

УДК 620:178.3
DOI 10.47049/2226-1893-2021-2-120-127

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ НАГРУЗКИ
НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗРУШАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ГИПОТЕЗЫ ЛИНЕЙНОГО СУММИРОВАНИЯ
УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

А.В. Коноплев

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

А.Н. Шумило

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

Н.И. Чередарчук

старший преподаватель кафедры «Физика, математика и астрономия»

В.В. Галевский, О.Н. Кононова

старшие преподаватели кафедры «Машиноведение»

Е.К. Рожко

ассистент кафедры «Прикладная механика»

В.А. Арпентьева

аспирант кафедры «Машиноведение»

Одесский национальный морской университет, Одесса, Украина

Аннотация. С помощью линейной гипотезы накопления усталостных повреждений рассчитаны значения разрушающих напряжений при имитации испытаний деталей машин на сопротивление усталости с линейно увеличивающейся нагрузкой. Расчёты проведены для диапазона дискретных значений предела выносливости в диапазоне 100-500 МПа и скоростей увеличения амплитуды напряжений 100-500 Па/цикл.

Расчёт показал, что погрешность разрушающих напряжений зависит от скорости увеличения нагрузки и в предельном случае не превышает 15 %.

Ключевые слова: накопление усталостных повреждений, скорость увеличения нагрузки, разрушающее напряжение.

УДК 620:178.3
DOI 10.47049/2226-1893-2021-2-120-127

**ОЦІНКА ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ
НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ РУЙНІВНОГО НАПРУЖЕННЯ
ЗА ДОПОМОГОЮ ГІПОТЕЗИ ЛІНІЙНОГО ПІДСУМОВУВАННЯ
ВТОМНИХ ПОШКОДЖЕНЬ**

А.В. Коноплев

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

О.М. Шумило

к.т.н., профессор, доцент кафедры «Машинознавство»

Н.И. Чередарчук

старший преподаватель кафедры «Физика, математика та астрономія»

В.В. Галевський, О.М. Кононова

старші викладачі кафедри «Машинознавство»

О.К. Рожко

асистент кафедри «Прикладна механіка»

В.О. Арпентьева

аспирант кафедри «Машинознавство»

Одеський національний морський університет, Україна, Одеса

© Коноплев А.В., Шумило А.Н., Чередарчук Н.И., Галевский В.В., Кононова О.Н.,
Рожко Е.К., Арпентьева В.А., 2021

Анотація. За допомогою лінійної гіпотези накопичення втомних пошкоджень розраховані значення руйнівних напружень при імітації випробувань деталей машин на опір втоми з навантаженням що збільшується лінійно. Розрахунки проведені для діапазону дискретних значень межі витривалості в діапазоні 100-500 МПа і швидкостей збільшення амплітуди напруг 100-500 Па/цикл.

Розрахунок показав, що похибка руйнівних напружень залежить від швидкості збільшення навантаження і в граничному випадку не перевищує 15 %.

Ключові слова: накопичення втомних пошкоджень, швидкість збільшення навантаження, руйнівне напруження.

UDC 620:178.3

DOI 10.47049/2226-1893-2021-2-120-127

EVALUATION OF THE EFFECT OF THE RATE OF INCREASE
IN THE LOAD ON THE ACCURACY OF DETERMINING THE BREAKING
TENSIONS USING THE HYPOTHESIS OF LINEAR SUMMATION
OF FATIGUE DAMAGES

A.V. Konoplev

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of «Machine Science»

A.N. Shumilo

Ph.D. Associate Professor of the Department of «Machine Science»

N.I. Cheredarchuk

Senior Lecturer of the Department «Mathematics, physics and astronomy»

V.V. Halevskiy, O.N. Kononova

Senior Lecturers of the Department «Machine Science»

E.K. Rozhko

Assistant of the Department «Applied mechanics»

V.O. Arpentieva

Postgraduate student of the department «Machine Science»

Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine

Abstract. Using the linear hypothesis of fatigue damage accumulation, the values of breaking tensions are calculated when simulating fatigue resistance tests of machine parts with a linearly increasing load. The calculations were carried out for the range of discrete values of the endurance limit in the range of 100-500 MPa and the rates of increase in the stress range 100-500 Pa/cycle.

The calculation showed that the error of the breaking tensions depends on the rate of increase in the load and, in the limiting case, does not exceed 15 %.

Keywords: accumulation of fatigue damage, load increase rate, breaking tension.

Введение. Ускоренные испытания на сопротивление усталости чаще всего проводят при возрастающей амплитуде напряжений, что предполагает использование той или иной теории накопления усталостных повреждений. В настоящее время существует несколько таких теорий, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки [1]. Наиболее простой и самой распространённой считают линейную гипотезу суммирования усталостных повреждений, которая была предложена Пальмгреном и Майнером ещё в 1924 году.

Согласно данной гипотезе воздействие нестационарной нагрузки приведёт к повреждённости D_i , а разрушение произойдет, когда сумма этих долей повреждённости составит единицу [1]

$$D_1 + D_2 + \dots + D_{i-1} + D_i = 1. \quad (1)$$

Доля повреждённости, согласно линейной гипотезе, прямо пропорциональна отношению числа циклов n_i к полному числу циклов N_i , которое привело бы к разрушению, т.е.

$$D_i = \frac{n_i}{N_i}. \quad (2)$$

Многочисленные проверки формулы (1) показали, что сумма долей повреждённости хотя и близка к единице, но зависит от ряда факторов и в первую очередь от режима нагружения (чередования убывания или возрастания нагрузки). Учитывая данный факт, а также зависимость (1) формулу (2) можно записать в общем виде

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_{i-1}}{N_{i-1}} + \frac{n_i}{N_i} = \sum_{j=1}^i \frac{n_j}{N_j} = a. \quad (3)$$

Рассматривая частный случай нагружения объектов, а именно, случай испытаний при линейно возрастающей нагрузке α , выражение (3) будет иметь вид

$$\int_0^{n_c} dn / N = \left(\int_{\sigma_1}^{\sigma_p} d\sigma / N \right) / \alpha = a. \quad (4)$$

Опытным путём установлено, что значение величины a приближается к единице при квазислучайном нагружении, но в случае, когда нагрузка только возрастает или убывает, её значение может колебаться в пределах 0,6-1,6 [1]. При этом изменение её величины в ту или иную сторону от единицы не зависит от режима нагружения и не носит закономерный характер.

Целью статьи является оценка влияния суммы накопленных повреждений A на погрешность определения разрушающего напряжения для диапазона скоростей увеличения нагрузки 100 – 500 Па/цикл и диапазона дискретных значений предела выносливости 100-500 МПа.

Изложение основного материала. Для проведения исследования примем в качестве модели кривой усталости уравнение Вейбулла, которое запишем в виде

$$(\sigma - \sigma_R)^{m_w} \cdot N = 10^{C_w}, \quad (5)$$

где σ и N – текущие значения напряжений и долговечности до разрушения соответственно;

σ_R – предел выносливости;

m_w и C_w – параметры.

Зависимость для определения разрушающего напряжения при линейном увеличении нагрузки от начального напряжения, не превышающего предел выносливости, получим путём совместного решения уравнений (4) и (5). В результате имеем

$$\sigma_P = \sigma_R + \left[a \alpha (m + 1) \cdot 10^{C_w} \right]^{\frac{1}{m_w + 1}}. \quad (6)$$

Для проведения расчёта зададимся дискретными значениями предела выносливости в диапазоне 100-500 МПа (через каждые 100 МПа). При этом параметры m_w и C_w , входящие в уравнение (9), будем определять с помощью корреляционных уравнений, связывающих их с пределом выносливости [2]

$$m_w = \frac{1}{5,254\sigma_R^{0,01} - 5,038} - 1; \quad (7)$$

$$\tilde{N}_w = \lg \frac{(7,029\sigma_R + 3599)^{m_w + 1}}{m_w + 1}. \quad (8)$$

Результаты расчёта разрушающих напряжений σ_p и их погрешностей δ_a при значениях a равных 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 и 1,6 представлены в таблице 1.

Таблица 1

Расчётные значения разрушающих напряжений σ_p и их погрешностей δ_a в зависимости от суммы накопленных повреждений a

σ_R , МПа	σ_p , МПа при a равном						δ_a , % при a равном					
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	0,6	0,8	1,2	1,4	1,6	
$\alpha = 100$ Па/цикл												
100	147,5	154,2	160,1	165,5	170,3	174,8	-7,9	-3,7	3,3	6,3	9,1	
200	238,1	244,0	249,2	253,9	258,2	262,3	-4,5	-2,1	1,9	3,6	5,3	
300	334,9	340,6	345,6	350,2	354,4	358,3	-3,1	-1,5	1,3	2,5	3,7	
400	433,5	439,2	444,2	448,8	453,0	457,0	-2,4	-1,1	1,0	2,0	2,9	
500	533,0	538,6	543,7	548,3	552,6	556,7	-2,0	-0,9	0,9	1,6	2,4	
$\alpha = 200$ Па/цикл												
100	165,5	174,8	182,9	190,3	196,9	203,1	-9,6	-4,5	4,0	7,7	11,0	
200	253,9	262,3	269,7	276,3	282,5	288,2	-5,8	-2,7	2,5	4,8	6,9	
300	350,2	358,3	365,6	372,2	378,2	383,9	-4,2	-2,0	1,8	3,5	5,0	
400	448,8	457,0	464,3	470,9	477,1	482,8	-3,3	-1,6	1,4	2,8	4,0	
500	548,3	556,7	564,1	570,9	577,2	583,2	-2,8	-1,3	1,2	2,3	3,4	
$\alpha = 300$ Па/цикл												
100	179,0	190,3	200,1	208,9	217,0	224,5	-10,5	-4,9	4,4	8,4	12,2	
200	266,1	276,3	285,4	293,6	301,1	308,1	-6,8	-3,2	2,9	5,5	8,0	
300	362,1	372,2	381,1	389,3	396,8	403,8	-5,0	-2,4	2,1	4,1	5,9	
400	460,7	470,9	480,0	488,3	496,0	503,1	-4,0	-1,9	1,7	3,3	4,8	
500	560,5	570,9	580,2	588,7	596,6	604,0	-3,4	-1,6	1,5	2,8	4,1	
$\alpha = 400$ Па/цикл												
100	190,3	203,1	214,4	224,5	233,7	242,2	-11,3	-5,2	4,7	9,0	13,0	
200	276,3	288,2	298,6	308,1	316,8	324,9	-7,5	-3,5	3,2	6,1	8,8	
300	372,2	383,9	394,3	403,8	412,5	420,7	-5,6	-2,6	2,4	4,6	6,7	
400	470,9	482,8	493,5	503,1	512,1	520,5	-4,6	-2,2	2,0	3,8	5,5	
500	570,9	583,2	594,1	604,0	613,3	622,0	-3,9	-1,8	1,7	3,2	4,7	
$\alpha = 500$ Па/цикл												
100	200,1	214,4	226,8	238,0	248,3	257,7	-11,8	-5,5	4,9	9,4	13,6	
200	285,4	298,6	310,3	320,9	330,6	339,7	-8,0	-3,8	3,4	6,5	9,5	
300	381,1	394,3	406,0	416,7	426,5	435,7	-6,1	-2,9	2,6	5,0	7,3	
400	480,0	493,5	505,4	516,4	526,5	535,9	-5,0	-2,4	2,2	4,2	6,0	
500	580,2	594,1	606,4	617,7	628,2	638,0	-4,3	-2,0	1,9	3,6	5,2	

Отклонения разрушающих напряжений δ_a в зависимости от суммы накопленных повреждений a находили по формуле

$$\delta_a = \frac{\sigma_{Pa} - \sigma_{P1,0}}{\sigma_{P1,0}} \cdot 100, \quad (9)$$

где σ_{Pa} – разрушающее напряжение, соответствующее определённому значению суммы накопленных повреждений a ;

$\sigma_{P1,0}$ – разрушающее напряжение, соответствующее значению $a=1$.

Рассчитанные по формуле (9) значения отклонений δ_a в зависимости от суммы накопленных повреждений a для скоростей $\alpha = 100$ и 500 Па/цикл изображены на рис. 1 и 2. При скоростях α , равных $200, 300$ и 400 Па/цикл величины δ_a занимают промежуточные значения, поэтому их графики не приводятся.

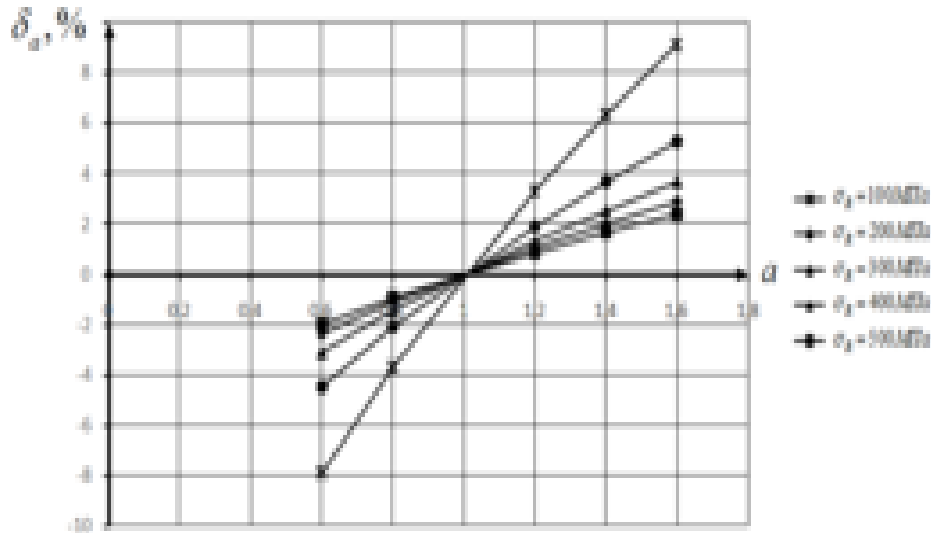


Рис. 1. Зависимости отклонения разрушающего напряжения δ_a от суммы накопленных повреждений a при скорости роста напряжений $\alpha = 100$ Па/цикл

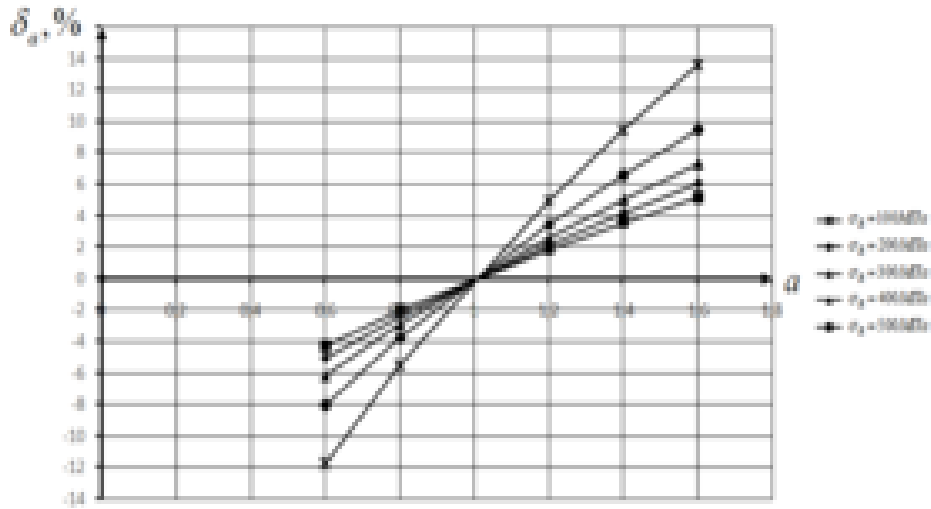


Рис. 2. Зависимости отклонения разрушающего напряжения δ_a от суммы накопленных повреждений a при скорости роста напряжений $\alpha = 500$ Па/цикл

Выводы:

1. Приведенные на рис. 1 и 2 графики свидетельствуют о том, что с увеличением скорости α отклонения разрушающих напряжений δ_a независимо от предела выносливости возрастают.
2. Их наибольшие значения соответствуют максимальным скоростям увеличения нагрузки и в самом неблагоприятном случае не превышают 14 % (при значении предела выносливости 100 МПа).

ЛІТЕРАТУРА

1. Коллинз, Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ. Предсказание. Предотвращение. – М.: Мир, 1984. – 624 с.
2. Коноплёв, А.В., Селюкова, Е.В. Определение предела выносливости деталей машин методом Про с учётом взаимосвязи между его параметрами // Детали машин: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1988. – Вып. 40. – С. 102-104.

REFERENCES

1. Kollinz, Dg. *Povreghdenie materialov v konstrukciyah. Analiz. Predskazanie. Predotvrashenie. [Damage to materials in structures. Analysis. Prediction. Prevention.]* – М.: Mir, 1984. – 624l.
2. Konoplev, A.V., Selukova, E.V. *Opredelenie predela vinoslivosti detalei mashin metodom Pro s uchetom vzaimosvyazi meghdu ego parametrami [Determination of the endurance limit of machine parts using the Pro method, taking into account the relationship between its parameters]. Detali mashin: Respondenciya meghvedomstvennogo nauchno-tehnicheskogo sbornika (Machine details: Response to an interdepartmental scientific and technical digest). 1987. – Rel. 40. – 102-104 l. [in Russian].*

Стаття надійшла 15.03.2021

Посилання на статтю: Коноплєв А.В., Шумило А.Н., Чередарчук Н.И., Галевский В.В., Кононова О.Н., Рожко Е.К., Арпентьева В.А. Оценка влияния скорости увеличения нагрузки на точность определения разрушающего напряжения с помощью гипотезы линейного суммирования усталостных повреждений // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2021. № 2(65). С. 120-127. DOI 10.47049/ 2226-1893-2021-2-120-127.

Article received 15.03.2021

Reference a JournalArtic: Konoplev A.V., Shumilo A.N., Cheredar-chuk N.I., Halevskiy V.V., Kononova O.N., Rozhko E.K., Arpentieva V.O. Evaluation of the effect of the rate of increase in the load on the accuracy of determining the breaking tensions using the hypothesis of linear summation of fatigue damages // Herald of the Odessa national maritime university, 2021. № 2(65). С. 120-127. DOI 10.47049/ 2226-1893-2021-2-120-127.