

М420539
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.А.Баумана

На правах рукописи

МЫШКИН АЛЕКСАНДР ЛЕОНИДОВИЧ

УДК 621.825.7

АНАЛИЗ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЛЕЩЕТКОВОЙ УПРУГО-КОМПЕНСИРУЮ-
ЩЕЙ МУФТЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Специальность 05.02.02. - Машиноведение и
детали машин

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1984

Работа выполнена на кафедре "Детали машин" Московского
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени высшего технического училища им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук
доцент РЯХОВСКИЙ О.А.

Официальные оппоненты: засл. деятель науки и техники
доктор технических наук,
профессор Вольмир А.С.
кандидат технических наук,
доцент Истомина С.А.

Ведущая организация - Всесоюзный научно-исследователь-
ский институт по нормализации
в машиностроении
(ВНИИМАШ)

Зад
на заседа
Московск
и ордена
училище
2-я Баум
От
просьба
А
С

8 1984

M 420539

1984 г.
МВТУ.

ОПОВ

Актуальность проблемы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы, и на период до 1990 года" принятых на XXVI съезде КПСС, определены важнейшие задачи дальнейшего развития машиностроения, повышения надежности и технического уровня машин и механизмов.

Отказ в работе машины хотя бы одного элемента может привести к снижению или потере работоспособности всей машины. Надежность ряда машин определяется надежностью их соединительных муфт, являющихся весьма важной частью привода. Среди разнообразных конструкций упруго-компенсирующих муфт выделяются муфты повышенной компенсирующей способности, т.е. способности соединять валы и нормально работать при их взаимном смещении. Повышенной компенсирующей способностью обладают муфты с упругими элементами в виде отдельных резиновых лепестков. Эти муфты успешно применяют в приводах вибромашин, таких как вибрационные конвейеры, питатели-грохоты, вибрационные мельницы и другие. Долговечность муфты с лепестками, как важнейшая составляющая надежности, обуславливается долговечностью наименее прочных звеньев - резиновых лепестков и зависит от радиального и углового смещений соединяемых муфтой валов, температуры окружающей среды и других факторов. Отрицательное влияние повышенной температуры окружающей среды на ресурс усугубляется саморазогревом резины из-за циклических деформаций.

Актуальность задачи по исследованию долговечности лепестковой упруго-компенсирующей муфты и ее тепловой нагруженности с учетом влияния совокупности разнообразных факторов определяется необходимостью ее решения для прогнозирования ресурса муфты в эксплуатации и при обосновании требований, предъявляемых к муфтам.

Цель и задачи работы. Цель работы - исследование долговечности лепестковой упруго-компенсирующей муфты, а также разработка расчетных формул, позволяющих оценивать ресурс и температурное поле лепестка муфты.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- экспериментально определить ресурс муфты и получить формулы для расчета ресурса в зависимости от пяти эксплуата-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1420539

Мышкин А.П. Анализ долговеч



ционных факторов;

- экспериментально установить возможность применения гипотезы линейного суммирования повреждаемостей для оценки ресурса муфты при изменяемых в эксплуатации радиальных смещениях соединяемых валов;

- разработать методику расчета температурных полей упругого элемента и расчетные данные сравнить с экспериментальными.

Методы исследования. Долговечность муфты исследована экспериментально на испытательных стендах в лаборатории кафедры "Детали машин" МВТУ им. Н.Э.Баумана. Планирование экспериментов и получение уравнений регрессии ресурса от совокупности факторов произведено методами планирования эксперимента. Температурные поля резиновых лепестков определены экспериментально и теоретически путем решения дифференциальных уравнений теплопроводности с использованием вариационного метода Канторовича. Необходимые для решения тепловой задачи формулы для определения напряжений получены методами сопротивления материалов. Оценка точности метода проведена с помощью методов конечных элементов, теории упругости (в том числе и при больших перемещениях) и экспериментально (при осевых смещениях полумуфт) методом голографической интерферометрии.

Научная новизна. На базе экспериментов с использованием методов планирования эксперимента установлена зависимость ресурса лепестковой упруго-компенсирующей муфты от пяти основных факторов: радиального и углового смещений соединяемых валов, температуры окружающей среды, постоянного крутящего момента и сжатия бурта резинового лепестка фланцами полумуфт. Выявлена возможность применения гипотезы линейного суммирования повреждаемостей для оценки ресурса муфты при изменении в процессе эксплуатации радиальных смещений полумуфт. Решена задача по определению температуры упругого элемента муфты. Расчетом и экспериментально определены тепловые поля в резиновых лепестках муфты. Показана возможность применения экспериментального метода голографической интерферометрии для исследования перемещений резиновых силовых деталей машин.

Практическая ценность работы. Проведенные исследования долговечности и тепловой нагруженности лепестковой упруго-компенсирующей муфты дают необходимую для эксплуатации информацию

о ее ресурсе и температурном поле при различных комбинациях пяти основных факторов. Установленные зависимости ресурса от совокупности факторов и методика расчета температурного поля позволяют определять в эксплуатации ресурс и температуру резинового лепестка для конкретных значений факторов. Знание степени влияния различных факторов на ресурс может быть также полезным при разработке требований к муфтам.

Реализация результатов работы. Результаты исследований использованы при разработке отраслевого стандарта ОСТ 95.10000-83 и выполнении хоздоговорной работы в МВТУ им. Н.Э.Баумана. Муфты эксплуатируются в приводах серийных вибромашин, что подтверждается документами о внедрении.

Апробация работы. Работа докладывалась на заседании кафедры "Детали машин" МВТУ им. Н.Э.Баумана. Отдельные ее части - на IV Всесоюзном семинаре по оптико-геометрическим методам исследования деформаций и напряжений и их стандартизации в г.Менделеево, Московской области 28-30 сентября 1982 г.

Публикации. Материалы диссертации изложены в четырех статьях и отчете по НИР.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, содержит 116 страниц машинописного текста, 55 рисунков, 20 таблиц, список литературы из 101 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показаны актуальность темы и цель работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе описаны объекты, цель и задачи исследования, выполнен обзор работ по долговечности, тепловому и напряженно-деформированному состояниям резиновых упругих элементов муфт, приведена блок-схема исследования.

Исследованию разнообразных свойств муфт с различными резиновыми упругими элементами посвящены работы В.С.Полякова, И.Д.Барбаша, Д.Н.Решетова, О.А.Ряховского, Б.Н.Котельникова, С.А.Истомина, Ю.К.Михайлова, С.С.Иванова, А.Р.Нестерова, Б.С.Иванова, А.Р.Большакова, В.П.Варламова, С.О.Лазарева, В.Н.Богачева и др. Однако изучение долговечности лепестковой упруго-компенсирующей муфты в зависимости от совокупности мно-

гих факторов и определение тепловой нагруженности упругого элемента в виде лепестка отсутствуют.

Обоснован выбор в качестве объекта исследования упруго-компенсирующей муфты с резиновыми упругими элементами в виде лепестков (рис. I) и основных пяти эксплуатационных факторов, влияние которых на долговечность необходимо изучить.

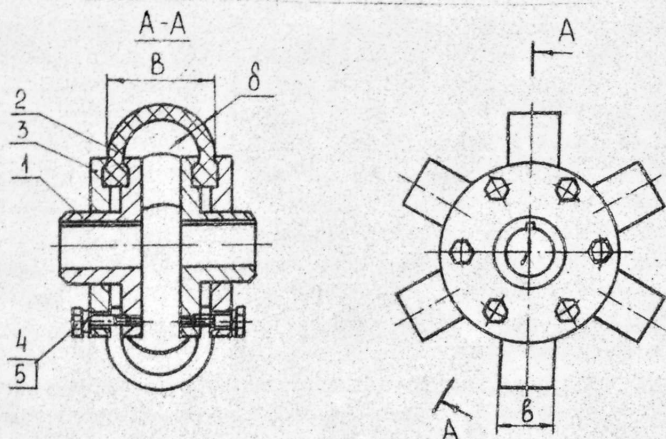


Рис. I

I - полумуфта; 2 - упругий элемент (лепесток); 3 - нажимное кольцо; 4 - винт; 5 - пружинная шайба

Вторая глава посвящена экспериментальным исследованиям зависимости долговечности лепестковой упруго-компенсирующей муфты от пяти основных эксплуатационных факторов: постоянного крутящего момента M , температуры окружающей среды T , радиального Δ и углового χ смещений полумуфт, сжатия бурта лепестка фланцами полумуфт ϵ . Долговечность муфты определяется долговечностью ее упругих элементов - лепестков. Поэтому в качестве показателя (ресурса) долговечности муфты выбрано число циклов N до разрушения хотя бы одного лепестка. Были испытаны муфты с шестью лепестками (рис. I), выполненными из промышленной резины на основе СКИ и СКД твердостью 72...76 единиц по ТМ-2 ГОСТ 263-53, рекомендуемой для серийного изготовления лепестков. Размеры лепест-

нов $B = 63$ мм, $b = 40$ мм, $\delta = 10$ мм.

Усталостные испытания муфты проводили на однопозиционном и двухпозиционном стендах с замкнутым контуром. Для создания регулируемой температуры окружающей среды стенды были оборудованы термокамерами. Стенды дают возможность проводить испытания муфты до отказа (разрушения хотя бы одного лепестка) для фиксированных в каждом испытании пяти факторов. Поскольку число факторов, определяющих долговечность, достаточно велико (пять), для построения эксперимента и определения регрессионной зависимости ресурса от факторов применяли методику планирования эксперимента. Зависимость ресурса (регрессии) от факторов отыскивали в классе нелинейных и линейных функций (математических моделей). В качестве нелинейных выбраны две:

- зависимость (квазилинейная) логарифма ресурса $\lg N$ от линейных комбинаций факторов и их парных взаимодействий;
- зависимость (квадратичная) логарифма ресурса $\lg N$ от линейной комбинации факторов, их парных взаимодействий и квадратов факторов.

В качестве линейной (квазилинейной) рассматривали зависимость ресурса N от линейной комбинации факторов и их парных взаимодействий.

Для всех моделей значения уровней пяти факторов выбраны из реальных условий эксплуатации данного типа муфт,

формирование квазилинейной зависимости $\lg N$ от факторов производили путем реализации дробного факторного эксперимента по плану типа 2^{5-1} с генерирующим соотношением $x_5 = x_1 x_2 x_3 x_4$. Влияние систематических ошибок исключали рандомизацией последовательности опытов на основе таблицы случайных чисел, влияние грубых ошибок - применением критерия Стьюдента. Проверку гипотезы об однородности оценок дисперсии проводили по критерию Кокрена. После определения коэффициентов регрессии производили оценку значимости и исключение незначимых коэффициентов, а также проверку адекватности модели по критерию Фишера. В результате получили следующее выражение зависимости логарифма ресурса от факторов в натуральных величинах:

$$\lg N = 5,9543 + 0,03421M + 0,00554T + 0,09689\Delta +$$

$$+ 0,06647\gamma + 0,025664\epsilon - 0,000096TM - 0,000816M\Delta -$$

$$-0,000498 M \gamma - 0,000136 M \varepsilon - 0,000283 T \Delta - 0,000178 T \gamma - \\ - 0,0000586 T \varepsilon - 0,000636 \Delta \gamma - 0,00043 \Delta \varepsilon,$$

где факторы имеют размерности: M Н·м, T К, Δ мм, γ град., ε %.

С помощью данного уравнения регрессии построены графики, характеризующие зависимость одного фактора от N при фиксированных остальных. В качестве примера на рис. 2 приведены такие зависимости.

Наибольшее влияние на ресурс муфты оказывает радиальное смещение полумуфт.

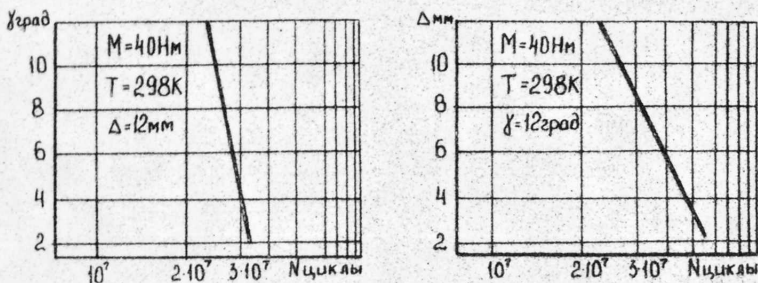


Рис. 2

Для уточнения полученного уравнения регрессии логарифма ресурса муфты экспериментальные исследования были продолжены с целью построения квадратичной зависимости логарифма ресурса, но уже от четырех факторов; пятый фактор – сжатие бурта ε для упрощения не учитывался, поскольку, как показал анализ полученного выше уравнения, он влияет на ресурс муфты меньше остальных.

Для оценки коэффициентов модели был реализован точный план типа B_n , полученный в результате добавления к полному факторному плану восьми, так называемых, "звездных точек" с величиной плеча, равной единице. Математическую обработку результатов производили, как и при определении зависимости логарифма ресурса от пяти факторов. В результате получили следующее выражение квадратичной зависимости логарифма ресурса от факторов в натуральных величинах:

$$\begin{aligned} \lg N = & 6,3672 + 0,03127M + 0,004328T + 0,12826\Delta + \\ & + 0,08628\gamma - 0,00304\Delta^2 - 0,00147\gamma^2 - 0,000096TM - \\ & - 0,00082M\Delta - 0,000498M\gamma - 0,000283\Delta T - \\ & - 0,000178T\gamma - 0,000636\Delta\gamma. \end{aligned}$$

Анализ этих двух зависимостей показал, что величина ресурса, рассчитанная по квадратичному уравнению, ближе к экспериментальной для промежуточных значений варьируемых параметров и приблизительно одинакова для их крайних значений.

Помимо приведенных выше нелинейных моделей ресурса, в работе получена квазилинейная зависимость ресурса N от основных факторов.

В третьей главе изложены результаты экспериментального исследования муфты при действии повторных радиальных смещений соединяемых валов с целью выявления возможности использования гипотезы линейного суммирования повреждаемостей для оценки ресурса.

Испитания проводили на тех же однопозиционном и двухпозиционном стендах. Испытывали муфты с лепестками, изготовленными из резины на основе СКИ и СКД с твердостью 72...76 единиц по ТМ-2. Размеры лепестка $B = 63$ мм, $b = 40$ мм, $\delta = 10$ мм.

Установление возможности использования гипотезы линейного суммирования повреждаемостей производили при изменении только радиального смещения полумуфт Δ , как фактора наиболее сильно влияющего на долговечность муфты. При этом муфты нагружали номинальным моментом при температуре окружающей среды (292 ... 394) К. Сначала экспериментальным путем определяли кривую выносливости муфты $\lg N = f(\Delta)$ (рис.3), затем устанавливали возможность использования одной из формул, базирующихся на гипотезе линейного суммирования повреждаемостей:

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i(\Delta_i)}{N_i(\Delta_i)} = 1 \quad \text{или} \quad N \cdot \tau \omega = \frac{\omega}{\sum_{i=1}^k \frac{n_i^0(\Delta_i)}{N_i(\Delta_i)}}; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i(\Delta_i)}{N_i(\Delta_i)} = a \quad \text{или} \quad N \cdot \tau \omega = \frac{a \omega}{\sum_{i=1}^k \frac{n_i^0(\Delta_i)}{N_i(\Delta_i)}}; \quad (2)$$

$$N = T\omega = \frac{C\omega}{\sum_{i=1}^K \beta_i \frac{n_i(\Delta_i)}{N_i(\Delta_i)}} \quad (3)$$

где N - число циклов до разрушения; T - ресурс муфты, характеризуемый наработкой до отказа в часах; $n_i(\Delta_i)$ - количество циклов повторных нагрузок, соответствующих i -ому варианту Δ_i , за ресурс T ; $N_i(\Delta_i)$ - число циклов до разрушения лепестка, соответствующих радиальному смещению Δ_i ; ω - частота вращения муфты, $\frac{\text{кол}}{\text{с}}$; $n_i^0(\Delta_i)$ - количество циклов повторных нагрузок в единицу времени, соответствующих i -ому варианту радиального смещения Δ_i ; a, β_i, C - постоянные коэффициенты.

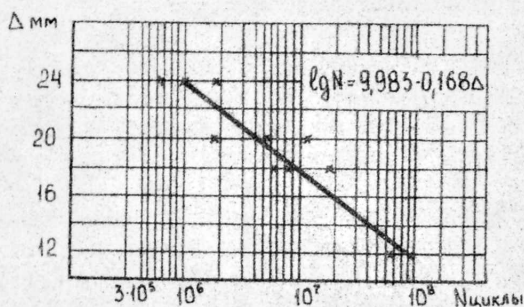


Рис. 3

Формула (3) отличается от формулы (1), соответствующей гипотезе линейного суммирования повреждаемостей, не только коэффициентом $C \neq 1$, но и коэффициентами $\beta_i \neq 1$ ($i = 1, 2, \dots, K$), являющимися сомножителями повреждаемостей в час $\frac{n_i(\Delta_i)}{N_i(\Delta_i)}$. В этом случае ставится под сомнение не только равенство правой части формулы (1) единице, но и равенство единице коэффициентов β_i . В этом смысле формула (3) является некоторым обобщением формулы (2) и придает анализу возможности применения гипотезы линейного суммирования повреждаемостей большую общность. Если в результате обработки результатов испытаний на выносливость упругих элементов муфты окажется, что коэффициенты C и β_i близки к единице, то к применению гипотезы линейного суммирования

повреждаемости для оценки ресурса появляется больше оснований. Для определения значений коэффициентов a , b_i и c проводили ступенчатые усталостные испытания на указанных стендах на трех уровнях смещений полушар $\Delta_1 = 12$ мм, $\Delta_2 = 18$ мм, $\Delta_3 = 24$ мм ("снизу-вверх") и трех уровнях с понижающими значениями радиальных смещений $\Delta_3 = 24$ мм, $\Delta_2 = 18$ мм, $\Delta_1 = 12$ мм ("сверху-вниз"). Причем при испытаниях "снизу-вверх" и "сверху-вниз" продолжительность испытания муфты (количество оборотов) на первом и втором уровнях задавали по кривой выносливости (рис.3) как долю $\bar{n}$ от количества оборотов при разрушении $n_i = \bar{n}_i N_i$, а на третьем уровне n_3 определяли экспериментально доведением упругого элемента муфты до разрушения. Статистические оценки этих величин находили по результатам не менее трех экспериментов для каждой комбинации варьируемых параметров. Коэффициенты b_i и c для формулы (3) определяли по тем же результатам экспериментов лепестков на выносливость методом наименьших квадратов. По результатам экспериментов и вычислений получили значения коэффициентов a , b_i и c , незначительно отличающихся от единицы. Таким образом, для расчета ресурса лепестковой упруго-компенсирующей муфты при действии на муфту повторных радиальных смещений соединяемых валов следует применять формулу (I).

Четвертая глава посвящена теоретическому и экспериментальному выявлению температурных полей резинового упругого (лепестка) муфты. Температурное поле определяется температурой окружающей среды и температурой диссипативного саморазогрева из-за циклических деформаций лепестка. Известно, что для резиновых элементов существует предельное значение температуры T^* , при превышении которой $T > T^*$ происходит существенное изменение физико-механических свойств материала и снижение срока службы. В связи с этим исследование температурного состояния лепестка приобретает большое значение.

Методика расчета температурных полей лепестка $T(r, \varphi)$ при действии нескольких эксплуатационных факторов (Δ , M , γ) и полученные с помощью этой методики расчетные формулы $T(r, \varphi)$ для двух частных случаев: действие только радиального смещения валов Δ и действие только переменного крутящего момента основаны на решении дифференциальных уравнений теплопроводности в частных производных для расчетной модели муфты, показанной на рис.4.

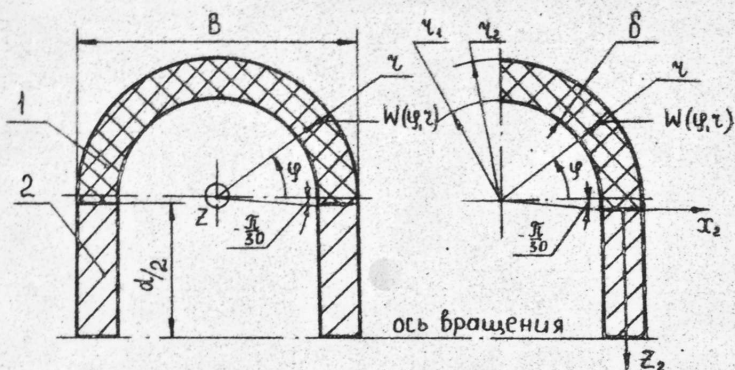


Рис. 4

1 - резиновый упругий элемент; 2 - металлическая полумуфта

Основные допущения: материал лепестка изотропный, однородный; не учитываются флуктуации температуры в течение одного цикла и температурные напряжения; процесс теплопроводности стационарный; при деформации бурта лепестка отсутствует проскальзывание резины по металлическим полумуфтам; температура по ширине лепестка δ (рис.1) не изменяется (допущение основано на анализе экспериментальных данных). Уравнения теплопроводности в безразмерных величинах (для лепестка (1) - в полярной системе координат (τ, φ) , для металлической полумуфты (2) - в прямоугольной (x_2, z_2)) имеют вид:

$$\frac{\partial^2 \theta_1}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + \frac{1}{x^2} \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial \varphi^2} + q = 0; \quad \text{для резины (4)}$$

$$\frac{\partial^2 \theta_2}{\partial x_2^2} + \frac{1}{x_2} \frac{\partial \theta_2}{\partial x_2} + \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial z_2^2} = 0, \quad \text{для металла (5)}$$

где $\theta_1 = \frac{T_1 - T_0}{T_0}$; $\theta_2 = \frac{T_2 - T_0}{T_0}$;

T_1 - температура резины в точке с координатой τ, φ ;

T_2 - температура металла в точке с координатами z_2, x_2 ;

T_0 - температура окружающей среды;

$$x = \frac{\tau}{\delta}; \quad x_2 = \frac{x_2}{\delta}, \quad z_2 = \frac{z_2}{\delta};$$

$q = \frac{W\tau_z^2}{j_1 T_0}$ - относительная функция теплообразования;

j_1 - коэффициент теплопроводности резины;

$$W = \frac{\omega \psi G}{2\pi} [2\epsilon_z^2 + 2\epsilon_y^2 + 2\epsilon_\varphi^2 + \chi_z^2 + \chi_y^2 + \chi_\varphi^2] -$$

- функция теплообразования, зависящая от ω - частоты вращения муфты; ψ - коэффициента демпфирования; G - модуля упругости 2-ого рода; $\epsilon_z, \epsilon_y, \epsilon_\varphi, \chi_z, \chi_y, \chi_\varphi$ - деформаций лепестка.

Граничные условия имеют вид

$$\varphi = \frac{\pi}{2}; \frac{\partial \theta_1}{\partial \varphi} = 0; \quad (3)$$

$$z_1 = 0 \text{ и } \varphi = -\frac{\pi}{50}; j_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial \varphi} = j_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial z_1}; \theta_1 = \theta_2;$$

$$z_1 = \frac{d}{2\delta}; \theta_2 = 0;$$

$$x = 0,7: j_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} = \alpha_2 \theta_1 \tau_z; \quad (7)$$

$$x = 1: j_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} = -\alpha_1 \theta_1 \tau_z;$$

$$x_1 = -\frac{1}{2}: j_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial x_1} = \alpha_3 \theta_2 \delta; \quad (8)$$

$$x_1 = \frac{1}{2}: j_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial x_1} = -\alpha_3 \theta_2 \delta,$$

где j_2 - коэффициент теплопроводности металла; α_1, α_2 - коэффициенты теплоотдачи цилиндрических поверхностей лепестка радиусов τ_z и τ_1 ; α_3 - коэффициент теплоотдачи торцевых поверхностей полушария.

Формулы для определения деформаций были получены с помощью соотношений

$$\epsilon_i = \frac{1}{2G} \left[\sigma_i - \frac{1}{3} (\sigma_z + \sigma_y + \sigma_x) \right],$$

$$\chi_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{G}, \quad i = r, y, z; \quad j = r, y, z$$

подстановкой в них выражений для нормальных σ_i и касательных τ_{ij} напряжений, найденных методами сопротивления материалов, при этом лепесток рассматривался как криволинейный брус с заделанными концами. Оценка точности решения задачи этими методами при закручивании, радиальных, осевых смещениях полушария производилась сравнением результатов решения аналогичных задач методами конечных элементов и теории упругости. Оценка показала возможность применения методов сопротивления материалов. Оценка точности решения задачи с учетом больших относи-

тельных перемещений опор лепестка (т.е. с учетом изменения формы лепестка) выполнена путем сопоставления внутренних усилий, полученных методом сопротивления материалов, с усилиями, найденными в работе В.Л.Бидермана, О.А.Ряховского, М.Л. Струтинского (1983) при больших углах закручивания полушаром постоянным крутящим моментом, а также с усилиями при больших радиальных (плоская задача) и осевых смещениях полушаром, полученными в данной диссертации с помощью метода Е.И.Попова (1948). Сравнение силовых факторов, найденных в работе В.Л.Бидермана и др., с усилиями, вычисленными методами сопротивления материалов показало на их отличие, достигающее при угле закручивания 16° в зависимости от сечения лепестка 4...30%. В связи с этим формулы для расчета напряжений от крутящего момента уточнены. Отличие в вычислении максимальных изгибающих моментов методами сопротивления материалов и Е.И.Попова для радиального $\Delta = 20$ мм и осевого $\Delta_{\alpha} = 16$ мм смещений не превышает 3...9%. Имея в виду, что эксплуатационные значения смещений обычно меньше указанных, можно для приближенных расчетов напряжения в лепестке пользоваться методами сопротивления материалов.

Оценка точности решения задачи о деформированном состоянии упругого элемента при осевом нагружении проведена также экспериментальным путем методом голографической интерферометрии. Этот метод позволяет бесконтактным способом определять перемещения любых точек объекта. Для оценки перемещений резиновых упругих элементов он был применен впервые. Для реализации метода спроектировали и изготовили устройство, позволяющее имитировать осевое нагружение. Испытания проводили на установке, созданной в МИИ. Осевые смещения задавали в процентах (10, 25, 50, 100%) от толщины лепестка $\Delta_{\alpha} = 0 \pm 1,6, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ мм. По полученной картине голографических интерференционных полос можем определять величины нормальных компонент перемещений в произвольной точке

$$w_i = R_i \frac{\lambda}{2},$$

где R_i - номер полосы, λ - длина волн света, мкм.

Для определения других компонент перемещений (u_i, v_i) использовали метод поточечного сканирования. Перемещение в плоскости для исследуемой точки изображения поверхности опре-

деляли из соотношения

$$d = f \frac{b}{a},$$

где L - расстояние от фотопластинки до экрана, a - расстояние между двумя соседними полосами (рис. 5)

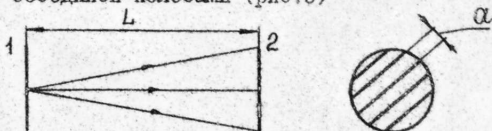


Рис. 5

1 - фотопластинка; 2 - экран

Результаты эксперимента в пределах до 10% совпадают с результатами расчетов методом конечных элементов.

Уравнения теплопроводности (4) и (5) при граничных условиях (6...8) решали вариационным методом Канторовича. Решение уравнений (4) и (5) отыскивали соответственно в форме $\theta_1 = f(\eta)P(x)$ и $\theta_2 = \Phi(z)r_1(x)$, причем функции $P(x)$ и $r_1(x)$ выбирали удовлетворяющими граничным условиям (7) и (8), а функции $f(\eta)$ и $\Phi(z)$ определяли из условия стационарности функционалов, соответствующих уравнениям (4) и (5) и граничным условиям (6). Совокупность полученных соотношений (функции и уравнения Эйлера, формулы для определения деформаций ϵ_{ij} и коэффициентов теплоотдачи $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) образует методику определения температурного поля лепестка. Она позволяет определить температуру $T_1 = T_0(1 + \theta_1(\eta, \eta_1, \eta_2, \eta_3, G, \delta, \psi, \gamma, M))$ лепестков с различными физико-механическими характеристиками G, δ, ψ, γ и размерами η_1, η_2, η_3 в точках с координатами η и η_1 в зависимости от эксплуатационных факторов Δ, γ, M и частоты вращения муфты ω . В диссертации в качестве примера, иллюстрирующего процедуру применения методики и ее работоспособность, получена формула дающая возможность вычислять температурное поле резинового элемента муфты с размерами $B = 160$ мм, $\delta = 80$ мм, $\delta = 24$ мм в зависимости от одного из важнейших эксплуатационных факторов, существенно влияющего на нагрев лепестка - радиального смещения Δ , а также G, δ, ψ и частоты вращения ω . Эта формула имеет следующий вид:

$$\theta_1 = \left[c_1 \left(\operatorname{ch} b \varphi - \frac{\operatorname{sh} b \cdot \frac{\pi}{2}}{\operatorname{ch} b \cdot \frac{\pi}{2}} \cdot \operatorname{sh} b \varphi \right) + D_1 \sin \varphi + \right. \\ \left. + D_2 \cos 2\varphi - D_3 \right] (x - \beta_1)(x - \beta_2),$$

где

$$c_1 = \frac{(0,105 D_1 - 0,978 D_2 + D_3) \cdot \frac{d_2}{f_1} \cdot \kappa \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\kappa d}{2\delta}}{\operatorname{sh} \frac{\kappa d}{2\delta}} - 0,995 D_1 - 0,416 D_2}{\left[b \cdot \operatorname{sh} \left(b \frac{\pi}{30} \right) - \frac{\operatorname{sh} b \cdot \frac{\pi}{2}}{\operatorname{ch} b \cdot \frac{\pi}{2}} \cdot b \cdot \operatorname{ch} \left(b \frac{\pi}{30} \right) \right] + \left[\operatorname{ch} \left(b \frac{\pi}{30} \right) - \frac{\operatorname{sh} b \cdot \frac{\pi}{2}}{\operatorname{ch} b \cdot \frac{\pi}{2}} \cdot \operatorname{sh} \left(b \frac{\pi}{30} \right) \right] \cdot \frac{d_2}{f_1} \cdot \kappa \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\kappa d}{2\delta}}{\operatorname{sh} \frac{\kappa d}{2\delta}}},$$

коэффициенты D_1 , D_2 , D_3 и b вычисляются по формулам, приведенным в диссертации, в зависимости от соответствующей комбинации параметров: Δ , ω , G , f , ψ . При выводе формулы предполагалось, что постоянный крутящий момент $M = \text{const}$ не влияет на нагрев и поэтому при оценке деформаций лепестка $\xi_{ij}(\Delta)$ он не учитывался.

Для проверки достоверности результатов, получаемых с помощью предложенной методики, по приведенной формуле были выполнены расчеты для $\Delta = 20$ мм и сравнены с экспериментальными данными. Эксперименты по определению температурного поля в лепестке проведены для различных радиальных смещений полумуфты и крутящих моментов. Измерение температуры резинового упругого элемента проводили в установившемся режиме во время кратковременной остановки стенда. Для замеров использовали хромель-копелевые термодпары. Результаты расчетов температурного поля достаточно хорошо согласуются с результатами эксперимента (рис. 6). Эксперименты также показали, что изменение постоянного крутящего момента в пределах $M_{\text{ном}} < M < 1,6 M_{\text{ном}}$ ($M_{\text{ном}}$ — номинальный крутящий момент) практически не влияет на нагрев резинового упругого элемента.

Результаты экспериментов использовались, кроме того, для определения коэффициентов теплоотдачи α_1 и α_2 резинового лепестка муфты.

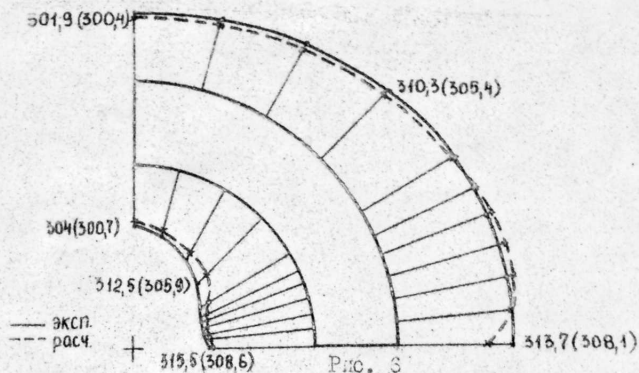


Рис. 3

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Экспериментально выявлен ресурс лепестковой (размеры лепестка 63x40x10) упруго-компенсирующей муфты при различных комбинациях пяти основных факторов: радиальном и угловом смещениях соединяемых муфтой валов, постоянном крутящем моменте, температуре окружающей среды и сжатия бурта лепестка фланцами полумуфт.

2. С помощью методов планирования эксперимента получены квазилинейная и квадратичная аналитические зависимости (уравнения регрессии) ресурса муфты от пяти основных факторов, позволяющие прогнозировать ее долговечность в достаточно широком их диапазоне. Установлено, что наиболее существенно на долговечность муфты влияет радиальное смещение соединяемых валов. Показано, что при варьировании факторов в пределах $\Delta = 2 \dots 12$ мм, $\gamma = 2 \dots 12^\circ$, $M = 30 \dots 50$ Н·м, $T = 298 \dots 353$ К и $\xi = 10 \dots 40\%$ наработка муфты изменяется от 100 до 1300 часов.

3. При сравнении результатов расчетов ресурса по квазилинейному уравнению регрессии и квадратичному показана возможность использования для оценки ресурса муфты на практике более простой квазилинейной зависимости.

4. Экспериментально выявлена возможность применения гипотезы линейного суммирования повреждаемостей для приближенного расчета ресурса муфты при действии повторных радиальных смещений. Установлено, что расчетные средние значения ресурса отличаются от экспериментальных на 5...10%. Предложена формула для оценки точности расчетного определения среднего ресурса.

5. Проведены голографические эксперименты для установления

характера изменений перемещений различных точек лепестка и достоверности их определения расчетными методами. Установлено, что при осевом смещении соединяемых валов перемещения отличаются от расчетных не более, чем на 10%. Первый опыт применения голографической интерферометрии показал возможность его использования для исследования перемещений резиновых изделий.

6. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования тепловой нагруженности резинового элемента муфты. Установлен равномерный характер температурного поля. Наибольших значений температура резинового элемента достигает вблизи его крепления к полумуфтам. Разработана методика и формулы для приближенного расчета температуры резинового элемента. Показано, что сравнительно с экспериментальными данными ошибка расчетов не превышает 2...3%.

7. Экспериментально выявлено влияние радиального смещения полумуфт Δ_r и постоянного крутящего момента M ($M > 1,6 M_{ном}$) на температурное поле резинового лепестка муфты. Показано, что при увеличении Δ_r и $M > 1,6 M_{ном}$ температура повышается.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Осушка воздуха промышленных пневмосистем: Отчет / МВТУ; Науч. руководитель темы В.П.Сивков. - Э093881; № 79034752-81. - М., 1981. - 56 с., ил.

2. Решетов Д.Н., Ряховский О.А., Мышкин А.Л. Экспериментальное исследование долговечности лепестковой упруго-компенсирующей муфты. - ИВУЗ. Машиностроение, 1982, № 3, с. 50-54.

3. Мышкин А.Л. Экспериментальное исследование долговечности лепестковой упруго-компенсирующей муфты при действии повторных радиальных смещений. - ИВУЗ. Машиностроение, 1982 № 8, с. 16-20.

4. Решетов Д.Н., Ряховский О.А., Мышкин А.Л. Экспериментальное определение квадратичной регрессионной зависимости ресурса упруго-компенсирующей муфты от эксплуатационных факторов. МВТУ. - М.: 1982 - 7 с., Деп. в НИИМАШ г.Москва № 68-82.

5. Изучение деформации упругого элемента компенсирующей муфты на основе совместного применения голографической интер-

ферометрии и спекл-фотографии В.С.Аистов, А.Л.Мышкин, А.В. Осинцев и др. Оптико-геометрические методы исследования деформаций и напряжений и их стандартизация. Тезисы докладов на IV Всесоюзном семинаре. - Менделеево, Моск.обл., 1982, с. 73-74.

Шива

Подписано к печати 26.06.84

Л-66564 зак. 1091. Объем I п.л. Тираж 100 экз.

Тип. МВТУ им. Н.Э.Баумана

17

