

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ВИБРАЦИИ ЭЛЕКТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Матвеев С.А., Ширококов О.В., Слободзян Н.С., Горбунов А.В.

Ключевые слова: космический аппарат, система терморегулирования, электронасосный агрегат, вибрация

Аннотация. Электронасосный агрегат (ЭНА) является неотъемлемой частью активных систем терморегулирования (СТР), обеспечивающих перераспределение тепловой энергии на борту космического аппарата (КА). При проектировании современных КА к ЭНА могут предъявляться требования малых значений параметров вибрации. В данном докладе рассматривается комплексный подход к обеспечению низкой виброактивности ЭНА.

CONSTRUCTIVE AND SOFTWARE METHODS FOR REDUCING THE VIBRATION OF SPACECRAFT ELECTRIC PUMP UNIT

Matveev S.A., Shirobokov O.V., Slobodzyan N.S., Gorbunov A.V.

Keywords: spacecraft, thermal control system, electric pump unit, vibration

Abstract. An electric pumping unit (EPU) is an integral part of active thermal control systems (TCS), which redistribute thermal energy on spacecraft. When designing modern spacecraft, EPU may be required to have small values of vibration parameters. This report discusses a comprehensive approach to ensuring low vibration activity of EPU.

Электронасосный агрегат (ЭНА) является неотъемлемой частью активных систем терморегулирования (СТР), обеспечивающих перераспределение тепловой энергии на борту космического аппарата (КА). Рассматриваемый ЭНА представляет собой электромеханическую систему (ЭМС), включающую в себя систему управления (блок электроники), электродвигатель (бесколлекторный двигатель постоянного тока – БДПТ) и насосную часть. ЭНА непрерывно перекачивает теплоноситель по гидротракту СТР [1], от его работы зависит устойчивое функционирование всей бортовой аппаратуры КА. Совокупность требований большого ресурса, высокой надежности, стойкости к внешним воздействующим факторам значительно усложняет задачу проектирования электронасосного агрегата. В отдельных случаях, на борту КА может размещаться чувствительная к вибровозмущениям целевая аппаратура. Это приводит к тому, что могут предъявляться требования низкого уровня виброактивности. При проектировании нового образца ЭНА перед специалистами БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова встала задача достижения уровня среднеквадратичного значения (СКЗ) виброускорения на поверхности закрепления на уровне ниже 10^{-2} g в диапазоне частот 5-1000 Гц. В ходе осуществления проекта было определено несколько направлений решения данного вопроса, рассматривающих подсистемы ЭНА и отдельные аспекты его функционирования, а именно:

- система управления ЭНА;
- подвижные узлы ЭНА;

- электродвигатель;
- гидравлическая часть ЭНА;

В части системы управления вопрос снижения виброактивности решается путем выбора и отладки наиболее «гладкого» режима управления, методов переключения обмоток, подбора оптимальной частоты широтно-импульсной модуляции. Дополнительно рассматриваются программные алгоритмы управления электродвигателем для гашения вибраций.

В части подвижных узлов анализ современной научной и технической литературы привел к выбору гидродинамических опор как наиболее подходящих для ЭНА с длительным сроком службы (до 15 лет). Помимо этого, данный вид опор имеет преимущество в виде высокой демпфирующей способности и низкой вибрационной активности [2]. Эти подвижные узлы функционируют при высоких скоростях вращения ротора для обеспечения устойчивого гидродинамического режима смазывания, что дает дополнительное преимущество в виде уменьшения уровня передаваемых вибраций от роторно-подшипниковой системы на корпус устройства.

Электродвигатель (ЭД), в первую очередь для устойчивого функционирования гидродинамических опор, выбирают с высокой частотой вращения (от 10000 об/мин). Выбор высокой скорости вращения обусловлен низкой вязкостью жидкостей, применяемых в качестве теплоносителей в СТР [3, 4].

Насосная часть выполнена по схеме двухступенчатого центробежного насоса с предвключенным шнеком. Такое конструктивно-компоновочное решение обеспечивает согласование осевой нагрузки, возникающей при работе каждой ступени, что в свою очередь обеспечивает снижение вибрации. Форма рабочих колес агрегата и спрямляющего аппарата оптимизирована с целью уменьшения зон появления вихревых течений, что также в свою очередь приводит к снижению вибрационной активности. Предвключенный шнек обеспечивает предварительную подготовку потока жидкости и позволяет снизить вероятность появления зон кавитации при работе агрегата в условиях пониженного давления в системе.

Предложенный комплекс направлений позволяет достичь низкого уровня виброактивности, обеспечивая при этом адаптивный подход при решении данной задачи.

Благодарность

Работа выполнена в рамках НИОКТР комплексного проекта «Создание высокотехнологичного импортозамещающего производства высокоресурсных элементов систем исполнительной автоматики транспортной и авиационно-космической техники, обеспечивающей освоение и использование Мирового Океана, Арктики и Антарктики» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-11-2019-077 от 13.12.2019) в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 № 218.

Список литературы

1. Бобков А.В. Центробежные насосы систем терморегулирования космических аппаратов. Владивосток: Дальнаука, 2003. 217 с.
2. Чернавский С.А., Подшипники скольжения. М., МАШГИЗ, 1963. 243 с.
3. Морковин А.В., Плотников А.Д., Борисенко Т.Б. Теплоносители для тепловых труб и наружных гидравлических контуров систем терморегулирования автоматических и пилотируемых космических аппаратов // Космическая техника и технологии. 2015. № 3. С. 89-99.
4. Морковин А.В., Плотников А.Д., Борисенко Т.Б. Теплоносители для внутренних контуров систем терморегулирования пилотируемых космических аппаратов // Космическая техника и технологии. 2013. № 1. С. 79-87.

References

1. Bobkov A.V. Centrifugal pumps of spacecraft temperature control systems. Vladivostok: Dalnauka, 2013. 217 p.
2. Chernavskiy S.A., Hydrodynamic bearings. M., MASHGIZ, 1963. 243 p.
3. Morkovin A.V., Plotnikov A.D., Borisenko T.B. Heat carriers for heat pipes and external hydraulic circuits of thermal control systems of automatic and manned spacecraft // Space technology and technology. 2015. №3. P. 89-99.
4. Morkovin A.V., Plotnikov A.D., Borisenko T.B. Heat-transfer media for internal loops of thermal control systems for manned spacecraft // Space technics and technologies. 2013. №1. P. 79-87.

Матвеев Станислав Алексеевич – кандидат технических наук, проректор по научной работе и инновационному развитию, matveev_sa@voenmeh.ru	Matveev Stanislav Alekseevich – candidate of technical sciences, prorector of scientific work and innovative development, matveev_sa@voenmeh.ru
Широбок Олэг Вячеславович – младший научный сотрудник, shirok.93@mail.ru	Shirobokov Oleg Vyacheslavovich – junior research scientist, shirok.93@mail.ru
Слободзян Никита Сергеевич – научный сотрудник, ja-nikita@mail.ru	Slobodzyan Nikita Sergeevich – research scientist, ja-nikita@mail.ru
Горбунов Андрей Владимирович – ведущий инженер, anygos@yandex.ru	Gorbunov Andrey Vladimirovich – lead engineer, anygos@yandex.ru
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Российская федерация	Baltic state technical university “VOENMEH”, Saint-Petersburg, Russian Federation

Received 22.12.2021