

УДК 621.791.052:629.488

В.І. Гриневич¹, Є.В. Артеменко¹¹Національна металургійна академія України

УДОСКОНАЛЕННЯ КЛАСИЧНИХ ГІПОТЕЗ НАКОПИЧЕННЯ ВТОМНИХ ПОШКОДЖЕНЬ

На основі ентропійно-ймовірнісної моделі запропоновано метод удосконалення класичних гіпотез накопичення втомних пошкоджень, з наданням їм спроможності безпосередньої побудови функції розподілу ресурсу деталей машин, з визначенням її параметрів. Запропонований підхід, щодо перероблення класичних гіпотез накопичення втомних пошкоджень, створює умови, та надає можливість, для конкретних, можливо специфічних режимів навантаження елементів машин, підбору найбільш адекватних моделей, та виконання розрахунків у ймовірнісному аспекті.

DOI: 10.34185/0543-5749.2021-2-66-70

Вступ

Моделі (гіпотези) накопичення втомних пошкоджень – є основою оцінки чи прогнозування середнього (математично очікуемого) ресурсу розраховуваних елементів машин [1-4]. Сучасні методи оцінки чи прогнозування ресурсу, як правило, передбачають використання ймовірнісних підходів, задля побудови функцій розподілу ресурсу. В роботі [1-5], нами запропонована ентропійно-ймовірнісна модель накопичення втомних пошкоджень, базована на принципах лінійної гіпотези Палмгрен-Майнера, містить в собі новітній закон розподілу довговічності, чим створює можливість як визначення середньої (математично очікуємої) довговічності, так і безпосередньої побудови функції розподілу ресурсу деталей машин, з визначенням її параметрів.

Згадані моделі з різною ступеню точності оцінюють чи прогнозують середні ресурси елементів машин під дією конкретних режимів навантаження та умов експлуатації [1-4].

Тому створення методологічних основ розвитку загально відомих та визнаних моделей (гіпотез) накопичення втомних пошкоджень, шляхом надання їм спроможності безпосередньої оцінки ресурсу деталей машин у ймовірнісному аспекті – є нагальною та актуальною задачею.

Методика

Розроблена нами ентропійно-ймовірнісна модель накопичення втомних пошкоджень [1], містить в собі новітній закон розподілу довговічності функції щільності ймовірності та розподілу якого, відповідно, мають вигляд:

$$f(N) = -\frac{4}{\beta} \alpha^{\frac{2}{\beta}} N \ln(\alpha N^{\frac{2}{\beta}}); \quad (1)$$

$$F(N) = N^2 \alpha^{\frac{2}{\beta}} \left[1 - \ln \left(N^2 \alpha^{\frac{2}{\beta}} \right) \right], \quad (2)$$

де

$$\alpha = \prod_{i=1}^n \left(\frac{t_i}{N_i} \right)^{\frac{t_i}{N_i}}; \quad (3)$$

$$\beta = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{N_i}. \quad (4)$$

Область існування довговічності за новітнім законом розподілу:

$$0 < N < N_{\max};$$

Середня (математично очікуема) довговічність:

$$N_{m_x} = \frac{4}{9} \alpha^{-\frac{1}{\beta}}. \quad (5)$$

Модальна довговічність:

$$N_{M_o} = \frac{1}{e} \alpha^{-\frac{1}{\beta}}. \quad (6)$$

Максимальна довговічність:

$$N_{\max} = \alpha^{-\frac{1}{\beta}}. \quad (7)$$

В умовах дії конкретних режимів навантаження та умов експлуатації оцінку чи прогнозування ресурсів елементів машин, вочевидь, доцільно базувати на тих моделях, які дають найбільш близький до реальності результат.

Тому удосконалення загально відомих моделей (гіпотез) накопичення втомних пошкоджень, задля надання їм спроможності безпосередньої оцінки ресурсу деталей машин у ймовірнісному аспекті – є нагальною та актуальною задачею.

Результати

Розвиток моделей (гіпотез) накопичення втомних пошкоджень із наданням їм спроможності безпосереднього визначення параметрів закону розподілу ресурсу.

Ентропійно- ймовірнісна модель накопичення втомних пошкоджень [1], базована на принципах лінійної гіпотези Палмгрена–Майнера, за якою середня довговічність у кількості циклів до руйнації розраховує мого елемента оцінюється залежністю:

$$N_{П-М} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{N_i}}, \quad (8)$$

де t_i – відносне число циклів дії напруг у програмному блоці; N_i – довговічність по кривій втоми при дії амплітуди σ_i .

З сумісного аналізу виразів (8) та (4) слідує:

$$\beta = \frac{1}{N_{П-М}}. \quad (9)$$

Тоді аналогічний параметр ентропійно–

ймовірнісного варіанту моделі, базованої на принципах будь-якої іншої гіпотези накопичення втомних пошкоджень:

$$\beta_M = \frac{1}{N_M}. \quad (10)$$

де: N_M – середня довговічність, визначена за певною гіпотезою накопичення втомних пошкоджень.

З сумісного аналізу виразів (8) та (4) слідує, що для будь-якої іншої гіпотези накопичення втомних пошкоджень:

$$\alpha_M = \left(\frac{9}{4} \times N_M \right)^{-\beta_M}. \quad (11)$$

Максимальна довговічність для будь-якої іншої гіпотези накопичення втомних пошкоджень:

$$N_{\max M} = \alpha_M^{-\frac{1}{\beta_M}}, \quad (12)$$

Модальна довговічність для будь-якої іншої гіпотези накопичення втомних пошкоджень:

$$N_{M_oM} = \frac{1}{e} \alpha_M^{-\frac{1}{\beta_M}}, \quad (13)$$

а функції щільності ймовірності та розподілу, відповідно, матимуть вигляд:

$$f(N) = -\frac{4}{\beta_M} \alpha_M^{\frac{2}{\beta_M}} N \ln(\alpha_M N^{\beta_M}); \quad (14)$$

$$F(N) = N^2 \alpha_M^{\frac{2}{\beta_M}} \left[1 - \ln \left(N^2 \alpha_M^{\frac{2}{\beta_M}} \right) \right]. \quad (15)$$

У таблиці 1 надані результати обчислення довговічності втомних зразків в умовах режиму навантаження ($\sigma_1 = 2\sigma_{-1}$; $\sigma_2 = 1,1\sigma_{-1}$; $N_1 = 0,0027 \times 10^6$; $N_2 = 0,615 \times 10^6$; $t_1 = 0,1$; $t_2 = 0,9$ [4]), по всіх згаданих моделях накопичення втомних пошкоджень (Кортена–Долана (К-Д) [1, 2-4]; Серенсена–Когаєва (С-К) [1, 2-4]; Палмгрена–Майнера (П-М) [1, 2-4], та ентропійно- ймовірнісній моделі (Е М) [1]).

Таблиця 1. Результати обчислення довговічності

Модель	Експер ім.	К-Д	С-К	ЛМР	П-М	Е М
Довговічність, $(N \times 10^{-5})$ циклів	1,4	$N_{\max} = 2,061$ $N_{m_x} = 0,916$ $N_{M_o} = 0,758$	$N_{\max} = 1,719$ $N_{m_x} = 0,764$ $N_{M_o} = 0,632$	$N_{\max} = 2,493$ $N_{m_x} = 1,108$ $N_{M_o} = 0,917$	$N_{\max} = 4,235$ $N_{m_x} = 1,882$ $N_{M_o} = 1,558$	$N_{\max} = 3,475$ $N_{m_x} = 1,545$ $N_{M_o} = 1,279$

Висновки

На основі ентропійно-ймовірносної моделі запропоновано метод удосконалення класичних гіпотез накопичення втомних пошкоджень, з наданням їм спроможності безпосередньої побудови функції розподілу ресурсу деталей машин, з визначенням її параметрів.

Бібліографічний список

1. Гриневич В. І., Артеменко Є. В. Ентропійно-ймовірносна модель накопичення втомних пошкоджень. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2021. № 1. С. 42-48.
2. Гребенник В. М., Цапко В. К. Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надёжности и долговечности): Справочник / М.: Металлургия, 1989. 592 с.
3. Collins J. Damage to materials in structures. Analysis, prediction, prevention: М.: Mir, 1984. 624 p.
4. Олейник Н. В. Выносливость деталей машин. Киев: Техника, 1979. 200 с.
5. Гриневич В. И. Прогнозирование усталостной прочности и долговечности деталей металлургических машин в вероятностном аспекте на стадии проектирования. Труды МНТК (НМетАУ) Надежность металлургического оборудования RME-2013. Днепропетровск, 2013. С. 42-48.

References

1. Grinevich, V. I., Artemenko, E. V. (2021). Entropy-probabilistic model of accumulation of fatigue damages. *Metallurgical and Ore Mining Industry*, (1), 42-48
2. Grebennik, V. M., Tsapko, V. K. (1989). *Reliability of metallurgical equipment (assessment of operational reliability and durability): spravochnik*. Moskva: Metallurgy
3. Collins, J. (1984). *Damage to materials in structures. Analysis, prediction, prevention: Per. from English*. Moskva: Mir
4. Oleinik, N. V. (1979). *Endurance of machine parts*. Kiev: Technics
5. Grinevich, V. I. (2013). Prediction of fatigue strength and durability of metallurgical machine parts in a probabilistic aspect at the design stage. *Proceedings of MNTK (NMetAU) Reliability of metallurgical equipment RME-2013*. Dnepropetrovsk, 42-48

Гриневич Володимир Ігорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та агрегатів металургійного виробництва, Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна. ORCID ID: 0000-0001-5354-5360. E-mail: Grinevich.nmetau@gmail.com

Артеменко Євгеній Віталійович, аспірант, Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна. ORCID ID: 0000-0003-3663-6775. E-mail: Artemenkojenya2017@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ КЛАСИЧНИХ ГІПОТЕЗ НАКОПИЧЕННЯ ВТОМНИХ ПОШКОДЖЕНЬ

Мета – розробка методу удосконалення класичних гіпотез накопичення втомних пошкоджень, з наданням їм спроможності безпосередньої побудови функції розподілу ресурсу деталей машин, з визначенням її параметрів.

Методика. Аналіз внутрішньої структури та устрою раніше розробленої ентропійно-ймовірносної моделі задля розвитку відомих гіпотез накопичення втомних пошкоджень з наданням їм спроможності безпосередньої побудови функції розподілу ресурсу деталей машин, з визначенням її параметрів.

Результати. Розроблено метод та аналітичне забезпечення перебудови класичних гіпотез накопичення втомних пошкоджень, для оцінки та прогнозування втомної довговічності деталей машин у ймовірносному аспекті.

Наукова новизна. На основі ентропійно-ймовірносної моделі запропоновано метод удосконалення класичних гіпотез накопичення втомних пошкоджень, з наданням їм спроможності безпосередньої побудови функції розподілу ресурсу деталей машин, з визначенням її параметрів.

Практична цінність. Запропонований підхід, щодо перероблення класичних гіпотез накопичен-

ня втомних пошкоджень, створює умови, та надає можливість, для конкретних, можливо специфічних режимів навантаження елементів машин, підбору найбільш адекватних моделей, та виконання розрахунків у ймовірнісному аспекті.

Ключові слова: ресурс, модель, гіпотеза, розподіл.

Гриневи́ч Влади́мир Иго́рович, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и агрегатов металлургического производства, Национальная металлургическая академия Украины, (Днепр, Украина). ORCID ID: 0000-0001-5354-5360; E-mail: Grinevich.nmetau@gmail.com

Артеме́нко Евге́ний Вита́льевич, аспирант, Национальная металлургическая академия Украины (Днепр, Украина), ORCID ID: 0000-0003-3663-6775; E-mail: Artemenkojenya2017@gmail.com

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НАКОПЛЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Цель – разработка метода усовершенствования классических гипотез накопления усталостных повреждений, с приданием им возможности непосредственного построения функции распределения ресурса деталей машин, с определением ее параметров.

Методика. Анализ внутренней структуры и устройства ранее разработанной энтропийно-вероятностной модели для развития известных гипотез накопления усталостных повреждений с приданием им возможности непосредственного построения функции распределения ресурса деталей машин с определением ее параметров.

Результаты. Разработано метод и аналитическое обеспечение перестройки классических гипотез накопления усталостных повреждений, для оценки и прогнозирования усталости долговечности деталей машин в вероятностном аспекте.

Научная новизна. На основе энтропийно-вероятностной модели предложен метод усовершенствования классических гипотез накопления усталостных повреждений, с приданием им возможности непосредственного построения функции распределения ресурса деталей машин, с определением ее параметров.

Практическая ценность. Предложенный подход, по переработке классических гипотез накопления усталостных повреждений, создает условия и предоставляет возможность для конкретных, возможно специфических режимов нагрузки элементов машин, подбора наиболее адекватных моделей и выполнения расчетов в вероятностном аспекте.

Ключевые слова: ресурс, модель, гипотеза, распределение.

Vladimir Grinevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machines and Units of Metallurgical Production, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine. ORCID ID: 0000-0001-5354-5360. E-mail: Grinevich.nmetau@gmail.com

Evgeny Artemenko, graduate student, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine. ORCID ID: 0000-0003-3663-6775. E-mail: Artemenkojenya2017@gmail.com

IMPROVEMENT OF CLASSICAL MODELS OF ACCUMULATION OF FATIGUE DAMAGE

The purpose. Development of a method for improving the classical hypotheses of the accumulation of fatigue damages, giving them the possibility of directly constructing the resource distribution function of machine parts, with the determination of its parameters.

Methods. Analysis of the internal structure and structure of the previously developed entropy-probabilistic model for the development of the known hypotheses of the accumulation of fatigue damages with giving them the possibility of directly constructing the resource distribution function of machine parts

with the determination of its parameters.

Results. A method and analytical support for the restructuring of the classical hypotheses of the accumulation of fatigue damage has been developed to assess and predict the fatigue and durability of machine parts in a probabilistic aspect.

Originality. On the basis of the entropy-probabilistic model, a method is proposed for improving the classical hypotheses of the accumulation of fatigue damages, giving them the ability to directly construct the resource distribution function of machine parts, with the determination of its parameters.

Practical implications. The proposed approach for processing the classical hypotheses of fatigue damage accumulation creates conditions and provides an opportunity for specific, possibly specific loading modes of machine elements, selection of the most adequate models and performing calculations in a probabilistic aspect.

Key words: resource, model, hypothesis, distribution.

Рукопис надійшов 17.04.2021