

Г. О. Кушнарьова<sup>1</sup>  
Н. П. Ісмаїлова<sup>1</sup>  
І. Г. Радченко<sup>1</sup>  
Т. В. Рабоча<sup>1</sup>  
Л. В. Кучеренко<sup>2</sup>

## АНАЛІЗ УШКОДЖЕНОСТІ МАТЕРІАЛУ КОНСТРУКЦІЙ

<sup>1</sup>Військова академія, Одеса

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

*Здатність матеріалів зберігати необхідний набір властивостей при дії на конструкцію експлуатаційних навантажень, визначається змінами структури, які виникають при таких навантаженнях.*

*З перших днів експлуатації при дії силових факторів, навколишнього середовища та часу міцнісні та деформаційні властивості конструкцій будівель та споруд змінюються.*

*Рішення головної задачі будівельної науки – зниження матеріалоемності в будівництві, нерозривно зв'язане з необхідністю постійного вивчення та уточнення міцностних і деформативних характеристик будівельних матеріалів і конструкцій, а також зміною несучої здатності конструкцій з часом і оцінка резерву працездатності (ресурсу) при заданих зовнішніх силових навантаженнях. Виходячи із принципового положення про те, що при дії навантаження в матеріалі конструкції проходить процес деформування, який супроводжується необоротними процесами – з'явленням, розвитком та накопиченням ушкоджень структури матеріалу, які внаслідок приводять до руйнування, приходимо до висновку о необхідності старанного вивчення міцності дерев'яних конструкцій з урахуванням цього явища.*

*Назріла необхідність всебічно дослідити питання накопичення ушкоджень в дерев'яних конструкціях при дії навантаження, та зв'язані з цим процеси зміни площі поперечного перерізу та несучої здатності і використати результати дослідження при розрахунку конструкцій. Це дає можливість знизити матеріалоемність та зробити перерізи дерев'яних конструкцій більш економічними, а також дозволяє уникнути надмірних запасів міцності.*

*Тому є важливим виявленням фіксація тріщин і внутрішніх поверхонь розділу матеріалу, що дозволяє кількісно оцінити інтегральне пошкодження матеріалу конструкції для прогнозування його безпечного функціонування.*

*Авторами розглянуті аналітичні залежності для опису десемінірованих ушкоджень, які витікають із фізичних міркувань, або будуються із деяких механічних моделей процесу тривалого руйнування. Були видані три основні типи моделей: силові, деформаційні та енергетичні.*

*Проведені експериментальні дослідження епюри нормальних напружень дають можливість візуально зафіксувати утворення складок в стиснутій зоні, а також вирахувати значення миттєво-пружної та в'язко-пружної складової повної деформації.*

*Міра накоплення ушкоджень в матеріалі – ушкодженість. В даній роботі ушкодженість була вирахована по відомим конкретним параметрам матеріалу: по прогинам, відносним деформаціям та зміні кількості сигналів акустичної емісії.*

*Побудовані графіки залежності ушкодженості від навантаження:*

*по розвитку прогинів;*

*по розвитку фібрових деформацій;*

*по розвитку прогинів та акустичній емісії (відносно навантаження);*

*по розвитку фібрових деформацій (відносно навантаження).*

*Ця наукова робота є логічним продовженням попередніх досліджень ушкоджень дерев'яних конструкцій. В статті приведені результати експериментальних досліджень міцності та деформування дерев'яних балок при дії статичних навантажень. Напрямок удосконалення методики проектування конструкцій із деревини та визначення залишкового ресурсу їх ще не знайшли відображення в технічній літературі. Тому необхідно проводити його всебічне дослідження.*

**Ключові слова:** ушкодження, міцність, деформативність, дерев'яні конструкції, ресурс.

### Вступ

Руйнування матеріалів є складним процесом, який включає руйнування структурних елементів різних масштабів, починаючи із мікроскопічних дефектів на атомному рівні і закінчуючи макротріщинами.

Добре відомо, що реальні матеріали можна розглядати як однорідні лише умовно, з різним ступенем ідеалізації. Метали та їх сплави, деревина і скло, полімери і кераміка та інші мають неоднорідну структуру. До руйнування приводить процес поступового накопичування дефектів (ушкоджень), розмір яких визначається характерними розмірами основних структурних елементів матеріалу з подальшим збільшенням та злиттям [1]. Структурними елементами можуть бути зерна в полікристалах, волокна в деревині. З'явлення структурних ушкоджень обумовлюється зміною пружних та міцностних характеристик матеріалів. В деяких композитних матеріалах

(склопластики) структурні ушкодження (мікродфекти в сполученнях) з'являються при навантаженнях, які викликають напруження  $(0,15 \div 0,2)$  межі міцності  $\sigma_m$ .

В науковій літературі пропонують різні методи урахування змін, які проходять в матеріалі при навантаженні. Так, Дж. Бой та Дж. Спенс [2] припускають, що при повзучості в об'ємі матеріалу виникають пори, які збільшуються з бігом часу, та зменшують ефективний поперечний переріз при навантаженні. Для опису цього явища вводиться параметр ушкодження  $\omega$  таким чином, що ефективний поперечний переріз, який дорівнює величині:  $(1-\omega) A_0$ ,

де  $A_0$  – початкова площа перерізу.

Істина напруження визначається по формулі:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{(1-\omega)A_0} = \frac{\sigma_0}{1-\omega}, \quad (1)$$

де  $A$  – площа ефективного перерізу;  $\sigma_0$  – напруження при початковій площі  $A_0$ .

Параметр  $\omega$  росте від 0 до 1 при переході зразка із початкового стану до стану руйнування. Умовою руйнування є рівність  $\omega = 1$ , що відповідає зменшенню площі поперечного перерізу до 0.

Однак крихке руйнування може наступити при кінцевому значенні площі поперечного перерізу. Тому цей параметр при руйнуванні  $\omega < 1$ . Одним із способів урахування цієї обставини є припущення, що в початковий момент часу має місце моментальне ушкодження, так як повне ушкодження представляє собою суму миттєвого та накопиченого ушкодження.

$$\omega_{\text{пов.}} = \omega_{\text{мит.}} + \omega_{\text{нак.}} \quad (2)$$

Припускається, що  $\omega_{\text{мит.}}$  степеневим чином залежить від дійсного ушкодження.

Я.Б. Фридман [3] зазначає, що в деяких практичних випадках площа перерізу  $A$  мало змінюється в процесі деформації, тобто  $A=A_0$ . Це справедливо при пружній роботі конструкції. Зміна площі перерізу проходить при пластичних деформаціях, тобто  $A > A_0$ .

Работнов Ю.Н. [4,5,6] ввів функцію  $0 \leq \omega \leq 1$ , яку назвав ушкодженням, яке змінюється від  $\omega=0$  в неушкодженому стані, до  $\omega=1$  в повністю ушкодженому, і функцію, названу суцільністю, яка визначається із виразу:

$$\Psi = 1 - \omega.$$

Болотін В. В. [7] запропонував описувати ушкодження, накопичені в елементах конструкції за допомогою скалярної функції часу  $\Psi(t)$ . Ця функція приймає значення  $(0;1)$ , де  $\Psi = 0$  – відповідає випадку відсутності ушкоджень, а  $\Psi = 1$  – відповідає рівню ушкоджень, при якому елемент використав свій ресурс.

Павлов П. А. [8] вважає, що аналітичні залежності для опису десемінованих ушкоджень можуть бути: або витікати із фізичних міркувань, або повинні будуватися із деяких механічних моделей процесу тривалого руйнування. В загальному випадку можна вказати три основні типи таких моделей: силові, деформаційні та енергетичні.

Силові моделі ґрунтуються на тому допущенні, що ушкодження виникають в результаті перебування елемента матеріалу під напруженням, незалежно від величини та характеру склерономних або ресномних деформацій, які супроводжують процес навантаження.

Деформаційні моделі припускають, що нагромадження ушкоджень зв'язано з розвитком деформацій, а руйнування настає при досягненні їх граничних значень поза залежності від тих напружень, які виникають в процесі деформування.

В основі енергетичних моделей лежать уявлення про те, що нагромадження ушкоджень зв'язано із здійсненням над елементом матеріалу роботою пластичного або в'язкопластичного деформування або з рівнем накопичення внутрішньої енергії, яка дорівнює різниці між здійсненою роботою та механічним еквівалентом тепла, що утрачені матеріалом в процесі теплообміну з навколишнім матеріалом або з зовнішнім середовищем. Якщо тепло не витрачається, а набуває, то накопичена енергія (внутрішня) перевищує механічну роботу. Руйнування настає в той момент, коли робота або накопичена внутрішня енергія досягає деякого стаціонарного значення.

Васильєв О. Н. [11] отримав коефіцієнти для визначення залишкового ресурсу деревини після тривалої експлуатації.

### Результати дослідження

В роботі досліджено балки із деревини (сосни) прольотом 45 та 200 см.

Метою роботи являється всебічне дослідження ушкоджень в дерев'яних конструкціях в процесі роботи їх при навантаженні, і зв'язані з цим зміна несучої здатності та ресурсу, так як в

нормативних документах ці параметри не розглянуті.

Досліджені дерев'яні балки навантажувалися двома зосередженими силами, кожна із яких прикладалася на висоті 1/3 (для балок прольотом 45 см) та 1/4 прольоту (для балок з прольотом 200 см) від опори.

Навантаження прикладалося поступово з кроком (100 Н) та приростом в ступені. Час витримки при навантаженні в ступені складав 60,120,180,300 і 600 секунд.

Вимірювались прогини, фіброві деформації, сигнали акустичної емісії.

В результаті проведеного експериментального дослідження одержані чисельні значення прогинів в середині прольоту балок, відносні деформації по висоті перерізу і в крайніх волокнах, загальна кількість сигналів акустичної емісії, їх амплітуда, тривалість, місце з'явлення акустичних сигналів по довжині балки, характер нагромадження їх по ступеням навантаження.

Відповідно з подаванням про деформування деревини визнається, що пружна деформація в області неповної пружності виражається рівнянням прямої, яка проходить через початок координат.

$$y = an, \tag{3}$$

де  $a$  – постійний числовий коефіцієнт;

$n$  – номер ступені навантаження.

Залежність залишкової деформації від напруження для деревини визначається рівнянням квадратної параболи:

$$y = bn^2, \tag{4}$$

де  $b$  – постійний числовий коефіцієнт.

Таким чином, повна деформація деревини дорівнює:

$$y = an + bn^2, \tag{5}$$

тобто графік розвитку повних деформацій являє собою нелінійну функцію.

Одержані експериментально величини прогинів в середині балок та відносні фіброві деформації розтягнутих та стиснутих зон задовільно описується рівнянням (5).

На графіках (рис. 1, 2) показано розвиток при різному часі витримки навантаження в ступені.

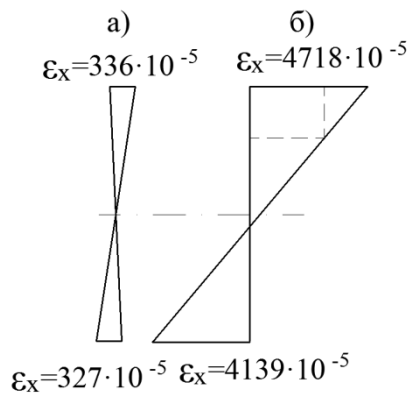


Рисунок 1 – Розвиток фібрових та виявлення пластичних деформацій в балці А-45  
а) на початку експерименту;  
б) перед руйнуванням

Кожний графік побудований на середніх експериментальних даних для балок, які були навантажені до повного руйнування. На цих графіках добре проглядається зростання величини залишкових деформацій по мірі зростання величини навантаження.

Пряма та зворотна післядія в розвитку прогинів при другому режимі навантаження,

представлена на рис. 2. Кожний із цих графіків узагальнює експериментальні результати для даного інтервалу часу витримки при навантаженні в ступені. Пряма та зворотна післядія прогинів в цьому випадку задовільно відповідає рівнянню (5).

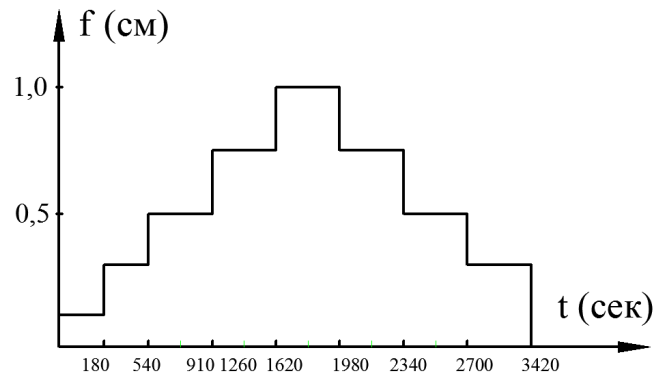


Рисунок 2 – Пряма та зворотна післядія прогинів (t=180 сек.)

Значний інтерес представляє дослідження епюри нормальних напружень. Для цього необхідно знати граничні значення фібрових напружень та деформацій. Проведені експериментальні дослідження дають можливість візуально спостерігати утворення складок в стиснутій зоні і фіксувати відповідну цьому моменту величину фібрових напружень. Можна з упевненістю вважати, що до появи складок в стиснутій зоні деревина знаходиться в області неповної пружності, коли розвиваються пружні та залишкові деформації.

Формули (3) ... (5) дають можливість вирахувати значення миттєво-пружної та в'язко-пружної складової повної деформації.

Існуючі в опублікованих раніше роботах більшості авторів уявлення про те, що розтягнуті зони деревини являються тільки пружні і залишкові деформації знайшло своє підтвердження також в проведеному нами експериментальному дослідженні зразків стандартної форми при прикладеному осьовому розтягнутому навантаженні. На жодному із досліджених зразків не були зареєстровані сигнали акустичної емісії від появи ушкоджень в середній (робочій) частині зразку. Руйнування всіх досліджених зразків проходило тільки в робочій зоні зразка.

Процес накопичення ушкоджень в матеріалі зв'язаний з мікроруйнуванням, які приводять до зменшення дійсної площі поперечного перерізу.

Уявне напруження, яке віднесене до неушкодженого перерізу, записується у вигляді:

$$\sigma_y = \frac{N}{A_0}, \tag{6}$$

де  $A_0$  – початкова площа поперечного перерізу (до початку навантаження), яка не має мікроруйнування.

Міра накоплення ушкоджень в матеріалі – ушкодженість  $Y$ , яка змінюється в межах від  $y=0$  – для непошкодженого матеріалу, де  $y=1$ , коли несуча здатність матеріалу повністю вичерпується. Ушкодженість може бути вирахована по відомим конкретним параметрам матеріалу, як відношення поточного значення цього параметру до кінцевої її величини, яка відповідає моменту руйнування матеріалу.

В нашому дослідженні ушкодженість може бути розрахована за формулою:

а) по прогинам:

$$Y_f = \frac{y_f^{cm}}{y_f^p}; \tag{7}$$

б) по відносним деформаціям:

$$Y_s = \frac{\varepsilon^{cm}}{\varepsilon^p}; \tag{8}$$

в) по зміні кількості сигналів акустичної емісії:

$$Y_{AE} = \frac{Y_{AE}^{cm}}{\sum Y_{AE}} \quad (9)$$

де  $Y^{cm}$  – величина параметра в ступені навантаження;

$Y^p$  – величина параметра при руйнівному навантаженні;

$\sum Y_{AE}$  – сумарна кількість сигналів АЕ за весь час знаходження конструкції при навантаженні;

$Y_{AE}^{cm}$  – кількість сигналів АЕ на даній ступені навантаження.

Для характеристики зменшення площі поперечного перерізу вводиться параметр суцільності, який одержуємо із виразу:

$$\psi = 1 - Y \quad (10)$$

Таким чином, дійсне напруження, яке діє в матеріалі в даний момент, записуємо у вигляді:

$$\sigma_d = \frac{N}{A_0} = \frac{N}{A_0(1-Y)} \quad (11)$$

де  $A_0(1 - Y)$  – дійсна площа поперечного перерізу з урахуванням зменшення його при дії навантаження, яке діє на даному етапі;

Побудовані графіки залежності ушкодженості від навантаження:

а) ушкодженість по розвитку прогинів  $y(f)$  – навантаження в ступені 2Fст. (рис.3);

б) ушкодженість по розвитку фібрових деформацій  $y(\epsilon)$  – навантаження в ступені 2Fс (рис.4);

в) ушкодженість по розвитку прогинів  $y(f)$  та по акустичній емісії ( $\frac{AE_{ст.}}{\sum AE}$ ) – відносна навантаження  $\frac{2F_{cm.}}{\sum 2F_{cm.}}$  (рис.5);

г) ушкодженість по розвитку фібрових деформацій  $y(\epsilon)$  – відносна навантаження  $\frac{2P_{ст.}}{\sum 2P_{ст.}}$  (рис.6).

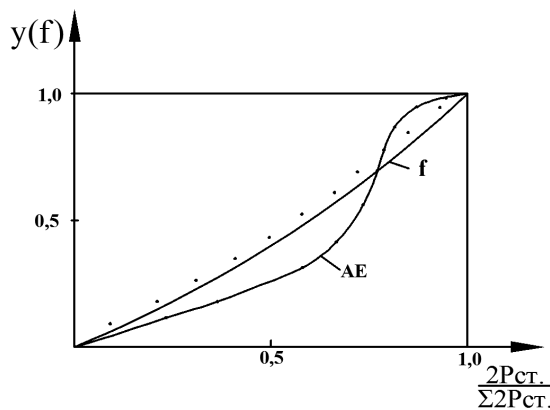


Рисунок 5 – Відносна ушкодженість по прогинам в середині прольоту (t=60сек.)

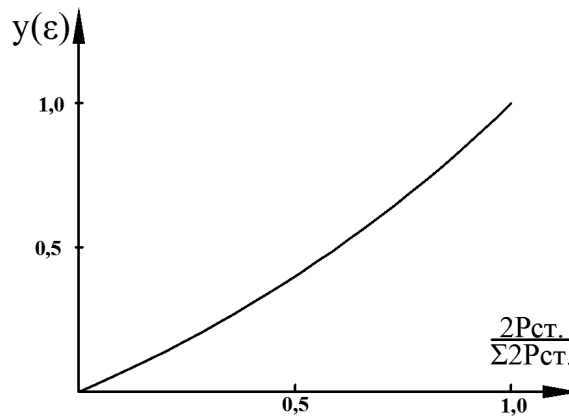


Рисунок 6 – Відносна ушкодженість по відносним деформаціям проектних волокон.

### Висновки

- 1). В твердих тілах при навантаженні виникають дефекти, які локалізовані в мікрооб'ємах.
- 2). Міцність любого матеріалу залежить від часу дії навантаження і межа міцності не являється константою матеріалу.
- 3). Процес руйнування, який зв'язаний з появою та нагромадженням порушень структури, складається із декількох стадій, які послідовно та поступово приводять до руйнування (розділ тіла на частини).

- 4). В результаті експериментального дослідження дерев'яних балок були одержані формули ушкоджень по прогинам, відносним деформаціям, зміні кількості сигналів акустичної емісії.
- 5). Введено параметр суцільності для характеристики зменшення площі поперечного перерізу.
- 6). Визначено дійсне напруження з урахуванням параметру суцільності.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю.В. Соколкин, Механика деформирования и разрушения структурно неоднородных тел./ Ю.В. Соколкин, А.А. Тешкинов //– М.:Наука, 1984. –115с.
2. Д. Бойл, Анализ напряжений в конструкциях при ползучести. / Д. Бойл, Д. Спанс //– М.: Мир, 1986. –360с.
3. Я.Б. Фридман, Механические свойства металлов./ Я.Б. Фридман //– М.: Машиностроение, 1974. – 472с.
4. Ю.Н. Роботнов, Механіка деформованого твердого тіла./ Ю.Н. Роботнов //– М.: 1979. –744с.
5. Ю.Н. Роботнов, Введение в механику разрушения./ Ю.Н. Роботнов //– М.: Наука, 1987. – 80с.
6. Ю.Н. Роботнов, Ползучесть элементов конструкций./ Ю.Н. Роботнов//– М.: Наука, 1966. – 752с.
7. В.В. Болотин, Прогнозирование ресурса машин и конструкций./ В.В. Болотин //–М.: Машиностроение, 1984. – 312с.
8. П.А. Павлов, Основы инженерных элементов машин на усталость и длительную прочность./ П.А. Павлов //– Л-д.: Машиностроение, 1988. – 252с.
9. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення:ДБН В.2.6 – 161:2010, затв. Мінрегіон буд України 30.12. 2010. – Київ: М-во регіонального розвитку та будівництва України, 2011 – 102 с.
10. В.П. Кодегубов, О новом методологическом принципе в теории прочности упруговязких твердых тел./В.П. Кодегубов //– В кн.: Конструкции из клееной древесины и пластмасс.– Л-д.: ЛИСИ, 1985. – 16с.
11. О.Ю. Васильев, Довговічність плоских та просторових наскрізних дерев'яних конструкцій./ О.Ю. Васильев // Автор на здоб. канд. техн. наук. – Харків, Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2015. – 21с.

### REFERENCES

1. Yu.V. Sokolkin, Mekhanika deformirovaniya i razrusheniya strukturno neodnorodnykh tel./ Yu.V. Sokolkin, A.A. Teshkinov //– М.:Nauka, 1984. –115s.
2. D. Boyl, Analiz napryazheniy v konstruksiyakh pri polzuchesti. / D. Boyl, D. Spans //– М.: Mir, 1986. –360s.
3. Ya.B. Fridman, Mekhanicheskie svoystva metallov./ Ya.B. Fridman //– М.: Mashinostroenie, 1974. – 472s.
4. Yu.N. Robotnov, Mekhanika deformovanogo tverdogo tila./ Yu.N. Robotnov //– М.: 1979. –744s.
5. Yu.N. Robotnov, Vvedenie v mekhaniku razrusheniya./ Yu.N. Robotnov //– М.: Nauka, 1987. – 80s.
6. Yu.N. Robotnov, Polzuchest' elementov konstruksiy./ Yu.N. Robotnov//– М.: Nauka, 1966. – 752s.
7. V.V. Bolotin, Prognozirovaniye resursa mashin i konstruksiy./ V.V. Bolotin //–М.: Mashinostroenie, 1984. – 312s.
8. P.A. Pavlov, Osnovy inzhenernykh elementov mashin na ustalost' i dlitel'nuyu prochnost'./ P.A. Pavlov //– L-d.: Mashinostroenie, 1988. – 252s.
9. Konstruksii' budynkiv i sporud. Derev'yani konstruksii'. Osnovni polozhennja:DBN V.2.6 – 161:2010, zatv. Minregion bud Ukrai'ny 30.12. 2010. – Kyi'v: M-vo regional'nogo rozvytku ta budivnyctva Ukrai'ny, 2011 – 102 s.
10. REFERENCES
11. V.P. Kodegubov, O novom metodologicheskom principe v teorii prochnosti uprugovjazkikh tverdyh tel./V.P. Kodegubov //– V kn.: Konstruksii iz kleenoy drevesiny i plastmass.– L-d.: LISI, 1985. – 16s.
12. O.Ju. Vasil'ev, Dovgovichnist' ploskih ta prostorovyh naskriznih derev'yanih konstruksij./ O.Ju. Vasil'ev // Avtor na zdob. kand. tehn. nauk. – Harkiv, Harkiv's'kij nacional'nij universitet budivniictva ta arhitekturi, 2015. – 21s.

**Ісмаїлова Неллі Петрівна** – д-р техн. наук, доцент кафедри інженерної механіки, Військова академія (м. Одеса), e-mail: [Nelly969@ukr.net](mailto:Nelly969@ukr.net), ORCID: 0000-0003-0181-4420

**Кушнарєва Галина Олександрівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри інженерної механіки, Військова академія (м. Одеса), e-mail: [sopromat.galina@gmail.com](mailto:sopromat.galina@gmail.com), ORCID: 0000-0003-26310-02435

**Рабоча Тетяна Валентинівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри забезпечення військ (сил), Військова академія (м. Одеса), e-mail: [rabochayatanaya@i.ua](mailto:rabochayatanaya@i.ua), ORCID: 0000-0002-9475-334X

**Кучеренко Лілія Василівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [liliya13liliya13@gmail.com](mailto:liliya13liliya13@gmail.com), ORCID: 0000-0003-0348-3610

**Радченко Ірина Григорівна** – викладач кафедри інженерної механіки, Військова академія (м. Одеса), e-mail: [irarad27@gmail.com](mailto:irarad27@gmail.com), ORCID: 0000-0001-6069-1382

**G. Kushnareva<sup>1</sup>**  
**N. Ismailova<sup>1</sup>**  
**I. Radchenko<sup>1</sup>**  
**T. Rabocha<sup>1</sup>**  
**L. Kucherenko<sup>2</sup>**

## STRUCTURAL DAMAGE ANALYSIS

<sup>1</sup>Military Academy

<sup>2</sup>Vinnitsia National Technical University

*The ability of materials to retain the required set of properties under the action of operational loads on the structure is determined by the structural changes that occur under such loads.*

*From the first days of operation, under the influence of force factors, the environment and time, the strength and deformation properties of structures of buildings and structures change.*

*The solution to the main task of construction science - reducing material consumption in construction, is inextricably linked with the need for constant study and refinement of the strength and deformation characteristics of building materials and structures, as well as a change in their bearing capacity over time and an assessment of the working capacity (resource) reserve when setting an external power load. Based on the fundamental position that under the action of a load, a deformation process occurs in the construction material, which is accompanied by irreversible processes of their appearance, development and accumulation of damage to the structure of the material, and, as a result, leads to destruction, we come to the conclusion that it is necessary to carefully study the strength of wooden designs taking into account this phenomenon.*

*There is a need to comprehensively study the issues of damage accumulation in wooden structures under the action of loads and the related processes of changing the cross-sectional area and bearing capacity, to use the research results when calculating structures. This makes it possible to reduce material consumption and make the sections of wooden structures more economical and avoid excessive safety margins.*

*Therefore, an important manifestation is the fixation of cracks and internal interfaces, which allows one to quantify the integral damage of the structure material to predict their safe functioning.*

*The authors considered analytical dependences for the description of disseminated injuries that follow from physical considerations or are constructed from some mechanical models of the process of long-term damage. Three main types of models have been identified: force, deformation and energy.*

*Experimental studies of normal stress diagrams make it possible to visually record the formation of folds in the compressed zone, as well as calculate the value of the instantaneous elastic and viscoelastic components of total deformation.*

*A measure of the accumulation of damage in a material is damage. In this work, the damage was calculated based on the known specific parameters of the material: deflections, relative deformations and changes in the number of acoustic emission signals.*

*The graphs of the dependence of damage on the load were built:*

- on the development of deflections;
- on the development of fibrous deformations;
- on the development of deflections and acoustic emission (relative load);
- on the development of fibrous deformations (relative load);

*This scientific work is a logical continuation of previous studies of damage to wooden structures. The article presents the results of experimental studies of the strength, deformability of wooden beams under the influence of a static load.*

*The direction of improving the methodology for designing wooden structures and determining the residual resource has not been reflected in the technical literature. Therefore, it is necessary to conduct a comprehensive study of them.*

*Key words: damage, wooden structures, strength, deformability, resource.*

**Ismailova Nelli Petrovna** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Engineering, Mechanics Military Academy (Odessa), e-mail: [Nelly969@ukr.net](mailto:Nelly969@ukr.net), ORCID: 0000-0003-0181-4420

**Kushnariova Halyna Oleksandrivna** – PhD, Associate Professor of Department of Engineering, Mechanics Military Academy (Odessa), e-mail: [sopromat.galina@gmail.com](mailto:sopromat.galina@gmail.com), ORCID: 0000-0003-26310-02435

**Rabochaya Tatiana Valentinovna** – PhD, Associate Professor of Department of Engineering, Mechanics Military Academy (Odessa), e-mail: [rabochayatanya@i.ua](mailto:rabochayatanya@i.ua), ORCID: 0000-0002-9475-334X

**Kucherenko Lilia Vasylivna** – PhD, Associate Professor of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnitsia National Technical University, e-mail: [liliya13liliya13@gmail.com](mailto:liliya13liliya13@gmail.com), ORCID: 0000-0003-0348-3610

**Radchenko Irina** – Lecturer at the Department of Engineering Mechanics, Military Academy (Odessa), e-mail: [irarad27@gmail.com](mailto:irarad27@gmail.com), ORCID: 0000-0001-6069-1382

**Г. А. Кушнарєва<sup>1</sup>**

**Н. П. Исмаїлова<sup>1</sup>**

**И. Г. Радченко<sup>1</sup>**

**Т. В. Рабочая<sup>1</sup>**

**Л. В. Кучеренко<sup>2</sup>**

## АНАЛІЗ ПОВРЕЖДЕНІЙ МАТЕРІАЛА КОНСТРУКЦІЙ

<sup>1</sup>Военная академия, Одесса

<sup>2</sup>Винницкий национальный технический университет

Способность материалов сохранять требуемый набор свойств под действием на конструкцию эксплуатационных нагрузок, определяется структурными изменениями, которые происходят при таких нагрузках.

С первых дней эксплуатации при действии силовых факторов, окружающей среды и времени прочностные и деформативные свойства конструкций зданий и сооружений изменяются.

Решение главной задачи строительной науки – снижение материалоемкости в строительстве, неразрывно связано с необходимостью постоянного изучения и уточнения прочностных и деформативных характеристик строительных материалов и конструкций, а также изменением несущей способности их со временем и оценка резерва работоспособности (ресурса) при заданной внешней силовой нагрузке. Исходя из принципиального положения о том, что при действии нагрузки в материале конструкции происходит процесс деформирования, который сопровождается необратимыми процессами с их появлением, развитием и накоплением поврежденной структуры материала, и в результате, приводит к разрушению. Поэтому приходим к выводу о необходимости внимательного изучения прочности деревянных конструкций с учетом этого явления.

Назрела необходимость всесторонне изучать вопросы накопления повреждений в деревянных конструкциях при действии нагрузок и связанные с этим процессы изменения площади поперечного сечения и несущей способности, использовать результаты исследований при расчете конструкций. Это дает возможность снизить материалоемкость и сделать сечения деревянных конструкций более экономичными и позволит избежать чрезмерных запасов прочности.

Поэтому важным проявлением есть фиксация трещин и внутренних поверхностей раздела, что позволяет количественно оценить интегральную поврежденность материала конструкции для прогнозирования их безопасного функционирования.

Авторами рассмотрены аналитические зависимости для описания диссеминированных повреждений, которые вытекают из физических соображений или строятся из некоторых механических моделей процесса длительного повреждения. Были выделены три основных типа моделей: силовые, деформационные и энергетические.

Проведенные экспериментальные исследования эпюр нормальных напряжений дают возможность визуально зафиксировать образование складок в сжатой зоне, а также рассчитать значение мгновенно-упругой и вязко-упругой составляющей полной деформации.

Мера накопления повреждений в материале – поврежденность. В данной работе поврежденность была рассчитана по известным конкретным параметрам материала: по прогибам, относительным деформациям и изменению количества сигналов акустической эмиссии.

Построены графики зависимости поврежденности от нагрузки:

- по развитию прогибов;
- по развитию фибровых деформаций;
- по развитию прогибов и акустической эмиссии (относительная нагрузка);
- по развитию фибровых деформаций (относительная нагрузка);

Эта научная работа является логическим продолжением предыдущих исследований повреждений деревянных конструкций. В статье приведены результаты экспериментальных исследований прочности, деформативности деревянных балок под действием статической нагрузки.

Направление усовершенствования методики проектирования конструкций из дерева и определения остаточного ресурса не нашли отображения в технической литературе. Поэтому необходимо проводить их всестороннее исследование.

Ключевые слова: повреждения, деревянные конструкции, прочность, деформативность, ресурс.

**Исмаилова Нелля Петровна** – д.т.н., доцент кафедры инженерной механики, Военная академия (г. Одесса), e-mail: [Nelly969@ukr.net](mailto:Nelly969@ukr.net), ORCID: 0000-0003-0181-4420

**Кушнарєва Галина Александровна** – к.т.н., доцент кафедры инженерной механики, Военная академия (г. Одесса), e-mail: [sopromat.galina@gmail.com](mailto:sopromat.galina@gmail.com), ORCID: 0000-0003-26310-02435

**Рабочая Татьяна Валентиновна** – к.т.н., доцент кафедры обеспечения войск (сил), Военная академия (г. Одесса), e-mail: [rabochayatanya@i.ua](mailto:rabochayatanya@i.ua), ORCID: 0000-0002-9475-334X

**Кучеренко Лилия Васильевна** – к.т.н., доцент кафедры строительства, городского хозяйства и архитектуры, Винницкий национальный технический университет, e-mail: [liliya13liliya13@gmail.com](mailto:liliya13liliya13@gmail.com), ORCID: 0000-0003-0348-3610

**Радченко Ирина Григорьевна** – преподаватель кафедры инженерной механики, Военная академия (г. Одесса), e-mail: [irarad27@gmail.com](mailto:irarad27@gmail.com), ORCID: 0000-0001-6069-1382