

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ПО ПАРАМЕТРАМ КРИВОЙ УСТАЛОСТИ, ВЫРАЖЕННОЙ УРАВНЕНИЕМ ВЕЙБУЛЛА

Коноплев А.В., Стальниченко О.И. (ОНМУ, Одесса, Украина)

Тел./Факс: 0506533104; E-mail: [tm.kafedra@yandex.ua](mailto:tm.kafedra@yandex.ua)

**Abstract:** The method, allowing to define a limit of endurance by results of tests of samples or real details is offered. He is based on use three-parametrical the equations of curve weariness of Veibulla in which the endurance limit is replaced by variable parameter. This parameter is defined in the course of construction of curve weariness from a condition of reception of the maximum value of factor of correlation.

Стабильность качества серийно выпускаемых деталей машин, для которых критерием работоспособности является циклическая прочность, осуществляется путём проведения испытаний их ограниченной выборки. С целью экономии, как самих объектов, так и времени испытаний чаще всего отказываются от традиционных испытаний в пользу форсированных режимов, т.е. проводят так называемые сокращённые испытания. На основе этих испытаний разработаны многие методы ускоренного определения характеристик сопротивления усталости [1]. Поскольку эти методы по ряду причин (использование гипотез, допущений, корреляционных зависимостей и т. д.), могут быть лишь приближёнными, задача повышения их точности и надёжности всегда является актуальной.

Одним из факторов, оказывающих заметное влияние на точность оценки характеристик сопротивления усталости, является выбор математической модели кривой усталости. Математическая модель кривой усталости может обуславливаться теоретическими концепциями, например основанными на статистических воззрениях на природу усталости, либо она подбирается к массиву экспериментальных данных по различным критериям, например по критерию максимума правдоподобия.

Чаще всего для построения кривых усталости применяют полулогарифмические или логарифмические координаты, принимая в качестве математической модели показательное или степенное уравнения, либо уравнение Вейбулла.

Стремление к более точной и универсальной модели кривой усталости привело к появлению так называемых составных моделей [2,3]. Составные модели получают при обработке экспериментальных данных в виде двухзвенной кривой усталости путём сопряжения участков, описанных различными уравнениями. Чаще всего левую её часть описывают степенным уравнением, а правую – уравнением Вейбулла. При этом решается задача по определению точки пересечения сопрягаемых участков. На рис. 1а,б представлены возможные варианты получения составной кривой усталости (случаи пересечения в одной и в двух точках). Вариант, когда эти кривые не пересекаются, практически невозможен, и поэтому не рассматривается.

Координаты точек пересечения могут быть определены из следующих выражений [2].

$$\sigma_{II}^m / (\sigma_{II} - \sigma_R)^{m_w} - \sigma^m \cdot N / 10^{C_w} = 0; \quad (1)$$

$$N_{II} = 10^C / \sigma_{II}^m, \quad (2)$$

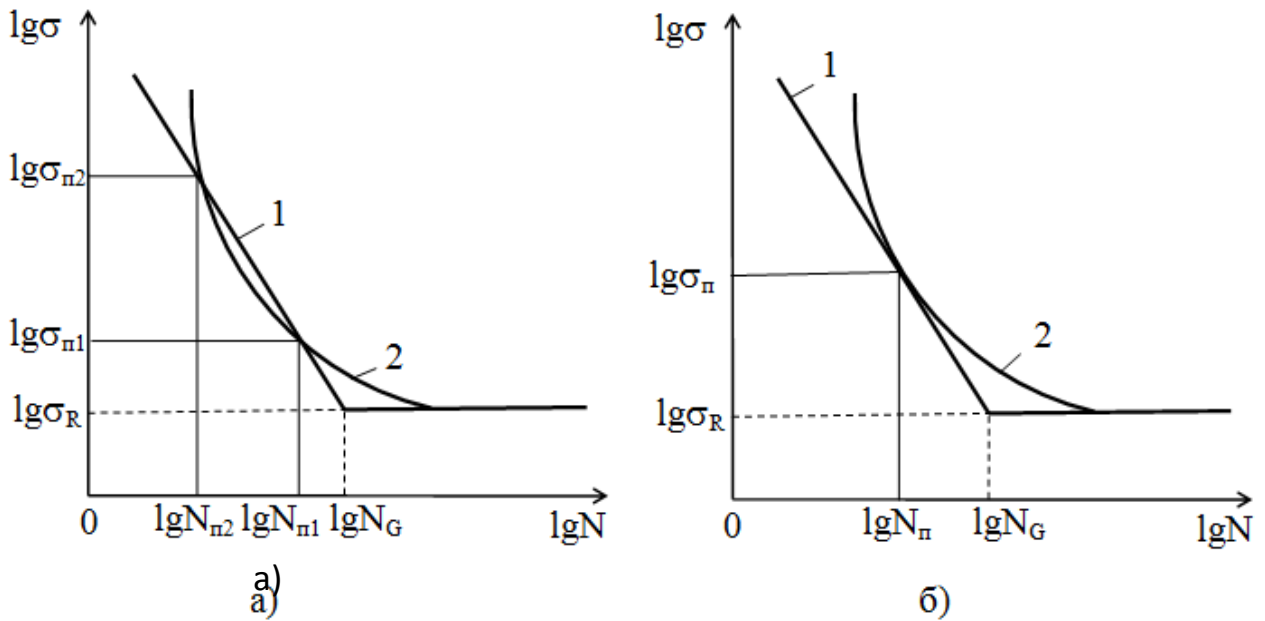


Рис. 1. Возможное взаимное расположение левой и правой частей наклонного участка составной кривой усталости.

где  $\sigma_{\pi}$  и  $N_{\pi}$  - напряжение и долговечность, соответствующие точке пересечения кривых усталости 1 и 2;  $\sigma_R$  - предел выносливости;  $\sigma$  и  $N$  - текущие значения напряжений и долговечности до разрушения соответственно;  $m$ ,  $C$ ,  $m_w$ ,  $C_w$  - параметры степенного уравнения кривой усталости и уравнения Вейбулла.

Сам подход к построению кривой усталости в виде двухзвенной кривой обусловлен двумя факторами: во-первых, чтобы исключить резкий переход от ограниченной долговечности к неограниченной и, во-вторых, для лучшего соответствия математической модели экспериментальным точкам при долговечностях, близких к границе много и малоциклового усталости. Следует, однако, заметить, что участок кривой усталости, подчинённый уравнению Вейбулла, при этом является экстраполируемым. Экспериментальных исследований, с помощью которых можно было бы обосновать целесообразность применения двухзвенной кривой усталости, пока нет.

Первый вариант построения кривой усталости (рис. 1а) является наиболее оправданным с точки зрения логики обработки экспериментальных данных. Говоря о втором варианте (рис. 1б), следует отметить, что такое взаимное расположение кривых усталости при обработке экспериментальных данных маловероятно. Скорее всего, этот вариант сочленения двух частей наклонного участка кривой усталости целесообразен при её построении расчётным путём.

С точки зрения практического использования кривой усталости, например, для оценки предела выносливости по параметрам наклонного участка, удобнее использовать единую математическую модель этого участка.

В работе [4] предложено строить кривую усталости, используя единое для всего наклонного участка уравнение Вейбулла, в котором предел выносливости заменён варьируемым параметром, т.е.

$$(\sigma - \sigma_R)^{m'_w} \cdot N = 10^{C_w}; \quad (3)$$

$$(\sigma - A)^{m'_w} \cdot N = 10^{C'_w}, \quad (4)$$

где  $A$  - варьируемый параметр.

Проведенный в упомянутой работе сравнительный анализ показал, что в случае использования в качестве уравнения кривой усталости зависимости (3), коэффициент корреляции всегда выше, чем в случаях использования степенного и показательного уравнений, а также уравнения Вейбулла в канонической форме. Известно, что уравнение Вейбулла позволяет по известным параметрам  $m_w$  и  $C_w$  определять предел выносливости. При этом точность его оценки зависит не только от значений этих параметров, но и от того, насколько сама математическая модель соответствует экспериментальным данным, т.е. зависит от коэффициента корреляции. Для оценки этой зависимости обратимся к экспериментальным данным испытаний образцов, гладких и с концентратором напряжений [4]. Ниже в таблице приведены их экспериментальные и расчётные характеристики, найденные из уравнений 3 и 4.

*Таблица*  
*Экспериментальные и расчётные характеристики образцов, изготовленных из различных марок сталей*

N обр.	$\sigma$ , МПа	N, цикл.	Уравнение 3				Уравнение 4			
			R	$\sigma_{Ri}$ , МПа	$\delta_{\sigma_R}$ , %	$S_{\sigma_R 3}$ , МПа.	$\sigma_{Ri}$ , МПа	R	$\delta_{\sigma_R}$ , %	$S_{\sigma_R 4}$ МПа.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сталь 18X2H4BA ( $\sigma_R=200$ МПа; $m_w=1,3$ ; $C_w=7,7$ ; $m'_w=3,8$ ; $C'_w=13,6$ ; $A=125$ МПа; $S_{\sigma_R}=12,8$ МПа)										
1	320	58700	0,9284	140,4	-29,8	19,9	184,8	0,9497	-7,6	12,7
2	320	77400		174,8	-12,6		199,5		-0,3	
3	320	91100		191,9	-4,1		207,7		3,9	
4	320	103800		204,2	2,1		214,1		7,1	
5	320	110300		209,4	4,7		216,9		8,5	
6	280	115600		173,4	-13,3		179,1		-10,5	
7	280	183200		205,2	2,6		199,2		-0,4	
8	280	209600		212,5	6,3		204,6		2,3	
9	280	273400		225,0	12,5		214,7		7,4	
10	280	304900		229,4	14,7		218,7		9,4	
11	240	361400		195,6	-2,2		184,7		-7,7	
12	240	405800		199,4	-0,3		188,6		-5,7	
13	240	513200		206,1	3,1		196,2		-1,9	
14	240	640800		211,4	5,7		202,9		1,5	
15	240	810700		216,2	8,1		209,6		4,8	
16	210	735400		184,3	-7,9		176,9		-11,6	
17	210	1072000		190,8	-4,6		187,1		-6,5	
18	210	1894000		197,6	-1,2		200,7		0,4	
19	210	2148000		198,7	-0,7		203,4		1,7	
20	210	2863000		201,0	0,5		209,4		4,7	
				$\sigma_R =$ 198,4 МПа	$\bar{\delta}_{\sigma_R} =$ -0,80		$\bar{\sigma}_R =$ 199,9 МПа		$\bar{\delta}_{\sigma_R} =$ -0,05	

Индивидуальные значения пределов выносливости и их относительные погрешности определялись по формулам:

$$\sigma_{Ri} = \sigma - \left( \frac{10^{C_w}}{N} \right)^{1/m_w} + \sigma_R - A; \quad (5)$$

$$\bar{\delta}_{\sigma_R} = \frac{\bar{\sigma}_R - \sigma_R}{\sigma_R} \cdot 100. \quad (6)$$

Анализ полученных результатов показывает, что погрешность оценки среднего значения предела выносливости, найденного с помощью уравнения 4, как правило, несколько ниже, чем с помощью уравнения 3. Это обусловлено более высоким выборочным коэффициентом корреляции  $R$ , который для уравнения 4 во всех случаях был выше.

Что касается погрешностей оценки индивидуальных пределов выносливости, то и они при использовании уравнения 3 в целом оказались ниже. В тоже время применение уравнения Вейбулла в каноническом виде, привело в ряде случаев к значительным погрешностям (более 20%). При этом максимальные значения  $\delta_{\sigma_R}$  имели место при минимальных долговечностях. Данный факт подтверждает то, что в верхней своей части кривая усталости, подчинённая уравнению Вейбулла, неудовлетворительно согласуется с экспериментальными данными.

Таким образом, использование уравнения кривой усталости с варьируемым параметром для определения предела выносливости вместо классического уравнения Вейбулла, позволило повысить точность оценки как индивидуальных пределов выносливости, так и его среднего значения.

**Список литературы:** 1. Олейник Н.В., Скляр С.П. Ускоренные испытания на усталость. – Киев.: Наукова думка, 1985, 304с. 2. Олейник Н.В., Кобаков А.Г. Оперативная оценка сопротивления усталости материалов и деталей. – Одеса.: Астропринт, 1998, 142 с. 3. Шумило. До вибору матеріалу для виготовлення відповідальних деталей// Вісник ОНМУ, 1999, № 2. С. 15-19. 4. Коноплев А.В. Повышение точности построения кривой усталости при использовании трехпараметрического уравнения Вейбулла // Вісник ОНМУ, 2007, № 22. С. 131-136.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АФФИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СБОРКИ В АВТОМАТИЧЕСКОМ СБОРОЧНОМ РОТОРЕ

**Кульбида О.О., Ищенко А.Л. (ДонНТУ, Донецк, Украина)**

**Abstract:** *The designing of technological system is conducted on the basis of the chosen basic circuit. According to the circuit elements of technological system and their components during assembly move from each other. At research of processes of assembly of products and at the mathematical description of the spatial attitudes of elements of technological system there is a problem of the description of movement of collected products. In clause this problem is decided with the help of affin transformations.*

**Key words:** *assembly, rotor, coordinate transformation, transition matrix.*