

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. КАРПЕНКА

На правах рукопису

КВІТ
Роман Іванович

**РОЗРОБКА СТАТИСТИЧНИХ КРИТЕРІЇВ
МІЦНОСТІ СТОХАСТИЧНО ДЕФЕКТНИХ
І НЕОДНОРІДНИХ (КОМПОЗИТНИХ) МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність: 01.02.04 — механіка деформівного
твердого тіла

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук



Робота виконана в Фізико-механічному інституті
ім. Г.В.Карпенка АН України, м.Львів

Науковий керівник – кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
ВИТВИЦЬКИЙ ПЕТРО МИХАЙЛОВИЧ

Офіційні опоненти: член-кореспондент АН України,
доктор фізико-математичних наук,
професор
КІТ ГРИГОРІЙ СЕМЕНОВИЧ
кандидат фізико-математичних наук,
доцент
ЗЛЕЙНО ВАСИЛЬ ІВАНОВИЧ

Провідна установа – Інститут проблем міцності
АН України, м.Київ

Захист відбудеться "30" червня 1993р. о 10 год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 016.42.01 при
Фізико-механічному інституті ім. Г.В.Карпенка АН України
за адресою: 290601, Львів, МСП, вул. Наукова, 5.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці
Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка АН України.

Автореферат розісланий "28" гравня 1993р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради *Никифорчин* Григорій Миколайович

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. У механіці деформівних твердих тіл велике значення надається розробці теорії міцності та критеріїв руйнування конструкційних матеріалів. Ця проблема є актуальною і для інженерної практики. На міцність впливає дефектність і неоднорідність структури, які розглядаються переважно з детерміністичних позицій. Важливим завданням є врахування стохастичності структури матеріалів при оцінці їх міцнісних характеристик. Адже спостерігаються деякі суперечності між розробленими теоретичними моделями розрахунку на міцність з детермінованими величинами на вході та емпіричним урахуванням випадкових параметрів матеріалу та навантажень. У реальних матеріалах дефекти характеризуються випадковими значеннями їх геометричних, деформівних та міцнісних параметрів. В останні роки напрямок ймовірнісної механіки руйнування активно розвивається. Суть цього напрямку полягає в комплексному підході, що базується на результатах механіки руйнування з детермінованими дефектами та даних, отриманих ймовірнісно-статистичними методами. Врахування дефектності та випадковості як взаємопов'язаних явищ дає змогу якісно побудувати теорію міцності та критерії руйнування конструкційних матеріалів.

Метод роботи є розроблення методики і алгоритмів розрахунку ймовірнісних характеристик міцності та побудови статистичних критеріїв руйнування різних модельних матеріалів зі структурними дефектами на основі комплексного застосування методів детерміністичної механіки руйнування та ймовірнісно-статистичних методів.

Загальна методика виконання досліджень. На базі концепції явного введіння випадкових геометричних характеристик дефектів /тріщин та вклучень/ проводяться аналітично-числовий розрахунок на міцність елементів конструкцій. При цьому використовуються детерміністичні розв'язки механіки руйнування та ймовірісно-статистичні положення. Окремі теоретичні результати застосовані для опису відомих експериментальних залежностей.

Наукова новизна. Проведено дослідження впливу врахування початкового відхилення напрямку поширення тріщини на ймовірність зруйнування та критерії міцності пластин із тріщинами, довжина і орієнтація яких є стохастично розподіленими. При великій кількості тріщин розрахунок ведеться на основі узагальненої на складний напружено-деформований стан теорії Вейбула-Золотіна. Побудовані діаграми граничного стану з урахуванням тривимірності /осесиметрично навантажене тіло з дископодібними тріщинами випадкового радіуса та орієнтації/ та досліджено вплив кількості тріщин у матеріалі і виду напруженого стану на ймовірнісні характеристики міцності. Зроблено порівняння отриманих результатів з відовими експериментальними даними. Узагальнено метод розрахунку ймовірнісних характеристик міцності на дисперсні композитні матеріали з пружними чужорідними вклученнями. Започатковані дослідження з прогнозування міцності стохастично дефектних ортотропних композитних матеріалів.

Автор захищає такі положення:

1. Формулювання розрахункових моделей і визначення функцій імовірнісного розподілу граничного навантаження стохастично дефектних і неоднорідних тіл /матеріалів/ для: пластин з прямолінійними тріщинами з можливим відхиленням напрямку їх розвитку при двовісному напруженому стані; тривимірних тіл з дископодібними тріщинами при осесиметричному навантаженні; пластин з пружними еліптичним включеннями /дисперсні композитні матеріали/; ортотропних композитних матеріалів.
2. Розрахунок і побудовані імовірнісні критерії міцності та проаналізовані їх особливості для стохастично дефектних матеріалів при плоскому та осесиметричному навантаженні; дисперсних композитних матеріалів; ортотропних композитів.
3. Чисельний аналіз впливу параметрів тріщинуватості /неоднорідності/ структури і масштабного фактора на імовірність зруйнування і критерії міцності стохастично дефектних матеріалів.

Практична цінність. Отримані результати можуть бути використані:

- 1/ при розрахунках на міцність елементів конструкцій під дією складного напруженого стану для оцінки їх надійності /знаходження імовірності зруйнування, середнього значення руйнівного навантаження і ряду інших характеристик міцності/ при ізотропності та анізотропності властивостей їх структури;
- 2/ для розвитку досліджень міцності стохастично дефектних матеріалів в імовірнісному аспекті.

Отримані результати увійшли до звітів по бюджетних темах: РБ 10/251 /№01.86.0043090/, РБП 14/380 /пр. 12/90 від 29.12.90/, РЕ 14/340 /Бюро ВДПМ АН України №18 від 25.12.89/.

Апробація роботи. Основні результати роботи були представлені на I Всесоюзному симпозиумі "Механіка і фізика руйнування композитних матеріалів і конструкцій" /Ужгород, 1988/, III та IV Всесоюзних симпозиумах "Міцність матеріалів і елементів конструкцій при складному напруженому стані" /Житомир, 1989; Севастополь, 1992/, на XIV конференції молодих вчених фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка АН України /Львів, 1989/, на III Всесоюзному симпозиумі по механіці руйнування /Житомир, 1990/, на XVI та XVII конференціях молодих вчених Інституту механіки АН України /Київ, 1991, 1992/, на III Всесоюзній конференції по механіці неоднорідних структур /Львів, 1991/, на VI Міжнародному симпозиумі "Методи дискретних особливостей в задачах математичної фізики" /Харків, 1993/, на науковому семінарі "Міцність композиційних матеріалів" ІМІ ім. Г.В. Карпенка АН України /Львів, 1993/.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 12 друкованих праць.

Обсяг роботи. Дисертація складається з передмови, вступу, чотирьох глав та підсумків і містить 165 сторінок, в тому числі 50 рисунків, 3 таблиці і список літератури з 175 найменувань.

З М І С Т Р О Б О Т И

У передмові обгрунтована актуальність теми, сформульована мета роботи, виділені основні положення, які виносяться на захист, викладено короткий зміст дисертації та її апробацій.

У вступі дається огляд робіт по застосуванню ймовірно-статистичних методів у механіці руйнування.

У першій главі представлено відому загальну схему /Витвицький П.М., 1980/ розрахунку на міцність стохастично дефектних і неоднорідних матеріалів. Розглядається тіло під дією двопаараметричного навантаження p та $q = \eta p$. У матеріалі тіла рівномірно розсіяні дефекти /тріщини або включення/, які не взаємодіють між собою. Дефекти характеризуються випадковими розміром l та кутом орієнтації α стосовно до напрямку дії зусиль p . Ймовірнісні розподіли величин l та α залежать від структури матеріалу і вважаються відомими. Дефектність структури характеризується густиною сумісного розподілу ймовірностей $f(\alpha, l)$ та функцією розподілу $F(\alpha, l)$. Тріщиностійкість матеріалу прийнята і всюди однаковою. Якщо в одиниці V_0 об'єму тіла міститься в середньому n_0 первинних дефектних елементів, тоді в тілі об'єму V в середньому матимемо $n = n_0 V / V_0$ таких елементів. Граничне навантаження для елемента тіла з одним дефектом при двопараметричному навантаженні можна записати в загальному вигляді

$$|p| = K_{IC} (\pi l)^{\frac{1}{2}} \varphi(\alpha, \eta, \beta), \quad q = \eta p; \quad (1)$$

де K_{IC} - тріщиностійкість матеріалу, β - коефіцієнт тертя

берегів тріщини, аналітичне представлення функції $\varphi(\alpha, \eta, \rho)$ залежить від типу дефекту і від підходу до розв'язку задачі.

З випадковості величин α та ρ випливає випадковість граничного навантаження на інтервалі від $\rho_{\min}(\eta)$ до $\rho_{\max}(\eta)$. Функція розподілу граничного навантаження $|\rho|$ для елемента тіла з одним дефектом має вигляд

$$F_1(|\rho|, \eta) = \iint_{K_{\alpha}(\pi l)^{-1/2} \varphi(\alpha, \eta, \rho) \leq 1} f(\alpha, l) d\alpha dl, \quad \rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}. \quad /2/$$

Тут інтегрування здійснюється за тими змінними, для яких виконується нерівність під знаком інтеграла.

Згідно з гіпотезою найслабшої ланки для тіла з n дефектами виводиться формула

$$F_n(|\rho|, \eta) = 1 - [1 - F_1(|\rho|, \eta)]^n. \quad /3/$$

Значення функції $F_n(|\rho|, \eta)$ при фіксованому навантаженні дорівнює ймовірності зруйнування тіла P_f .

На основі функції $F_n(|\rho|, \eta)$ можна отримати ряд статистичних характеристик міцності: середнє та найбільш імовірне значення; величину навантаження, яка відповідає заданій ймовірності зруйнування тіла; дисперсію тощо.

Побудовано діаграми граничного стану в координатах середніх значень руйнівного навантаження при високі ступенях однорідності /більш імовірні малі тріщини/ матеріалів зі стохастично розподіленими тріщинами обмеженої довжини. При цьому досліджено вплив тріщинуватості структури масшт багато фактора. Для великої кількості тріщин розрахунок проводився за узагальненою на складний напружений стан теорією Вейбула-

Болотіна. При збільшенні кількості тріщин статистичні криві переходять в детерміністичні криві мінімальних середніх значень руйнуючого навантаження. Побудовані криві залежності середнього значення міцності від кількості тріщин для різних видів напруженого стану.

Проведено обчислення ймовірності зруйнування та побудовані критерії міцності пластин зі стохастично розподіленими тріщинами при врахуванні початкового відхилення напрямку поширення тріщини. При цьому використовується відомий детерміністичний розв'язок В.В.Манасюка і Л.Т.Бережницького /Вопр. мех. реал твердого тела. 1964, Вып.3/. Зроблено порівняння з розв'язками, які базуються на припущенні, що тріщина поширюється в своїй площині /Витвицький П.М., Попінь С.Д., 1980/. При однаковій кількості дефектів міцність тіла меншою при врахуванні початкового напрямку поширення тріщин, причому це зменшення залежить від виду напруженого стану. При великій кількості тріщин це врахування не змінює виду діаграм критерію руйнування, за винятком області, де переважають напруження стиску.

У другій главі узагальнено побудову ймовірнісних критеріїв міцності на просторовий випадок /більш адекватний реальності/. Розглянуто осесиметрично навантажене тіло / $\sigma_x = \rho$,

$\sigma_y = \sigma_z = \rho$ / зі стохастично розподіленими дископодібними тріщинами, які характеризуються випадковими параметрами радіусом R та кутом орієнтації α /кут між нормаллю до тріщини і віссю Z симетрії навантаження, $0 < \alpha \leq \pi/2$ /. R - обмежена величина і підлягає спадному β -розподілу. На основі функції розподілу граничного навантаження для елемента тіла

з однією ізольованою тріщиною

$$F_1(p_1, \eta) = \iint_{\sqrt{K_{II}} [2R \psi(\alpha, \eta)]^2 \leq p_1} \sin \alpha f_2(R) d\alpha dR, \quad /4/$$

$f_2(R)$ - густина по поділу R . $\psi(\alpha, \eta) = \cos^2 \alpha + \eta \sin^2 \alpha$ / побудовано ряд діаграм граничного стану в координатах середнього значення руйнівного навантаження та при заданій імовірності зруйнування тіла. Діаграми побудовані для різної кількості тріщин. При великій кількості тріщин розрахунок проводився за співвідношеннями, отриманими узагальненням теорії Вейбула-Болотіна на складний напружений стан. Міцність тіла стає нижчою зі зростанням складності напруженого стану. Масштабний ефект зростає зі зменшенням розмірів тіла та зі збільшенням неоднорідності його матеріалу. Отримано ряд найбільш імовірних значень руйнівного навантаження, які добре узгоджуються з відомими результатами / Fisher, Hollomon, 1947/. Знайдані ймовірнісні характеристики міцності / середнє значення, дисперсія, коефіцієнт зміни міцності / корелюють з відомими в літературі / Matsuo, 1983/.

Побудовано залежність імовірності зруйнування від прикладеного навантаження і зроблено порівняння з експериментальними даними / Ruffin, Bollard, 1982/. Проведено узгодження кривих густини ймовірності розподілу міцності та залежностей середньої міцності від об'єму при простому розтязі з результатами експерименту / Лебедев А.О., 1977/.

Третя глава присвячена поширенню методу розрахунку ймовірнісних характеристик міцності матеріалів на дисперсні композитні матеріали / пружні матриці з сплюсненими еліптич-

ними включеннями/. Прийнято, що $G_1/G_2 < 1$, де G_1, G_2 - модулі зсуву матеріалу включення і матриці відповідно. Розглянуто два випадки. У першому включення характеризуються випадковим орієнтацією і заданими розмірами, а в другому - випадковими є орієнтація і розмір включень. Руйнування неоднорідного матеріалу може починатися у включенні, біля нього або на границі матриця-включення. Вважаємо, що руйнування ініціюється включеннями, геометричні характеристики яких /довжина $2a$ і кут орієнтації α / - стохастично розподілені. За критерій руйнування ізольованого включення є умова співвідношення типу загону кулонівського тертя /Черепанов Г.П., 1983/

$$\tau_{xy}^{(ii)} \leq k^{(ii)} - b_y^{(ii)} \operatorname{tg} \beta^{(ii)} \quad /5/$$

де $k^{(ii)}$ - коефіцієнт зчеплення, $\beta^{(ii)}$ - коефіцієнт тертя, $b_y^{(ii)}, \tau_{xy}^{(ii)}$ - нормальне та дотичне напруження у включенні. Побудовано діаграми середніх значень руйнівних включення напружень для тіла з різною кількістю включень. Для встановлення міцності композитного матеріалу зроблено порівняння граничних напружень для включень з граничними напруженнями для матриці з тріщинами, що виникають на місці включень. При однаковій кількості включень середні значення руйнівного навантаження при врахуванні тільки орієнтації є більшими, тобто сумісне врахування стохастичності розмірів і орієнтації понижуює міцність.

У четвертій главі розроблено алгоритм розрахунку ймовірності зруйнування та побудови критеріїв міцності при складному напруженому стані стохастично дефектних ортотропних композитів. Отримано розподіл макронапружень /напружень, усереднених по площі структурного елемента/ біля тріщинопо-

дібних дефектів в ортотропних композитах при плоскій деформації. Побудовано критерій максимальних макронапружень для композита з довільно орієнтованими тріщинами з переважаччою орієнтацією в напрямку армування. Густина розподілу орієнтації тріщин вибираємо у вигляді закону

$$f(\alpha) = \frac{\lambda^{3/2}}{\pi(\cos^2 \alpha + \lambda^2 \sin^2 \alpha)}, \quad /6/$$

який має такий фізичний зміст: найбільш імовірно є орієнтація тріщин у напрямку осі з більшим модулем пружності E_1 .
 $\lambda = E_1/E_2, \lambda > 1$.

Отримано функцію розподілу руйнівного навантаження для ортотропного композиту у вигляді

$$F_1(\rho, \eta) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\lambda^{3/2}}{\cos^2 \alpha + \lambda^2 \sin^2 \alpha} L^{\gamma+1}(\rho, \eta) d\alpha, \quad /7/$$

де $L = \rho_1 / \rho$ - півдовжина тріщини, ρ_1 - довжина структурного елемента, γ - параметр тріщинуватості матеріалу /чим більше γ , тим імовірніші малі тріщини/, $L(\rho, \eta)$ визначається з критерію максимальних макронапружень.

Проведено розрахунок імовірності зруйнування композита залежно від прикладеного навантаження для різної кількості тріщин і тріщинуватості матеріалу. На основі отриманих аналітичних співвідношень побудовані статистичні критерії міцності при заданій імовірності зруйнування. Показано вплив ортотропії матеріалу на міцність при різних видах напруженого стану для фіксованої кількості дефектів.

У підсумках сформульовані основні результати і висновки, які впливають з проведених у роботі досліджень.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І КОРОТКІ ВИСНОВКИ

У роботі з єдиних позицій розглянуто декілька аспектів теоретичного розрахунку ймовірності зруйнування і побудови ймовірнісних критеріїв міцності при складному напруженому стані стохастично дефектних, дисперсних та ортотропних композитних матеріалів.

1. На відміну від відомих в літературі підходів здійснено побудову діаграм граничного стану при двовісному розтязі-стиску пластин з тріщинами /плоска модель/ для високого ступеня параметра однорідності матеріалу, що характеризує велику ймовірність малих тріщин у структурі. Досліджено особливості зміни цих діаграм залежно від впливу параметра тріщинуватості і масштабного фактора.
2. Побудовано критерії міцності стохастично дефектних матеріалів при врахуванні початкового відхилення напрямку поширення тріщин. Встановлено, що при великій кількості тріщин / $n \gg 10^3$ / врахування початкового відхилення напрямку поширення тріщини впливає на вид діаграм міцності тільки в області переважаючого стиску.

Встановлена межа застосовності результатів, отримуваних за підходом П.М.Вірського, з результатами за узгаляненою на складний напружений стан теорією Вейбула-Болотіна. При кількості дефектів $n \gg 10^2$ можна застосовувати модифікований підхід В.В.Болотіна, що приводить до математично спрощень.

3. Побудовано діаграми граничного стану осесиметрично навантаженої тиском з дископодібними тріщинами, які характеризуються в ладковими геометричними параметрами. Досліджено

вплив зміни тріщинуватості структури. Знайдено параметри розподілу Вейбула при складному напруженому стані. Проведено порівняння з відомими в літературі аналітичними та числовими дослідженнями /зокрема, як частковий випадок, отримано відомі результати Фішера-Холомона, які узагальнені на довільне співвідношення компонент прикладеного навантаження/.

4. Теоретично встановлені відносні значення характеристик міцності тіл при характерних видах навантаження /одно-, дво- і тривісного/. Знайдені статистичні характеристики міцності тіл з великою кількістю дископодібних тріщин добре узгоджуються з результатами Метсу /при $n \geq 10^2$ відносна похибка становить 4 % /.
5. Проведено узагальнення методу ймовірнісного розрахунку міцності на дисперсні композитні матеріали. Розглянуто випадок, коли руйнування ініціюється у м'яких пружних вклученнях, геометричні характеристики яких є випадковими величинами з певними законами ймовірнісного розподілу. Побудовано діаграми середніх значень руйнуючих вклучення напружень для тіл з різною кількістю вклучень. Розглянуто два випадки: а/ розмір вклучень є детермінованим, а випадковим є тільки орієнтація; б/ випадковими є і розмір, і орієнтація. Для встановлення міцності композитного матеріалу зроблено порівняння граничних напружень для вклучень з граничними напруженнями для матриці з тріщинами, що виникають на місці вклучень.
6. Розроблено алгоритм розрахунку ймовірнісних характеристик міцності та побудови діаграм граничного стану орто-

тропних стохастично дефектних композитів при складному напруженому стані. Досліджено вплив ортотропії, структурної неоднорідності композиту, об'єму та виду напруженого стану на ймовірність зруйнування.

7. Отримано, що міцність при одноісному розтязі впоперек армування при фіксованій кількості дефектів є менше, ніж при рівнодієвному, що є наслідком ортотропії матеріалу.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ДИСЕРТАЦІЇ

1. Витвицкий П.М., Квит Р.И. Расчет прочности композитов со стохастически распределенными упругими включениями //Тез. докл. I Всес. симпоз. "Мех. и физика разруш. композит. матер. и конструкций", Ужгород, 1988г.- Ужгород, 1988.-С.9.
2. Витвицкий П.М., Квит Р.И. Теория статистических критериев прочности композитов с дисперсными включениями при сложном напряженном состоянии //Тез. докл. II Всес. симпоз. "Прочн. матер. и элем. констр. при слож. напр. состоянии", Житомир, 1989г.- Киев: ИГиЛ АН УССР, 1989.-С.31-32.
3. Квит Р.И. Критерии прочности стохастически дефектных пластин при учете начального направления развития трещины //Матер. XIV конф. мол. ученых физ.-мех. ин-та АН УССР.- Львов, 1990.-С.72-78.-Библиогр.: Знав.- Рус.- Доп. в ВИНТИ 06.04.90 №1890-В90.
4. Витвицкий П.М., Квит Р.И. Вероятностные критерии разрушения материалов с большим числом трещин при асимметричном напряженном состоянии //Тез. докл. III Всес. симп. "Трещиностойкость матер. и элем. констр.", Житомир, 1990г.- Киев. ИГиЛ АН УССР, 1990.- С.15.

5. Витвицький П.М., Квіт Р.І. Ймовірнісні критерії міцності для тіл зі стохастично розподіленими дископодібними тріщинами при осесиметричному напруженому стані //Фіз.-хім. механіка матеріалів.- 1990.- №3.- С.53-58.
6. Квіт Р.И. Определение напряженно-деформированного состояния в ортотропных композитных материалах с трещиноподобными дефектами при различных видах внешней нагрузки // Матер. XVI конф. мол. ученых Ин-та механики 'Н УССР.- Киев, 1991.- С.102-106. - Библиогр.: 3 назв.- Рус.- Деп. в ВИНТИ 12.II.91 №4259-В91.
7. Витвицкий П.М., Делявский М.В., Квіт Р.И. Предельное равновесие ортотропных стохастически дефектных плит при растяжении и двухкомпонентном сдвиге //Тез. докл. III Всес. конф. по механике неоднород. структур, Львов, 1991г.- Львов: ЦНПМ АН УССР, 1991.- С.57.
8. Витвицький П.М., Квіт Р.І. Спроба ймовірнісного теоретичного опису експериментальних статистичних закономірностей і характеристик міцності деяких матеріалів //Фіз.-хім. мех. матеріалів.- 1992.- №1.-С.95-98.
9. Делявський М.В., Квіт Р.І. Розподіл макроні ружень біля тріщиноподібних дефектів в анізотропному мікронеоднорідному тілі при плоскій деформації та поздовжньому зсуві //Там же.-1992.- №2.-С.50-54.
10. Квіт Р.І. До визначення ймовірнісних характеристик міцності матеріалів з великою кількістю дископодібних тріщин //Матер. XVII конф. мол. вчених Ін-ту механіки АН України.- Київ, 1992.- С.177-181.- Библиогр.: 3 назви.- Укр.- Деп. в УкрІНТЕІ. 07.07.92 №1022 УК92.

11. Витвицкий П.М., Квіт Р.І. Влияние трещиноватости структуры и масштабного фактора на критерии прочности стохастических дефектных материалов при сложном напряженном состоянии //Тез. докл. IV симпози. "Прочн. матер. и элем. констр. при сложн. напряж. состоянии", Севастополь, 1992г.- Киев: ИШ АН Украины, 1992.- С.16-17.
12. Витвицкий П.М., Квіт Р.І. Математичне моделювання впливу структурних параметрів на міцність ортотропних стохастично дефектних матеріалів //Тези допов. VI Міжнар. симпози. "Методи дискретн. особливостей в задачах матем. фізики", Харків, травень 1993р.- Харків, 1993.- С.8.

Handwritten signature

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

11. Витанчик Н.М., Кайв Р.М. Вплив температури на механічні властивості металів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. 1991. - № 25. - С. 10-14.
12. Витанчик Н.М., Кайв Р.М. Вплив температури на механічні властивості металів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. 1991. - № 25. - С. 10-14.
13. Витанчик Н.М., Кайв Р.М. Вплив температури на механічні властивості металів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. 1991. - № 25. - С. 10-14.
14. Витанчик Н.М., Кайв Р.М. Вплив температури на механічні властивості металів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. 1991. - № 25. - С. 10-14.
15. Витанчик Н.М., Кайв Р.М. Вплив температури на механічні властивості металів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. 1991. - № 25. - С. 10-14.
16. Витанчик Н.М., Кайв Р.М. Вплив температури на механічні властивості металів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. 1991. - № 25. - С. 10-14.
17. Витанчик Н.М., Давиденко М.В., Кайв Р.М. Вплив температури на механічні властивості металів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. 1991. - № 25. - С. 10-14.
18. Витанчик Н.М., Кайв Р.М. Вплив температури на механічні властивості металів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. 1991. - № 25. - С. 10-14.
19. Витанчик Н.М., Кайв Р.М. Вплив температури на механічні властивості металів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. 1991. - № 25. - С. 10-14.
20. Витанчик Н.М., Кайв Р.М. Вплив температури на механічні властивості металів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. 1991. - № 25. - С. 10-14.

Форма. 60x84/16 Друк офсет. Лінійний офсет. Умов. друк. ар.: 0,93
 Умов. фарбо-відб. 1,05 Обл.-виц арк 1,0 Тираж 100 прим. Зам. 2377.

Обласна книжкова друкарня, 290000, Львів, вул. Стефаніюка, 11.

в ЛЬВІВІ. 07.07.92 №102. 0022.

AB 27.661

AB 27.661