

В.П. Іващенко, Г.Г. Швачич, М.О. Ткач

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДБОРУ КОМПОНЕНТІВ МОДУЛЬНОЇ БАГАТОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ В ЗАДАЧІ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛОВИРОБУ

Анотація. Дослідження проблеми підбору компонентів модульної багато-процесорної системи в задачі термічної обробки металовиробу. Статтю присвячено дослідженню проблеми узгодження можливостей процесорів і мережевого інтерфейсу в багатопроцесорних обчислювальних системах. Основна увага приділяється дослідженню ефективності й прискорення обчислень для розв'язування задачі термічної обробки металовиробу за рахунок застосування багатопроцесорних обчислювальних систем. Виведено аналітичні співвідношення для отримання оптимального числа вузлів багатопроцесорної системи через її параметри.
Ключові слова: багатопроцесорна обчислювальна система, прискорення, ефективність, коефіцієнт завантаження обчислювальної мережі, обчислювальні вузли.

Вступ

Аналіз об'єкта досліджень. У даний час термічна обробка (ТО) металу є найбільш перспективним способом докорінного покращення споживчих якостей металовиробів. При цьому сталь для холодної висадки повинна мати у початковому стані структуру зернистого перліту оціненим певним балом, тобто такого, що має глобулярну форму карбідної фази певного розміру. Для отримання структури з частково або повністю сфероїдизованою карбідною фазою металовироби піддаються сфероїдизівному відпалюванню. Щоб вирішити окреслені вище проблеми, було розроблено установку для термічної обробки довгомірного сталевого виробу [1]. При цьому, дослідження, спрямовані на вивчення особливостей термічної обробки металу за допомогою такої установки, набули свого розвитку в роботах [2 – 6]. Розроблена установка призначена для термічної обробки металів і сплавів. Застосування установки має на меті поліпшення технологічних властивостей

металопрокату за рахунок забезпечення високої дисперсності й однорідності структури зразка на всій площині його перерізу. При цьому технологічний процес термічної обробки сталі повинен набувати таких переваг, як висока продуктивність, знижене енергоспоживання, поліпшення експлуатаційних характеристик. Зазначених властивостей технологічного процесу ТО металопрокату досягають за рахунок застосування багатопроцесорної обчислювальної системи [7 – 11]. Багатопроцесорна обчислювальна система монтується у вигляді окремого модуля і дозволяє на основі математичної моделі процесу нагрівання зразка вже у виробничних умовах контролювати нагрівання дроту до переходу в аустенітну область до температури фазової перекристалізації на всій площині перерізу довгомірного сталевого виробу, а потім, розв'язавши обернену задачу теплопровідності (ОЗТ), здійснювати контроль необхідного режиму ізотермічної витримки в інтервалі температур відпалювання на всій площині перерізу зразка. Застосування установки для реалізації режиму сфероїдизівного відпалювання зумовлює рівномірний розподіл глобул цементиту у феритній матриці, що забезпечує необхідні механічні властивості металу, потрібні для подальшого виконання холодної деформації.

Мета та постановка проблеми досліджень

Для випробування функцій установки було проведено кілька експериментів, коли дріт діаметром 20 мм із сталі 20Г2Р піддавався термічній обробці. За початкову було взято ферито-бейнітну (мартенситна) структура заготовки. Зауважимо, що термічна обробка металовиробу відбувається відповідно до заданих перехідних процесів. На першому етапі процес термічної обробки матеріалу здійснювався шляхом нагрівання заготовки в межах міжкритичної зони. Для заданого матеріалу встановлено такі значення критичних точок: $A_{c1} = 725 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $A_{c3} = 795 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Нагрівання відбувалось до такого значення: $A_{c1} + (10 - 30 \text{ }^{\circ}\text{C})$. У наступному етапі обробки матеріалу було реалізовано процес ізотермічної витримки протягом 45 с. Далі тривав процес охолодження зі швидкістю $20-30 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температури $720 \text{ }^{\circ}\text{C}$ з подальшою ізотермічною витримкою протягом 45 с. Нарешті, на останньому етапі обробки матеріалу зразок нагрівали зі швидкістю $15 - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до підкритичних температур. В зазначеному технологічному процесі критичним є режим нагрівання зразка, який триває 12 с. Отже, виникає проблема узгодження можливостей процесорів і мере-

жевого інтерфейсу, яка полягає в забезпеченості контролю температурних режимів для заданого часового проміжку.

Яким чином можна узгодити можливості процесорів і мережевого інтерфейсу багатопроцесорної системи в даній роботі показано на прикладі застосування в багатопроцесорній системі процесорів двох типів *Intel Pentium 4 3 GHz* і *Intel E8400 3 GHz*. Для визначеності передбачимо, що довжина лінії термічної обробки металовиробу становить 7,65 м і на ній обробляється дріт діаметром 20 мм із сталі 20Г2Р. До того ж встановлено розмір різницевої сітки 100 x 76500. Уводимо також такі величини:

$$E_x = 76500, \quad E_y = 100, \quad (1)$$

де E_x – довжина масиву граничної області, одночасно ця величина визначає довжину різницевої сітки по осі абсцис, E_y – довжина різницевої сітки по осі ординат.

Мета досліджень полягає у виконанні процедури узгодження обчислювальних можливостей процесорів багатопроцесорної системи з мережевим інтерфейсом цієї системи, крім того, необхідно встановити оптимальне число вузлів кластерної системи, що керує процесом термічної обробки металовиробу.

Математична модель досліджень, проблема моделювання режимів термічної обробки метала

Багатопроцесорна обчислювальна система із спеціальним програмним забезпеченням як єдина база включає математичні моделі у вигляді рівняння теплопровідності, тобто

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + W, \quad (2)$$

при цьому критерій Фур'є $\tau = \frac{a t}{R^2}$, якщо $\tau > 0$, W – питома потужність у вигляді джерел тепла, Вт/м².

Крайові умови цього рівняння мають такий вигляд:

$$T(0, r, z) = f(r, \tau);$$

$$T(\tau, 1, z) = \text{var};$$

$$\frac{\partial T(\tau, 0, z)}{\partial r} = 0;$$

$$T(\tau, 0, z) = 0.$$

Два останні в крайових умовах співвідношення свідчать, що значення температури в ділянці осі циліндра протягом усього процесу

теплообміну має бути скінченним. За координатою z граничні умови, залежно від особливостей розв'язуваної задачі, можуть бути першого, другого або третього роду. Розв'язують задачу (2) із застосуванням методів розщеплювання, суть яких полягає в редукції складного оператора (2) до простих. Цей підхід дозволяє проінтегрувати дане рівняння як послідовність інтегрування одновимірних рівнянь простішої структури.

Зауважимо, що тут саме задача керування (як і задача синтезу) в її точній постановці відноситься до класу обернених, оскільки вона передбачає визначення керуючих функціональних параметрів на основі заздалегідь заданого, необхідного результату (обернена задача керування). Алгоритмом розв'язування обернених задач слугує метод “вилки” з попереднім визначенням деякого початкового відрізка. Розв'язок задачі реалізується в два етапи. На першому реалізується відокремлення мінімуму нев'язки, на другому визначається мінімум шуканої функції керування з відокремленого інтервалу. Зазначена процедура реалізується стандартно. Інакше кажучи, якщо ϑ являє собою деяке дійсне значення шуканого кореня, тобто, коли $a \lll b$, а $f(\vartheta) = 0$, то можна обчислити число w таким, що задовольняє умови: $a \leq \vartheta \leq b$ та $|\vartheta - w| < \varepsilon$, тобто меншим від будь-якого наперед заданого малого числа ε . Подібна схема включена до складу математичного апарату керування багатопроцесорною обчислювальною системою.

Проблема моделювання полягає в тому, що для забезпечення необхідної точності й стійкості обчислень доводиться брати розрахункову сітку з чималою кількістю вузлів і виконувати безліч ітерацій. Унаслідок цього число арифметичних операцій, що необхідні для розрахунку температурних полів, перебуває в межах $10^7 \div 10^8$ вузлів, а коли крок за часовою ознакою становить 10^{-2} с, то загальна кількість вузлів для обчислень може досягти 10^{20} і більше. Однопроцесорні обчислювальні системи не можуть впоратись з таким навантаженням під час моделювання в реальному масштабі часу, тому найбільш виправданим буде застосування багатопроцесорних систем, що й було здійснено з метою удосконалення технології термічної обробки довгомірного сталевого виробу.

Особливості застосування процесора *Intel Pentium 4 3 GHz*. Встановлення оптимального числа вузлів кластерної системи.

Зазначимо, що обчислювальними методами розв'язування задачі теплопровідності слугували числово-аналітичні схеми підвищеного порядку точності, висвітлені в роботі [12]. На одному тестовому комп'ютері, оснащеному процесором *Intel Pentium 4 3 GHz*, швидкість розрахунку задачі теплопровідності при використанні компілятора *Intel Fortran Compiler* складала 0,15 с на одну ітерацію для різницевої сітки (1) елементів типу *Real*8*. Таким чином, швидкість обчислень при розв'язуванні задач даного класу з використанням процесора *Intel Pentium 4 3 GHz* дорівнюватиме $3,1 \cdot 10^9$ біт/с. Якщо таку швидкість позначити символом V_c , то аналітичне співвідношення для визначення часу рахунку однієї ітерації можна записати в такому вигляді:

$$T_{\text{calc}} = \frac{E_i \cdot E_y \cdot K_R}{V_c}, \quad (3)$$

де K_R – обсяг однієї різницевої комірки елемента типу *Real*8* (64 біт). Проведемо аналіз співвідношення (3). Тут параметр V_c залежить, як від потужності центрального процесора, так і від застосованих обчислювальних методів. При виконанні завдань різного типу його значення, безумовно, зазнає змін. Крім того, у такий параметр закладено інформацію про “потужність обчислень”, тобто кількість математичних операцій, що можуть бути виконані в межах однієї комірки різницевої сітки.

Очевидно, що співвідношення (3) потребує свого уточнення з огляду на специфіку режимів роботи установки термічної обробки довгомірного виробу. Так, зауважимо, що швидкість протягання довгомірного виробу $V_{pr} = 60$ мм/с. Це означає, що за одну секунду дріт буде переміщуватися на 60 мм, а це не дає можливості контролювати температурні режими протягання по всій довжині технологічної лінії. У цьому випадку співвідношення (3) можна подати в такому вигляді:

$$T_{\text{calc}} = \frac{E_i \cdot E_y \cdot K_R}{V_c} \cdot K_{pr}. \quad (4)$$

Тут величина K_{pr} враховує швидкість протягання пристрою термічної обробки довгомірного виробу, матеріальний баланс розподілу тепла при нагріванні (охолодженні) дроту і відповідає такому співвідношенню:

$$K_{pr} = V_{pr} \cdot \frac{t}{h}, \quad (5)$$

де t – час обчислень на одиницю переміщення установки, с; h – величина кроку обчислювальної сітки, мм. Проведені обчислення показали час розрахунку однієї ітерації $T_{calc} = 83,61$ с. Разом з тим, увесь процес термічної обробки дроту займає 114 с. Зрозуміло, що один процесор не в змозі реалізувати режим визначення температурних полів протягом кожного циклу термічної обробки дроту. За таких обставин необхідно застосовувати кластерні технології визначення температурних полів заготовки. Таким чином, подальші дослідження будуть спрямовані на визначення оптимального числа лез багатопроцесорної системи, яка керує термічною обробкою довгомірного виробу, з огляду на обчислювальні можливості обраного процесора.

Відповідно до методики дослідження впливу мережевого інтерфейсу на ефективність багатопроцесорної кластерної системи, яка розкрита в [13], визначимо час граничного обміну даними, коли згадана система працює в режимі дефіциту й профіциту мережевого інтерфейсу [13].

Вихідні дані для вивчення такого режиму роботи багатопроцесорної системи надані в таблиця 1.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку характеристик багатопроцесорної системи при застосуванні процесора *Intel Pentium 4 3 GHz*

V_p	1 Гбіт/с
E_i	100
V_c	$3,1 \cdot 10^{-9}$ біт/с
K_R	8 біт
m	2
d	2
k	2

В таблиці 1 прийняті наступні позначення: V_p – пропускна здатність мережі системи, Гбіт/с; k – кількість каналів зв'язку обчислювальної мережі, які працюють одночасно (кількість обчислювальних мереж); значення величини m може дорівнювати одиниці в умовах одностороннього режиму граничного обміну даними, або двом –

двостороннього; d – напівдуплексний ($d = 1$) або дуплексний ($d = 2$) режим роботи обчислювальної мережі багатопроцесорної системи.

За основу для визначення часу граничного обміну даними в кластерній системі при роботі в режимі дефіциту її мережевого інтерфейсу скористаємося співвідношенням такого вигляду:

$$T_{\text{ex1}} = \frac{m \cdot (N - 1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot K_{\text{pr}}}{k \cdot d \cdot V_p}, \quad (6)$$

Щоб обчислити час граничного обміну даними при роботі кластерної системи в режимі профіциту її мережевого інтерфейсу, застосуємо співвідношення такого вигляду:

$$T_{\text{ex2}} = \frac{m \cdot (N - 1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot N \cdot K_{\text{pr}}}{k_m \cdot d \cdot V_b}. \quad (7)$$

Далі, розглядаючи багатопроцесорну систему в умовах виконаного експерименту, встановимо в ній кількість вузлів, що може забезпечити якнайефективніше розв'язування задачі. При цьому зауважимо, що час розрахунку однієї ітерації обчислювального процесу складається із двох доданків: часу безпосереднього обчислення на процесорах і часу обміну даними між обчислювальними вузлами кластера, тобто

$$T_{\text{it}} = T_{\text{calc}} + T_{\text{ex}}. \quad (8)$$

При цьому в роботі [13] показано, що швидкість обчислень зростатиме приблизно до моменту, коли

$$T_{\text{calc}} \diamond T_{\text{ex}}. \quad (9)$$

Таким чином, на підставі співвідношення (9) можна розрахувати кількість вузлів у кластерній обчислювальній системі, потрібну для ефективного розв'язування задачі. Відзначимо, що даний етап досліджень має на меті зменшення загального часу розрахунку шляхом розпаралелювання програми. Очевидно, що при цьому загальний розмір різницевої сітки не залежить від числа обчислювальних вузлів кластерної системи. Враховуючи співвідношення (9), отримують аналітичні вирази для визначення оптимального числа вузлів кластерної системи, при її роботі в режимі дефіциту мережевого інтерфейсу, тобто

$$\frac{T_{\text{calc}}}{N} \diamond \frac{m \cdot (N - 1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot K_{\text{pr}}}{k \cdot d \cdot V_p}. \quad (10)$$

А також маємо такий вираз для профіциту мережевого інтерфейсу:

$$\frac{T_{\text{calc}}}{N} \diamond \frac{m \cdot (N - 1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot N \cdot K_{\text{pr}}}{k_m \cdot d \cdot V_b}. \quad (11)$$

Користуючись виразами (10) і (11), можна отримати два рівняння відносно N для визначення оптимального числа вузлів кластерної системи, при якому загальний час обчислень, потрібний для розв'язування задачі, буде мінімальним. У зв'язку з цим рівняння (10) зводиться до квадратичного вигляду, тобто

$$N^2 - N - \frac{E_y \cdot k \cdot d \cdot V_p}{m \cdot V_c} = 0. \quad (12)$$

Для зручності аналізу рівняння (11) запишемо таким чином:

$$N^2 - N - \lambda = 0. \quad (13)$$

У рівнянні (13) $\lambda = f(E_y, V_p, 1 / V_c)$, і цю величину можна трактувати як коефіцієнт узгодженості можливостей обраних процесорів, мереженого інтерфейсу і величини області обчислень, коли система працює в режимі дефіциту мережевого інтерфейсу. Крім того, необхідно підкреслити, що відповідність можливостей кластерної системи характеру розв'язуваних задач, вимагає узгодження всіх складових, які входять у значення величини λ . Проведемо аналіз цього коефіцієнта. На перший погляд, результат виявився дещо парадоксальним. Він свідчить про те, що коефіцієнт узгодженості λ , як і оптимальне число лез у кластерній системі, не залежить від розміру області обміну даними. Таке твердження можна пояснити тим, що розподіл області обчислень між вузлами кластерної системи виконувався при незмінному її розмірі. Це означає, що співвідношення часу, який витрачається на обробку даних цієї області, і часу пересилання їх теж залишався незмінним і таким, що не залежить від її розміру. Другий дуже важливий висновок полягає в тому, що оптимальне число лез у кластерній системі, яке забезпечує найбільшу його швидкодію, зменшується із збільшенням обчислювальної потужності процесорів, що входять у неї. Таке твердження стає цілком зрозумілим, коли врахувати, що мережевий обмін даними між вузлами кластерної системи тим помітніше буде гальмувати загальний процес обчислень (8), чим менше часу буде витрачатися безпосередньо на розв'язування певної задачі.

Таким чином, розв'язком рівняння (2) будуть два корені, один з них від'ємний, а інший – додатний. Виходячи з поставлених фізичних умов завдання, приймається додатний корінь, значення якого дорівнює восьми, отже $N = 8$. Зауважимо, що такий результат задовольняє нерівності, яке встановлює умови функціонування кластерної системи в режимі дефіциту мережевого інтерфейсу [13].

Рівняння (11) зводиться до кубічного вигляду, тобто

$$N^3 - N^2 - \frac{E_y \cdot k_m \cdot d \cdot V_b}{m \cdot V_c} = 0. \quad (14)$$

Для зручності аналізу запишемо його таким чином

$$N^3 - N^2 - \mu = 0. \quad (15)$$

У рівнянні (15) $\mu = f(E_y, V_b, 1/V_c)$, і дану величину можна вважати коефіцієнтом узгодженості можливостей обраних процесорів, мереженого інтерфейсу і величини області обчислень, коли система працює в режимі профіциту мережевого інтерфейсу. Проаналізуємо значення цього коефіцієнта. Можна зробити висновок, що оптимальне число лез у кластерній системі здатне забезпечити найбільшу її швидкодію, буде залежити від величини області обчислень, можливостей комутатора й обчислювальної потужності процесорів, з яких складається кластерна система. Варіація зазначених параметрів і дозволяє обрати відповідну кількість лез при роботі системи в режимі профіцита мереженого інтерфейсу.

Унаслідок розв'язку рівняння (14) буде отримано три корені, зокрема, два уявні, а один дійсний. Дійсний корінь відповідає такій кількості вузлів: $N = 33$. Проте аналіз цього результату свідчить, що він не задовольняє умову функціонування кластерної системи в режимі профіциту мережевого інтерфейсу [13]. Проаналізувавши отримані результати моделювання, можна зробити висновок, що в умовах задачі, яка досліджується, оптимальне число лез кластерної системи буде відповідати $N = 8$.

Дослідження ефективності кластерної системи при застосуванні процесора Intel Pentium 4 3 GHz

Подальші дослідження мали на меті оцінити ефективність розпаралелювання. Вихідні дані для вивчення такого режиму роботи багатопроцесорної системи наведено в таблиці 1. На цьому етапі до-

сліджень були використані аналітичні співвідношення, виведені в [13].

Отримані результати моделювання подано у вигляді графічних залежностей (рисунки 1, 2). На рисунок 1 лінією 1 показано час розв'язку задачі на N процесорах, лінія 2 відображає час граничного обміну даними, а лінія 3 показує загальний час розв'язку задачі.

Таким чином, маємо передумови для кількісного оцінювання ефективності багатопроцесорної системи. У рамках цього завдання оптимальне число вузлів у кластерній системі, при якому досягається максимальна ефективність розпаралелювання, $N = 8$. Такий розмір кластера забезпечить у 4,28 рази швидше, розв'язування задачі, ніж на одному комп'ютері. Як показують розрахункові дані, запропонований режим роботи кластера дозволив не тільки підвищити ефективність системи, але й суттєво скоротити час обчислень, з 83,11 до 19,52 с.

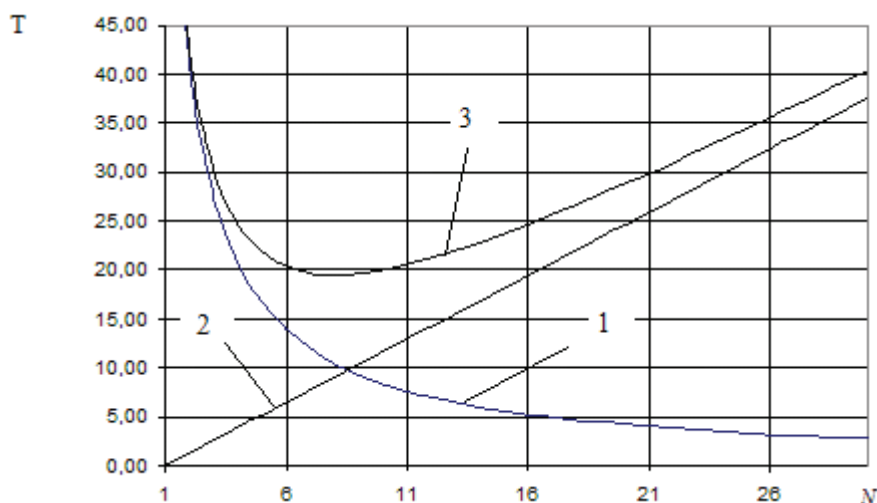


Рисунок 1 – Криві залежності часу розрахунку однієї ітерації від кількості вузлів багатопроцесорної системи при застосуванні процесора *Intel Pentium 4 3 GHz*

Разом з тим, зауважимо, що така величина прискорення обчислень не в змозі забезпечити контроль температурних полів при термічній обробці металовиробу протягом усіх її циклів. В такому випадку необхідно застосовувати більш потужні процесори, тому наступний розділ статті і спрямовано на висвітлення таких досліджень.

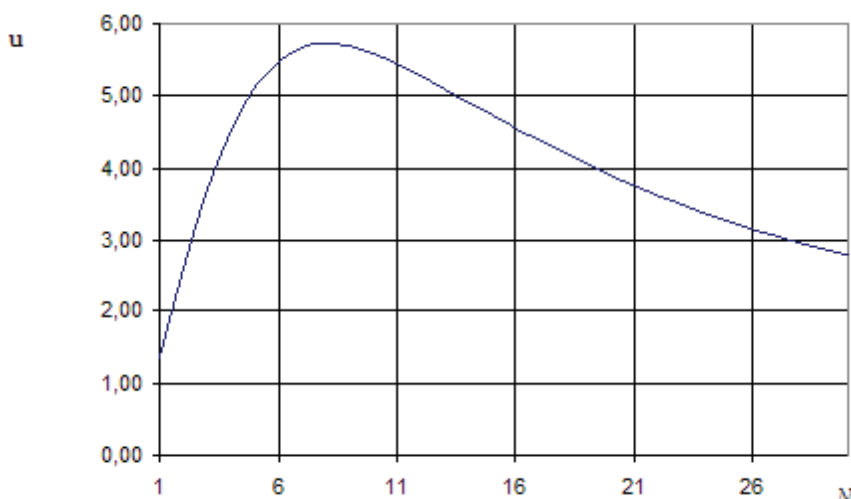


Рисунок 2 – Крива залежності прискорення обчислень від кількості вузлів багатопроцесорної системи при застосуванні процесора *Intel Pentium 4 3 GHz*

Особливості застосування процесора *Intel E8400 3 GHz*

За рівних інших умов розглянемо, яким чином відбувається процедура узгодження можливостей процесора *Intel E8400 3 GHz* з мережним інтерфейсом кластерної системи. Принагідно зауважимо, що аналіз співвідношень (12, 13) дозволяє зробити висновок, згідно з яким при збільшенні потужності процесорів кластера можна очікувати суттєвого зростання ефективності розпаралелювання.

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку характеристик багатопроцесорної системи при застосуванні процесора *Intel E8400 3 GHz*

V_p	1 Гбіт/с
E_i	100
V_c	$1,46 \cdot 10^{10}$ біт/с
K_R	8 біт
m	2
d	2
k	2

Очевидно, що ця процедура повинна виконуватися на фоні зменшення кількості вузлів кластерної системи. Для перевірки таких припущень було взято процесор *Intel E8400 3 GHz*, який для заявлених чисельних методів дає швидкість $1,47 \cdot 10^{10}$ біт/с. В той же

час мережеве устаткування кластерної системи залишається незмінним. Вихідні дані для вивчення такого режиму роботи багатопроцесорної системи надані в таблиця 2.

Визначення оптимального числа вузлів кластерної системи при застосуванні процесора Intel E8400 3 GHz. Завдання досліджень полягає, з одного боку, у визначенні оптимального числа вузлів кластерної системи при термічній обробки металовиробу, а з іншого боку, необхідно виконати процедуру узгодження обчислювальних можливостей процесора Intel E8400 3 GHz з мережевим інтерфейсом кластерної системи. За основу проведених досліджень були взяті аналітичні співвідношення (13 – 15).

Проведений аналіз отриманих результатів моделювання показав наступне. В умовах задачі, яка досліджується оптимальне число вузлів кластерної системи буде відповідати $N = 4$. Такий результат і підтвердив раніше висунуті припущення. Подальші дослідження спрямовані на вивчення оцінок ефективності розпаралелювання.

Дослідження ефективності кластерної системи при застосуванні процесора Intel E8400 3 GHz. Даний етап досліджень реалізовано відповідно до аналітичних співвідношень, виведених в роботі [13]. Отримані результати моделювання представлені також у вигляді графічних залежностей (рисунки 3, 4).

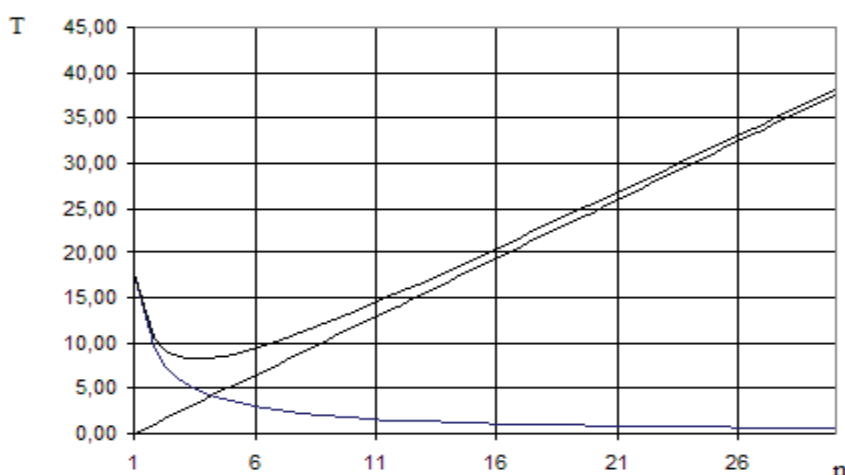


Рисунок 3 – Криві залежності часу розрахунку однієї ітерації від кількості вузлів багатопроцесорної системи при застосуванні процесора Intel Pentium 4 3 GHz

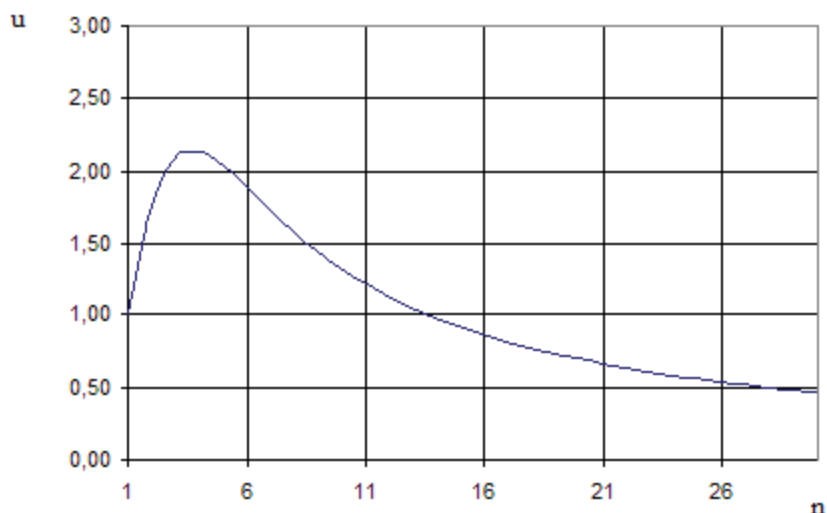


Рисунок 4 – Крива залежності прискорення обчислень від кількості вузлів багатопроцесорної системи при застосуванні процесора *Intel Pentium 4 3 GHz*

Отже, маємо передумови для кількісної оцінки ефективності багатопроцесорної системи. В рамках даної задачі оптимальне число вузлів кластерної системи, при якому досягається максимальна ефективність розпаралелювання, відповідатиме $N = 4$. При вибраному розмірі кластера задача розв'язуватиметься в 2,13 раз швидше, ніж на одному комп'ютері. Як показують розрахункові дані, такий режим роботи кластера дозволив суттєво скоротити час обчислень. Так, час обчислень зменшився з 17,75 до 8,33 с. Зауважимо, що таке значення прискорень обчислень зможе дозволити контролювати температурні поля при термічній обробці металовиробу за всіма її циклами.

Висновки

Удосконалення і створення нових технологічних процесів, пов'язаних з термічною обробкою металу, вимагають значних витрат для проведення великої кількості натурних експериментів на лабораторному, дослідно-промисловому устаткуванні, а також в промислових умовах. Скорочення експериментальних досліджень та часу на їх проведення з одержанням необхідної інформації для побудови та впровадження технологічних розробок можна здійснити шляхом застосування багатопроцесорних обчислювальних систем.

Клас задач, який розглядується в даній статті, розв'язується за допомогою багатопроцесорної обчислювальної системи. У зв'язку з

відзначеним виникає проблема узгодження можливостей процесорів і мережевого інтерфейсу кластерної системи. В даній статті розв'язок зазначеної проблеми ілюструється на прикладі застосування в багатопроцесорній кластерній системі двох процесорів *Intel Pentium 4 3 GHz* і *Intel E8400 3 GHz*. На прикладі розв'язування задачі термічної обробки металовиробу виведено аналітичні співвідношення для визначення оптимального числа вузлів кластерної системи у відповідності з обраними процесорами. Виведено значення коефіцієнта узгодженості ($\lambda = f(E_p, V_p, 1 / V_c)$) можливостей обраних процесорів, мереженого інтерфейсу і величини області обчислень. Проведено аналіз такого коефіцієнта. Так, показано, що оптимальне число лез кластерної системи, що дає найбільшу його швидкодію, зменшується із збільшенням обчислювальної потужності процесорів з яких складається кластерна система. Адже мережевий обмін даних між вузлами кластерної системи тим помітніше буде гальмувати загальний процес обчислень, чим менше часу буде витрачатися безпосередньо на обчислення відповідної задачі.

Визначено оцінки ефективності кластерної системи при розв'язування задачі термічної обробки металовиробу для різного класу процесорів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пат. 61944 Україна, МПК C21D 1/26 (2006.01), G06F 15/16 (2006.01). Установка для термічної обробки довгомірного сталевого виробу / Іващенко В.П., Башков Є.О., Швачич Г.Г., Ткач М.О.; власники: Національна металургійна академія України, Донецький національний технічний університет. – № u 201014225; заявл. 29.11.2010; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 15.
2. Ivaschenko V. Information system of intelligent support of decision-making for rolling process // V. Ivaschenko, G. Shvachych, A. Sobolenko, D. Protopopov // Eastern-europeanjournal of enterprise technologies. – 2003. – № 3. – р. 4 – 9.
3. Швачич Г.Г. Математическое моделирование скоростных режимов термической обработки длинномерных изделий / Г.Г. Швачич, В.П. Колпак, М.А. Соболенко // Теория и практика металлургии. Общегосударственный научно-технический журнал. – 2007. – № 4 – 5 (59 – 60). – с. 61 – 67.
4. Швачич Г.Г. Про проблему математичного моделювання термічної обробки довгомірного сталевого виробу / Г.Г. Швачич, М.О. Ткач // VII International Conference “Strategy of Quality in Industry and Education”, June, 3– 10. – 2011, Varna; Bulgaria . – Proceedings. – V. 2. – P. 261 – 268.

5. Швачич Г.Г. О проблеме математического моделирования задач скоростного режима термообработки некоторого класса изделий / Г.Г. Швачич, М.А. Соболенко // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2007» [Технические науки]. – Одесса: Черноморье, 2007. – Т. 3. – с. 22 – 26.
6. Shvachych G.G. Mathematical design of much sequencing mode of heat treatment of long good / G.G. Shvachych, M.A. Sobolenko // Materiably IV mezinbrodnn vědecko – praktickb konference «Vědecká prumysl evropského kontinentu’ 2008». [Technický vědy. Matematika. Fyzika. Modernn informačnn technologie]; Praha. – Publishing House «Education and Science» s.r.o. – Dnl 15. – 2008. – s. 62 – 65.
7. Швачич Г.Г. Багатопроекторний обчислювальний комплекс як основна ланка створення нових перспективних технологій / Г.Г. Швачич, Т.С. Хохлова, М.О. Соболенко// VI Intrenational Conference “Strategy of Quality in Industry and Education”; June, 2 – 9. – 2010, Varna; Bulgaria. – Proceedings. – V. 2. – p. 615 – 625.
8. Швачич Г.Г. Суперкомпьютеры и высокопроизводительные вычисления / Г.Г. Швачич, М.А. Ткач, П.А. Щербина // Материали за 4-а международна практична конференция, «Бъдещето проблемите на световната наука». – Т. 21. Съвременни технологии на информации. София, 2008. – с. 22 – 27.
9. Иващенко В.П. Персональный вычислительный кластер для моделирования многомерных нестационарных задач/В.П.Иващенко,Г.Г.Швачич //Материалы XVI международной научно-технической конференции [Прикладные задачи математики и механики].–Севастополь,2008.– с. 235 – 239.
10. Швачич Г.Г. Персональный вычислительный кластер как эффективное средство в технологи проведения сложных расчетов / Г.Г.Швачич, А.А. Шмукин, П.А. Щербина // Міждержавна науково-методична конференція «Проблеми математичного моделювання». [Тези доповідей]. – Дніпродзержинськ, 2008. – с. 201 – 203.
11. Информационные системы и технологии: монография / В.П. Иващенко, Е.А. Башков, Г.Г. Швачич [и др.]. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2011. – 302 с.
12. Швачич Г.Г. Особенности конструирования параллельных вычислительных алгоритмов для ПЭВМ в задачах тепло- и массообмена / Г.Г. Швачич, А.А. Шмукин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2004. – № 3. – с. 42 – 47.
13. Иващенко В.П. Современные коммуникационные технологии в модульных многопроцессорных системах: опыт использования, исследование оценок эффективности, перспективы применения: монография / В.П. Иващенко, Е.А. Башков, Г.Г. Швачич, М.А. Ткач. – Днепропетровск, 2012. – 140 с.