

из-за неточности задания частоты настройки //Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб. науч.тр./ Куйбыш. авиац. ин-т. - Куйбышев, 1977. - С. 126-130.

УДК 531.785

М.С.Титаренко, В.В.Королев

НОВЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ
ВЫБРОСОВ НАГРУЗОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН
В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В настоящее время недостаточно глубоко исследовано влияние на ресурс деталей редко проявляющихся перегрузок, вызывающих квазистатическое разрушение и малоцикловую усталость материалов, из которых они изготовлены. Для прогноза ресурса деталей в этом случае необходимо располагать достоверной информацией о вероятностных характеристиках редких выбросов перегрузок. Отсутствие достоверной оценки вероятности появления больших перегрузок может служить причиной как необоснованного завышения прочности и металлоемкости деталей, так и возможного занижения первой.

Типичным примером узлов и деталей летательных аппаратов, разрушающихся под действием редких выбросов нагрузок, являются элементы шасси, фюзеляжа и некоторые другие. При их проектировании весьма важно знать среднестатистическую максимальную перегрузку за весь срок службы каждой детали или закон распределения значения максимальной перегрузки за любой интервал времени работы изделия.

Авторами настоящей статьи разработаны малогабаритные датчики максимальных нагрузок на базе механического запоминающего устройства [1]. Принципиальная схема датчика показана на рис. 1. В двух точках испытываемой детали 1 на расстоянии l , составляющем базу датчика, жестко крепятся основание 2 запоминающего штифта 3 и толкатель 4. Запоминающий штифт прижат пружинной к направляющей основания и удерживается на ней силами трения. В начале испытаний штифт 3 приводится в соприкосновение с толкателем 4. При всплесках нагрузки вследствие деформации испытываемой детали толкатель 4 перемещает штифт 3 в соответствующее положение, в котором штифт удержи-

вается неподвижно до появления еще большей перегрузки. За время испытания штифт займет положение, соответствующее наибольшей перегрузке. Отсчет запомненной деформации производится в стационарном состоянии объекта, например, путем его нагружения контролируемой нагрузкой до момента соприкосновения толкателя и штифта, о чем подается электрический сигнал. По достигнутому значению контролируемой нагрузки судят о величине зарегистрированной перегрузки при работе детали. Авторами разработан метод определения запомненной величины перегрузки,

исключающий необходимость нагружения испытываемой детали. Опыты показали, что запоминающий штифт регистрирует занятое положение с погрешностью, не превышающей 0,03 мкм.

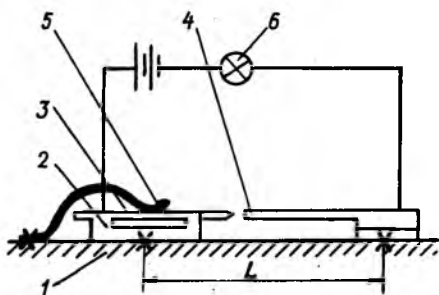
С целью снижения влияния колебаний температуры на результаты измерений рекомендуется изготавливать детали датчика из такого же материала, как и у испытываемой детали. Уменьшением поперечных размеров датчика, расположением его в непосредственной близости от исследуемой детали, а также другими мерами следует добиться минимального различия температур в деталях датчика и на поверхности исследуемой детали. В этом случае тепловые деформации испытываемой детали датчиком не регистрируются.

Предложенный датчик нуждается в источнике питания низкого напряжения, лишь на момент съема запомненной информации. При работе датчика сигнальное устройство вместе с источником питания отсоединяется.

Погрешность определения зазора между заостренным концом штока 3 и плоским торцом толкателя 4 (см. рис. 1) при напряжении порядка $U = 2 \dots 4$ мВ не превышает 1% рабочего перемещения штока.

Основная погрешность измерения (порядка 4%) возникает из-за невысокой точности определения базы датчика.

Показания можно снимать периодически, например один раз за



Р и с. 1. Схема датчика максимальных нагрузок: 1 - испытываемая деталь; 2 - основание; 3 - запоминающий штифт; 4 - толкатель; 5 - прижим; 6 - система подачи сигнала о касании запоминающего штифта и толкателя

несколько сот часов работы изделия. По ним может быть получена оценка значения максимальной перегрузки изделия за указанный интервал времени и кратные ему интервалы. Для получения этих оценок не надо знать величину меньших перегрузок, возникающих чаще.

По результатам замеров, организованных соответствующим образом, можно получить следующие зависимости:

- 1) $\bar{A} = \bar{A}(t)$ - среднее значение максимальной перегрузки за интервал времени t ;
- 2) $\bar{n}_A = \bar{n}(A)$ - средняя интенсивность (частота) выбросов нагрузки выше уровня A ;
- 3) $T = T(A)$ - средняя длительность процесса к моменту достижения уровня A максимальным выбросом.

Можно выявить связь между этими зависимостями, что позволит по одной из них более или менее точно судить о других. Иногда условия работы объекта позволяют производить замеры перегрузок периодически через равные интервалы времени T . В этом случае облегчается получение и статистическая обработка информации, однако несколько снижается ее достоверность.

В других условиях, настроив датчик перегрузок на соответствующий уровень A_0 , ниже которого перегрузки не регистрируются, а также снабдив его дополнительным устройством для подачи сигнала о превышении выбросом нагрузки заданного уровня, можно регистрировать интервалы времени T между этими случайными событиями. Кроме того, можно измерить достигнутую величину выброса, прекратив работу объекта. Проведение такого опыта сложнее, но получаемая информация более богата.

Наконец, определенную информацию может предоставить опыт с регистрацией показаний датчика, работающего в режиме самонастройки на максимальный достигнутый уровень перегрузки. Уровень самонастройки A постепенно ступенчато возрастает во времени случайным образом. Через одинаковые или неодинаковые интервалы времени либо сразу после появления очередного выброса снимается информация о достигнутом к моменту замера уровне самонастройки. По результатам этого опыта строятся реализации случайной функции $A_n = A_n(T)$.

Кроме оценок математического ожидания ординат случайных функций $A = A(t)$, $n_A = n(A)$, $T = T(A)$, по результатам опыта требуется получить оценки плотностей распределений и дисперсии, что в конечном итоге

позволит обосновать необходимое число замеров при заданной достоверности оценок.

Пусть произведены κ измерений максимальных перегрузок A_i за одинаковые интервалы времени Δt_i . Среднее арифметическое значение максимальной перегрузки за время Δt будет следующим:

$$\bar{A}(\Delta t) = \frac{\sum_{i=1}^{\kappa} A_i}{\kappa}.$$

Сгруппировав результаты последовательных измерений по S в каждой группе и выбрав A_{max}^S в каждой из κ/S групп, оценим среднее значение максимальной перегрузки за время $S\Delta t$:

$$\bar{A}(S\Delta t) = \frac{\sum_{i=1}^{\kappa/S} A_{max}^S}{\kappa/S}. \quad (I)$$

Очевидно, математическое ожидание $A(t)$ уровня максимальных перегрузок во времени T монотонно возрастает. Оценку этой зависимости дает соотношение (I).

Важной вероятностной характеристикой всплесков перегрузок является интенсивность выбросов выше любого заданного уровня $\bar{N}_A = \bar{N}_A(A)$, т.е. математическое ожидание числа выбросов N_A выше уровня A в единицу времени.

Покажем, что, приняв некоторые допущения, зависимость $\bar{N}_A = \bar{N}_A(A)$ можно получить с помощью опытного соотношения (I).

Если выбросы нагрузки являются редкими, некоррелированными событиями, то при соблюдении простейших известных условий распределение их числа m за определенный интервал времени может удовлетворительно описываться законом Пуассона

$$P(N_A = m) = \frac{\bar{N}_A^m e^{-\bar{N}_A}}{m!},$$

где $\bar{N}_A = \bar{N}_A T$ - математическое ожидание числа выбросов нагрузки выше уровня A .

Вероятность отсутствия выбросов выше уровня A на протяжении времени T определяется соотношением

$$P(N_A = 0) = e^{-\bar{N}_A T}, \quad (2)$$

т.е. описывается экспоненциальным законом.

Пусть через интервалы времени Δt выполнены κ замеров

перегрузки и в δ интервалах времени ни один выброс не достиг уровня A . Тогда из соотношения (2) при пуассоновском распределении числа выбросов получим

$$\pi_A^* \approx \frac{\ln K - \ln j}{\Delta t}.$$

Величина π_A^* принимает случайные значения в зависимости от интервала времени j . Доверительные границы $P_{1,2}$ частоты $\rho_A^* = j/K$ определяются общеизвестными методами [2, 3]. Границы доверительного интервала оценки π_A^* при пуассоновском распределении числа выбросов представим в виде

$$\pi_{A,1,2} = - \frac{\ln P_{1,2}}{\Delta t}.$$

Установим связь между функциями: $\bar{\pi}_A = \bar{\pi}(A)$ — интенсивности выбросов в зависимости от пересекаемого уровня, $A = A(T)$ — уровня перегрузки, достигнутого максимальным выбросом за время T , $T = T(A)$ — среднего времени процесса к моменту достижения уровня A максимальным выбросом.

Пусть нагрузка описывается стационарной эргодичной функцией, а распределение числа выбросов следует закону Пуассона. Вероятность того, что уровень нагрузки A за время T пересечет хотя бы один выброс

$$P(N_A > 0) = 1 - P(N_A = 0) = 1 - e^{-\bar{\pi}_A T},$$

равна вероятности того, что уровень перегрузок A_n к моменту времени T превзойдет уровень A . Функция плотности распределения уровня перегрузок

$$\varphi(A_n) = -\dot{n}_A T e^{-\bar{\pi}_A T},$$

где $\dot{n}_A = \frac{d\pi_A}{dA}$.

Производная $\dot{n}_A$ может быть приближенно получена по результатам предварительных испытаний объекта.

Математическое ожидание ординаты уровня перегрузок можно записать так:

$$M(A_n) = A_0 e^{-\pi_{A_0} T} \int_{A_0}^{\infty} A T \dot{n}_A e^{-\pi_A T} dA,$$

а его дисперсию -

$$D(A_n) = [A_0 - M(A_n)]^2 e^{-\bar{n}_{A_0} T} - \int_{A_0}^{\infty} [A - M(A_n)]^2 T \dot{n}_A e^{-\bar{n}_A T} dA,$$

где A_0 - минимальный уровень настройки прибора, ниже которого выбросы не учитываются.

Пусть $T = T(A)$ - требуемая длительность процесса регистрации перегрузок в зависимости от достигнутого уровня A_n . Вероятность того, что уровень перегрузок A_n будет достигнут раньше, чем за время T_A , равна вероятности того, что за время T_A хотя бы один выброс нагрузки пересечет уровень $A = A_n$:

$$P(T_{A_n} < T) = P(N_{A_n} > 0) = 1 - P(N_{A_n} = 0).$$

При пуассоновском распределении числа выбросов

$$P(T_{A_n} < T) = 1 - e^{-\bar{n}_{A_n} T}.$$

Тогда функция плотности распределения времени достижения уровня перегрузок A будет иметь вид

$$\varphi(T) = \bar{n}_{A_n} e^{-\bar{n}_{A_n} T}.$$

С ее использованием легко вычислить математическое ожидание $M(T) = \bar{T}$ и дисперсию $D(T)$ ординат случайной функции $T = T(A)$:

$$M(T) = \frac{1}{\bar{n}_A}; \quad (3)$$

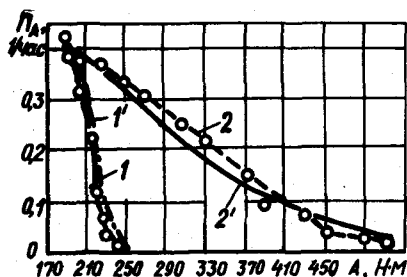
$$D(T) = \frac{1}{\bar{n}_A^2}.$$

Функция $\bar{T} = \bar{T}(A)$ не является обратной для функции $\bar{A} = \bar{A}(T)$. Можно показать, что во многих практически важных случаях это отличие несущественно. Это позволяет, используя результаты более простых в выполнении опытов, построить и аппроксимировать функцию $\bar{A} = \bar{A}(T)$, найти ей обратную, считая последнюю приближенно совпадающей с функцией $\bar{T} = \bar{T}(A)$, а затем вычислить по соотношению (3) интенсивность выбросов $\bar{n}_A \approx \frac{1}{\bar{T}(A)}$.

Функция $n_A = n(A)$ обычно монотонно убывающая. Она всегда может быть более или менее удачно аппроксимирована выражением

$$n_A = a e^{\frac{(A-\delta)^2}{\sigma}}, \quad (4)$$

справедливым, когда нагрузка вплоть до весьма маловероятных значений распределена по нормальному закону.



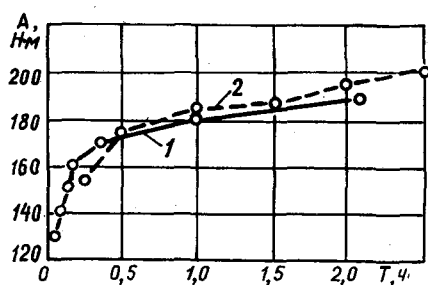
Р и с. 2. Зависимости интенсивности выбросов нагрузок от пересекаемого уровня

Р и с. 2. Зависимости интенсивности выбросов нагрузок от пересекаемого уровня. Графики 1 и 2 построены по результатам замеров величины каждого из выбросов, а графики 1' и 2' - по результатам периодических замеров запомненных максимальных перегрузок за равные интервалы времени. Последние аппроксимированы выражением (4). Сопоставив результаты опытов, можно сделать вывод о приемлемости гипотезы о пуассоновском распределении числа выбросов нагрузок.

На рис. 3 приведены зависимости $A = A(T)$ (кривая 2), ординаты которой вычислялись по показаниям датчика перегрузок в режиме самонастройки, и $T = T(A)$ (кривая 1), ординаты которой найдены с использованием соотношения (13). Опыт подтверждает приемлемость описанного приема вычисления интенсивности выбросов

$$\lambda_A = \lambda(A).$$

Предложенные датчики максимальных перегрузок и методика определения вероятностных характеристик редких выбросов нагрузки могут найти широкое применение в самых различных областях техники, в том числе при совершенствовании конструкции летательных аппаратов.



Р и с. 3. Результаты сопоставления зависимостей $T = T(A)$ (1) и $A = A(T)$ (2)

Библиографический список

1. Титаренко М.С. Исследование зависимости перегрузок сельскохозяйственных машин от параметров их защиты зубчато-фрикционными предохранительными муфтами. Дис. ...канд.техн.наук. - Мелитополь, 1971.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Наука, 1964.
3. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. - М.: Наука, 1961.

УДК 620.178.311

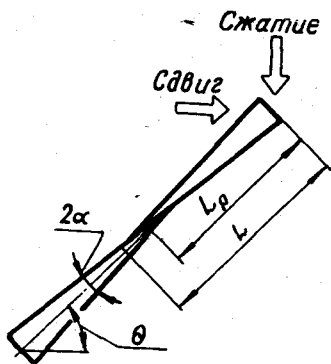
А.А.Тройников, С.Д.Барас

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАТЕРИАЛА МР

Известные физические модели материала МР (металлический аналог резины) [1-6] позволяют оценить упругодемпфирующие свойства изделий, выполненных на его основе, только при деформации сжатия. В реальных же условиях изделия из МР чаще всего подвергаются нагрузкам, действующим в направлении сжатия и сдвига. В связи с этим научный и практический интерес представляет создание физической модели, воспроизводящей процессы рассеяния энергии в материалах из металлической проволоки в условиях их сложного деформационного состояния. Кроме того, такая модель должна быть реализуема с целью проведения всего комплекса экспериментальных исследований, которые на натуре осуществить невозможно.

Предлагаемая модель представляет собой совокупность пар пирамидальных элементов, направленных вершинами друг к другу и взаимодействующих между собой поверхностями граней (рис. 1).

В модели n пар пирамид (фрикционных пар) образуют уравновешенные в силовом отношении группы (рис. 2), из которых последовательным соединением, т.е. слоями (n_f), формируется моделируемое изделие.



Р и с. 1. Фрикционная пара модели материала МР