



Конкурсная работа

Номинация: «За создание новой технологии»

«Разработка и внедрение экспериментально обоснованных рекомендаций по предотвращению возникновения разрушающих переменных напряжений в быстроходных авиационных конических колесах с круговым зубом»

Руководитель работ В.В. Голованов (ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»).

Соисполнители: АО «МВЗ им. М.Л. Миля», АО «НПЦ Газотурбостроения «Салют», ПАО «РостВертол», АО «ОДК-Авиадвигатель», АО «ОДК-ПМ», ОАО «Редуктор ПМ», ОАО «Техприбор», АО «Виброприбор».

Содержание работы

Конические зубчатые передачи с круговыми зубьями, широко применяемые в вертолетных редукторах, центральных приводах и коробках приводов агрегатов авиационных двигателей имеют трехмерные рабочие поверхности зубьев. Данные передачи, применяются при более высоких окружных скоростях, чем прямозубые конические передачи. Для высокоскоростных конических передач с круговыми зубьями, к сожалению, характерна склонность к возбуждению в их, как правило, тонкостенных диафрагмах широкого спектра колебаний на собственных частотах. В результате в таких колесах могут происходить резонансные явления,

приводящие к возникновению в них переменных напряжений, превышающих допускаемые и приводящих к усталостным разрушениям. Последствиями таких разрушений, могут быть летные происшествия с вертолетами и выключения в полете двигателей самолетов и, как правило, сопровождаются остановкой на эксплуатации летательных аппаратов (ЛА). ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» выполнил целый ряд исследований, связанных с усталостными разрушениями конических колес с круговыми зубьями, различных изделий. В частности, в период с 2014 по 2016 год было выполнено тензометрирование главных редукторов вертолетов (см. рис.1 и рис.2) и центрального (ЦП) и углового (УП) приводов двигателя ПС-90А (см. рис.3 и рис.4).

Наряду с тензометрированием было проведено виброметрирование партий этих изделий на стендах и в эксплуатации (см. рис.5 и рис.6). Кроме того, были выполнены работы по моделированию кинематической погрешности и напряженно-деформированного состояния (НДС) конических колес этих изделий с учетом результатов контроля формы их рабочих поверхностей (см. рис.7 и рис.8). Комплекс выполненных работ подтвердил правильность подхода ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» к обеспечению надежности высокоскоростных конических передач с круговыми зубьями и позволил разработать и внедрить экспериментально обоснованные рекомендации по предотвращению возникновения в них разрушающих переменных напряжений.

Выполненные исследования позволили как улучшить резонансные характеристики проблемных колес, так и разработать для них демпферы сухого трения (см. рис.10 и рис.11), конструкции, которых оптимизированы на основе разработанных во ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» расчетных методов.

Кроме того, для вибродиагностики зубчатых колес с круговым зубом были разработаны малогабаритные датчики вибраций бортового исполнения МВ-58А, МВ-58Б (см. рис. 12а, 12б). Для контроля кинематической погрешности ЦП на рабочих режимах разработан встраиваемый магнитоэлектрический датчик (см. рис 13). Для контроля вибраций и кинематической погрешности, зубчатых колес ЦП и УП на стендах был разработан стендовый электронный блок (см. рис. 14). И, наконец, для вибродиагностики зубчатых колес с круговым зубом в эксплуатации разработан комплекс накопления и обработки КНОДИ (см. рис.15), позволяющий получать высокочастотные диагностические

параметры как при стендовых испытаниях, так и в эксплуатации на борту при штатном использовании.

В результате перечисленных выше расчетно-экспериментальных исследований быстроходных авиационных конических колес с круговым зубом было показано, что на возникновение в них переменных напряжений, наибольшее влияние оказывает плавность их работы под нагрузкой. С учетом этого была разработана технология их проектирования, доводки и рекомендации для серийного производства, устраняющие основные причины возникновения в них разрушающих переменных напряжений. Разработанные во ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» и апробированные при проведении данной работы аппаратно-программные средства, см. рис. 12 ÷ рис. 15 позволяют оптимизировать параметры зубчатых колес с круговым зубом и диагностировать их состояние на всех этапах их жизненного цикла.

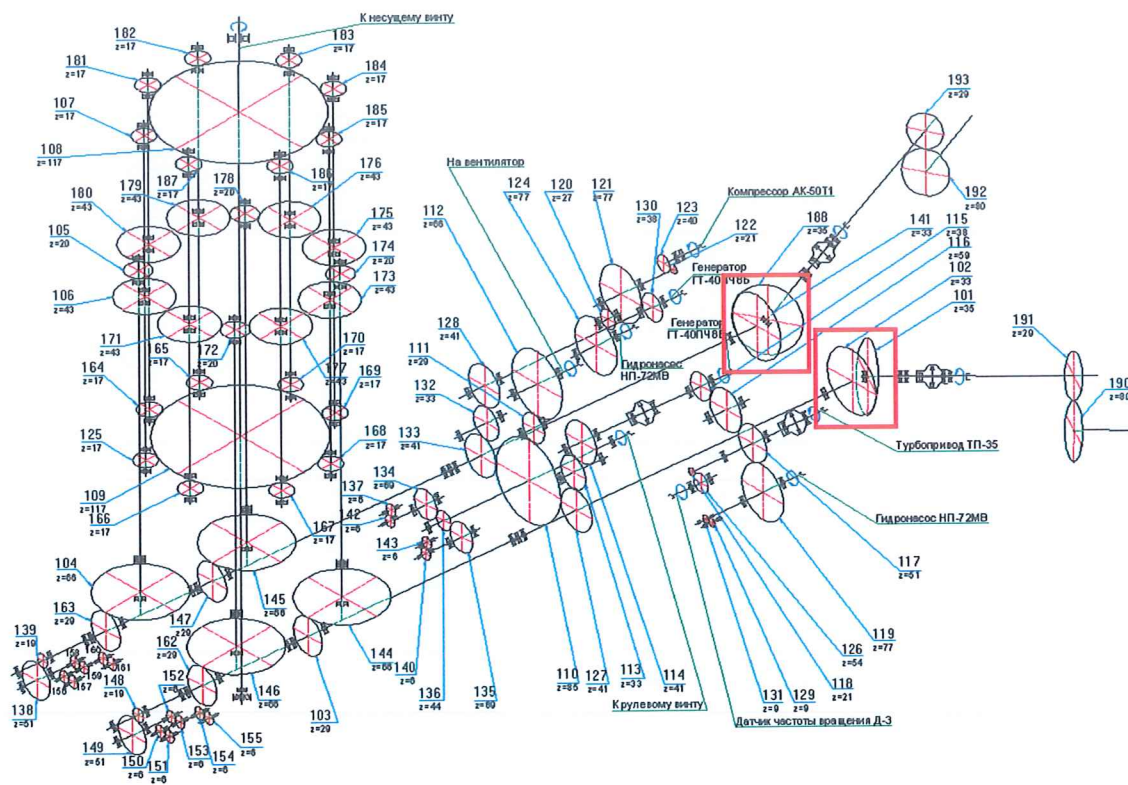


Рисунок 1 – Конические передачи с круговым зубом – в кинематической схеме главного редуктора вертолета

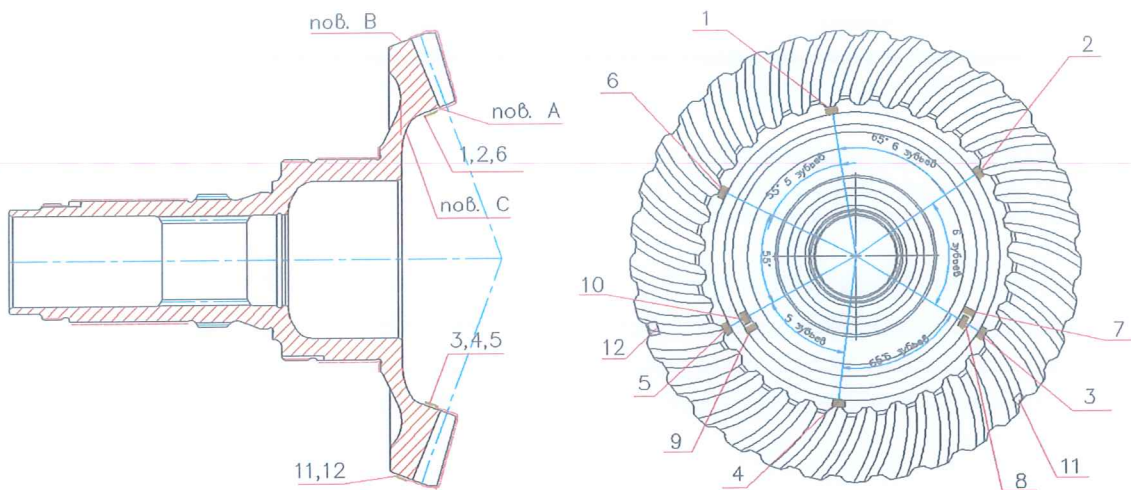


Рисунок 2 – Зубчатое колесо с круговым зубом главного редуктора вертолета, препарированное тензорезисторами для контроля переменных напряжений

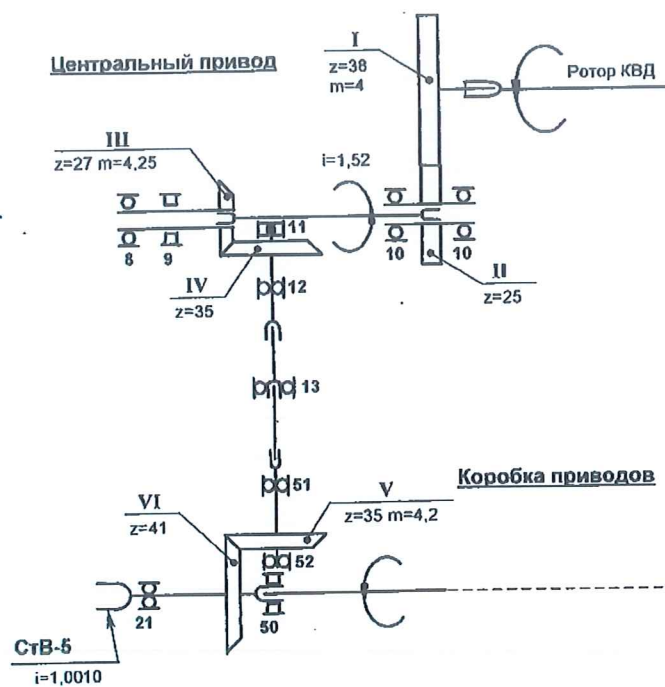
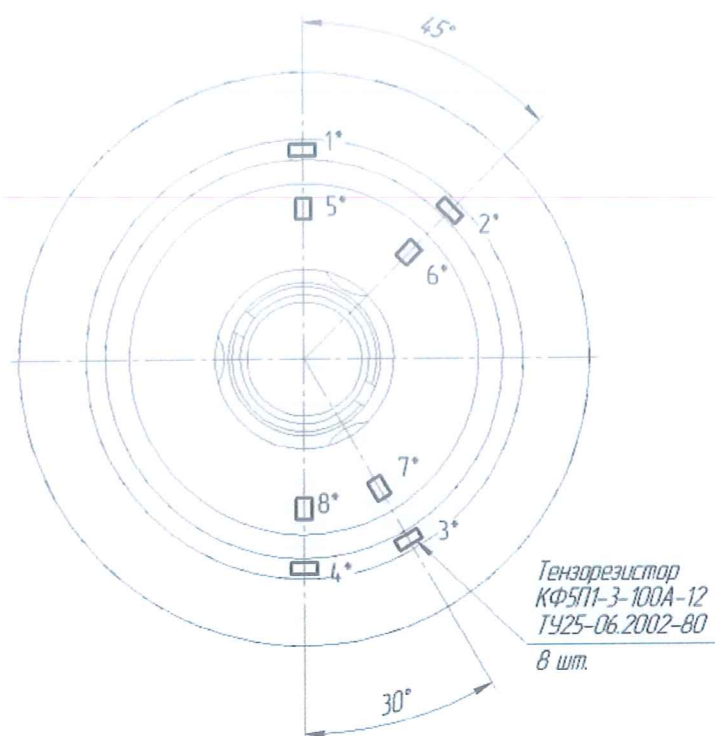


Рисунок 3 – Кинематическая схема центрального (ЦП) и углового (УП) приводов двигателя ПС-90А с зубчатыми колесами с круговым зубом



**1,8 номера тензорезисторов
Тензорезисторы 1,4 ставить против впадины зуба.
Выходные проводники маркировать номером тензорезисторов*

Рисунок 4 – Зубчатое колесо с круговым зубом ЦП двигателя ПС-90А, препарированное тензорезисторами для контроля переменных напряжений

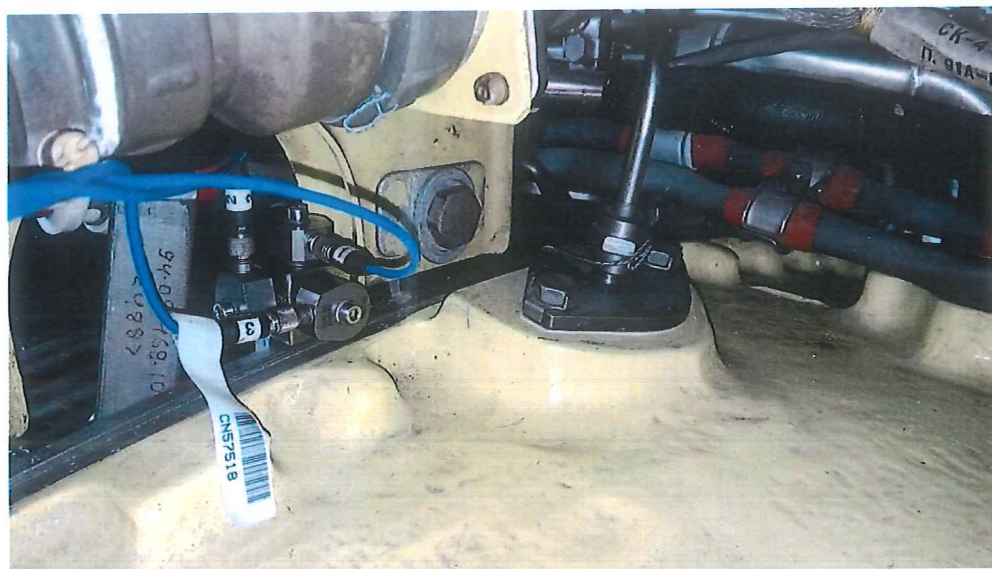


Рисунок 5 – Пьезоэлектрические датчики вибраций, установленные на двигателе ПС-90А для контроля вынужденных колебаний, характеризующих уровни возбуждения переменных напряжений в зубчатых колесах ЦП



Рисунок 6 – Контроль в эксплуатации вынужденных колебаний, характеризующих уровни возбуждения переменных напряжений в зубчатых колесах ЦП

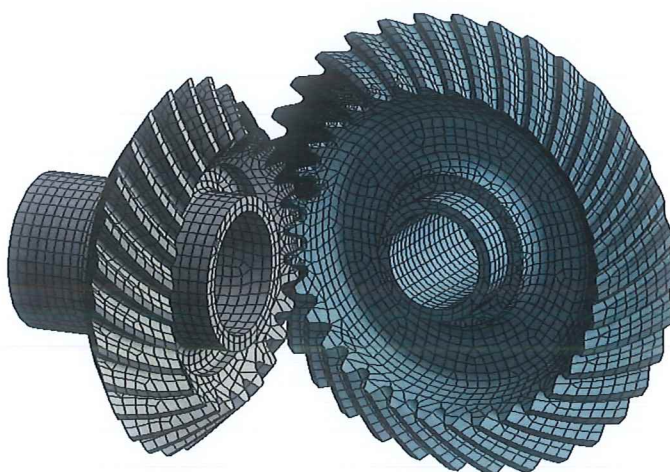


Рисунок 7 – Расчётная конечно-элементная модель конической зубчатой передачи для моделирования их кинематической погрешности и НДС с учетом результатов контроля формы рабочих поверхностей зубьев

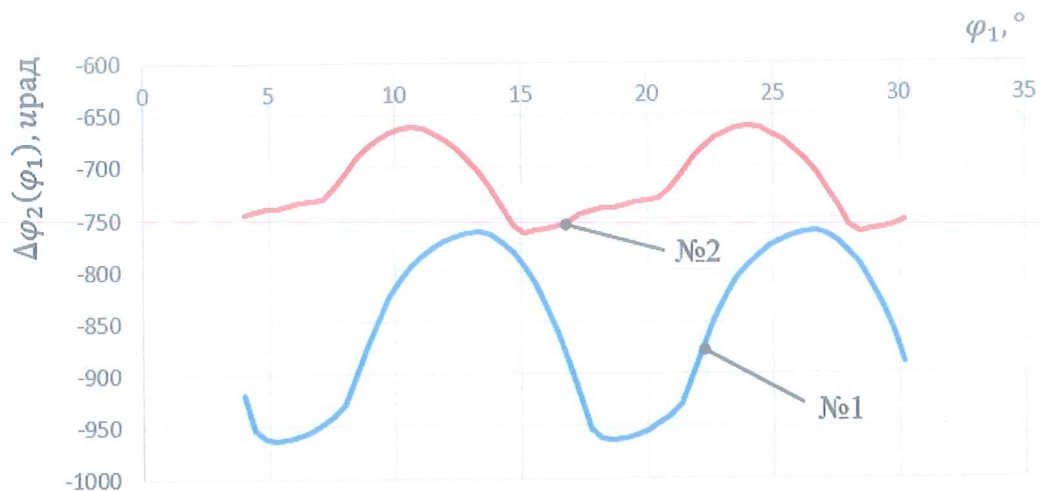
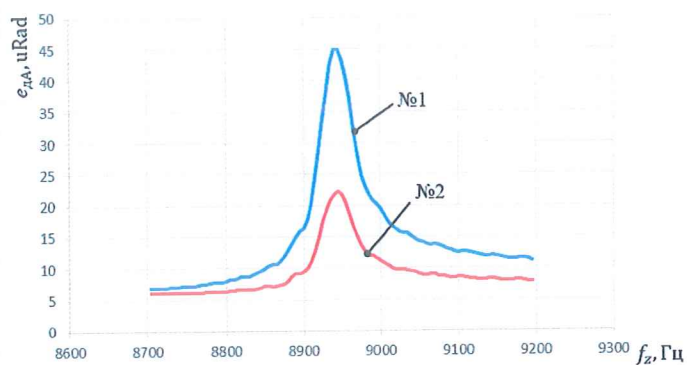
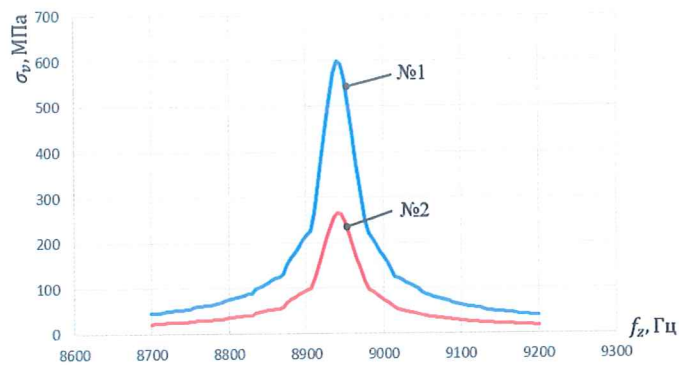


Рисунок 8 – График функции кинематической погрешности под рабочей нагрузкой для двух вариантов модификации рабочей поверхности



(а)



(б)

Рисунок 9 – АЧХ конического колеса по амплитуде динамической кинематической погрешности (а) и первым главным напряжениям в месте зарождения усталостной трещины (б)



Рисунок 10 – Вибростенд для испытания конических колёс с демпфером сухого трения

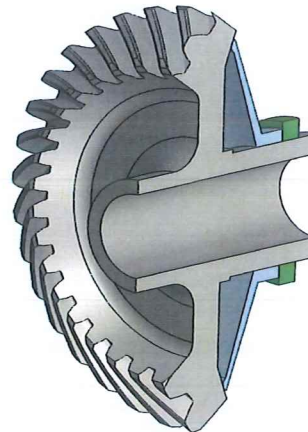
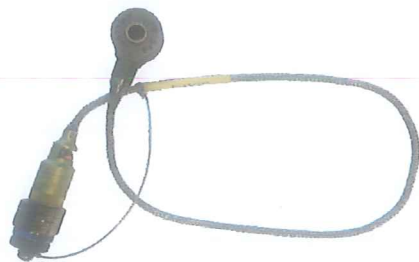


Рисунок 11 – Зубчатое колесо с демпфером сухого трения



(а)



(б)

Рисунок 12 – Датчики вибраций МВ-58А (а), МВ-58Б (б) для контроля вынужденных колебаний зубчатых колес ЦП и УП



Рисунок 13 – Встраиваемый магнитоэлектрический датчик для контроля кинематической погрешности ЦП на рабочих режимах



Рисунок 14 – Стендовый блок для контроля вынужденных колебаний и кинематической погрешности, характеризующих уровни возбуждения переменных напряжений в зубчатых колесах ЦП и УП



Блок обработки
КНОДИ



Выносной модуль АЦП
КНОДИ



Накопитель,
гнездо накопителя
КНОДИ

Рисунок 15 – Комплекс накопления и обработки КНОДИ для контроля в эксплуатации вынужденных колебаний, характеризующих уровни возбуждения переменных напряжений в зубчатых колесах

Руководитель работ,
начальник отдела авиационных приводов
ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

В.В. Голованов