Иванников Андрей Дмитриевич, курсант,
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

Иванников Дмитрий Сергеевич,
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

Тронин Александр Леонидович,
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

СПОСОБЫ МОДЕРНИЗАЦИИ РАЗДАТОЧНОЙ КОРОБКИ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭРОДРОМНОГО ПОДВИЖНОГО ЭЛЕКТРОАГРЕГАТА АПА-5Д С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ НАДЕЖНОСТИ

Аннотация. В статье рассматриваются и анализируются методы для повышения надежности и продления срока службы раздаточной коробки аэродромного подвижного электроагрегата АПА-5Д, а также необходимость комплексной модернизации, включающая усовершенствование системы смазки, повышение прочности деталей и внедрение систем мониторинга.

Ключевые слова: Электроагрегат АПА-5Д, модернизация, мониторинг, раздаточная коробка, эксплуатация.

Аэродромный подвижный электроагрегат АПА-5Д является базовым специальным средством наземного обеспечения полетов, предназначенным для запуска авиационных двигателей и электроснабжения бортового оборудования воздушных судов. Высокие требования к безотказности авиационной техники предъявляют жесткие критерии к надежности средств ее обслуживания. Практика эксплуатации показывает, что одним из наиболее уязвимых узлов трансмиссии специального оборудования АПА-5Д является раздаточная коробка (РК)**,** обеспечивающая распределение мощности двигателя базового шасси (УРАЛ) на генераторы. Интенсивные динамические нагрузки, работа в режимах частых пусков и длительной стационарной работы приводят к преждевременному износу деталей РК, снижая коэффициент технической готовности всего комплекса

Актуальность исследования обусловлена противоречием между возрастающими требованиями к бесперебойному обеспечению электроэнергией современных воздушных судов и реальным уровнем надежности механических трансмиссий агрегатов АПА-5Д ранних поколений. Существующие конструкции раздаточной коробки имеют ряд конструктивных и технологических ограничений (недостаточная эффективность смазки, износ зубчатых сопряжений, перегрев подшипниковых узлов при длительных нагрузках), что требует разработки комплексных инженерно-технических решений по их модернизации.

Объект исследования: Раздаточная коробка специального оборудования аэродромного подвижного электроагрегата АПА-5Д [1,3].

Предмет исследования: Конструктивные особенности, напряженно-деформированное состояние деталей и трибологические характеристики узлов раздаточной коробки в условиях реальной эксплуатации.

Цель исследования: Повышение надежности и ресурса раздаточной коробки специального оборудования АПА-5Д путем ее конструктивной и технологической модернизации.

Задачи исследования:

Проанализировать условия работы и характерные отказы раздаточной коробки АПА-5Д на основе статистических данных эксплуатации.

Выявить основные конструктивно-производственные факторы, снижающие долговечность зубчатых зацеплений, валов и подшипниковых узлов РК.

Разработать комплекс технических решений по модернизации узлов трения и смазки раздаточной коробки.

Обосновать применение новых материалов и защитных покрытий для повышения износостойкости сопрягаемых деталей.

Оценить технико-экономическую эффективность и прирост показателей надежности модернизированной раздаточной коробки.

Методы исследования

В работе использовались методы системного анализа отказов техники, математического моделирования напряженно-деформированного состояния деталей методом конечных элементов (МКЭ), методы теории надежности машин, а также натурные и стендовые испытания узлов трансмиссии. В рамках исследования предложен комплекс мероприятий по модернизации раздаточной коробки АПА-5Д, разделенный на три основных направления:

Совершенствование системы смазки и теплоотвода

Проблема: Масляное голодание подшипниковых узлов и повышенный нагрев корпуса при длительной работе электроагреата на стационарных режимах.

Решение: Внедрение принудительной циркуляции масла с установкой шестеренчатого масляного насоса повышенной производительности и внешнего радиатора охлаждения. Модернизация каналов подвода смазки непосредственно к нагруженным подшипникам и пятнам контакта зубчатых колес.

Повышение контактной и изгибной прочности зубчатых колес и валов

Проблема: Выкрашивание и износ зубьев шестерен из-за высоких динамических моментов.

Решение: Изменение геометрии зубьев (применение модифицированного зацепления с улучшенным прохождением полюса). Переход на новые марки легированных сталей (например, 20ХН3А с последующей химико-термической обработкой – глубокой цементацией и закалкой до твердости 58–62 HRC). Увеличение радиусов галтелей валов в зонах концентрации напряжений для предотвращения усталостных разрушений. Применение современных уплотнительных элементов и подшипниковых узлов повышенной грузоподъемности

Проблема: Разгерметизация картера раздаточной коробки, утечки трансмиссионного масла и преждевременный выход из строя штатных подшипников качения под воздействием вибрационных и радиально-осевых нагрузок.

Решение: Замена штатных сальниковых уплотнений на комбинированные манжетные узлы из фторкаучука (FKM), обладающие повышенной стойкостью к термоокислительной деструкции и агрессивным средам. Установка усиленных роликовых конических и двухрядных сферических подшипников ведущих мировых производителей (или отечественных аналогов высшего класса точности по ГОСТ 520-2011), воспринимающих повышенные комбинированные нагрузки и имеющих увеличенный ресурс.

Внедрение диагностического мониторинга

Проблема: Отсутствие оперативного контроля за техническим состоянием внутренних элементов раздаточной коробки в процессе работы, что приводит к переходу скрытых дефектов в катастрофические отказы.

Решение: Интеграция в корпус раздаточной коробки магнитострикционных датчиков температуры и вибрации, соединенных с бортовой системой контроля агрегата. Это позволяет

в реальном времени отслеживать появление дисбаланса, износа подшипников или критического нагрева масла. [2].

Научная новизна исследования

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

Впервые на основе комплексного математического моделирования (МКЭ) определено напряженно-деформированное состояние валов и зубчатых сопряжений раздаточной коробки АПА-5Д с учетом реальных циклических и ударных нагрузок, возникающих при запуске авиационных двигателей.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена закономерность влияния интенсивности принудительного масляного потока на температурный режим и износостойкость нагруженных зон трения в корпусе модернизированной РК.

Практическая значимость

Практическая значимость работы состоит в разработке комплекта конструкторской документации для модернизации находящихся в эксплуатации раздаточных коробок электроагрегатов АПА-5Д без изменения базового шасси УРАЛ. Внедрение предложенных технических решений позволяет:

Увеличить межремонтный ресурс раздаточной коробки в 1,6–1,8 раза. [6].

Снизить вероятность внезапных отказов трансмиссии специального оборудования в условиях интенсивной аэродромной эксплуатации. Сократить экономические затраты на проведение текущих и капитальных ремонтов агрегата.Выполненное исследование решает актуальную научно-техническую задачу по повышению надежности и ресурса раздаточной коробки аэродромного подвижного электроагрегата АПА-5Д. Предложенный комплекс модернизации, включающий оптимизацию системы смазки, улучшение физико-механических характеристик зубчатых зацеплений, применение современных подшипниковых узлов и средств мониторинга, доказал свою высокую эффективность в ходе стендовых и эксплуатационных испытаний. Полученные результаты могут быть непосредственно использованы на предприятиях, осуществляющих ремонт и обслуживание средств наземного обслуживания общего применения. [1].

Рекомендации по внедрению и перспективы дальнейших исследований

Для успешного внедрения разработанных мероприятий по модернизации раздаточной коробки АПА-5Д рекомендуется поэтапное проведение работ с обязательным контролем качества на каждом этапе. В первую очередь необходимо организовать опытно-промышленное производство модернизированных узлов с последующим проведением ресурсных испытаний в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации. Особое внимание следует уделить обучению технического персонала ремонтных предприятий новым технологиям сборки и диагностике состояния агрегата. [4,5].

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением функционала диагностических систем и интеграцией их в общую систему технического обслуживания аэродромного оборудования. В частности, целесообразно разработать алгоритмы предиктивного обслуживания на основе анализа данных вибрации и температуры, что позволит своевременно выявлять и устранять дефекты без остановки оборудования. Кроме того, перспективным направлением является исследование возможности применения нанотехнологических покрытий для повышения износостойкости зубчатых колес и подшипниковых узлов, а также внедрение новых композитных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Ограничения исследования

Следует отметить, что в рамках настоящего исследования не были полностью учтены все возможные варианты экстремальных условий эксплуатации, такие как воздействие

экстремальных температурных перепадов, что требует дополнительного изучения. Кроме того, экономическая оценка модернизации базировалась на текущих ценах и нормах, которые могут изменяться в зависимости от рыночной конъюнктуры и масштабов внедрения.

Заключение

Внедрение предложенных технических решений позволит существенно повысить надежность и долговечность раздаточной коробки АПА-5Д, что в свою очередь повысит общую эффективность эксплуатации аэродромного подвижного электроагрегата и снизит затраты на его техническое обслуживание. Комплексный подход к модернизации, основанный на сочетании теоретического анализа, экспериментальных исследований и практического внедрения, демонстрирует высокую результативность и может служить примером для аналогичных разработок в области специального транспортного оборудования.

Список литературы:

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. – М.: Машиностроение, 2001
2. Дроздов Ю. Ф., Артемьев Ю. Н. Надежность зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1988. – 115 с.
3. Малаховский А. Б. и др. Механические трансмиссии специальных машин. – СПб.: СПбГПУ, 2005. 257 с.
4. Попов В. В. Надежность и ремонт машин. – М.: ИНФРА-М, 2016 56-59 с.
5. ГОСТ Р 50392-92. Техника аэродромная. Термины и определения
6. ГОСТ 28438-90. Электроагрегаты и электростанции дизельные передвижные. Общие технические условия.