	0,496	0,0156
-1200	0,837	0,0446	0,489	0,0151
+1500	–	–	0,785	0,0392
-1500	–	–	0,703	0,0314
+2000	–	–	0,966	0,0596
-2000	–	–	0,732	0,034
+2500	–	–	1,007	0,0649
-2500	–	–	0,75	0,0358
+3000	–	–	0,974	0,0607
-3000	–	–	0,883	0,0498

Знак «+» – нагружение штока «на вход», «-» – «на выход»

– значения люфта обоих штоков с поршнем в зафиксированном положении, а также их перемещения в зафиксированном положении под действием нагрузки соответствовали ТУ на СУВТ;

– при нагрузке 3000 кгс штатный шток с поршнем потерял свою работоспособность, так как произошло стопорение запорной втулки и закусывание штока (рис. 2).



Рис. 2. Места контакта штока с шариками ФСП после нагружения 3000 кгс (штатный поршень – слева, поршень из стали 18ХГТ – справа)

Параметры макетного образца ФСП со штатным штоком с поршнем приведены в табл. 1.

Параметры макетного образца ФСП с экспериментальным штоком с поршнем приведены в табл. 2.

Размеры отпечатков от шариков ФСП на штоках макетного образца приведены в табл. 3.

Выводы

Таким образом, результаты проведенных работ показали, что замена материала штатного штока с поршнем на сталь 18ХГТ с цементированной и закаленной канавкой штока позволяет увеличить действующую на шток привода нагрузку до 3000 кгс.

Статья поступила 27.12.2018