

методом пошуку мінімального значення часу перебування заявки в обчислювальній системі або мінімальної її вартості (залежно від постановки задачі)

3. Як початкову точку розрахунку при $M > 1$ можна рекомендувати розподіл швидкодії, отриманий при $M = 1$ і $A = 1/2$.

1. Основы теории вычислительных систем./ Под. ред. С.А.Майорова, - М., 1978.

2. Лукашук Л.О. Оптимальний розподіл швидкодії між пристроями обчислювальної системи ДУ"ЛП", К. 1995.

3. Лукашук Л., Цмоць І., Шийка І. Автоматизація розрахунку характеристик обчислювальних систем на основі замкнених стохастичних сіткових моделей// "Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології", №413, 2000.

УДК 681.3:551.568.85:539.2

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК У ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ МЕТАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ІМОВІРНІСНОГО ПІДХОДУ

© О. Гук, Я. Підгірняк, П. Сопрунюк, В. Юзевич

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ

Проаналізовано результати використання ймовірнісного підходу для аналізу фізичних характеристик металів, отриманих на основі комп'ютерного моделювання. Проведена оптимізуюча конкретизація програм, зв'язана з виконанням оптимізуючих перетворень для підвищення якості програм при збереженні мовного рівня їх подання.

Results of use probability the approach for the analysis of physical characteristics of the metals received on a basis of computer modelling are analysed. The carried out optimizing concrete definition of programs which are connected with performance of optimizing transformations for improvement of quality of programs at preservation of a language level of their representation.

Властивості матеріалів, їх хімічний склад, структура, обробка, режими експлуатації пов'язані з методами, використання яких дозволяє формувати нові матеріали. Це так звані структурні методи, зокрема, методи мікроскопічного, макроскопічного та рентгенівського аналізу, методи, які базуються на зв'язку між структурою та власти-

востями матеріалу [1]. Існує тісний взаємозв'язок між властивостями матеріалів та їх внутрішньою будовою. Зокрема, у такому взаємозв'язку важлива роль належить поверхневим ефектам [2].

Оскільки інформація про поверхню твердих тіл розгалужена й складна, то відповідні інформаційні потоки постійно нарощуються. Локальні дані, необхідні для детального вивчення фізичних характеристик поверхонь, можуть бути систематизовані й використані для формування потрібної інформації на основі масивів даних [3]. Ці знання важливі для обробки інформації про нові досконаліші зміцнювальні покриття металів та для формування баз даних стосовно розробки нових типів наноструктурних та нанофазних матеріалів. Важливе місце в такого роду дослідженнях належить графічним базам даних про поверхню чистих металів [1].

Теоретичні та практичні аспекти розробки й функціонування графічних баз даних достатньо добре вивчені. Але все ще взаємозв'язок між структурою матеріалу (металу) і обробкою та розпізнаванням зображень, які отримаємо у процесі діагностики поверхневих фаз, недостатньо розвинуті. Це тому, що недостатньо детально вивчені особливості взаємодії електричних і механічних полів поблизу поверхні і їх вплив на структуру. Особливості такої взаємодії можна аналізувати на основі графічних даних і обробляти з допомогою комп'ютерних технологій [1].

Розглянемо аналітичну модель для оцінки параметрів поверхневих шарів металів у рамках нерівноважної термодинаміки та фізики поверхні [2]. Відповідні математичні моделі зразки металів належать чутливим елементам інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), які використовуються для діагностики поверхні металів. Для ефективного функціонування ІВС [4] потрібно знати особливості взаємодії електричного й механічного полів в області такої неоднорідності, як поверхневий шар металу, зокрема, під час радіаційного опромінення та температурних змін.

Для обґрунтування методики оцінки поверхневої енергії та її змін під дією радіаційного опромінення для ряду металів розроблено обчислювальну процедуру на основі системи макроскопічних термодинамічних рівнянь [2,4] і мікроскопічного співвідношення типу Борна-Майєра [5].

Розглянемо зразок металу в неактивному неполяризованому газовому середовищі (повітрі). Нехай область $x > 0$ (V_1) займає метал, а $x < 0$ (V_2) – повітря (x, y, z – декартові координати).

Основні рівняння моделі такі [2,4]:

$$s_h = \int_0^h s_y \cdot dx, s_y = s_z, \quad (1)$$

$$s_y + p = 0 \quad (p = 100 \text{ МПа} - \text{атмосферний тиск}), \quad (2)$$

$$g = g_1 + \xi g_2, \quad (3)$$

$$\partial g / \partial k = \partial (g_1 + \xi g_2) / \partial k = 0, \quad (4)$$

$$\varphi_g = -F_0, s_x = -(\epsilon_0 / 2)(\partial \Psi / \partial x)^2 \text{ при } x = 0, \quad (5)$$

$$s_{ij} = E(ne/(1+n) - b\phi/3)\delta_{ij}/(1-2n) + Ee_{ij}/(1+n);$$

$$i \omega_v = \rho\omega = \epsilon_0 k^2 \phi + bEe/(3(1+n)). \quad (6)$$

Тут h – ефективна товщина поверхневого шару; b, k, ξ – фізичні характеристики матеріалу; s_{ij}, e_{ij} – компоненти тензорів напружень $\hat{\sigma}$ і деформацій ($i, j = 1, 2, 3$); $s_{11} = s_x; s_{22} = s_y; \delta_{ij}$ – символи Кронекера; e – перший інваріант тензора деформацій; ρ – густина матеріалу; ω_v, ω – просторова і масова густини електричного заряду; E, n – пружні постійні (модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона); $\phi = F - F_0$ – відхилення модифікованого потенціалу F електричних зарядів від його рівноважного значення F_0 в об'ємі тіла далеко від поверхні (F прямо пропорційний хімічному потенціалу електронів провідності і обернено пропорційний густині їхніх електричних зарядів; ϕ_g – граничне значення параметра ϕ ; Ψ – скалярний потенціал напруженості електричного поля ($\Delta\Psi$ – зміна потенціалу напруженості електричного поля в межах подвійного електричного шару

поблизу границі тіла); $g_1 = \int_0^h w_1 dx; g_2 = \int_0^h w_2 dx; w_1 = (\epsilon_0/2) \cdot (\partial\Psi/\partial x)^2; w_2 = s_x(s_x - 4ns_y)/(2E) + (1-n)(s_y)^{2/E}; z = \xi g_2/g$ – вміст механічної складової у поверхневій енергії; співвідношення (6) – рівняння стану.

3 рівнянь стану (6) і співвідношення (3) впливають означення коефіцієнтів b, k, ξ : $k^2 = (\rho/\epsilon_0)\partial\omega/\partial\phi|_{e=\text{const}}$; $b = 3((1+n)/E)\partial\omega/\partial e|_{\phi=\text{const}}$; $\xi^{-1} = \partial g_2/\partial g|_{g_1=\text{const}}$. Коефіцієнт ξ – безрозмірний, а розмірності b, k відповідно В^{-1} і м^{-1} . Фізичну величину b називають електрострикційним коефіцієнтом об'ємного розширення, $k = (\rho C_\phi/\epsilon_0)^{0,5}$; C_ϕ – питома електроємність локального елемента тіла ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична постійна). Можна вважати, що k^{-1} чисельно рівне віддалі, на якій потенціал електричного поля зменшується в e разів із віддаленням від поверхні електропровідного тіла в його глибину ($e = 2,718$ – основа натуральних логарифмів).

Співвідношення (1)–(4) являють собою систему чотирьох рівнянь для визначення фізичних ξ, b, k і геометричної h характеристик поверхневого шару металів, (5) – граничні умови.

Враховуємо зміщення Z_B подвійного електричного шару на границі тіла [2]

$$Z_B = \frac{3}{4 \cdot k_F} \cdot \left[\frac{\pi}{2} + \left[\frac{E_F}{W_V} - 1 \right] \cdot \arctg \sqrt{\frac{W_V}{E_F} - \sqrt{\frac{E_F}{W_V}}} \right]. \quad (7)$$

Тут W_V – робота виходу електрона з металу; k_F – хвильовий вектор Фермі; E_F – кінетична енергія електрона на рівні Фермі (рівень Фермі); $\pi = 3,14159$.

Для обґрунтування моделі (1)–(6) використаємо також методику [2] мікроскопічного підходу до взаємодії атомів металу з врахуванням радіально симетричного потенціалу центральних сил (Борна-Майєра) [2]

$$U_{\alpha\beta} = q^2/R_{\alpha\beta} - C_{\alpha\beta}/(R_{\alpha\beta})^6 - d_{\alpha\beta}/(R_{\alpha\beta})^8 + b_{\alpha\beta} \cdot \exp(-R_{\alpha\beta}/\rho_q). \quad (8)$$

Тут q – електричний заряд частинок; $R_{\alpha\beta}$ – довжина вектора, що з'єднує частинки "α"

і " β "; $C_{\alpha\beta}$, $d_{\alpha\beta}$, $b_{\alpha\beta}$ – постійні (фізичні характеристики матеріалу); ρ_q – параметр "жорсткості".

Потенціал $U_{\alpha\beta}$ являє собою суму кулонівської, вандерваальсівської та відштовхуючої складових. У розрахунках поверхневого натягу і поверхневої енергії ігнорувалась кінетична енергія атомного руху, а потенціальна енергія кристала оцінювалась методами сумування по статичній ґратці. Крім того, враховано поправки на неідеальність кристала (нааявність границь зерен, дислокацій і т. д.), а також поправки для вдосконалення між-іонних парних потенціалів поверхневих областей простих металів.

Механічні параметри стану s_x і s_y у поверхневому шарі тіла знаходимо за допомогою формул (1)–(5), подаючи напруження і деформації у ряди за малим параметром $b_m = bF_0$ аналогічно, як у працях [6,7].

Для вдосконалення процедури проведення числових розрахунків у випадку конкретних задач використано новий для даного класу задач підхід інформаційних технологій – імовірнісний підхід для аналізу числових значень фізичних характеристик (металів), які входять у рівняння стану. Обчислювальний експеримент проведено для паладію, вольфраму, ванадію й свинцю. Відповідні числові розрахунки досить складні та громіздкі. Автоматизацію математичних обчислень реалізовано за допомогою двох програм.

Для комп'ютерних розрахунків алгоритми запрограмовано на основі базових структур керування та елементарних вбудованих типів даних, а також за допомогою механізму створення нових складених структур даних, таких як масиви й структури [8]. Доступ до даних на ПЕОМ здійснено через інтерфейс, в якому закладено синтаксис та семантику операцій над даними. Зміст абстрактності даних полягає в тому, що властивості типу даних визначаються інтерфейсом, а від деталей його реалізації абстрагуються.

Результати обчислювального експерименту стосовно визначення фізичних ξ , b , k , $C_{\alpha\beta}$, $d_{\alpha\beta}$, $b_{\alpha\beta}$, ρ_q і геометричних h , Z_B характеристик поверхневого шару металів (Pd , W , V , Pb) отримані на основі пасивного обчислювального експерименту, що робить досить проблематичним одержання відповідної стійкої імовірнісної моделі, яка би адекватно відображала вказані характеристики.

У працях [9,10] наведено два варіанти алгоритмів, що дозволяють одержати стійку імовірнісну математичну модель для пасивного експерименту. На їх основі для побудови імовірнісної моделі використовуємо багатофакторні степеневі поліноми, які зв'язують функції відгуку (параметри оптимізації, тобто фізичні характеристики матеріалу) із коефіцієнтами поліномів. Визначення чисельного значення коефіцієнтів поліноміальної моделі здійснюється на основі використання матричного рівняння:

$$[K] = [R^*R]^d [R^*][N]. \quad (9)$$

Тут $[K]$ – вектор коефіцієнтів поліноміальної моделі; $[R]$ – матриця результатів обчислювального експерименту; $[R^*R]^d$ – інформаційна матриця (символ $(^*)$ указує, що відповідна матриця $[R]$ транспонована); $[N]$ – вектор значень функції відгуку, отриманих на основі експерименту, а також обчислювального експерименту; $[D] = [R^*R]^d$ – дисперсійна матриця.

Алгоритм і програма генерації інформаційної матриці наведені у праці [9], а алго-

ритм і програма розв'язання одного з варіантів матричного рівняння (8) на макромові *MATLAB* описані у [10].

Кількісну оцінку властивостей інформаційної матриці можна одержати за допомогою критеріїв оптимальності. Для розв'язання поставленої задачі скористаємося двома критеріями оптимальності: *D*- і *G*- оптимальності [11,12].

З допомогою критерію *D*-оптимальності формуємо розрахункову математичну модель, що має добрі прогностичні (інтерполяційні) властивості. Експериментальним даним про числові значення енергетичних характеристик і параметрів стану металів, оптимальним за розробленим критерієм, відповідає найбільш конструктивний визначник інформаційної матриці.

На основі критерію *G*-оптимальності досягаємо найменшої величини максимальної дисперсії оцінки залежної змінної у досліджуваній області факторного простору. Критерій *G*-оптимальності вимагає максимальної точності оцінки залежної змінної, тобто застосування *G*-оптимального підходу дає досліднику деяку гарантію, що в області визначення досліджуваних функціональних залежностей не виявиться зон, у яких точність оцінки функції компромісу *M* занадто низька.

Критерії *D*- і *G*- оптимальності еквівалентні між собою [13]. При цьому для довільної точки факторного простору точність прогнозу залежить від матриці [*D*]. Оскільки результати аналізу моделі (1)–(6) належать до пасивного експерименту, то для оцінки прогностичних властивостей математичної моделі незалежно від результатів обчислювального експерименту може бути використане поняття міри точності.

Враховуючи наведені залежності (1)–(6), сформульовано описовий алгоритм для забезпечення стійкості математичної моделі (1)–(6), який отримано на основі аналізу даних пасивного експерименту:

- крок 1. З отриманого набору даних вибираємо такий спектр точок, що відповідає хоча б наближено умові *D*-оптимальності.
- крок 2. Обчислюємо коефіцієнти апроксимуючого полінома.
- крок 3. Гіпотезу про адекватність даної моделі перевіряємо порівнянням розрахункових значень параметра оптимізації з контрольними значеннями, включеними у вихідні дані.
- крок 4. Уточнюємо критерій оптимальності.
- крок 5. Якщо гіпотеза про адекватність отриманої статистичної моделі не виконується, то підраховуємо координати точки, у якій міра точності максимальна. З відкинутих на початковому етапі точок вибираємо таку, координати якої найбільше відповідають критеріальним співвідношенням.
- крок 6. Повторюємо дії з кроку 2. Розрахунок зупиняється тоді, коли приймається гіпотеза про адекватність отриманої моделі вихідним даним і не змінюється вигляд моделі при додаванні нових даних, підібраних за допомогою критеріальних співвідношень у вихідний план досліджень.

Щоб реалізувати описаний алгоритм, крім програм обчислювального експерименту для визначення наближень параметрів стану на основі методу малого параметра, розроблено дві програми.

Перша програма призначена для генерації матриці повнофакторного експерименту. Необхідно вказати число факторів. Якщо число факторів менше за 5, то перед зайвими

операторами варто поставити певний знак. Якщо число факторів більше ніж 5, то варто дописати, за аналогією, потрібне число вкладених циклів *for*, а усередині початкового вкладеного циклу – оператори присвоювання елементів матриці g_m . Крок генерації рекомендується залишати рівним 1, тоді генерується матриця трирівневого багатфакторного експерименту.

За допомогою другої програми розраховуємо міри точності коефіцієнтів апроксимуючих поліномів у будь-якій точці факторного простору, згенерованого за допомогою отриманої статистичної моделі. Для її функціонування потрібна матриця експерименту, що зберігається у зовнішньому текстовому файлі *X.dat*. Матриця експерименту містить фактори, які розташовані по стовпцях, а в останньому стовпці розміщені координати вектора – стовпець результатів обчислювального експерименту. При плануванні обчислювального експерименту фактори з натуральних змінних переводяться в кодовані з врахуванням відповідних обмежень. У зовнішньому текстовому файлі *nz.dat* знаходиться матриця розміром $(m_z \times 3)$, де m_z – число членів нелінійної частини ймовірнісної моделі, які визначають нелінійну частину. Вихідна інформація формується у матриці d_z , у якій в першому стовпці знаходяться розраховані значення мір точності, у наступних стовпцях – координати точок досліджуваного гіперпростору. Програма 2 дає можливість розрахунку мір точності від 1 до 5-ти факторів.

Стосовно певного коефіцієнта, який апроксимується поліномом, розглянемо систему, що складається з M комірок і N параметрів, які випадково розподілені у цих комірках. При безмежному наборі таких систем розподіл N параметрів по M комірках є поліноміальним [14]. Стан системи характеризуємо набором чисел

$$\{k_1, k_2, \dots, k_M\}, \quad (10)$$

де $k_1 + k_2 + \dots + k_M = N$; k_i – число параметрів у i -й комірці.

Ймовірність знаходження системи у стані (10) в момент часу t позначимо $P(k_1, k_2, \dots, k_M, t)$. Розглянемо зміну $P(k_1, k_2, \dots, k_M, t)$ внаслідок такого процесу: за час Δt з будь-якої випадково вибраної комірки вибирається значення деякого параметра (наприклад, ξ) і порівнюється із значенням аналогічного параметра в довільній іншій випадково вибраній комірці і т. д. У результаті таких порівнянь намагаємось встановити, яким буде розподіл $P(k_1, k_2, \dots, k_M, t)$ при числі порівнянь, що прямує до безмежності.

Розглянемо спочатку систему із двох комірок ($M = 2$) і трьох параметрів ($N = 3$). Зокрема як параметри розглядаємо: а) ξ ; б) b ; в) k . Стан системи із двох комірок визначається парою чисел з інтервалу $[0, N]$ (у даному випадку $[0, 3]$). Ймовірність для першої комірки – k_1 , для другої – k_2 ($k_1 + k_2 = N$). Позначимо $P(k_1, k_2, t) = P(k_1, N - k_1, t) = P(k, t)$, беручи до уваги позначення $k_1 = k$. Заданому процесу зміни станів у певній комірці відповідає система рівнянь, для якої символом j позначаємо номер процесу зміни станів:

$$\begin{aligned} P_{j+1}(0) &= 3P_j(0)/4 + P_j(1)/4; \\ P_{j+1}(k) &= P_j(k-1)/4 + P_j(k)/2 + P_j(k+1)/4; \\ P_{j+1}(N) &= 3P_j(N-1)/4 + 3P_j(N)/4; \quad (k = 1, 2, 3, \dots, N-1), \end{aligned} \quad (11)$$

де $P_j(k) = C_k$ – початкові умови; $P(k) = 1$ – умови нормування. Коефіцієнт $3/4$ у першому рівнянні виникає тому, що зміна параметра в порожній комірці не змінює її стану.

Як відомо [14], система рівнянь (11) описує випадкові зміни значення параметра на відрізьку $[0, N]$ із відбиваючими екранами в точках 0 і N .

Розв'язання задачі (11) при $j \rightarrow \infty$ дає стаціонарний розподіл $P(k) = \text{const}$, де const визначається з умов нормування і $P(k) = 1/(k+1)$ ($N+1$ – число станів системи, включаючи стан, який ми позначимо цифрою "0"). Отже, при $j \rightarrow \infty$ система з рівною ймовірністю може опинитися в будь-якому стані з $[0, N]$.

Встановлено, що в результаті процесу довготривалої зміни станів виникає стаціонарний розподіл (П-розподіл [14]), що відповідає рівній ймовірності знайти будь-який стан системи при $t \rightarrow \infty$. Цей новий розподіл не залежить від початкового, який у випадку двох комірок є біноміальним.

Порівняємо властивості біноміального (початкового) і стаціонарного розподілів:

а) біноміальний

$$P_0(k) = (0,5)^N N! / (k!(N-k)!) - \text{ймовірність}; \quad (12)$$

$$(D_0)^2 = (k^2)_c - ((k)_c)^2 = k/2 = N/4 - \text{дисперсія};$$

$$f_0 = ((k^2)_c - ((k)_c)^2) / (k)_c = 1 / ((k)_c)^{0,5} \sim (N)^{0,5} - \text{відносна флуктуація}; \quad (13)$$

б) П – розподіл

$$P_b(k) = 1/(N+1); k_b = N/2; D_b = ((k)_c)^2/3 = N^2/12;$$

$$f_b = ((k^2)_c - ((k)_c)^2) / (k)_c = 1/3. \quad (14)$$

Як видно з (13), дисперсія зростає пропорціонально квадрату числа варіантів, а відносні флуктуації не зменшуються з ростом N , на відміну від біноміального розподілу. Це показує, що у випадку П-розподілу різко зростає ймовірність знайти число параметрів у комірці, що перевищує середнє.

Оцінку адекватності моделі вихідним даним варто здійснювати порівнянням дисперсії відхилення розрахункових значень параметра оптимізації з вихідними значеннями, і дисперсії відхилення розрахованих значень параметра оптимізації із значеннями у точках, що не входять у план експерименту. Оцінку здійснюємо за критерієм Фідера [11,12].

Подальший етап пошуку оптимальних співвідношень між визначальними факторами проходить з використанням відомих оптимізаційних алгоритмів (градієнтних чи симплексних [13]) до отриманої моделі у вигляді багатофакторного полінома.

Використовуються також оптимізуючі перетворення програм [15]. Має значення для наявного набору оптимізуючих перетворень вибір порядку перетворень. Це особливо важливо для підвищення якості програм. Розроблено механізм виконання послідовності не тупикових перетворень. Оптимізаційний ефект зв'язаний із заміною складних обчислень на більш прості. При цьому оцінюється складність обчислень і гарантується збереження змісту програми загалом. Розроблено відповідні правила перетворення (транс-

формації) у вигляді контекстних умов. Вони забезпечують умови на допустимі зв'язки перетвореного фрагмента з наступними частинами програм.

Важливою характеристикою оптимізуючих перетворень є вдосконалення ділянки економії. Під ділянкою економії розуміємо мінімальну частину програм, всередині яких проходять усі зміни програм і семантика яких гарантує коректність і доцільність даного типу оптимізації відносно до всієї програми. Використовується локальна оптимізація, для якої ділянка економії включає по два сусідніх оператори.

У процесі обчислювального експерименту при використанні даних пасивного експерименту для формування статистичних моделей, що описують зміну коефіцієнтів моделі (1)–(4) у часі, не використовувався кількісний принцип відбору даних як не-ефективний. З наявного набору даних використовувались тільки такі точки, для яких визначник інформаційної матриці, що входить у матричне рівняння (9), буде максимальний. Тільки у цьому випадку розв'язок системи відповідних рівнянь буде стійким. Дані, що залишилися, були використані для перевірки гіпотези про адекватність отриманої статистичної моделі.

Структурні методи дослідження матеріалів і методи мікроскопічного аналізу широко використовуються для вивчення поверхні металів. Перевага цих методів полягає в тому, що між структурою металу і його властивостями існує якісний зв'язок. Це дозволяє методами діагностики вивчати особливості змін механічних, фізичних і хімічних властивостей при відповідних змінах у структурах, а також виявляти їх причини. За даними структурних досліджень можливо вказати шляхи ефективного покращення структури й властивостей металів.

Об'єктом дослідження в структурних методах є дані комп'ютерної графіки, на яких достатньо добре розпізнаються елементи матеріалу. Інформація про поверхню зразка металу вводиться в комп'ютер у вигляді зображення. Уведення графічних даних у комп'ютер – це отримання зображення на фотопластині за допомогою мікроскопа з подальшим використанням пристрою введення (телекамери, сканера) для занесення його у комп'ютер як вихідного для подальшої обробки та аналізу. Для якісного візуального сприйняття, ефективного розпізнавання й аналізу графічних даних виникає необхідність у проведенні фільтрації і попередньої обробки графічних даних, зашумлених і спотворених технічними засобами отримання зображення.

Подані вище задачі характеризуються великими обсягами інформації, складністю та формалізованістю правил. Такі особливості відповідних проблем зумовлюють постійну актуальність вдосконалення засобів аналізу на основі широкого застосування комп'ютерних технологій на всіх етапах обчислювального експерименту.

Результати числових розрахунків

Використовуючи дані про вплив радіаційного опромінення на відомі фізичні характеристики металів [16-21] з урахуванням відповідних змін модулів Пуассона n і Юнга E , а також значний обсяг числової інформації [22-27] довідникового характеру, на основі обчислювального експерименту розраховано фізичні характеристики ξ , b , k , $C_{\alpha\beta}$, $d_{\alpha\beta}$, $b_{\alpha\beta}$, ρ_g поверхневих шарів для металів (Pd , W , V , Pb). Деякі з отриманих характеристик подано у таблиці.

Тут – $g_1 = g/g_c$; $g_c = 1$ Дж/м²; $k_1 = k/k_c$; $k_c = 10^{-10}$ м⁻¹;

15. Касьянов В.Н. Оптимизирующие преобразования программ. М., 1988.
16. Дамаск А., Динс Дж. Точечные дефекты в металлах. М., 1966.
17. Динс Дж., Виниард Дж. Радиационные эффекты в твердых телах. М., 1960.
18. Конобеевский С.Т. Действие облучения на материалы. М., 1967.
19. Томпсон М. Дефекты и радиационные повреждения в металлах. М., 1971.
20. Точечные дефекты в твердых телах / Под. ред. Б.И.Болтакса, Т.В.Машовец, А.Н.Орлова. М., 1979.
21. Физическое металловедение / Под. Ред. Р.Кана. В 3-х т. М., 1968. Т.3.
22. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела М., 1978.
23. Поверхностные свойства твердых тел/Под. ред. М. Грина. М., 1972.
24. Таблицы физических величин: Справочник. М., 1976.
25. Юзевич В. М. Критерії міцності твердого тіла з урахуванням розмірного ефекту і впливу середовища/Фізико-хімічна механіка матеріалів. 1999. № 2. С.80-85.
26. Eustathopoulos N., Joud J.-C. Interfacial tension and adsorption of metallic systems//Current Topics in Material Science. 1980. Vol. 4. P. 281-360.
27. Price C.W., Hirth J.P. Surface energy and surface stress tensor in an atomistic model//Surface science. 1976. Vol. 57, No. 2, P. 509-522.

УДК 681.324

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО РІВНЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

© А. Гвоздик, К. Обельовська

Національний університет "Львівська політехніка"

Для дослідження транспортного рівня комп'ютерних мереж запропонована імітаційна модель, що базується на об'єктно-орієнтованому підході.

The simulation model for computer networks transport level analysis is offered. The model is based on object-oriented technique.

Програми моделювання передачі даних в комп'ютерних мережах є потужним засобом для аналізу продуктивності комп'ютерних мереж та їх проектування. Такі програми дозволяють детально дослідити процеси, що лежать в основі тих чи інших алгоритмів, виділити найбільш критичні параметри і визначити ступінь їх впливу на продуктивність протоколів.

Архітектура сучасних комп'ютерних мереж передбачає в своєму складі транспортний рівень. Основним протоколом, що відповідає транспортному рівню, є протокол