

УДК 629.7.018

А. А. Чураков

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСКОРЕННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ГАРМОНИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ, ЭКВИВАЛЕНТНЫХ  
РЕАЛЬНЫМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ НАГРУЗКАМ

Обычно [1, 2, 3] для определения гармонических режимов нагружения, эквивалентных случайным нагрузкам, имеющим место при реальных условиях эксплуатации, поступают следующим образом. Проводятся испытания образцов при различных уровнях гармонической нагрузки, по результатам которых строится кривая усталости. Проводятся, далее, испытания тех же образцов при случайных нагрузках интересующего нас уровня. По найденным при этом значениям долговечности и по кривой усталости и определяется эквивалентный уровень гармонической нагрузки  $\sigma_3$ .

В работе [4] предложена методика ускоренного определения эквивалентных гармонических режимов нагружения, основанная на следующих соображениях. Два различных режима нагружения считаются эквивалентными, если конструкции, находящиеся под их воздействием в течение равного интервала времени  $t_0$ , показывают в дальнейшем при гармоническом нагружении на более высоком уровне  $\sigma_0$  равные значения остаточной долговечности.

Для этого несколько партий образцов испытываются при двухступенчатом гармоническом нагружении. Длительность первой ступени нагружения  $t_0$  принимается постоянной, а уровень напряжений  $\sigma$  изменяется от партии к партии. На второй ступени с постоянным для всех партий уровнем напряжений  $\sigma_0 > \sigma$  проводятся испытания до момента образования трещины заданных размеров и определяется остаточная долговечность.

Исследования показали, что связь между средними для каждой партии значениями остаточной долговечности  $T_{ост}$  и уровнем напря-

нения  $\sigma$  хорошо аппроксимируется линейной зависимостью. Если вести обработку результатов по методу наименьших квадратов, то для получения этой зависимости достаточно провести испытания на трех уровнях  $\sigma$ .

Затем партия образцов, имеющая наработку при эксплуатационном режиме нагружения  $t_0$ , испытывается на второй ступени также при гармонических нагрузках с уровнем  $\sigma_0$ , что дает возможность определить остаточную долговечность для этого случая  $T_{ост}^I$ .

Имея значения  $T_{ост}^I$  и график  $\sigma - T_{ост}$ , можно теперь найти уровень гармонической нагрузки, эквивалентной заданному эксплуатационному режиму нагружения. Обозначим этот уровень через  $\sigma_2^y$ .

В настоящей статье дается оценка эффективности предложенной методики с точки зрения экономии времени на примере испытаний плоских образцов из материала IX18H10T, имеющих концентратор в

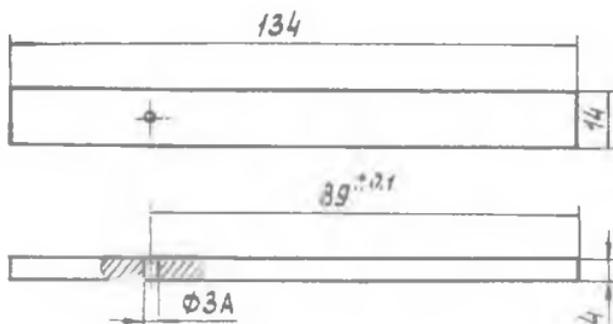


Рис. I

виде отверстия и работающих на изгиб. Схема образца показана на рис. I.

В таблице I приведены значения средней долговечности для образцов, испытанных при трех уровнях среднеквадратичного значения случайной нагрузки  $\bar{S}$ . Здесь и в дальнейшем на каждом уровне при одной установке испытывалось не менее 6 образцов.

Таблица I

$\bar{S} \left[ \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2} \right]$	29,4	18,8	13,2
$T_{ср} [\text{сек}]$	$3,16 \cdot 10^3$	$1,05 \cdot 10^4$	$2,82 \cdot 10^4$

Для определения  $G_0$  были проведены испытания образцов на 4 уровнях напряжения  $G$  при частоте гармонической нагрузки  $f = 10$  герц. Результаты испытаний представлены в таблице 2. Через  $T$  здесь обозначены средние значения долговечности образцов на заданных уровнях напряжения. По ним строилась кривая усталости (рис. 2).

Таблица 2

$G \left[ \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2} \right]$	42	39	34,2	29,1
$T$ [сек]	$1,7 \cdot 10^3$	$5,9 \cdot 10^3$	$1,52 \cdot 10^4$	$5,5 \cdot 10^4$
$T^{\text{max}}$ [сек]	$2,2 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$2,25 \cdot 10^4$	$7,75 \cdot 10^4$

Для оценки затраты времени на испытания в таблице указаны также и максимальные значения долговечности  $T^{\text{max}}$ . Поскольку на каждом уровне напряжения испытания проводились при одной установке образцов, то суммарное время испытаний составляет 32 часа. Обозначим это время через  $T_{\Sigma}^*$ .

Для оценки затрат рабочего времени на определение эквивалентных режимов по предлагаемой в работе [4] методике ускоренных

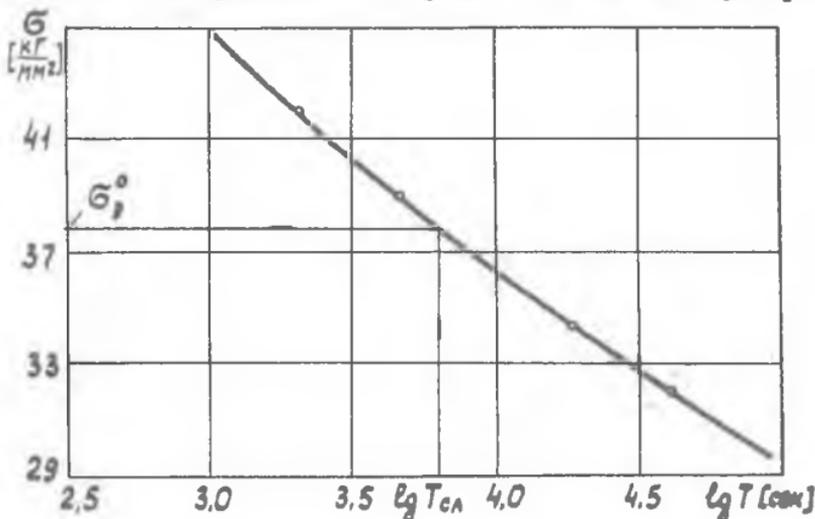


Рис. 2

испытаний были сначала проведены испытания образцов при двухступенчатой гармонической нагрузке. Эксперименты проводились при трех уровнях предварительного нагружения длительностью  $t_0 = 600$  сек. Дальнейшее нагружение осуществлялось на постоянном для всех партий уровне напряжения  $\sigma_0 = 41 \text{ кг/мм}^2$ . Результаты испытаний представлены в таблице 3. По значениям  $T_{\text{ост}}$  строился график  $\sigma - T_{\text{ост}}$  (рис. 3). Суммарная затрата времени на эти испытания составила 1,8 часа.

Таблица 3

$\sigma$ [кг/мм <sup>2</sup> ]	43	37,3	32,4
$T_{\text{ост}}$ [сек]	$3,1 \cdot 10^2$	$1,05 \cdot 10^3$	$1,81 \cdot 10^3$
$T_{\text{ост}}^{\text{max}}$ [сек]	$3,9 \cdot 10^2$	$1,63 \cdot 10^3$	$2,54 \cdot 10^3$

Вторая партия образцов была также испытана на двухступенчатую нагрузку. При этом предварительное нагружение с  $t_0 = 600$  сек

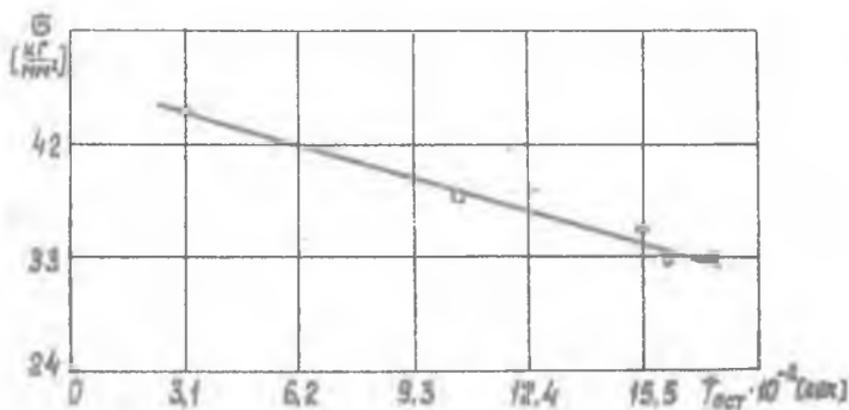


Рис. 3

осуществлялось на выбранных ранее уровнях случайной нагрузки. Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Подсчет показал, что на эти испытания потребовалось 1,4 часа. Суммарная затрата времени на испытания для определения эквивалентных режимов по ускоренному методу составила  $T_{\Sigma}^{\text{н}} = 1,8 + 1,4 = 3,2$  часа.

Таблица 4

$\bar{S} \left[ \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2} \right]$	$T'_{\text{ост}} [\text{сек}]$	$T_{\text{ост}}^{\text{max}} [\text{сек}]$	$\sigma_3^y \left[ \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2} \right]$	$\sigma_3^o \left[ \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2} \right]$
1	2	3	4	5
29,4	$7,05 \cdot 10^2$	$8,44 \cdot 10^2$	40,7	40,4
18,8	$1,26 \cdot 10^3$	$1,72 \cdot 10^3$	36,3	36,1
13,2	$1,6 \cdot 10^3$	$2,25 \cdot 10^3$	33,5	33,2

Таким образом, в нашем конкретном случае предлагаемый метод ускоренного определения гармонических режимов, эквивалентных реальным эксплуатационным нагрузкам, дает по сравнению с общепринятой методикой десятикратный выигрыш во времени. К сказанному следует добавить, что выбранные уровни нагружения достаточно удалены от предела усталости. Если потребуется найти эквивалентные режимы нагружения при напряжениях, близких к пределу усталости, то выигрыш во времени будет еще более существенным.

Несколько слов относительно точности ускоренного метода. В графе 4 таблицы 4 приведены значения  $\sigma_3^y$ , полученные при ускоренных испытаниях, а в графе 5 таблицы - значения эквивалентных гармонических нагрузок  $\sigma_3^o$ , полученных по общепринятой методике. Сопоставление их показывает, что оба метода дают практически одинаковые результаты.

#### Л и т е р а т у р а

1. Федоров Д.И., Бондарович Б.А., Перепонов В.И. Надежность металлоконструкций землеройных машин. М., "Машиностроение", 1971.
2. Шайве Дж. Вносливость заклепочных соединений. В сб. "Усталостная прочность и долговечность самолетных конструкций". М., "Машиностроение", 1965.
3. Лундберг Б.О. Срок службы самолетных конструкций, определяемый усталостной прочностью. В сб. "Усталость самолетных конструкций", М., "Оборонгиз", 1961.
4. Чураков А.А. К определению эквивалентных режимов нагружения. "Вопросы прочности элементов авиационных конструкций". Межвузовский сборник, вып. 2, 1975.