

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА РЕДУКТОРОВ ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХФАЗНОЙ МАСЛОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Кравченко И.Ф., Ананьев В.Г., Колесник П.А., Единович А.Б., Аксёнов А.Ф.¹, Стельмах А.У.¹

ГП «Ивченко-Прогресс», ¹Национальный авиационный университет

Разработка, конструирование и организация производства новых серийных авиационных летательных аппаратов требует значительных материальных затрат. Поэтому при создании нового летательного аппарата всегда рассматривается возможность использования в его составе серийно выпускаемых агрегатов, которые хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации и по техническим характеристикам соответствуют предъявляемым требованиям в составе нового изделия. При создании новых типов самолётов Ан-140, Ан-148 и Ан-158 в КБ «Ивченко-Прогресс» разрабатывались двигатели ГТД ТВ3-117ВМА-СБМ1 и Д-436-148 на базе существующих ТВ3-117ВМА и Д-436.

Для обеспечения необходимого для подшипников качения роторов и редукторов ГТД и ВСУ теплового режима применяется система смазки и охлаждения с прокачкой десятков и сотен литров в минуту, в то время как для обеспечения смазки поверхностей трения без учета теплонапряженности требуются всего миллилитры. Известно, что потери на трение в подшипниках с масловоздушным смазыванием смазкой масляным туманом существенно снижаются (до трех раз), хотя интенсивность теплоотвода в воздушно-масляную фазу также уменьшается. Из этого следует, что охлаждающая жидкая (однофазная) среда в трибоконтакте, обеспечивая теплоотвод от него, в это же время является причиной увеличенного тепловыделения.

Повышение износостойкости и ресурса высокооборотных трибосистем качения при уменьшении количества смазочного материала, подаваемого в зону контакта в виде масловоздушной смеси, не находит своего однозначного объяснения с позиции известных теорий, гипотез и положений о трении и изнашивании. Общепризнанная эластогидродинамическая (ЭГД) теория смазки включает в себя ряд положений, исходя из которых, для повышения ресурса трибосистем необходимо реализовывать обильное смазывание контакта и избегать возможности возникновения условий масляного голодания. Тем не менее, практика высокоскоростных трибосистем качения и скольжения показала, что в ряде случаев обильное смазывание ЭГД-контакта приводит к интенсивному изнашиванию поверхностей, их выкрашиванию или термическому разрушению. Увеличение расхода смазочного материала для обеспечения интенсивного теплоотвода от ЭГД-контакта оказалось малоэффективным.

В 2007 году была выдвинута гипотеза о компрессионно-вакуумной природе трения, исходя из которой, в ЭГД-контакте протекают значительно более сложные процессы, чем взятые за основу в эластогидродинамической теории смазки. В работах А.У. Стельмаха представлены экспериментальные данные, которые легли в основу компрессионно-вакуумной гипотезы о природе трения и трибокавитационном механизме изнашивания. Основным положением этой гипотезы является самопроизвольное возникновение относительно минимального зазора каждого элементарного трибоконтакта двух характерных областей. В области уменьшения зазора по направлению скольжения и/или качения, т.е. конфузорной, происходит повышение давления в граничных слоях смазки и возникновение вторичного течения, противоположного направлению вращения. В этой области при высоких скоростях трение происходит между набегающими с движущейся поверхности слоями граничной смазки и слоями вторичного обратного течения, вызванного градиентом давлений в сужающейся зоне трибоконтакта.

Применительно к трению качения, гидродинамические процессы в граничных слоях протекают аналогично трению скольжения. На рис.1 показана схема возникновения области повышенного $+\Delta P$ и пониженного $-\Delta P$ давления в граничных слоях смазки (ось P_{oc}) и векторы вторичных течений смазки: компрессионных $v_{компр.}$ и вакуумных $v_{вак.}$, направленных противоположно набегающим смазочным слоям при давлении окружающей среды равном атмосферному $P_{атм.}$ (пересечение осей x и P_{oc}) и распределение давлений смазочного слоя на поверхности ролика. Пунктиром показано распределение упругих контактных напряжений по Г.Герцу без смазки, в среде воздуха (зазор – условный).

Если наблюдать за качением ролика по кольцу по схеме, представленной на рис.1, когда контакт относительно наблюдателя неподвижен, то в конфузорной области набегающие с движущимися поверхностями ролика и дорожки кольца потоки по мере приближения к минимальному зазору будут встречать сопротивление вторичных течений, направленных противоположно движению. При этом через минимальный зазор в соответствии с физическим законом сохранения количества вещества, смазка пройдет в количестве не превышающем имеющегося вещества в зоне максимальных контактных напряжений, где граничные слои максимально упруго деформированы. В диффузорной области контакта будет происходить разрежение прошедших через минимальный зазор слоёв смазки, понижение в них давления относительно давления окружающей среды, например атмосферного. Как следствие, здесь вторичные вакуумные течения будут направлены из среды в контакт и также против движения. Соответственно на ролик будут действовать давления сжатых и разреженных слоев смазки, как показано на рис.1 в виде эпюры давлений.

области контакта, а также кавитация в конфузурной являются основными причинами разогрева высокоскоростных трибосистем с ЭГД-контактами. Выделению из смазочной среды масловоздушной фазы, наряду с барботажем, способствуют процессы разрежения смазки в диффузорных областях контакта, то есть трибокавитация, когда степень разрежения достигает значений меньше давления насыщенных паров масла. Стендовые испытания ТВЗ-117ВМА-СБМ1 на ОАО «Мотор Сич» и ГП «Ивченко-Прогресс» показали, что при уменьшении зазоров в роликовом подшипнике и при том же расходе масла на дорожках качения ресурс передних редукторов двигателя несколько увеличивался, однако выкрашивание не прекращалось. При использовании масловоздушной смазки, вместо струйной подачи масла на беговую дорожку признаков разрушения поверхностей обнаружено не было. Эксплуатация восьми двигателей с конструкторскими доработками по организации смазки масловоздушной смесью показала, что при увеличении ресурса осей сателлитов передних редукторов двигателей ТВЗ-117ВМА-СБМ1 более чем в 5 раз, признаки их выкрашивания не обнаружены, а редуктора работают надёжно и устойчиво. Приведенные результаты исследований подтверждают справедливость компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибокавитационного механизма изнашивания, свидетельствуют об их научно-технической состоятельности, в частности применительно к термонагруженным и высокоскоростным трибосистемам современных ГТД, а также перспективность их использования при проектировании трибосистем авиационного двигателестроения.

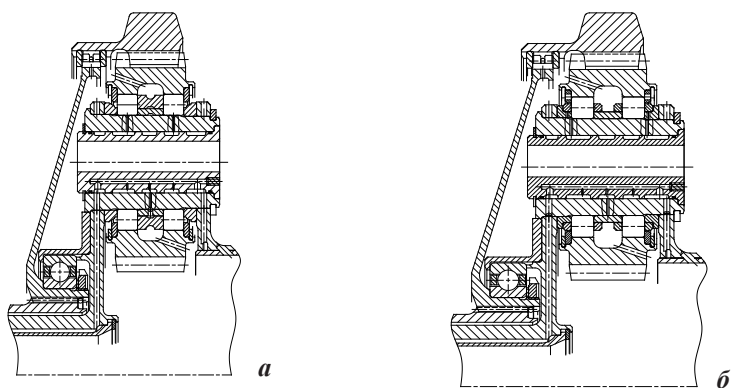


Рис. 2 Схема подвода смазки в подшипники главного редуктора двигателя ТВЗ-117ВМА-СБМ1:

a - исходная конструкция; *б* -доработанная конструкция подшипника сателлита

ФИЗИКА ПРОЦЕССА БЕСКОНТАКТНОЙ МАГНИТНО-ТУРБУЛЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Куцев А.В., Шевченко Р.А., Коба В.П., Ковальчук Е.Г.
Национальный авиационный университет

В производстве и в техобслуживании трибосистемы качения подвергают очистке. Известны различные методы и технологий удаления загрязнений. С учетом конструктивных и технологических различий, а также особенностей эксплуатации подшипников, наибольшее распространение получили ультразвуковые методы их очистки. При этом для разрыхления и ослабления связей загрязнений с подложкой, и последующего их удаления используют преимущественно гидродинамическое воздействие. Как известно, даже такой относительно эффективные методы не всегда обеспечивают требуемый уровень чистоты. В первую очередь эта задача актуальна для приборных и других прецизионных подшипников.

С целью повышения эффективности существующих и разработки новых методов и технологий очистки узлов машин и механизмов в лаборатории нанотриботехнологий НАУ был проведен ряд исследований, направленных на построение основы физико-математической модели поведения частиц загрязнений и изучения влияния сил, воздействующих в процессе очистки на компоненты загрязнений рабочих поверхностей подшипника. В качестве объекта исследования был выбран шарикоподшипник серии 203. Характер потока моющей жидкости, проходящей через подшипник, поддерживался турбулентным, как наиболее распространенный в известных методах и способах. Реализуется его способность эффективно реструктурировать загрязнения и удерживать их в потоке моющей среды.

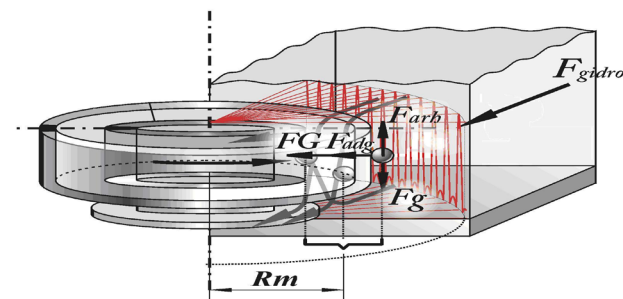


Рис.1. Силы, действующие на частицу при очистке подшипника