

УДК 620:178.3

**О ТОЧКАХ ПЕРЕЛОМА КРИВЫХ УСТАЛОСТИ,
ВЫРАЖЕННЫХ СТЕПЕННЫМ И ПОКАЗАТЕЛЬНЫМ УРАВНЕНИЯМИ**

А.В. Коноплёв

д.т. н., профессор, заведующий кафедрой «Машиноведение»

П.И. Греченко

к.т.н., доцент кафедры «Машиноведение»

Н.И. Чередарчук

начальник отдела лицензирования, аккредитации и мониторинга качества образования

В.О. Сологуб

аспирант кафедры «Машиноведение»

Одесский национальный морской университет

***Аннотация.** Рассмотрены корреляционные взаимосвязи между пределом выносливости и параметрами наклонного участка кривой усталости, выраженной степенным и показательным уравнениями. С их помощью определены абсциссы точек перелома этих кривых и построены графики зависимостей данных величин от пределов выносливости.*

Показано, что эти взаимосвязи могут быть как убывающими, так и возрастающими в зависимости от исследуемой выборки.

***Ключевые слова:** кривая усталости, корреляционные зависимости, предел выносливости.*

**ПРО ТОЧКИ ПЕРЕЛОМУ КРИВЫХ ВТОМИ,
ВИРАЖЕНИХ СТЕПЕНЕВИМ І ПОКАЗОВИМ РІВНЯННЯМИ**

А.В. Конопльов

д.т. н., професор, завідувач кафедри «Машинознавство»

П.І. Греченко

к.т.н., доцент кафедри «Машинознавство»

Н.І. Чередарчук

начальник відділу ліцензування, акредитації та моніторингу якості освіти

В.О. Сологуб

аспірант кафедри «Машинознавство»

Одеський національний морський університет

***Анотація.** Розглянуто кореляційні взаємозв'язки між границею витривалості і параметрами похилої ділянки кривої втоми, вираженої степеневим і показовим рівняннями. З їх допомогою визначено абсциси точок перелому цих кривих і побудовані графіки залежностей цих величин від границь витривалості.*

Доведено, що ці взаємозв'язки можуть бути як убутними, так і зростаючими в залежності від досліджуваної вибірки.

***Ключові слова:** крива втоми, кореляційні залежності, межа витривалості.*

© Конопльов А.В., Греченко П.И., Чередарчук Н.И., Сологуб В.О., 2018

UDC 620:178.3

**ABOUT POINTS OF PERELOM OF FATIGUE CURVES,
EXPRESSED BY THE DEGREE AND INDICATIVE EQUATIONS**

A.V. Konoplev

Doctor of technical sciences, Professor, head of the Department «Machine Science»

P.I. Grechenko

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of «Machine Science»

N.I. Cheredarchuk

Head of Licensing, Accreditation and Monitoring of Education Quality

V.O. Sologub

Postgraduate student of the Department «Machine Science»

Odessa National Maritime University

Abstract. *Correlation relationships between the endurance limit and the parameters of the inclined section of the fatigue curve, expressed by power and exponential equations, are considered. With their help, the abscissas of the fracture points of these curves are determined and graphs of the dependencies of these values are constructed from the limits of endurance.*

It is shown that these relationships can be either decreasing or increasing, depending on the sample being studied.

Keywords: *fatigue curve, correlation dependencies, endurance limit.*

Вопрос о корреляционных зависимостях между параметрами наклонного участка кривой усталости и пределом выносливости рассматривался в ряде работ [1-4]. В результате статистической обработки больших массивов экспериментальных данных авторами были получены зависимости для трёх основных уравнений: степенного, показательного и Вейбулла.

Для степенного уравнения кривой усталости зависимости параметров её наклонного участка m_C и C_C от предела выносливости σ_R представляются в виде [1]

$$m_C = f_C(\sigma_R) = a_C \sigma_R + b_C; \quad (1)$$

$$C_C = F_C(\sigma_R) = \alpha_C (m_C + 1) \lg \sigma_R + \beta_C, \quad (2)$$

где a_C , b_C , α_C , β_C – эмпирические коэффициенты. Абсцисса точки перелома кривой усталости $\lg N_{GC}$ в координатах $\lg N - \lg \sigma$, с учётом зависимостей (1) и (2), определяется из выражения [1]

$$\lg N_{GC} = \varphi(\sigma_R) = [m_C(a_C - 1) + \alpha_C] \lg \sigma_R + \beta_C. \quad (3)$$

Для объектов из углеродистых и легированных сталей принимают: $a_C = 0,027$; $b_C = 1,4$; $\alpha_C = 0,997$; $\beta_C = 4,0 + 0,5(2,5 - \lg \sigma_R)^2$, при $\lg \sigma_R \geq 2,5$ $\beta_C = 4,0$ (в среднем $\beta_C = 4,25$).

На основании обработки того же массива экспериментальных данных были получены уравнения регрессии в виде линейных функций для модели кривой усталости Вейбулла, в виде [2]

$$m_W = f_W(\sigma_R) = a_W \sigma_R + b_W = 0,002 \sigma_R + 0,8; \quad (4)$$

$$C_W = F_W(\sigma_R) = \alpha_W \sigma_R + \beta_W = 0,005 \sigma_R + 6,6, \quad (5)$$

где a_W , b_W , α_W , β_W – эмпирические коэффициенты;

В приближённом варианте принимают $m_W = \text{const} = 1,0$, а параметр C_W определяют по формуле

$$C_W = \lg \sigma_R + 5,1. \quad (6)$$

Для параметров кривой усталости, выраженной показательным уравнением, получены корреляционные зависимости между величиной $\lg N_{GII}$ и пределом выносливости при симметричном изгибе σ_{-1} [3]:

– для углеродистых сталей

$$\lg N_{GII} = \varphi_{II}(\sigma_{-1}) = (\alpha_{II} \sigma_{-1} + \beta_{II}) / k = (0,43 \sigma_{-1} + 289,6) / k; \quad (7)$$

– для легированных

$$\lg N_{GII} = (1,48 \sigma_{-1} - 33,5) / k; \quad (8)$$

– для углеродистых и легированных

$$\lg N_{GII} = (2,11 \sigma_{-1} + 132,5) / k, \quad (9)$$

где σ_{-1} – предел выносливости при симметричном цикле изменения напряжений; α_{II} , β_{II} – эмпирические коэффициенты; k – параметр.

Используя зависимости (3) и (9), определим величины $\lg N_{GII}$ и $\lg N_{GC}$ для интервала значений предела выносливости 100 – 500 МПа.

Что же касается уравнения Вейбулла, то оно является асимптотическим и не имеет точки перелома, однако, если его параметры выразить через параметры степенного и показательного уравнений, то такое сравнение будет корректным. Очевидно, что величины $\lg N_{GP}$ и $\lg N_{GC}$, для одних и тех же экспериментальных данных, отличаются между собой, хотя и незначительно. Учитывая данное обстоятельство, их сравнение можно осуществить не с точки зрения их близости, а с целью установления тенденции их изменения в оговоренном выше диапазоне значений пределов выносливости.

Чтобы выразить параметры уравнения Вейбулла через параметры степенного и показательного уравнений, воспользуемся зависимостями параметров m_W и C_W от предела выносливости [4]

$$m_W = f_W(\sigma_R) = \frac{1}{a_{W1}\sigma_R^{k_1} - b_{W1}} - 1 = \frac{1}{5,254\sigma_R^{0,01} - 5,038} - 1 ; \quad (10)$$

$$C_W = F_W(\sigma_R) = \lg \frac{(\alpha_{W1}\sigma_R + \beta_{W1})^{m_W + 1}}{m_W + 1} = \lg \frac{(7,029\sigma_R + 3599)^{m_W + 1}}{m_W + 1} , \quad (11)$$

где a_{W1} , b_{W1} , α_{W1} , β_{W1} , k_1 – эмпирические коэффициенты.

Определим значения параметров m_W и C_W с помощью формул (10) и (11) для диапазона значений пределов выносливости 100-500 МПа (табл. 1).

Таблица 1

Расчётные значения параметров m_W и C_W

σ_R , МПа	100	200	300	400	500
m_W	1,157	0,993	0,907	0,850	0,809
C_W	7,504	7,073	6,883	6,776	6,711

Пересчёт параметров m_W и C_W в параметры m_C , C_C степенного уравнения, а также k и C_{II} показательного уравнения, осуществим с помощью метода наименьших квадратов, определив предварительно значения $\lg N$ для напряжений, соответствующих зоне многоциклового усталости (табл. 2).

Таблиця 2

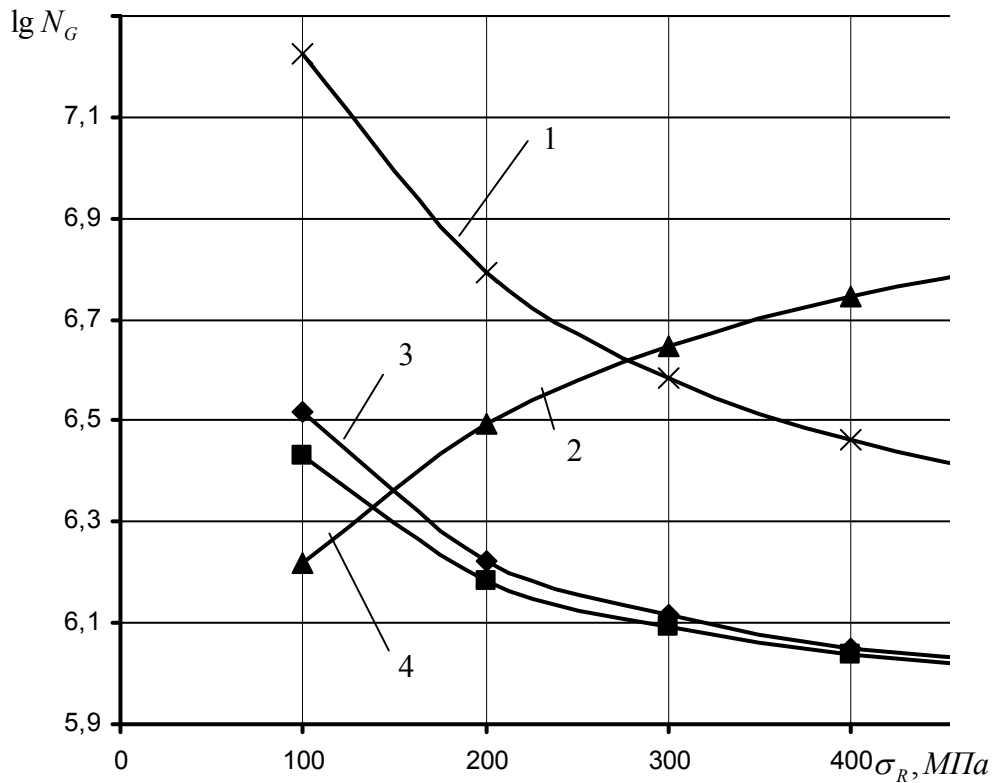
Расчётные значения параметров m_C , C_C , k и C_{II}
для различных значений предела выносливости

$\sigma_R = 100$ МПа; $m_W = 1,157$; $C_W = 7,504$						
σ , МПа	$\lg \sigma$	$\lg N$	m_C	C_C	k	C_{II}
1	2	3	4	5	6	7
105	2,021	6,695	4,864	16,245	70,973	7,838
110	2,041	6,329				
120	2,079	5,975				
130	2,114	5,7683				
140	2,146	5,622				
150	2,176	5,508				
160	2,204	5,415				
170	2,230	5,336				
180	2,255	5,268				
190	2,279	5,208				
200	2,301	5,154				
210	2,322	5,142				
220	2,342	5,098				
$\sigma_R = 200$ МПа; $m_W = 0,993$; $C_W = 7,073$						
205	2,312	6,379	7,305	23,033	78,444	8,732
210	2,322	6,080				
220	2,342	5,781				
230	2,362	5,606				
240	2,380	5,482				
250	2,398	5,386				
260	2,415	5,307				
270	2,431	5,241				
280	2,447	5,183				
290	2,462	5,132				
300	2,477	5,087				
310	2,491	5,046				
$\sigma_R = 300$ МПа; $m_W = 0,907$; $C_W = 6,883$						
305	2,484	6,249	9,960	30,788	79,659	9,859
310	2,491	5,976				
320	2,505	5,703				
330	2,519	5,543				
340	2,531	5,430				
350	2,544	5,342				

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
360	2,556	5,270				
370	2,568	5,209				
380	2,580	5,157				
390	2,591	5,111				
400	2,602	5,069				
$\sigma_R=400$ МПа; $m_W=0,850$; $C_W=6,776$						
405	2,6070	6,182	12,034	37,363	84,991	10,742
410	2,613	5,926				
420	2,623	5,670				
430	2,633	5,520				
440	2,643	5,414				
450	2,653	5,332				
460	2,663	5,265				
470	2,672	5,208				
480	2,681	5,158				
490	2,690	5,115				
500	2,699	5,076				
$\sigma_R=500$ МПа; $m_W=0,809$; $C_W=6,711$						
505	2,703	6,146	14,045	43,927	89,274	11,608
510	2,708	5,902				
520	2,716	5,658				
530	2,724	5,516				
540	2,732	5,415				
550	2,740	5,337				
560	2,748	5,272				
570	2,756	5,218				
580	2,763	5,171				
590	2,771	5,130				
600	2,778	5,093				

Графики зависимостей $\lg N_{GC}(\sigma_R)$ и $\lg N_{GH}(\sigma_R)$ для степенного и показательного уравнений показаны на рис. 1. Расчётные их значения представлены в табл. 3



*Рис. 1. Зависимости $\lg N_{GC}(\sigma_R)$ и $\lg N_{GP}(\sigma_R)$:
1 – формула (3); 2 – формула (9);
3 и 4 – на основании данных табл. 2*

Таблица 3

*Расчётные значения $\lg N_G$
для различных значений предела выносливости*

σ_R , МПа	100	200	300	400	500
$\lg N_{GC}$	6,517	6,224	6,116	6,050	6,020
$\lg N_{GP}$	6,429	6,182	6,093	6,036	6,007
$\lg N_{GC}^{(3)}$	6,220	6,493	6,647	6,745	6,815
$\lg N_{GP}^{(9)}$	7,226	6,791	6,584	6,463	6,383

Заключение. Проведенный анализ показал, что корреляционные взаимосвязи $\lg N_{GC}(\sigma_R)$ и $\lg N_{GP}(\sigma_R)$ могут быть как убывающими, так и возрастающими в зависимости от исследуемой выборки. При этом диапазон изменения абсциссы точки перелома кривой усталости, в случае использования формул (10) и (11), заметно меньше, чем при её определении по зависимостям (3) и (9).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Олейник Н.В. Выносливость деталей машин. – К.: Техніка, 1979. – 200 с.
2. Олейник Н.В., Коноплев А.В., Кобаков А.Г. Методы ускоренного определения характеристик сопротивления усталости в практических приложениях. – Одесса: Астропринт, 2000. – 138 с.
3. Гребеник В.М., Цапко В.К. Надёжность металлургического оборудования: Справочник. – М.: Металлургия, 1989. – 344 с.
4. Коноплев А.В., Селюкова Е.В. Определение предела выносливости деталей машин методом Про с учётом взаимосвязи между его параметрами // Детали машин: Респ. межвед. науч.-техн. сборник. – 1988. – Вып. 40. – С. 102-104.

Стаття надійшла до редакції 12.02.2018

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-організаційної роботи Одеського національного морського університету,
А.В. Шахов

доктор технічних наук, доцент, директор Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» **В.І. Чимшир**