

УДК 629.783; 537.622

Особенности работы в среде сухого азота щеточных двигателей, используемых в электрогидравлических приводах

Петров Ю. А.¹, Горовцов В. В.¹,
Коврижных Я. В.¹, Алешин В. Ф.^{2,*},
Колобов А. Ю.¹

* victorfa@mail.ru

¹ФГУП «Научно-производственное объединение им.С.А.Лавочкина»,
Химки, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Работа посвящена оптимизации конструктивных характеристик бесконтактных двигателей постоянного тока, применяемых в электромеханических приводах космических аппаратов. Установлено, что от состава газовой среды, находящейся под герметичным кожухом двигателя, зависит износостойкость и работоспособность привода. В среде сухого азота резко возрастает износ щеток из-за изменения трибологических характеристик коллектора, что приводит к существенному падению сопротивления изоляции и незапуску двигателя.

Рекомендовано заполнять пространство под герметичным кожухом воздухом. Положительным опытом эксплуатации приборных контейнеров космических аппаратов, содержащих подвижные электромеханические пары установлено, что при этом заполняемый воздух должен иметь точку росы минус 20°С.

Предложена электромеханическая альтернатива конструкции электрогидравлическим приводам, с шарико-винтовой передачей исполнительного устройства, обладающая рядом преимуществ.

Ключевые слова: космическая техника, электромеханический привод космических аппаратов, газовая среда, износостойкость привода, работоспособность привода, приборный контейнер

Рулевые машины двигательных установок ракетно-космической техники относятся к числу наиболее трудоемких, сложных в отработке и производстве подсистем. Уровень их совершенства, ресурс активного функционирования, надежность, технико-экономические показатели во многом определяют функциональные возможности и технико-экономическую эффективность ракетно-космического комплекса в целом. Сроки разработки, производства, испытаний и ввода в эксплуатацию новых рулевых машин достаточно длительны и достигают нескольких лет даже при условии наличия достаточного научно-технического задела. Статья посвящена исследованиям проблем

повышения надежности и эксплуатационных характеристик рулевых машин двигательных установок ракетно-космической техники.

В ракетной и космической технике довольно широко используются электрогидравлические приводы (рулевые машины) для управления вектором тяги двигателя. Рулевые машины конструктивно состоят из насосной станции и исполнительного устройства.

В насосной станции, как правило, используются шестеренные или плунжерные насосы, с помощью которых создаются напор и расход рабочей жидкости достаточные для преодоления внешней нагрузки. Эти насосы допускают относительно высокие числа оборотов 4000-5000 об/мин, приводимые в движение электродвигателями постоянного тока. При рациональном выборе проектных параметров этих насосов можно получить для них достаточно компактные рулевые машины при заданной производительности.

Исполнительное устройство рулевых машин может быть выполнено в виде кривошипно-шатунного механизма или в виде гидроцилиндра. В первом случае, на выходном валу устанавливается камера сгорания верньерного двигателя. Во втором случае маршевая двигательная установка перемещается с помощью гидроцилиндра и механизма подвески.

И в том и в другом случаях требуются электродвигатели с мощностью 250 Вт и более. При использовании электродвигателей коллекторного типа управление рулевыми машинами осуществляется достаточно просто. При работающем электродвигателе по командам от блока управления подается электрический сигнал определенного уровня и длительности на поляризованное реле рулевой машины. Поляризованное реле в зависимости от знака сигнала перемещает в заданном направлении золотниковый распределитель масла. При этом шток гидроцилиндра работает на выпуск или втягивание камеры двигательной установки, а в случае кривошипно-шатунного механизма выходной вал рулевой машины поворачивает камеру двигательной установки по часовой стрелке или против нее.

По результатам многочисленных наземных испытаний рулевых машин в ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» и натурной эксплуатации в составе изделий ракетно-космической техники они показали себя как высоконадежные агрегаты, простые в изготовлении, и, следовательно, недорогие в производстве.

Несложная технология настройки рулевых машин обеспечивает стабильность параметров, что позволяет использовать рулевые машины в широком диапазоне нагрузок и температур.

Наряду с рулевыми машинами в космических аппаратах в электромеханических приводах и агрегатах используются бесконтактные двигатели постоянного тока, в которых щеточно-коллекторный узел заменен более надежным полупроводниковым коммутатором, управляемым датчиками положения ротора. Коммутатор не только выполняет основную функцию – заменяет щеточно-коллекторный узел, но и управляет двигателем: регулирует угловую скорость, осуществляет реверс, пуск и остановку

вращения. Эти двигатели не являются источником радиопомех и имеют большой ресурс работы, вместе с тем, эти двигатели обладают малой мощностью.

В электрогидравлических приводах используются простые электродвигатели с постоянными магнитами достаточно большой мощности, коллекторные со скользящими контактами из графитовых щеток. Графит обладает хорошей электро- и теплопроводностью, высокой температурной стойкостью и малым коэффициентом трения.

В отличие от электромеханических приводов многоразового действия, которые работают в течение всего ресурса космического аппарата, электрогидравлические приводы в составе изделия имеют лишь несколько включений за ограниченный промежуток времени, а циклограмма их работы не нарушает работу радиокомплекса.

Высокая надежность электродвигателей со скользящими контактами, а, следовательно, и надежность электрогидравлического привода в целом, в значительной степени зависит от качества работы щеточно-коллекторного узла.

При нормальной работе электродвигателя износ щеток является незначительным и сопротивление изоляции к концу ресурса работы двигателя соответствует требованиям Технических условий.

Однако при повышенном износе щеток токопроводная угольная пыль заполняет зазоры между ламелями коллектора, при этом сопротивление изоляции резко падает.

Известны разные причины, которые могут повлиять на нормальную работу щеточно-коллекторного узла [1,2,3].

Искрение щеток и обгорание ламелей коллектора возможно, если щетки плохо пришлифованы, щетки не могут свободно без перекосов перемещаться в обойме щеткодержателя, неправильно выбрано усилие прижатия щеток к коллектору.

Ламели коллектора имеют острые кромки, поверхность ламелей недостаточно гладкая, имеется биение коллектора и вибрация щеткодержателей.

Высокие требования предъявляются к щеткам: кроме механических характеристик - прочности, твердости, коэффициента трения и износостойчивости – важно также обеспечение незначительного переходного сопротивления и расчетного падения напряжения в щеточном контакте. Это достигается за счет добавок в графит мелкодисперсной меди и других элементов. При этом экспериментально подбирается оптимальное усилие прижатия щеток к коллектору.

Конечно, при отработанной технологии изготовления деталей и сборки двигателя обеспечивается их высокая производственная надежность.

При изготовлении осуществляется пооперационный контроль, щетки достаточно пришлифованы и имеют глянцевую поверхность на всей площади контакта с коллектором. Якорь на специальном приспособлении отбалансирован и т.д.

Двигатели изготавливаются партиями и проходят большой объем испытаний, а перед установкой их в электрогидравлическом приводе они проходят 100% входной контроль с проверкой основных характеристик на соответствие требованиям Технических условий.

Вместе с тем, как показали экспериментальные исследования электромеханических приводов, некоторые характеристики двигателя существенно зависят от состава газовой среды окружающей двигатель.

При эксплуатации двигателей предполагается, что они кроме фланца со стороны вала, работают в атмосфере воздуха.

Электродвигатель со стороны вала с помощью армированных резиновых манжет выполнен в герметичном исполнении, что позволяет его использовать для работы насоса в среде масла. Со стороны щеточно–коллекторного узла на двигателе негерметично установлен стакан, с помощью которого внутренняя полость двигателя защищена от пыли и прямого попадания влаги. При работе двигателя в среде воздуха, т.е. при наличии кислорода, на медном коллекторе образуется тонкая глянцевая пленка из оксидов меди и графита, называемая политурой. При наличии политуры улучшаются свойства щеточного контакта: резко уменьшается коэффициент трения и возрастает падение напряжения

Для обеспечения работы и получения стабильных характеристик двигателя в условиях космоса, двигатель относительно корпуса электрогидравлического привода герметично защищен кожухом. При этом полость между кожухом и двигателем после вакуумирования заполняется сухим газом до давления 1 атм. И здесь важен состав газовой среды.

В первоначальном варианте конструкции герметичная полость заполнялась сухим воздухом, но при передаче заказа другому изготовителю в силу технологических особенностей стали заполнять сухим азотом.

При испытаниях установочной партии электрогидравлических приводов установлено, что при заполнении полости сухим азотом с точкой росы минус 55⁰С через 30 мин работы сопротивление изоляции резко падало у всех образцов от 100 мОм до 100 кОм. Это объясняется тем, что в среде сухого азота «политура» стирается и происходит диффузионное насыщение азотом поверхностного слоя коллектора. В результате повышается твердость и шероховатость поверхности коллектора, резко увеличивается трение и существенно падает сопротивление изоляции.

И хотя сопротивление изоляции порядка 100 кОм величина немалая, но в результате большого износа щеток нет гарантии, что щетка не «зависнет» на проводе в обойме щеткодержателя, а это может привести к незапуску двигателя.

После продувки щеточно – коллекторного узла и заправки воздухом полости под кожухом с точкой росы минус 20⁰С, при работе двигателя политура восстановилась. Износ щеток стал нормальным, а большое сопротивление изоляции (≈ 100 мОм) в течение ресурса практически оставалось неизменным.

Таким образом установлено, что оптимальным составом газа является сухой воздух с точкой росы минус 20⁰С, что подтверждается большим опытом эксплуатации приборных контейнеров космических аппаратов, содержащих подвижные электромеханические пары.

В настоящее время разрабатывается электромеханическая альтернатива конструкции электрогидравлических приводов, с шарико-винтовой передачей исполнительного устройства, обладающая рядом преимуществ [4-7]:

- отсутствует насосная станция;
- не требуется герметичного исполнения, т.к. отсутствует гидравлическая полость;
- отсутствует компенсатор температурных деформаций;
- конструкция электромеханического привода размещается в одном корпусе имеет существенно меньшие габариты и массу.

Выполнена конструктивная проработка электромеханического привода, в котором в качестве редуктора используется планетарная передача с соосно установленной шарико-винтовой передачей исполнительного механизма.

В результате отказа от насосной станции обеспечивается большое снижение массы конструкции электромеханического привода (рулевой машины). При этом упрощение конструкции приводит к повышению надежности изделия

Список литературы

1. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин. Л.: Энергоатомиздат, 1989. 336 с.
2. Козлов А.А., Новиков В.Н., Соловьев Е.В. Системы питания и управления жидкостных ракетных двигательных установок. М.: Машиностроение, 1998. 352 с.
3. Блинов Д.С. Результаты расчетов на контактную прочность резьбовых деталей планетарных роликвинтовых передач // Справочник. Инженерный журнал. 2003. № 10. С. 29-34.
4. Гуцин В.Н. Основы устройства космических аппаратов. М.: Машиностроение, 2003. 272 с.
5. Ряховский О.А., Соколов П.А., Лаптев И.А. и др. Безгаечные роliko-винтовые механизмы // Всероссийская научно-техническая конференция «Машиноведение и детали машин»: тр. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. С.165-167.
6. Ряховский О.А., Блинов Д.С., Соколов П.А. Электроприводы с осевым перемещением выходного звена // Трубопроводный транспорт нефти. 2009. № 8. С. 21-22.
7. Блинов Д.С., Морозов М.И. Неравномерность распределения нагрузки между сопрягаемыми витками ролика и винта с гайкой планетарной роликвинтовой передачи // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон.журнал. 2014. № 9. С. 1-14. DOI: [10.7463/0914.0727121](https://doi.org/10.7463/0914.0727121)

Features of Running Brush Motors in Dry Nitrogen Environment When Using in Electrohydraulic Actuators

Y.A. Petrov¹, V.V. Gorobtsov¹,
A.V. Kovrizhnykh¹, V.F. Aleshin^{2,*},
A.Y. Kolobov¹

* victorfa@mail.ru

¹Federal State Unitary Enterprise Scientific and Production Association of
S.A. Lavochkin, Khimki, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: space equipment, electromechanical drive of spacecrafts, gas environment, wear resistance of the drive, operability of the drive, instrument container

The work concerns the constructive characteristics optimization of brushless D.C. (direct current) motors used in electromechanical spacecraft drives.

The spacecraft electromechanical drives and units use rather widely the brushless D.C. motors in which a motor commutator is replaced with more reliable semiconductor commutator controlled by the rotor position sensors. However, these motors are of low power.

Electrohydraulic actuators (EHA) use simple permanent-magnet motors (PMM) of rather high power and commutator motors with graphite brush variable contacts.

High reliability of brush motors, and, therefore a reliability of EHA in general, substantially depends on the quality of motor commutator operation. There are different reasons for a possible impact on the normal motor commutator operation. One of them is brush wear. Sparking brushes and burning commutator bars are possible in case brushes are poorly grinded to fit, brushes cannot freely move true in the brush holder box, and in case an incorrect force to clamp brushes to the commutator is chosen.

It is established that drive wear resistance and operability depends on the gas environment composition being under sealed motor housing. In dry nitrogen environment brush wear suddenly raises because of the changing tribological performances of the commutator thus leading to essentially falling isolation resistance and no motor start.

It is recommended to fill a space under sealed motor housing with air. Positive experience of operating spacecraft device containers with mobile electromechanical couples allowed us to find that in this case a dew point of filled air must be minus 20°C.

The paper offers an electromechanical alternative of design to the electrohydraulic actuators, with a ball-screw gear of the actuation mechanism, possessing a number of advantages.

References

1. Gemke R.G. *Neispravnosti elektricheskikh mashin* [Malfunctions of electrical machines]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1989. 336 p. (in Russian).
2. Kozlov A.A., Novikov V.N., Solov'ev E.V. *Sistemy pitaniya i upravleniya zhidkostnykh raketnykh dvigatel'nykh ustanovok* [Power supply and control systems of liquid rocket propulsion systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1998. 352 p. (in Russian).
3. Blinov D.S. The results of calculations of contact strength of threaded parts of planetary roller screws drive. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal = Handbook. An Engineering journal*, 2003, no. 10, pp. 29-34. (in Russian).
4. Gushchin V.N. *Osnovy ustroystva kosmicheskikh apparatov* [Principle of arrangement of spacecraft]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003. 272 p. (in Russian).
5. Ryakhovskiy O.A., Sokolov P.A., Laptev I.A., et al. Without nut roller screw mechanisms. *Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Mashinovedenie i detali mashin": tr.* [Proc. of the all-Russian scientific-technical conference "Machine science and machine parts"]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2008, pp. 165-167. (in Russian).
6. Ryakhovskiy O.A., Blinov D.S., Sokolov P.A. Electric drives with axial displacement of output link. *Truboprovodnyy transport nefi*, 2009, no. 8, pp. 21-22. (in Russian).
7. Blinov D.S., Morozov M.I. Uneven Load Distribution Between Mating Windings of Roll and Screw with Nut of Planetary Roller Drive. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 9, pp. 1-14. DOI: [10.7463/0914.0727121](https://doi.org/10.7463/0914.0727121) (in Russian).