

УДК 539.3

*М. О. Кузін**Інформаційно-обчислювальний центр Львівської залізниці***ВИКОРИСТАННЯ ПІДХОДІВ ТЕРМОДИНАМІКИ  
ДЛЯ КОНТИНУАЛЬНОГО ОПИСУ ЗМІНИ ДОВГОВІЧНОСТІ  
МЕТАЛІЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ЗОВНІШНІХ НАВАНТАЖЕНЬ**

*Запропоновано варіант термодинамічного опису зміни довговічності металічних систем в умовах зовнішніх навантажень. Проаналізовано отримані співвідношення та показано їх зв'язок з наявними підходами моделювання деградації матеріалів.*

*Термодинаміка, металічні системи, деградація, матеріал, дисипативні процеси*

Підвищення довговічності деталей та вузлів обладнання, що працюють в умовах інтенсивних навантажень, є важливим питанням сучасного машинобудування. Одним з ефективних методів розв'язання цієї важливої науково-технічної проблеми є метод математичного моделювання, оскільки він дає можливість прогнозувати та кількісно визначати ресурс роботи деталі без використання (або з мінімальним використанням) затратних натурних експериментів.

Сучасне математичне моделювання поведінки металічних систем з урахуванням взаємопов'язаних процесів базується на підходах і принципах нерівноважної термодинаміки та фізичних уявленнях теорії твердих розчинів [17].

Для опису зміни міцнісних властивостей матеріалу в часі, описуючи внутрішні параметри стану, вводять додаткову змінну адитивної природи — «пошкоджуваність», яка окреслює деградацію матеріалу в часі.

Вперше цей параметр як об'єкт скалярної природи запропонували І. М. Качанов [7] і Ю. М. Работнов [14]. Для оцінки зміни довговічності матеріалу в умовах складного напружено-деформованого стану, пошкоджуваність як об'єкт тензорної природи запропонував О. А. Льюшин [6]. Різні підходи для опису зміни пошкоджуваності для композиційних і функціонально-градієнтних матеріалів наведені у працях М. Б. Ахундова [1], В. М. Кукуджанова [8], Ю. В. Суворової [16].

На експериментальному рівні та з погляду фізики металів пошкоджуваність у матеріалі трактують як накопичення точкових та лінійних дефектів, мікропор. При цьому розрізняють такі етапи деградації матеріалу [3, 13]:

1. На першій стадії роботи деталі відбувається накопичення субмікро- і мікропошкоджень, що мають локальний характер переважно в приповерхневій зоні. Субмікропошкодження є значно меншими, ніж елементи структури, порядку  $5\text{--}2000 \text{ \AA}$ , що виникають у результаті взаємодії дислокацій між собою,

а також з границями зерен під дією напружень зсуву. При цьому вважається, що стан мікроструктури матеріалу стосовно вихідного суттєво не змінюється. На цій стадії тіло поводить як пружне середовище і паралельно з процесом утворення субмікро- і мікротріщин відбувається процес їх заліковування, тобто на першій стадії процес утворення пошкоджень має, як правило, оборотний характер.

2. На другій стадії процес накопичення розсіяних пошкоджень має необоротний характер. При цьому утворюються мікроефекти, розмір яких становить від 0,2 до 1000 мкм, що призводить до погіршення працездатності матеріалу і вичерпування його ресурсу пластичності. Зародження системи субмікротріщин відбувається переважно в приповерхневому шарі, в якому передусім здійснюється розрихлення матеріалу і зростає концентрація напружень.

3. На третій стадії відбувається насичення тіла мікроефектами до деякого характерного для цього матеріалу рівня, при цьому мікророзрихлення матеріалу внаслідок збільшення кількості мікроефектів змінюється розрихленням через зростання їх розмірів, зокрема внаслідок злиття окремих мікропор і мікротріщин. Темп розрихлення матеріалу зі зростанням макродеформації збільшується і наприкінці призводить до утворення макротріщин, поширення яких описується методами механіки руйнування.

У цій статті для конструктивної побудови базових співвідношень пошкоджуваність моделюватимемо об'єктом тензорної природи другої валентності.

Згідно з уявленнями про деградацію матеріалу, які наведені у працях [6, 9] постулюємо існування пошкоджуваності як об'єкта тензорної природи другої валентності, що має такі властивості:

1. Існує об'єкт  $\hat{\psi}(x, t)$ , що описує дефектність матеріалу у визначений час  $t$ , містить компоненти  $\hat{\psi}_1(x, t), \dots, \hat{\psi}_N(x, t)$ , які описують дефекти типу  $1, \dots, N$ .

2. Тензор  $\hat{\psi}(x, t)$  однозначно визначається фізико-хімічними процесами, що відбуваються в тілі, тобто є функцією локального об'єму.

3. Тензор  $\hat{\psi}(x, t)$  характеризує накопичення пошкоджень у локальному об'ємі тіла і стан, що безпосередньо передує руйнуванню. Існують деякі невід'ємні міри  $M_m(\hat{\psi}) = M_m(\hat{\psi}_1, \dots, \hat{\psi}_N)$ , що є функціями інваріантів тензорів  $\hat{\psi}_1, \dots, \hat{\psi}_N$ , причому  $M_m(\hat{\psi}) = 0$  ( $m = 1, \dots, N$ ) для початкового бездефектного стану тіла;  $M_m(\hat{\psi}) < 1$  ( $m = 1, \dots, N$ ) для незруйнованого стану і  $M_m(\hat{\psi}) = 1$  під час руйнування.

4. Вважаємо, що між пошкоджуваністю  $i$ -того типу й узагальнювальною пошкоджуваністю у будь-який момент часу  $t = \tau$ , що передує руйнуванню, є функціональний зв'язок  $\hat{\psi} = f(\hat{\psi}_1, \dots, \hat{\psi}_N, t)$ .

Серед процесів, які розглядатимуться, обмежимося явищами теплової, механічної, хімічної природи та деградацією матеріалу. Аналізуватимемо матеріал як твердий розчин та запишемо відповідні балансові рівняння.

Рівняння балансу маси:

$$\frac{d}{d\tau} \int_V \rho dV = - \int_{\Sigma} \bar{n} \cdot \bar{I}_\rho d\Sigma, \quad (1)$$

де  $\bar{I}_\rho$  — потік маси,  $\bar{n}$  — нормаль до поверхні.

Рівняння балансу ентропії:

$$\frac{d}{d\tau} \int_V s dV = - \int_{\Sigma} \bar{n} \cdot \bar{I}_s d\Sigma + \int_V \sigma_s dV, \quad (2)$$

де  $\bar{I}_s$  — потік ентропії,  $\sigma_s$  — потужність джерела ентропії.

Запишемо рівняння балансу пошкоджуваності  $i$ -того виду:

$$\frac{d}{d\tau} \int_V \hat{\psi}_i dV = - \int_{\Sigma} \bar{n} \cdot \hat{I}_i d\Sigma + \int_V \hat{\sigma}_i dV, \quad i = 1..n, \quad (3)$$

і загальне рівняння пошкоджуваності:

$$\frac{d}{d\tau} \int_V \hat{\psi} dV = - \int_{\Sigma} \bar{n} \cdot \hat{I}_\psi d\Sigma + \int_V \hat{\sigma}_\psi dV, \quad (4)$$

де  $\hat{\psi}$  — пошкоджуваність, що належить до одиниці об'єму,  $\hat{I}_\psi$  — потік пошкоджуваності (об'єкт тензорної природи третьої валентності),  $\hat{\sigma}_\psi$  — потужність джерела виробництва пошкоджуваності.

Подамо фізичну інтерпретацію рівняння (4). Вважаємо, що зміна пошкоджуваності в локальному об'ємі може відбуватися як через внутрішні джерела, так і зовнішні потоки. Зазначимо, що  $\hat{\sigma}_\psi$  може бути як «додатньо», так і «від'ємно» визначеною тензорною величиною, оскільки в матеріалі також може відбуватися «лікування» пошкоджуваності [3, 13].

При цьому утворення пошкоджуваності найчастіше пов'язують з напруженнями зсуву або розтягу, а «лікування» пошкоджуваності з напруженнями стиску [12, 15].

У припущенні безмоментної теорії пружності запишемо рівняння балансу кількості руху:

$$\frac{d}{d\tau} \int_V \rho \bar{v} dV = \int_{\Sigma} \bar{n} \cdot \hat{\sigma} d\Sigma + \int_V \left( \bar{F} - \bar{v} \cdot (\bar{\nabla} \cdot \bar{I}_\rho) \right) dV, \quad (5)$$

та балансу енергії:

$$\frac{d}{d\tau} \int_V e dV = \int_{\Sigma} \bar{n} \cdot \left( \hat{\sigma} \cdot \bar{v} - \bar{I}_Q - \mu \bar{I}_\rho + \hat{A}_1 \cdot \hat{I}_\psi \right) d\Sigma + \int_V \left( \bar{F} \cdot \bar{v} - \frac{\bar{v} \cdot \bar{v}}{2} (\bar{\nabla} \cdot \bar{I}_\rho) - \hat{A}_1 \cdot \hat{\sigma}_\psi \right) dV, \quad (6)$$

де  $\bar{F} = -s \bar{\nabla} T - \rho \bar{\nabla} \mu$ ,  $\hat{A}_1$  — екстенсивний параметр до тензора  $\hat{\psi}$ .

Зазначимо, що сила  $\vec{F}$  характеризує силову дію неоднорідного поля температур і хімічного потенціалу.

Запишемо зв'язок між початковою ( $\tau = \tau_0$ ) й актуальною конфігураціями ( $\tau = \tau_1$ ):

$$\rho dV = \rho_0 dV_0, \quad s dV = s_0 dV_0, \quad \sigma_s dV = \sigma_{s_0} dV_0, \quad \sigma_\eta dV = \sigma_{\eta_0} dV_0, \quad \bar{n}_0 \cdot \bar{I}_{s_0} d\Sigma_0 = \bar{n} \cdot \bar{I}_s d\Sigma$$

$$\bar{n}_0 \cdot \bar{I}_{\rho_0} d\Sigma_0 = \bar{n} \cdot \bar{I}_\rho d\Sigma, \quad \bar{n}_0 \cdot \bar{I}_{\eta_0} d\Sigma_0 = \bar{n} \cdot \bar{I}_\eta d\Sigma. \quad (7)$$

Тут величини з індексом «0» належать до початкової конфігурації, а без індексу до актуальної.

Після переходу в рівнянні (6) до параметрів, які належать до початкової геометричної конфігурації виділеної підсистеми, можна одержати таку локальну форму балансу повної енергії:

$$\frac{\partial e_0}{\partial \tau} = \bar{\nabla}_0 \cdot \left( \hat{\sigma} \cdot \bar{v}_0 - \bar{I}_Q - \mu \bar{I}_\rho + \hat{A}_1 \cdot \hat{I}_\psi \right) + \left( \bar{F} \cdot \bar{v} - \frac{\bar{v} \cdot \bar{v}}{2} (\bar{\nabla}_0 \cdot \bar{I}_\rho) - \hat{A}_1 \cdot \hat{\sigma}_\psi \right). \quad (8)$$

З використанням рівнянь (1)–(4) зі співвідношення (8) одержимо таке балансове рівняння для внутрішньої енергії:

$$\frac{\partial u_0}{\partial \tau} = \hat{\sigma} \cdot (\bar{\nabla}_0 \otimes \bar{v}_0) - \hat{A}_1 \cdot \hat{\sigma}_\psi + \bar{\nabla}_0 \cdot \bar{I}_Q + \bar{\nabla}_0 \cdot (\mu \bar{I}_\rho) + \bar{\nabla}_0 \cdot (\hat{A}_1 \cdot \hat{I}_\psi), \quad (9)$$

або:

$$\frac{\partial u_0}{\partial \tau} = \left( T \frac{\partial s_0}{\partial \tau} + \hat{\sigma} \cdot (\bar{\nabla}_0 \otimes \bar{v}_0) + \mu \frac{\partial \rho_0}{\partial \tau} - \hat{A}_1 \cdot \frac{\partial \psi_0}{\partial \tau} \right) + \left( (\bar{\nabla}_0 \otimes \hat{A}_1) \cdot \hat{I}_\psi - (\bar{\nabla}_0 \mu) \cdot \bar{I}_\rho - (\bar{\nabla}_0 T) \cdot \bar{I}_s - T \sigma_s \right). \quad (10)$$

Таке подання дає можливість записати квазірівноважний стан у вигляді співвідношень:

$$du_0 = T ds_0 + \hat{\sigma} \cdot d\hat{V}_0 + \mu d\rho_0 - \hat{A}_1 \cdot \hat{\psi}_0, \quad (11)$$

$$\sigma_s = \frac{1}{T} \left( (\bar{\nabla}_0 \otimes \hat{A}_1) \cdot \hat{I}_\psi - (\bar{\nabla}_0 \mu) \cdot \bar{I}_\rho - (\bar{\nabla}_0 T) \cdot \bar{I}_s \right), \quad (12)$$

$$\text{де } \bar{\nabla}_0 \otimes \bar{v}_0 = \frac{\partial \hat{V}_0}{\partial \tau}.$$

З аналізу співвідношення (11) можна дійти висновку, що внутрішня енергія  $u_0$  є функцією параметрів  $s_0$ ,  $\hat{V}_0$ ,  $\rho_0$ ,  $\hat{\psi}_0$ , тобто

$$u_0 = u_0(s_0, \hat{V}_0, \rho_0, \hat{\psi}_0). \quad (13)$$

За допомогою співвідношення:

$$f_0 = -u_0 + Ts_0 + \hat{\sigma} \cdot \hat{V}_0 + \mu\rho_0 - \hat{A}_1 \cdot \hat{\psi}_0, \quad (14)$$

уведемо іншу функцію стану  $f_0$ , для якої рівняння Гібса запишеться:

$$df_0 = s_0 dT + \hat{V}_0 \cdot d\hat{\sigma} + \rho_0 d\mu - \hat{\psi}_0 \cdot d\hat{A}_1, \quad (15)$$

Якщо функція  $f_0$  є заданою, то можна записати визначальні рівняння стану локальної термодинамічної рівноваги, як зв'язки між відповідними екстенсивними та інтенсивними параметрами.

*Аналіз функції утворення пошкоджуваності.* Велика кількість експериментальних досліджень показує, що як у металічних, так і неметалічних матеріалах під час зовнішніх навантажень, пошкоджуваність може утворюватися (у вигляді точкових або лінійних дефектів) або зникати (це явище дістало термін «заліковування пошкоджуваності»). Ці два явища можуть відбуватися в тілі одночасно або один з процесів може переважати [15].

Утворення пошкоджуваності пов'язують з механічними, тепловими або хімічними процесами, які відбуваються в тілі. На цей момент однією з найбільш визнаних теорій деградації матеріалу є термофлуктуаційна теорія С. М. Журкова [4].

На основі принципу температурно-часової суперпозиції було запропоновано функцію довговічності  $t_B = t_B(\sigma_E, T)$ , яка залежить у загальному випадку не тільки від напружень, але й від температури. При цьому вважається, що руйнування є процесом, який відбувається в часі, а критерій довготривалої міцності визначається температурою  $T$  й енергією активації процесу руйнування  $U(\sigma_E)$ . Згідно з уявленнями С. М. Журкова, основною причиною руйнування є температурний чинник, а механічне навантаження лише прискорює термічний розпад зв'язків кристалічної решітки. Однак потрібно враховувати, що одночасно з процесом розриву зв'язків відбувається процес їх відновлення. Ймовірність цих двох процесів однакова, тобто руйнування дорівнює нулеві, поки до тіла не підведена додаткова енергія. Температура відповідає за потенційну можливість руйнування, яка реалізується тільки при зовнішньому силовому впливі. Таким чином, флуктуаційно-кінетична теорія описує тільки утворення осередків пошкоджуваності, але не дає можливості прогнозувати поширення тріщин. Отож при квазістатичному навантаженні ця теорія доволі точно описує деградацію матеріалу, а при динамічному навантаженні, коли основними є зародження, зростання і поширення дефектів, цю теорію не варто застосовувати.

Для дослідження поведінки в умовах динамічних навантажень використовують NAG-моделі (від слів Nucleation and Growth — зародження і ріст). Ці моделі дають можливість описувати деякі види динамічного руйнування

(зокрема, руйнування відривом), але використання їх для опису деградації металічних матеріалів у загальному випадку є ускладненим через велику кількість різних уточшувальних коефіцієнтів [8].

Для опису утворення пошкоджуваності в неметалічних композиційних та функціонально-градієнтних матеріалах використовуються підходи, які базуються на використанні моделей середовищ спадкового типу. У цих моделях для опису пошкоджуваності використовуються функціонали, що містять оператори залежні від часу. При цьому утворення пошкоджуваності пов'язують в основному з силовим зовнішнім навантаженням.

Ґрунтовний аналіз сучасного стану світових досліджень деградації матеріалів та чинників, що на нього впливають, подано в монографії [14]. Автор докладно проаналізував кінетику деградації матеріалу, показав шляхи управління деградації матеріалу в часі. Серед явищ, які мають визначальний вплив на довговічність металічних систем, автор наголошує на теплових, механічних та дифузійних явищах. Недоліком цих підходів є відсутність розрахункових залежностей, які в загальному вигляді зв'язують довговічність процесами різної природи.

Сьогодні менш дослідженим є відновлення або «самолікування» пошкоджуваності. Майже всі дослідники зміни пошкоджуваності в різних умовах експлуатації акцентують увагу на факті заліковування внутрішніх дефектів, але накопичений на цей момент об'єм експериментальних даних і складність фізичного процесу «заліковування» матеріалу не дає можливості визначити і встановити узагальнені аналітичні залежності зменшення пошкоджуваності матеріалу залежно від умов експлуатації. Експериментальне та аналітичне вивчення явища заліковування дефектів подано у працях [11, 12].

Зазначимо основні якісні закономірності утворення та відновлення пошкоджуваності.

Утворення пошкоджуваності пов'язують з силовими, температурними та дифузійними чинниками, причому найбільш вивченими є вплив перших двох. Джерелом пошкоджуваності є розтягальні або зсувні напруження, які є основним чинником при утворенні точкових або лінійних дефектів. Лікування або відновлення пошкоджуваності можливе при стискаючих напруженнях, коли дефект не досяг критичного розміру  $\epsilon_{кр}$ . Збільшення температури дає можливість заліковувати дефекти з більшими розмірами.

Аналітично невивченим залишається вплив дифузії на підвищення довговічності матеріалу, хоча за допомогою керованих потоків маси можна суттєво змінювати довговічність металічних систем, зокрема в умовах тертя [5].

*Фізичне трактування пошкоджуваності. Способи введення тензора пошкоджуваності.* У деяких працях, зокрема в [10, 18], пошкоджуваністю називають зменшення пружного відгуку тіла внаслідок скорочення ефективної площадки, що передає внутрішні зусилля від однієї частини тіла до іншої, яка зумовлена появою і розвитком поля мікрodefektів.

Отож уводять параметр  $\xi(\vec{n})$  як орієнтаційний розподіл пошкоджуваності:

$$\xi(\vec{n}) = \frac{dA^*(\vec{n})}{dA(\vec{n})}, \quad (16)$$

де  $dA^*(\vec{n})$  — ефективна площа елемента без пошкоджуваності,  $dA(\vec{n})$  — ефективна площа з урахуванням пошкоджуваності.

Якщо орієнтаційний розподіл пошкоджуваності трактувати як квадратичну форму компонентів одиничного вектора  $\vec{n}$  -  $\xi = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 C_{ij} n_i n_j$ , то тензор пошкоджуваності визначають:

$$D = I - \sqrt{C}, \quad (17)$$

у вигляді тензора другого рангу або рангу  $2s$ :

$$D = I - \sqrt[2s]{C}. \quad (18)$$

У працях прикладного спрямування [9], пошкоджуваність у матеріалі металічних систем зв'язують за допомогою функціональних залежностей з пластичністю матеріалу або швидкістю деформування. На основі запропонованих співвідношень уводять систему інваріантів, яка дає можливість прогнозувати довговічність розглядуваного об'єкта.

Слід зауважити, що сьогодні повністю не сформовано загальноприйнятого поняття пошкоджуваності [2], тому автори використовують різні означення і трактування цього терміна.

Отже, у статті проаналізовано сучасний стан розвитку фізичних уявлень про деградацію матеріалу металічних систем в умовах зовнішніх навантажень.

З використанням підходів термодинаміки запропоновано варіант конструктивної побудови математичної моделі поведінки металічних систем з урахуванням взаємопов'язаних процесів, механічної, теплової, дифузійної природи та накопичення пошкоджень. Одержані рівняння для опису локального термодинамічного стану і дисипативних процесів є базовими для подальшого формулювання відповідних крайових задач та кількісної оцінки міцності і довговічності металічних систем у різних умовах експлуатації.

1. Ахундов М. Б. Деформирование, рассеянное разрушение и критерии прочности неупругих композитов / М. Б. Ахундов // Механика твердого тела. — 1988. — № 2. — с. 112–117.
2. Бобырь Н. И. Методика определения накопления повреждений в металлических конструкционных материалах при сложном упругопластическом нагружении / Н. И. Бобырь, А. П. Грабовский, А. В. Тимошенко, А. П. Халимон // Проблемы прочности. — 2006. — № 1. — с. 128–137.
3. Владимиров В. И. Физическая природа разрушения металлов / В. И. Владимиров. — М.: Металлургия, 1984. — 280 с.
4. Журков С. Н. Связь между прочностью и ползучестью металлов и сплавов / С. Н. Журков, Т. П. Санфирова // Журнал технической физики. — 1958. — № 8. — с. 1719–1726.
5. Ибатуллин И. Д. Кинетика усталостной поврежденности и разрушения

поверхностных слов / И. Д. Ибатуллин. — Самара : Самарский гос. техн. ун-т, 2008. — 387 с.

6. Ильющин А. А. Об одной теории длительной прочности / А. А. Ильющин // Механика твердого тела. — 1967. — № 3. — с. 21–35.

7. Качанов Л. М. О времени разрушения в условиях ползучести / Л. М. Качанов // Изв. АН СССР. ОТН. Механика и машиностроение. — 1958. — № 8. — с. 26–31.

8. Кукуджанов В. Н. Компьютерное моделирование деформирования, повреждаемости и разрушения неупругих материалов и конструкций: учеб. пособие / В. Н. Кукуджанов. — М. : МФТИ, 2008. — 215 с.

9. Михалеви́ч В. М. Математичне моделювання механіки формоутворення при холодному торцевому розкочуванні та ротаційній витяжці / В. М. Михалеви́ч, В. О. Красвський. — Вінниця : Універсум-Вінниця, 2008. — 188 с.

10. Мурамаки С. Математическая модель трехмерного изотропного состояния поврежденности / С. Мурамаки, Ю. Н. Радаев // Механика твердого тела. — 1996. — № 4. — с. 93–110.

11. Петров А. И. Кинетика залечивания пор и упрочнения меди при всестороннем сжатии / А. И. Петров, М. В. Разуваева // Журнал технической физики. — 2002. — Т. 72. — Вып. 8. — с. 130–132.

12. Петров А. И. Начальная стадия процесса залечивания пор и трещин в поликристаллических металлах в условиях всестороннего сжатия / А. И. Петров, М. В. Разуваева // Физика твердого тела. — 2005. — Т. 45. — Вып. 5. — с. 880–885.

13. Прочность материалов и конструкций / под ред. В. Т. Трошенко. — К. : Академперіодика, 2005. — 1088 с.

14. Работнов Ю. Н. Механизм длительного разрушения / Ю. Н. Работнов // Вопросы прочности материалов и конструкций. — М. : Изд-во АН СССР, 1959. — с. 5–7.

15. Селиванов В. В. Механика разрушения деформируемого твердого тела / В. В. Селиванов. — М. : МГТУ, 1999. — 420 с. (Прикладная механика сплошных сред; Т.2).

16. Суворова Ю. В. О критерии прочности, основанном на накоплении поврежденности, и его приложении к композитам / Ю. В. Суворова // Механика твердого тела. — 1979. — № 4. — с. 107–111.

17. Фізико-математичне моделювання складних систем / за ред. Я. Й. Бурака. — Львів : Сполом, 2004. — 264 с.

18. Maugin G. A. The thermomechanics of plasticity and fracture / G. A. Maugin. — Cambridge: Cambridge University Press, 1992. — 350 p.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДХОДОВ ТЕРМОДИНАМИКИ ДЛЯ КОНТИНУАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК**

*Предложен вариант термодинамического описания изменения долговечности металлических систем в условиях внешних нагрузок. Проанализированы полученные соотношения и показана их связь с имеющимися подходами моделирования деградации материалов.*

## **TAKING APPROACH THERMODYNAMICS IS FOR KONTINUAL'NOGO OF DESCRIPTION OF CHANGE OF LONGEVITY OF METALLIC SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF EXTERNAL LOADINGS**

*The variant of the thermodynamics description of durability change of metal systems in the conditions of external loading is offered. The received parties are analyzed and their communication with existing approaches of modeling of materials degradation is shown.*

*Стаття надійшла 09.03.2010*