

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ПОДШИПНИКОВ В ОПОРАХ РОТОРОВ ТНА

Иванов А. В.<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>АО «НПО Энергомаш», г. Химки, iav308@inbox.ru

<sup>2</sup>Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
г. Москва

*Ключевые слова: подшипник, турбонасосный агрегат, быстроходность, нагрузки.*

В настоящее время одна из основных тенденций развития ракетной техники – применение многоразовых элементов конструкции РН – ускорителей, ступеней, двигателей и др., что требует повышения ресурса основных элементов, определяющих работоспособность конструкции.

Независимо от рабочих компонентов и схемы двигателя, опоры роторов ТНА и их основной элемент – подшипники являются одним из ключевых элементов для успешной реализации проектов по созданию двигателей многократного использования.

Основные направления совершенствования подшипников ТНА ЖРД:

– обеспечение оптимальных условий работы – радиальных и осевых нагрузок на опоры, расхода, давления и температуры охлаждающей жидкости или газа, минимальных величин перекосов и т.п.;

– выбор типа и конструкции подшипников, обеспечивающих многократность включения и использования;

– выбор материалов колец, тел качения и сепаратора подшипника.

Частота вращения ротора определяет количество циклов нагружений подшипника и определяется действующими на опоры ротора радиальными и осевыми нагрузками от сил давления в насосе и турбине и радиальными силами от дисбаланса ротора. В то же время чем выше частота вращения ротора, тем выше напряжения от центробежных сил шариков в контакте шариков с дорожкой качения наружного кольца подшипника и тем выше напряжения в сепараторе подшипника.

По мере накопления опыта создания турбонасосных агрегатов ЖРД, и благодаря достижениям материаловедения, быстроходность шарикоподшипников росла. Из сравнения видно, что достигнутые в настоящее время значения быстроходности подшипников по среднему диаметру не превышают  $2,5 \cdot 10^6$  мм·об/мин для кислородных насосов и  $3,5 \cdot 10^6$  мм·об/мин для водородных насосов [1]. Причем максимально достигнутые значения быстроходности опор потребовали создания подшипников специальных типов – гибридных – подшипников с керамическими телами качения и сепараторами из специальных композиционных материалов.

Применение керамических материалов, за счет более низкой плотности керамики, позволяет снизить центробежные нагрузки. Практически все перспективные иностранные ТНА ЖРД, начиная с 2000-х годов, оснащаются гибридными подшипниками.

Переход от стальных к гибридным подшипникам в турбонасосных агрегатах ЖРД RS-25 (SSME) ракетно-космической системы Спейс Шаттл (США) позволил решить проблемы, связанные с износом подшипников и существенно повысить кратность использования двигателей [1]. Гибридные подшипники используются в турбонасосных агрегатах современных ЖРД Европы, США, Японии, Китая.

Следует отметить ряд достоинств гибридных подшипников в специфических условиях эксплуатации в составе ЖРД:

– Результаты усталостных испытаний керамических тел качения и гибридных подшипников показывают, что их номинальная долговечность от 2 до 8 раз выше долговечности работающих в тех же условиях стальных аналогов [2], что позволяет их

использовать в ЖРД РН многократного использования, а также совершенствовать характеристики ЖРД, эксплуатируемых в настоящее время.

– Пониженные напряжения от центробежных сил шариков и низкий коэффициент трения шариков по стали гибридных подшипников повышают стойкость к возгоранию опор роторов кислородных насосов.

– Способность гибридного подшипника работать без смазки или при её дефиците [2] позволяет ему работать в газообразной среде при вскипании охлаждающей среды, при кавитации в насосе или в подшипнике, может рассматриваться охлаждение гибридного подшипника газом.

– Низкий коэффициент теплового расширения керамического материала шариков при изменяющейся в широком диапазоне температуре конструкции позволяет использовать гибридный подшипник с малым и стабильным при работе радиальным зазором, что улучшает динамические характеристики ротора и улучшает условия работы самого подшипника.

Все указанные достоинства гибридного подшипника не только увеличивают долговечность подшипников ТНА ЖРД, но и повышают живучесть конструкции ТНА в нештатных условиях работы двигателя и снижают стоимость отработки ТНА.

Для повышения качества проектных работ в части надежности и долговечности подшипников целесообразно совместно с Госкорпорацией «Росатом» и ЦИАМ создать, верифицировать и валидировать на базе имеющихся экспериментальных данных пакет программ для расчета подшипников при разработке ЖРД и анализе результатов испытаний.

#### **Список литературы**

1. Иванов А.В., Белоусов А.И., Дмитренко А.И. Турбонасосные агрегаты кислородно-водородных ЖРД. Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет». 2011. 283 с.

2. Ножницкий Ю.А., Петров Н.И., Лаврентьев Ю.Л. Гибридные подшипники качения для авиационных двигателей: обзор // Авиационные двигатели; 2019. № 2 (3). С. 63–76.

#### **Сведения об авторах**

Иванов Андрей Владимирович, д.т.н., доцент. Область научных интересов: проектирование жидкостных ракетных двигателей, расчет и проектирование турбонасосных агрегатов и их элементов.

### **PROSPECTS OF HYBRID BEARINGS USING IN THE TURBOPUMPS ROTORS SUPPORTS**

Ivanov A.V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> JSC “NPO Energomash”, Khimki, Russia, iav308@inbox.ru

<sup>2</sup>“Moscow Aviation Institute (National Research University)”, Moscow, Russia

*Keywords: bearing, turbopump, speed coefficient, loads.*

With the growing requirements for reliability and the reusability of liquid-propellant rocket engines, the developed technologies should be aimed at increasing the durability of bearings with increased speed parameters. One of the solutions to increase the service life and reliability of LRE is the use of hybrid ball bearings in TPU, the balls in which are made of ceramics. The solution of such a problem is of particular relevance for a reusable liquid-propellant rocket engine.