

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ

На правах рукопису

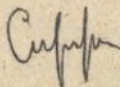
СТОЯНОВ ЛЕОНІД ФЕЛІКСОВИЧ

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ВТОМНОГО РЕСУРСУ ВИРОБІВ ПРИ  
ОДНОЧАСТОТНОМУ, БАГАТОЧАСТОТНОМУ ТА СТОХАСТИЧНОМУ  
НАВАНТАЖЕННІ

06.02.09 - динаміка, міцність машин, приладів та  
апаратури

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



Харків - 1996

Дисертація в рукописі.

Робота виконана у відділі  
у бистрохідних машинах  
НАН України.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00757280 (Т)

Науковий керівник :

чл.- корр. НАН України, доктор  
технічних наук, професор  
Бошко Олександр Євгенович

Офіційні опоненти :

доктор технічних наук, професор  
Анілович Веніамін Якович

кандидат технічних наук, старший  
науковий співробітник  
Гошкодеря Владислав Петрович

Провідна установа :

Харківський державний  
політехнічний університет

Захист відбудеться "26" трудне 1996 р. о 14 годині на  
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.18.01 у аудиторії  
№1112 Інститута проблем машинобудування НАН України за адресою:  
310046, м.Харків, вул. Дм.Пожарського, 2/10.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інститута проблем  
машинобудування НАН України за адресою : 310046, м.Харків, вул.  
Дм.Пожарського, 2/10.

Автореферат розіслано "22" листопада 1996 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук

Зайцев Б.П.

**Актуальність.** Ще у середині XIX століття дослідниками було помічено, що деталі, які зазнають циклічного навантаження на протязі великої кількості циклів  $(10^5 + 10^6)$ , руйнуються при амплітудах напруги значно нижчих, ніж границя міцності і навіть границя текучості. При багатоцикловій втомленості розвиток втомної тріщини не супроводжується помітними деформаціями і його особливо важко помітити, що може спричинити катастрофічну поломку. Як відомо, втомний ресурс виробів цілкомито визначається втомним ресурсом складових деталей та схемою їх з'єднання у сенсі надійності. Ось чому на протязі експлуатації виробів необхідно знати, наскільки пошкоджена кожна окрема деталь.

Більш ніж за 100 років досліджень отримана велика кількість експериментальних даних, що характеризують поведінку матеріалів та конструкційних елементів в умовах змінного навантаження і розроблені методи розрахування втомної міцності деталей машин та конструкцій, що експлуатуються у цих умовах.

За останній час наукове уявлення про втомне руйнування матеріалів значно поширилось. Суттєвий внесок у розвиток науки про втомленість внесли праці Аніловича В.Я., Божко О.Є., Болотина В.В., Буглова Є.Г., Вейбулла В.А., Городецького С.С., Грязнова Б.А., Ескорбі Т., Зайцева Г.З., Когаєва В.П., Коликова З.А., Лебедева А.А., Ленка А., Матвєєва В.В., Олійника Н.В., Почтенного Є.К., Рєнітця Ю., Серенсена С.В., Степнова М.Н., Троценко В.Т., Труфякова В.І. та інших. Але прогнозування довговічності виробів залишається дуже складним завданням, та значна кількість поломок деталей машин стається внаслідок втомленості матеріалу. Це обумовлено тим, що на витривалість реальних деталей впливає велика кількість чинників, сукупна дія котрих має невизначений характер та не може бути надійно оцінена на

основі роздільного впливу кожного з них. Цим, а також складністю самого процесу втомного руйнування пояснюється той факт, що на сучасний момент немає достатньо універсальної теорії втомного руйнування конструкційних матеріалів. Існуючі методика описують лише окремі аспекти цієї проблеми та не позбавлені недоліків.

Дисертація виконана автором у 1993 + 1996 р.р. і відно-відає основним напрямкам наукової роботи відділу надійності та вібраційних випробувань у бистрохідних машинах ІПМаш НАН Укра-їни та виконана у відповідності з проектом ДКНТ 052 "Розробка методів, комплексних критеріїв, оцінок та прогнозування надій-ності та ресурсу машин" державної науково-технічної програми 5202 "Довговічні сварні конструкції зі знишеною металемністю".

Мета роботи : розробка методів оцінювання втомного ресурсу виробів, що зазнають одночастотне, багаточастотне та стохастичне навантаження з довільною амплітудою напруги у зоні концентрації. Ці методи повинні дозволити на засадах лабораторних випробувань, що здійснені на одночастотному режимі, оцінити втому довговічність конкретних деталей на протязі експлуатації.

Відповідно до цієї мети у дисертації сформульовані наступні завдання:

- Розробити нові методики опису розсіяння втомного ресурсу деталей, що зазнають циклічного навантаження :

- Перевірити, як точно ці нові методики описують розсіяння результатів реальних випробувань на втомленість та ствердити їх ефективність :

- Розширити запропоновані підходи з ціллю опису розсіяння втомного ресурсу при одночастотному навантаженні з довільною амплітудою напруги у зоні концентрації :

- Перевірити, як точно ці методики описують розсіюння результатів випробувань на втомленість на різних рівнях амплітуди напруги у зоні концентрації та ствердити їх ефективність :

- Розширити запропонований підхід для випадків багаточастотного, блочного та стохастичного навантаження :

- Узагальнити відому формулу обчислювання втомного ресурсу деталі, що зазнає двочастотного навантаження, для випадка багаточастотного.

Методологія дослідження. У роботі використані імовірнісні методи механічної теорії втомленості матеріалів, а також методи математичної статистики відповідно до обробки та трактування результатів випробувань на втомленість. Розробка обчислювальних алгоритмів та їх програмна реалізація виконувались на ПЕОМ "ІВМ РС/АТ зее DX - 40с 128 >" з використанням мови програмування "Borland C++ 3.1 for Windows".

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у наступному:

- Запропоновані два нових розподіла (модифіковані Гамма-розподіл та узагальнений Гамма-розподіл з порогом чутливості по циклам), які описують розсіюння втомного ресурсу деталей, що зазнають одночастотного навантаження з заданою постійною амплітудою напруги у зоні концентрації :

- Виконана перевірка відповідності розсіюння результатів реальних випробувань на втомленість цим розподілам, також і результатів випробувань, що були здійснені безпосередньо під час роботи над дисертацією. Розроблен комплекс комп'ютерних програм, що виконують таку перевірку :

- Запропоновані формули, що описують залежність параметрів цих розподілів від амплітуди напруги у зоні концентрації. Це дозволяє оцінити імовірність руйнування деталі

для довільної амплітуди напруги, тобто повну імовірностну діаграму втомленості конкретної деталі при відомому типі навантаження :

- При різних значеннях параметрів розподілів виконано аналіз поведінки сім'ї кривих розподілу границі обмеженої витривалості, розроблених на базі модифікованих Гамма-розподілу та узагальненого Гамма-розподілу з порогом чутливості по циклам для довільної амплітуди напруги у зоні концентрації. Розроблена комп'ютерна програма, що дозволяє виконати такий аналіз :

- На основах модифікованих Гамма-розподілу та узагальненого Гамма-розподілу з порогом чутливості по циклам запропонована методика оцінювання втомного ресурсу деталей, що зазнають багаточастотного, блочного та стохастичного навантаження :

- На засадах гіпотези про незалежне накопичення втомних пошкоджень за рахунок кожної з компонент навантаження запропонована формула для розрахунку втомного ресурсу деталі, яка зазнає багаточастотного навантаження. У цій формулі використовуються параметри кривих втомленості, що отримані на одночастотних режимах.

Теоретична цінність роботи полягає в тому, що запропоновані методики дозволяють єдиним рівнянням оцінити імовірність руйнування деталі, що зазнає одночастотне, багаточастотне та стохастичне навантаження. При цьому використовуються показники міцності матеріалу та параметри, що залежать від форми деталі та особливостей режиму навантаження, які отримані при випробуваннях на одночастотних режимах.

Впровадження результатів роботи. Комплекс комп'ютерних програм "Resurs\_3", в якому були реалізовані основні методи та математичні алгоритми дисертаційної роботи, застосовувався у

ХДТУБтаА для обробки результатів втомних випробувань елементів будівельних конструкцій та в ІПМаш НАН України для обробки результатів випробувань сепараторів великогабаритних роліко-підшипників рухомого складу на циклічну міцність (проект ДКНТ 052 державної науково-технічної програми 5202.)

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались на семінарі "Проблеми вібраційної техніки, технологій та надійності" Харківської секції Наукової ради НАН України по проблемі "Кібернетика" (травень 1995 р.) та на 51-й науково-технічній конференції ХДТУБтаА (м.Харків, квітень 1996 р.).

Публікації. На час виходу з друку автореферату за матеріалами дослідів надруковано 4 наукових роботи. Роботи ( 2 ) та ( 3 ) надруковані зі співавторами. Особистий внесок здобувача у цих роботах визначається наступним чином :

- у роботі ( 2 ) запропоновані залежності, які описують повну імовірнісну діаграму втомленості деталей при одночастотному навантаженні. Для змінних значень параметрів виконано попередній аналіз поведінки сім'ї кривих розподілу границь обмеженої витривалості, що побудовані на засадах запропонованих розподілів ;

- у роботі ( 3 ) запропоновано новий розподіл для опису розсіяння втомного ресурсу деталей при циклічному навантаженні та здійснена перевірка відповідності даних реальних випробувань на втомленість цьому розподілу.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, 4 глав, висновків, переліку посилань на літературні джерела з 59 найменувань та додатків на 3 сторінках. Робота вміщує 93 сторінки машинописного тексту, 17 малюнків, 1 таблицю, всілому 107 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступові обґрунтована актуальність теми, доведені мета та основні завдання досліджень, охарактеризовані новизна, теоретична та практична цінність отриманих результатів, вказан зв'язок теми дисертації з науковими напрямками та планами роботи відділа, доведені дані про апробації та публікації основних наукових положень, що складають дисертацію.

У першій главі розглянуті основні напрями сучасних досліджень втомної міцності. Після огляду та критичного аналізу сучасного стану проблеми оцінювання втомного ресурсу деталей, що зазнають у ході експлуатації одночастотне, багаточастотне та стохастичне навантаження, поставлені завдання досліджень.

У другій главі розглянуті загальновикористані методи оцінювання циклічної втомленості та засоби її трактування у ймовірнісному аспекті. Доведені розподіли, що застосовуються для опису розсіяння втомної довговічності при циклічному навантаженні з відомих амплітудов напруж у зоні концентрації. Проаналізовані їх певні недоліки та деякі негаразди, що мають місце між загальновикористаною методикою обробки результатів випробувань на втомленість та сучасними методами аналітичної оцінки втомної витривалості.

На підставах цього аналізу для опису розсіяння втомного ресурсу при одночастотному навантаженні у роботі пропонуються два нових невлістивих розподіли. Це модифікований Гамма-розподіл

$$\varphi(N) = \begin{cases} \beta \cdot N^{-\beta} \cdot N_0^{\beta-1} \cdot \exp\{-\beta(N-N_0)\}, & N > N_0, \\ 0, & N \leq N_0, \end{cases} \quad (I)$$

та узагальнений Гамма-розподіл

$$f(N) = \begin{cases} \beta \cdot \delta (N - N_0)^{\alpha \delta - 1} \exp[-\beta (N - N_0)^\delta], & N > N_0, \\ 0, & N \leq N_0. \end{cases} \quad (2)$$

з порогом чутливості по циклам, де  $f(N)$  - функція щільності імовірності;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $N_0$  - параметри розподілів, що залежать від форми деталі, матеріала та амплітуди напруги у зоні концентрації.

Імовірність руйнування деталі для  $f(N \rightarrow \infty)$  однакова для обох запропонованих розподілів

$$\begin{aligned} F(N \rightarrow \infty) &= \int_{N_0}^{\infty} \beta (N - N_0)^{\alpha \delta - 1} \exp[-\beta (N - N_0)^\delta] dN = \\ &= \int_{N_0}^{\infty} \beta \delta (N - N_0)^{\alpha \delta - 1} \exp[-\beta (N - N_0)^\delta] dN = \beta^{1-\alpha} \Gamma(\alpha). \end{aligned} \quad (3)$$

Як витікає з формули (3), функції щільності імовірності модифікованих Гамма-розподілів становлять собою функції щільності імовірності відповідних Гамма-розподілів, що домножені на імовірність руйнування  $F(N \rightarrow \infty)$ .

Імовірність руйнування для довільного  $N$

$$\begin{aligned} f(N) &= \beta^{1-\alpha} \Gamma(\alpha) \cdot (N - N_0)^{\alpha \delta - 1} \exp[-\beta (N - N_0)^\delta] \times \\ &\times \left[ 1 + \frac{\alpha - 1}{\beta \cdot (N - N_0)} + \frac{(\alpha - 1) \cdot (\alpha - 2)}{[\beta (N - N_0)^\delta]^2} + \dots \right] \end{aligned} \quad (4)$$

для модифікованого Гамма-розподілу та

$$\begin{aligned} f(N) &= \beta^{1-\alpha} \Gamma(\alpha) \cdot (N - N_0)^{\alpha \delta - 1} \exp[-\beta (N - N_0)^\delta] \times \\ &\times \left[ 1 + \frac{\alpha \delta - 1}{\delta \beta \cdot (N - N_0)} + \frac{(\alpha \delta - 1) \cdot (\alpha \delta - 2)}{[\delta \beta \cdot (N - N_0)^\delta]^2} + \dots \right] \end{aligned} \quad (5)$$

для модифікованого узагальненого Гамма-розподілу.

Для розрахунків  $F(N)$  на ЕОМ зручніше користуватись формулою

$$F(N) = \frac{\beta}{\alpha} (N-N_0)^{\alpha-1} - \frac{\beta^2}{1!} \frac{(N-N_0)^{\alpha+1}}{\alpha+1} + \frac{\beta^3}{2!} \frac{(N-N_0)^{\alpha+2}}{\alpha+2} - \dots \quad (6)$$

для модифікованого Гамма-розподілу та формулою

$$F(N) = \frac{\beta}{\alpha} (N-N_0)^{\alpha\delta} - \frac{\beta^2}{1!} \frac{(N-N_0)^{(\alpha+1)\delta}}{\alpha+1} + \frac{\beta^3}{2!} \frac{(N-N_0)^{(\alpha+2)\delta}}{\alpha+2} - \dots \quad (7)$$

для модифікованого узагальненого Гамма-розподілу.

У другій главі також надан опис експериментального стенду та розповідається про підготовку та здійснення під час виконання дисертаційної роботи втомних випробувань лабораторних зразків зі сталі СтЗп.

У третьій главі розглянуто фізичну суть параметрів модифікованих Гамма-розподілу та узагальненого Гамма-розподілу з порогом чутливості по циклам. Пропонується обчислювати параметри за формулами

$$\alpha = \left( \frac{\sigma - u_{\infty}}{\sigma_{\alpha} - u_{\infty}} \right)^{m_{\alpha}}, \quad (8)$$

$$\beta = \left( \frac{\sigma - u_{\infty}}{\sigma_{\beta} - u_{\infty}} \right)^{m_{\beta}}, \quad m_{\beta} > m_{\alpha}, \quad (9)$$

$$N_0 = \left( \frac{\sigma - u_{\infty}}{\sigma_N - u_{\infty}} \right)^{m_N}, \quad m_N < 0, \quad (10)$$

$$\delta = \left( \frac{\sigma - u_{\infty}}{\sigma_{\delta} - u_{\infty}} \right)^{m_{\delta}}, \quad (11)$$

де  $\sigma_{\infty}$  - максимальна напруга, що неминуче не руйнує деталь при безмежній кількості циклів, тобто мінімальна границя витривалості;  $\sigma_{\alpha}$  - мінімальна напруга, що неминуче руйнує деталь при безмежній кількості циклів, тобто максимальна границя витривалості;  $\sigma_{\beta}$  - мінімальна напруга, що неминуче руйнує деталь на протязі одного циклу, тобто максимальна границя міцності;  $\sigma_N$  - максимальна напруга, що неминуче не руйнує деталь на протязі одного циклу, тобто мінімальна границя міцності;  $\sigma_{\delta}$  - напруга, при якій розсіяння втомного ресурсу описується модифікованим Гамма-розподілом з порогом чутливості по циклам:  $m_{\alpha}$ ,  $m_{\beta}$ ,  $m_{\delta}$  та  $m_N$  - параметри розподілів.

Запропонована методика дозволяє єдиним рівнянням описати повну імовірнісну діаграму втомленості деталі, що зазнає одночастотне навантаження, використовувачи амплітуду напруги у зоні концентрації як параметр.

Розроблена методика опису втомного ресурсу при блочному навантаженні на підставах гіпотези Майнера про лінійне підсумовування пошкоджень та запропонованих модифікованих Гамма-розподілів. Для обчислення імовірності руйнування пропонується у формулах ( 6 ) та ( 7 ) замінити  $N - N_0$  на  $N - N_{0\alpha} - DN$ , де

$$\int_0^{N_{0\alpha}} \frac{dN}{N_0 \langle \sigma \langle ND \rangle \rangle} = 1, \quad ( I2 )$$

$$N_0 = \left[ \frac{\sigma \langle ND \rangle - u_{\infty}}{\sigma_N - u_{\infty}} \right]^{m_N}, \quad ( I3 )$$

$$DN = - \int_{N_{0\alpha}}^N \frac{1}{\varphi \langle N, \sigma \rangle} \cdot \frac{\partial \varphi \langle N, \sigma \rangle}{\partial \sigma} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial N} \cdot dN, \quad ( I4 )$$

Цей підхід припускає можливість існування пошкодження чи тренування матеріала деталі.

Також розроблена методика оцінювання втомної довговічності при стохастичному навантаженні на базі модифікованих Гамма-розподілів. Для обчислювання ймовірності руйнування у цьому випадку виведена формула

$$P(N) = \int_{\sigma=U}^{\sigma=\sigma} \beta \int_{N=N_0}^N \omega(\sigma) \cdot \varphi(N, \sigma) \cdot dN \cdot d\sigma, \quad (15)$$

де  $\omega(\sigma)$  - функція щільності ймовірності розподілу напруги у зоні концентрації.

Для випадка багаточастотного режиму на основі гіпотези про незалежне накопичення втомних пошкоджень за рахунок кожного з компонентів навантаження виведена формула для обчислювання втомного ресурсу як детермінованої величини, що в узагальненні відомої формули для двочастотного режиму

$$N_{p=0} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{f_i}{f_i} \cdot \left( \sqrt{1 - K_i^2} \right)^m}, \quad (16)$$

$$K_i = \left[ \frac{\sigma_i^2 - \sigma_c^2}{\sigma_i^2} \right]^{0.5}, \quad (17)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}, \quad (18)$$

$$\sigma_c = \sum_{i=1}^n \sigma_i. \quad (19)$$

де  $f_i$  та  $\sigma_i$  - частоти та амплітуди компонентів навантаження;  $N_{p=0}$  - результуюча довговічність у циклах низької частоти при багаточастотному навантаженні;  $N(\sigma_c)$  - довговічність при еквівалентному низькочастотному навантаженні з

амплітудов  $\sigma_c$ :  $m$  - параметр кривої витривалості.

З урахуванням підвищення довговічності при навантаженні з частотом більше, ніж 10 Гц, формула < 16 > прийме вигляд

$$N_{p, \sigma_c} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{f_i}{f_i} \cdot \left[ \sqrt{1 - K_i^2} \right]^m} \quad (20)$$

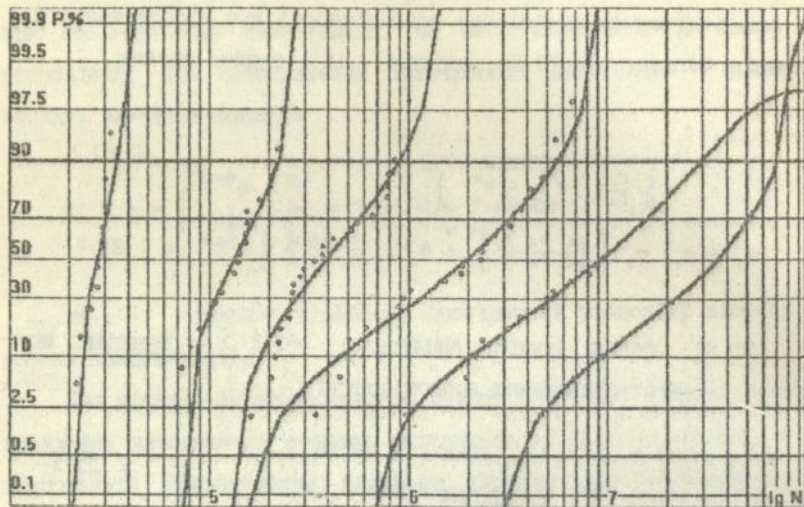
$$\sigma'_c = \sigma_1 + \sigma_2 \cdot \left[ \frac{\Phi(f_1)}{\Phi(f_2)} \right]^{1/m} + \sigma_3 \cdot \left[ \frac{\Phi(f_1)}{\Phi(f_3)} \right]^{1/m} + \dots \quad (21)$$

де  $\sigma'_c$  - умовна сумарна амплітуда;  $\Phi(f)$  - функція, що зважає на ефект підвищення довговічності

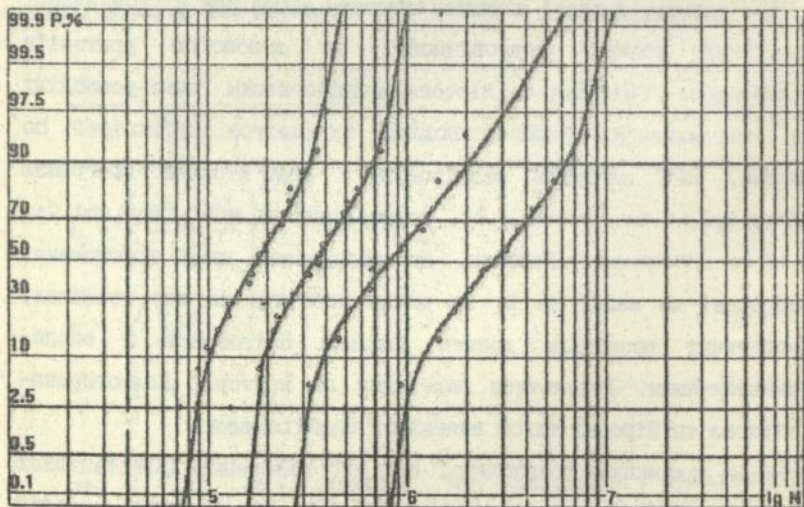
$$\Phi(f) = \begin{cases} 1 & \text{при } f < 10 \text{ Гц} \\ 0.05 \cdot f + 0.5 & \text{при } f \geq 10 \text{ Гц} \end{cases} \quad (22)$$

У четвертій главі доведен алгоритм перевірки відповідності розсіяння втомної довговічності за допомогою критеріїв Колмогорова-Смірнова та Пірсона модифікованим Гамма-розподілу та узагальненому Гамма-розподілу з порогом чутливості по циклам. Цей алгоритм реалізован у комп'ютерних програмах "Resurs\_3.1" та "Resurs\_3.2", розроблених на мові "Borland C++ 3.1 for Windows". Графіки, що побудовані цими програмами, зображені на мал.1 та 2. Як можна побачити на цих графіках, теоретичні розподіли досить близько збігаються з експериментальними. Результати перевірки на критерії Колмогорова-Смірнова та Пірсона також виявились задовільними.

За допомогою розробленої під час виконання дисертаційної роботи комп'ютерної програми "Resurs\_1.3" виконано аналіз поведінки сім'ї кривих розподілу границі обмеженої витривалості на базі модифікованих Гамма-розподілу та узагальненого

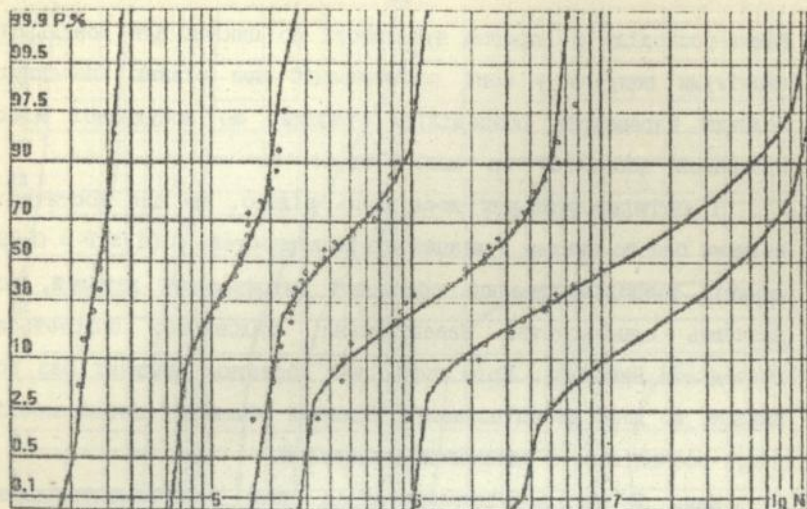


а)

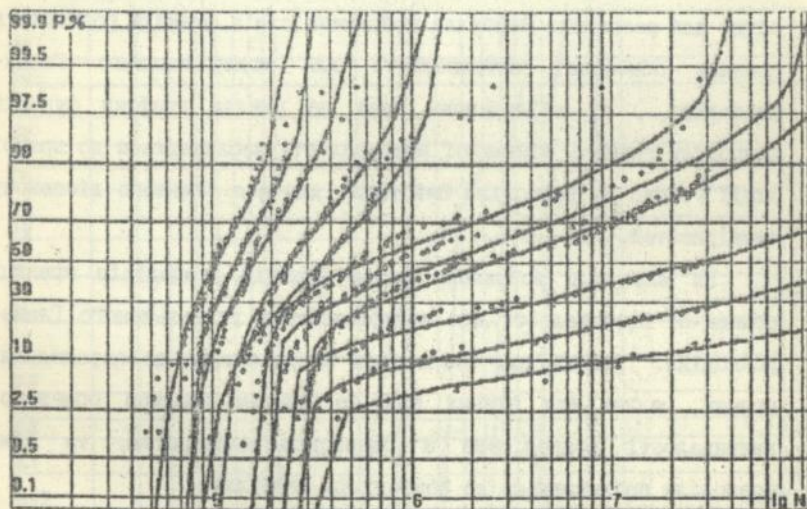


б)

Мал. 1. Функції розподілів довговічності зразків зі сплавів В95 а) та ДІБ б) для модифікованого Гамма-розподілу з порогом чутливості по циклам.



a)



б)

Мал.2. Функції розподілів довговічності зразків зі сплава В95Ca) та хромистомолібденової сталі б) для модифікованого узгальненого Гамма-розподілу з порогом чутливості по циклам.

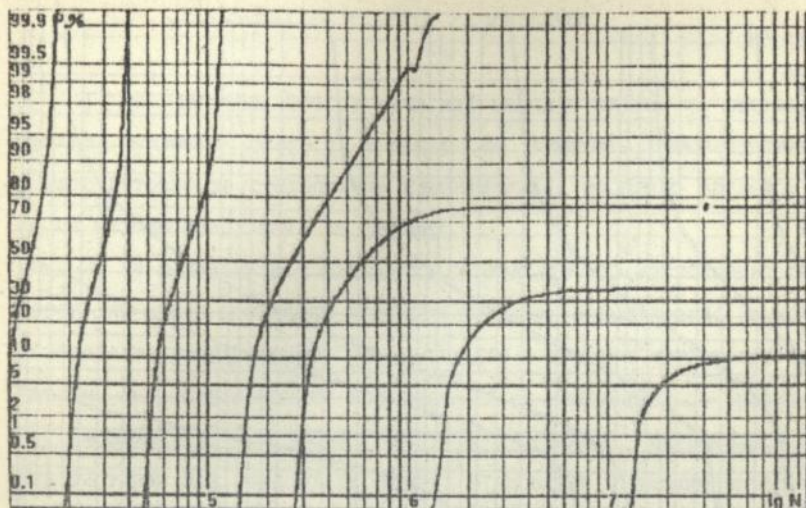
Гамма-розподілу з порогом чутливості по циклам для довільної амплітуди напруги у зоні концентрації при різних значеннях величин параметрів розподілів. Графіки, що побудовані цією програмою, зображені на мал. 3 та 4.

З експериментальних досліджень відомо, що для достатньо великих баз по циклам у діапазоні імовірностей  $0.01 \leq P \leq 0.99$  функція розподілу границь обмеженої витривалості деталей, що зазнають одночастотне навантаження, задовільно описується розподілом Вейбулла. Крім того, для достатньо великих баз по циклам, що дещо не співпадають, границя обмеженої витривалості часто розподілена з однаковою дисперсією.

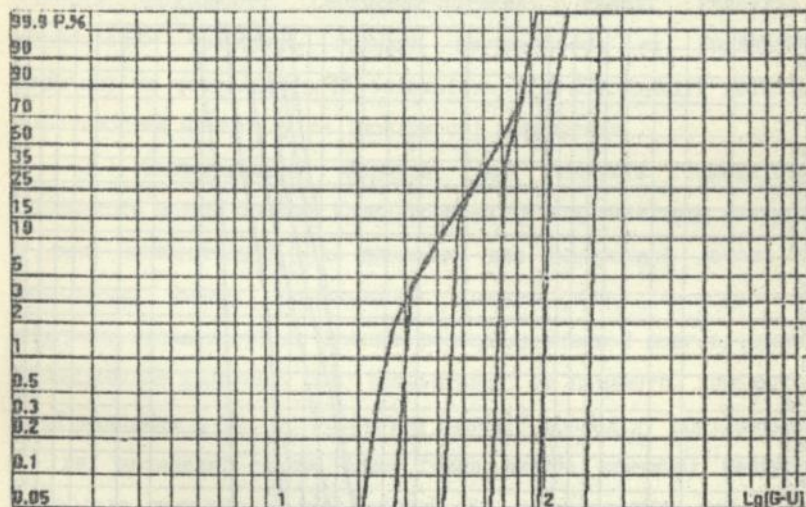
Мал. 3 та 4 підтверджуються цими експериментальними висновками. Як можна побачити на мал. 3,б, де на логарифмічній сітці для розподілу Вейбулла зображена сім'я функцій розподілів границь обмеженої витривалості для модифікованого Гамма-розподілу, зі збільшенням бази по циклам графіки функцій розподілу границь обмеженої витривалості наближаються до прямої лінії (тобто до розподілу Вейбулла) для все більшого діапазону імовірностей.

На мал. 4,б зображена сім'я функцій розподілів границь обмеженої витривалості для модифікованого узагальненого Гамма-розподілу. Графіки цих розподілів наближаються до паралельних прямих, тобто для різних баз по циклам границя обмеженої витривалості розподілена з однаковою дисперсією, та самі розподіли наближаються до розподілів Вейбулла.

Така поведінка сімей функцій розподілів границь обмеженої витривалості властива для самих різних значень параметрів модифікованих Гамма-розподілів. При зміні величин цих параметрів змінюються лише розташування та кут нахилу графіків.

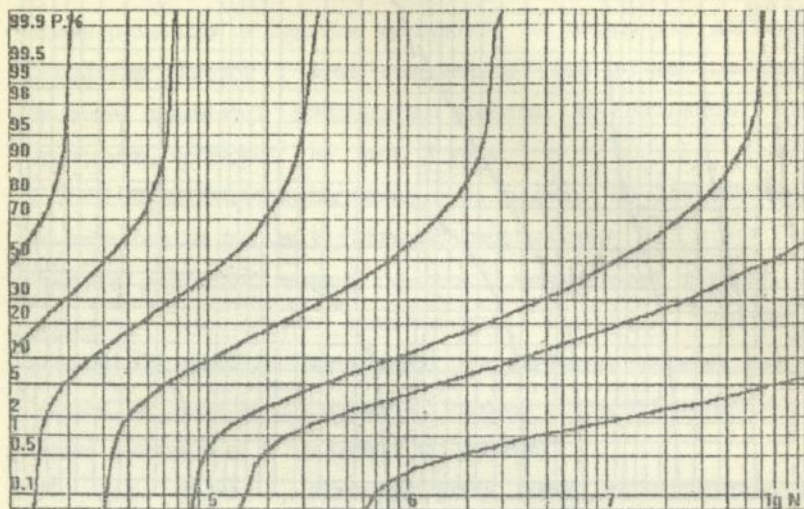


а)

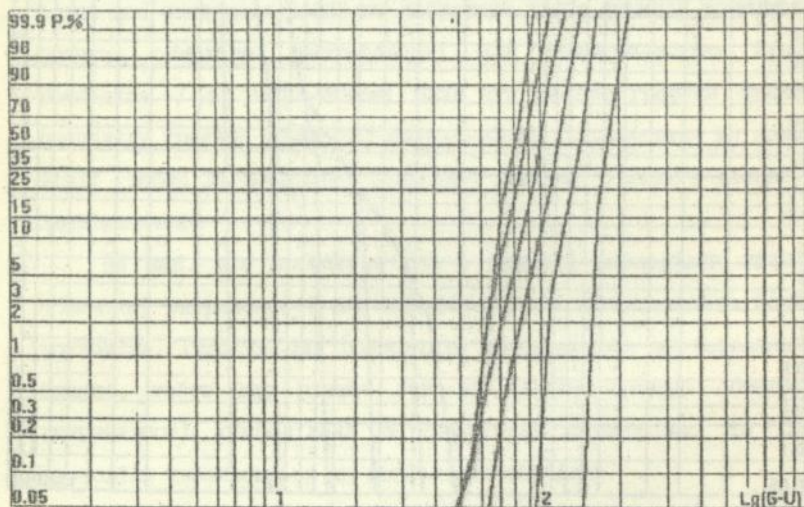


б)

Мал. 3. Сім'ї функцій розподілів довговічності (а) та границі обмеженої витривалості (б) для модифікованого Гамма-розподілу з порогом чутливості по циклам.



a)



б)

Мал. 4. Сім'я функцій розподілів довговічності (а) та границі обмеженої витривалості (б) для модифікованого узагальненого Гамма-розподілу з порогом чутливості по циклам.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. На підставах огляду сучасних методів оцінки та прогнозування втомного ресурсу деталей, що зазнають одночастотне, багаточастотне та стохастичне навантаження, зроблено висновок, що ці методи розрізнені та неповні.

2. На відзнаку від більшості розподілів, що застосовуються зараз для опису розсіяння втомного ресурсу, модифіковані Гамма-розподіл та узагальнений Гамма-розподіл з порогом чутливості по циклам, які запропоновані у дисертації, є невластивні. Це припускає можливість існування випадкової границі витривалості. Використання цих розподілів краще відповідає сучасним методам розрахунку циклічної втомленості деталей, тому що ці методи (теорія подібності Серенсена-Когасева, теорії Вейбулла, Афанас'єва) трактують границю витривалості як випадкову величину та розглядають її залежність від конструкції деталі, властивостей матеріалу та імовірності руйнування.

3. Запропоновані формули, що описують залежність параметрів модифікованих Гамма-розподілів від амплітуди напруги у зоні концентрації. Це дозволяє для конкретної деталі у конкретних умовах навантаження описати повну імовірнісну діаграму втомленості як функцію розподілу втомної довговічності з амплітудою напруги у зоні концентрації як параметр. Перевагою цієї методики є те, що параметри функції розподілу поділяються на дві незалежні групи. Одна група вміщує критичні напруги матеріалу деталі, а інша описує її конструктивну форму та особливості режиму навантаження.

4. На підставах запропонованих розподілів розроблені методики, що дозволяють оцінити втомний ресурс у випадку

багаточастотного, блочного та стохастичного навантаження на засадах єдиних рівнянь та параметрів, які описують накопичення втомленості у матеріалі деталі на одночастотних режимах без використання будь-яких теорій підсумовування пошкоджень чи виявлення одночастотного навантаження, еквівалентного за пошкоджувальною дією багаточастотному, блочному чи стохастичному.

5. Порівняння теоретичних функцій розподілу втомної довговічності, що побудовані на засадах запропонованих у дисертації розподілів, та емпіричних функцій розподілу втомного ресурсу, що побудовані на засадах багаточисельних випробувань на втомленість (також здійснених під час праці над дисертацією), свідчить, що розсіяння втомної довговічності при одночастотному навантаженні задовільно описується модифікованими Гамма-розподілами. Розсіяння втомного ресурсу при наявності явної верхньої межі довговічності краще описується модифікованим узагальненим Гамма-розподілом з порогом чутливості по циклам.

6. Здійснено аналіз поведінки сімей функцій розподілів границь обмеженої витривалості при різних значеннях параметрів, побудованих на базі модифікованих Гамма-розподілу та узагальненого Гамма-розподілу з порогом чутливості по циклам для довільної амплітуди напруги у зоні концентрації. Цей аналіз свідчить, що запропоновані розподіли у багатьох випадках можуть описувати повну імовірнісну діаграму втомленості при одночастотному навантаженні.

7. Запропонована нова формула, що дозволяє підрахувати втомну довговічність на засадах гіпотези про незалежне накопичення втомних пошкоджень з використанням параметрів кривих втомленості, що отримані на одночастотних режимах. Ця формула є узагальненням відомої формули для двочастотного навантаження.

## ОСНОВНІ ПРАЦІ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Стоянов Л.Ф. Описание рассеяния усталостного ресурса деталей машин при одночастотном нагружении. - Харьков, 1996. - 9 с. - Деп. в ВИНТИ 26.06.96. № 2112-В96.

2. Стоянов Ф.А., Стоянов Л.Ф. Описание полной вероятностной диаграммы усталости при одночастотном нагружении. - Харьков, 1996. - 11 с. - Спрепр. / Ин-т. пробл. машиностр. НАН Украины; № 394D.

3. Суворова И.Г., Стоянов Л.Ф. Об обработке результатов испытаний на усталостную прочность. // Тезисы докл. 51 НТК ХІТУСНА, 1996. - С 43.

4. Стоянов Л.Ф. Оценка усталостного ресурса при наличии верхней границы долговечности. // Тезисы докл. 51 НТК ХІТУСНА, 1996. - С 44.

5. Божко А.Е., Стоянов Л.Ф. О распределении усталостного ресурса деталей при наличии предела выносливости // Доклады НАН Украины. - 1997. - № 3 св печати.

6. Божко А.Е., Стоянов Л.Ф. Учет рассеяния усталостной долговечности деталей машин при наличии верхней границы выносливости // Доклады НАН Украины. - 1997. - № 8 св печати.

## SUMMARY

STOIANOV L.F. FATIGUE LIFE ESTIMATION METHODS OF HARDWARES, SUBJECTED TO SINGLE-FREQUENCY, MULTIFREQUENCY AND STOCHASTIC LOADING. THE PRESENT THESIS IS A MANUSCRIPT TO COMPLETE FOR EARNING A CANDIDATE OF TECHNICAL SCIENCE, THE SPECIALITY: 05.02.09 - DYNAMICS AND DURABILITY OF MACHINES, DEVICES AND APPARATUS. INSTITUTE FOR PROBLEMS IN MACHINERY OF

THE UKRAINIAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, KHARKOV, 1996. 4 SCIENTIFIC WORKS, CONTAINING THEORETICAL RESEARCHES ON FATIGUE STRENGTH PROBLEMS, ARE DEFENDED. TWO NEW DISTRIBUTIONS ARE SUGGESTED FOR THE TREATMENT OF FATIGUE SINGLE-FREQUENCY TEST RESULTS. THE RELATIONS DEFINING THE PARAMETERS DEPENDENCE OF STRESS AMPLITUDE IN CONCENTRATION POINT HAVING BEEN PROPOSED. THE CASE OF SINGLE-FREQUENCY LOADING WITH THE ARBITRARY ONE IS DESCRIBED BY THESE DISTRIBUTIONS. THIS APPROACH HAVE ALSO BEEN DEVELOPED FOR THE CASES OF MULTIFREQUENCY AND STOCHASTIC LOADINGS. THE EFFICIENCY OF THIS THEORY HAVE BEEN CONFIRMED BY ANALYSIS OF ORIGINAL PRACTICAL DATA, ALSO OBTAINED WHEN WORKING ON THE THESIS ONES.

#### АННОТАЦИЯ

Стоянов И. Ф. Методы оценки усталостного ресурса изделий при одночастотном, многочастотном и стохастическом нагружении. Диссертация является рукописью на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.02.09 - динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры. Институт проблем машиностроения НАН Украины, Харьков, 1996. Защищаются 4 научные работы, которые содержат теоретические исследования по проблемам усталостной прочности. Предложены два новых распределения для обработки результатов усталостных испытаний на одночастотных режимах. После описания зависимости параметров от амплитуды напряжения в зоне концентрации эти распределения позволили оценить усталостный ресурс при одночастотном нагружении с произвольной амплитудой напряжения. Предложенная методика расширена для случаев многочастотного и стохастического нагружений. Эффективность разработанной

теории подтверждена ее проверкой на соответствие результатам реальных усталостных испытаний, в том числе проведенных в ходе выполнения диссертационной работы.

Ключові слова: втомний ресурс, імовірність руйнування, випадкова границя витривалості.

Відповідальний за випуск - к.т.н., ст. наук. співроб. Ляшенко В.І.

Підписано до друку 15.11.1996.

Формат 60x90 1/16. Папір друк. № 1.

Ум. друк. арк. 1,5. Облік.-вид. арк. 1,44. Тираж 120 прим.

Замовлення № 194. Безкоштовно.

---

Ротапринт Інститута проблем машинобудування НАН України  
310046, Харків-46, вул. Дм.Пожарського, 2/10.

437764

**AB 36.274**