

УДК 004:005.21

М.Ю. Степанюк

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ ДИСКРЕТНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ З РОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯМ ОБЧИСЛЕНЬ

Розглянуто проблему підвищення ефективності управління дискретними технологічними та інформаційними процесами. Запропоновано метод розрахунку параметрів фазових переходів для вирішення задач стратегічного планування з використанням технології автоматизації управління дискретними технологічними та інформаційними процесами з розпаралелюванням обчислень.

Вступ

Дискретні процеси зустрічаються в багатьох галузях [1, 2]. Майже кожному з таких процесів супутня проблема ефективного управління ним пов'язана з наступними факторами: наявність критерію якості, що кількісно характеризує якість протікання цього процесу та обмеженими ресурсами для реалізації цього процесу, тобто з обслуговуванням його об'єктів. Для ефективного управління дискретними процесами було розроблено технологію автоматизації управління (АУ) дискретними технологічними та інформаційними процесами (ДТП). З використанням цієї технології автором було запропоновано математичну модель чисельної оптимізації ДТП стратегічного планування (СП) на основі збалансованої системи показників та розроблено алгоритм формування масиву управлінь та розрахунку параметрів крокових переходів.

Як доведено [1, 2] технологія АУ ДТП дозволяє вирішувати проблему пошуку ефективного управління для задач з кількістю фазових переходів до 10^5 . Однак особливістю ряду задач, зокрема задач стратегічного планування є висока розмірність моделі, що оптимізується. Можливості для вирішення цієї проблеми раніше були досить обмеженими у зв'язку з невисокими обчислювальними можливостями техніки. Для вирішення проблеми переважно використовувались наближені методи, наприклад, з укрупненням кроку виділення ресурсу, що призводило до зниження точності.

Тому актуальним є пошук методів, що дозволять підвищити ефективність вирішення задачі пошуку оптимальної стратегії управління. Одним з напрямків підвищення ефективності є використання моделей реальної розмірності.

Для вирішення задач стратегічного планування з використанням технології АУ ДТП та моделей реальної розмірності автором запропоновано метод розрахунку фазових станів та фазових переходів з розпаралелюванням обчислень.

Головна ціль цієї роботи – опис запропонованого автором методу розрахунку параметрів фазових переходів для вирішення задач стратегічного планування з використанням технології автоматизації управління дискретними технологічними та інформаційними процесами з розпаралелюванням обчислень. Крім того описано результати експериментального дослідження ефективності розпаралелювання обчислень на основі запропонованого методу.

1. Методика чисельної оптимізації ДТПів

Складність проблеми ефективного управління дискретними процесами полягала в тому, що через велику різноманітність у властивостях та характеристиках цих процесів була відсутня єдина математична база для управління ними. Задачами управління стаціонарними дискретними процесами займалась теорія масового обслуговування. Подібними задачами для

обмежених у часі дискретних процесів – теорія мережевого та календарного планування. Для миттєвих дискретних процесів, яким відповідає задача вибору варіантів, розроблено методи гілок та меж, динамічного програмування, евристичні методи та інші. При цьому використовувались різноманітні методи математичного програмування, спрощені математичні моделі або моделі практична реалізація яких була дуже складною.

Єдина наукова методологія оптимізації керованих дискретних процесів обслуговування, для вирішення ефективного управління дискретними процесами, була запропонована українськими вченими Бурлаковим та Сініциним. Ця методологія, зокрема, може бути застосована до широкого класу дискретних процесів, у тому числі процесів стратегічного планування, дозволяє синтезувати ефективні стратегії управління цими процесами та керувати трудомісткістю синтезу, та має великий потенціал автоматизації процедур, що використовуються. Методологія оптимізації керованих дискретних процесів обслуговування (ДПО) передбачає процедури зведення вихідного ДТІП до стаціонарного ДПО зі скінченною кількістю фазових станів та синтезу чисельним шляхом оптимальної табличної стратегії управління ДПО з адитивними критеріями якості.

На основі методології чисельної оптимізації керованих ДПО Бурлаковим розроблено методику чисельної оптимізації ДТІПів, яка потім була розвинена Сініциним. Ключові етапи даної методики:

- формалізована постановка задачі та розробка математичної моделі оптимізації ДТІП;
- розробка алгоритму формування управлінь та розрахунку параметрів фазових переходів;
- вибір методу (схеми) та розробка алгоритму чисельної оптимізації ДПО.

В роботі [3] запропоновано математичну модель чисельної оптимізації ДТІП стратегічного планування на основі збалансованої системи показників (ЗСП), в тому числі визначено параметри класу процесу, вхідні дані, формалізовану постановку задачі та алгоритм розрахунку параметрів

крокових переходів. Крім того обґрунтовано вибір методу (схеми) рекурентної оптимізації ДПО.

Рис. 1 містить схему алгоритму без розпаралелювання (далі однопроцесного алгоритму) для розрахунку параметрів фазових переходів ДТІП СП на основі моделі чисельної оптимізації ДТІП стратегічного планування. Для підвищення ефективності роботи алгоритму автором запропоновано метод розрахунку параметрів фазових переходів ДТІП стратегічного планування з розпаралелюванням обчислень, що уможливорює застосування сучасних обчислювальних технологій, у тому числі GRID-технологій.



Рис. 1. Схема однопроцесного алгоритму розрахунку параметрів фазових переходів ДТІП СП

2. Підхід до розпаралелювання однопроцесного алгоритму

На сьогоднішній день немає єдиної наукової методології, яка дозволяє виконати розпаралелювання будь-якого алгоритму, проте існує ряд загальноприйнятих підходів до розпаралелювання [4–7]. Фостер [4] виділяє наступні етапи методології розробки паралельного алгоритму:

- розбиття задачі на незалежні підзадачі (partitioning);
- виявлення зв'язків між підзадачами (communication);
- об'єднання задач для мінімізації комунікацій (agglomeration);
- розподілення задач між процесорами (mapping).

З урахуванням того, що вирішувана задача стратегічного управління розбивається на підзадачі, що можуть бути вирішені за одним алгоритмом, автором обрано модель обчислень з розпаралелюванням за даними SPMD (Single program - Multiple Data) за таксономією Фліна.

На практиці, найбільший ресурс паралелізму в програмах зосереджено в циклах [6]. Тому найбільш розповсюдженим підходом розпаралелювання є розпаралелювання тим чи іншим способом ітерацій у циклах. Необхідною умовою для цього є відсутність інформаційних залежностей між ітераціями циклу. Для однопроцесного алгоритму умова незалежності ітерацій виконується як для циклу за компонентою $z2$ варіант вибору, так і за компонентою $z1$ ресурс у тактах. Тому при розбитті задачі на підзадачі у якості підзадачі можна використати ітерацію циклу.

Основними способами розподілення ітерацій між процесорами є блочний розподіл, блочно-циклічний розподіл, циклічний розподіл. Автором для розпаралелювання використано блочний розподіл ітерацій, оскільки він дозволяє мінімізувати кількість і обсяг необхідних обмінів даних, що є однією з вимог ефективного розпаралелювання.

Для ефективного розпаралелювання необхідно також забезпечити рівномірне завантаження процесорів. Автором використано розпаралелювання за компонен-

тою $z2$ варіант вибору, оскільки це мінімізує кількість і обсяг необхідних обмінів даних. Крім того кількість значень компоненти $z2$ варіант вибору для конкретного набору вхідних даних задачі є сталою величиною, а кількість значень компоненти $z1$ ресурс в тактах може змінюватись для керування трудомісткістю задачі.

Таким чином, для ефективного розпаралелювання однопроцесного алгоритму з мінімальною кількістю і обсягами необхідних обмінів та рівномірним завантаженням процесорів, необхідно виконати блочний розподіл ітерацій за процесорами за компонентою $z2$ варіант вибору.

Крім того, слід зазначити, що загальна структура однопроцесного алгоритму розрахунку параметрів фазових переходів є подібною у багатьох моделях реальних ДТШ, що наведені у [2]. Тому запропонований підхід може бути застосований для ефективного розпаралелювання алгоритмів розрахунку параметрів фазових переходів у багатьох моделях реальних ДТШ.

3. Опис багатопроцесного алгоритму з розпаралелюванням

На базі запропонованих підходів до розпаралелювання однопроцесного алгоритму для розрахунку параметрів фазових переходів ДТШ СП автором розроблено багатопроцесний алгоритм (далі багатопроцесний алгоритм) розрахунку параметрів фазових переходів ДТШ СП. Рис. 2 містить схему багатопроцесного алгоритму.

На початку багатопроцесного алгоритму головний процес виконує зчитування даних задачі, ініціалізацію вхідних даних для моделювання та визначення параметрів моделі. В тому числі зчитується кількість варіантів вибору M , розмір такту виділення ресурсу та розраховується кількість тактів виділення ресурсу Nc та кількість фазових станів Ns .

Потім виконується розрахунок параметрів фазових переходів для базового стану $i=1$. Параметри фазових переходів для базового стану зберігаються у масиві параметрів фазових переходів всієї задачі StateTrans.

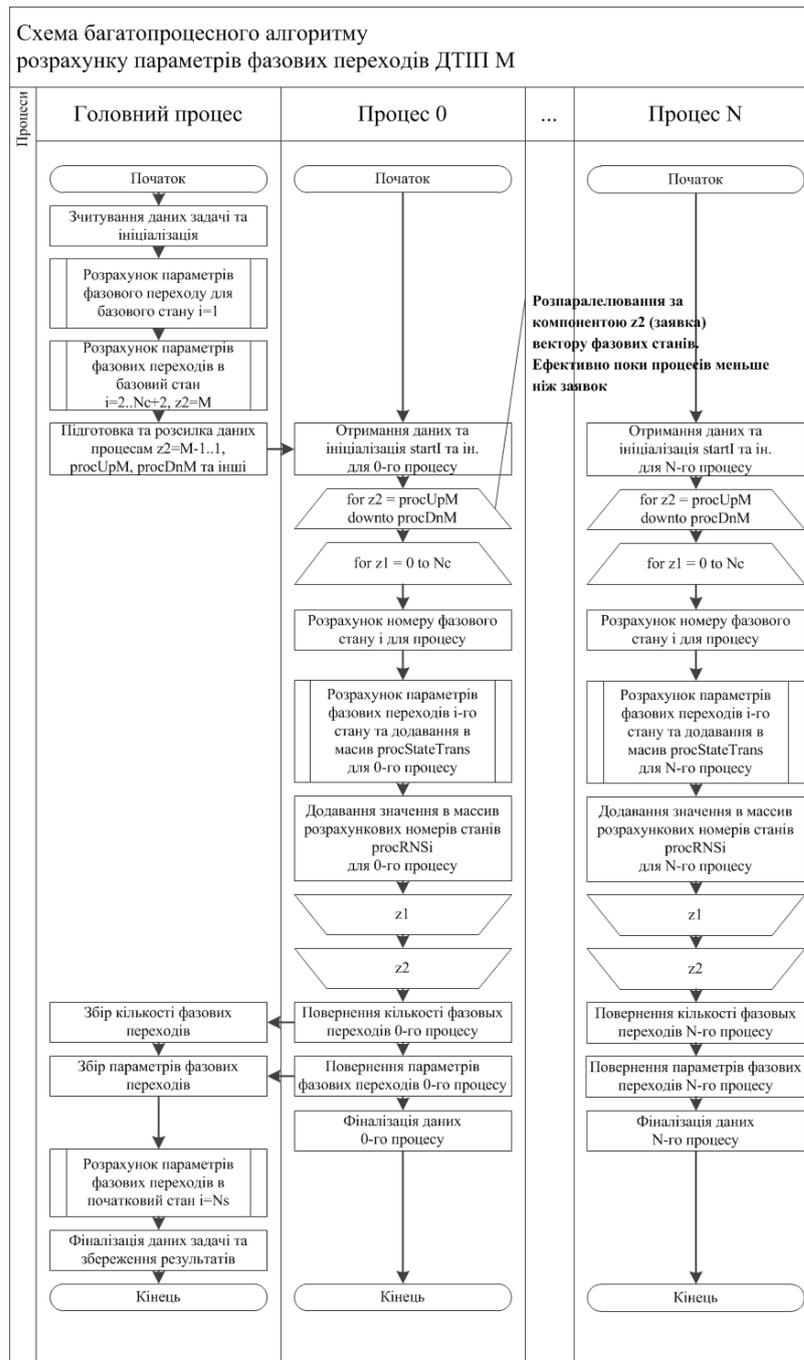


Рис. 2. Схема багатопроцесного алгоритму розрахунку параметрів фазових переходів ДТШ СП з розпаралелюванням обчислень

Розрахунок параметрів фазових переходів в базовий стан для $z2=M$ відбувається в головному процесі. Це доцільно тому що, обсяг розрахунків невеликий відносно розмірності задач і таким чином значно спрощується алгоритм розрахунку для кожного з процесорів.

Наступний етап включає підготовку даних для процесів. Зокрема відбувається розрахунок меж обчислень для кожного процесу $procUpM, procDownM$ в межах від

$M-1$ до 1. Тобто розпаралелювання буде ефективним, якщо кількість процесорів буде меншою $M-1$. Відбувається розсилка вихідних даних головному процесом та їх отримання кожним з процесів.

Кожен процес отримує свій набір даних, виконує ініціалізацію даних процесу. В тому числі розрахунок діапазону номерів вихідних станів, що мають бути оброблені в межах даного процесу $startI = 2 + Nc + ((Nc + 1) * (M - 1 - procUpM))$.

Для кожного процесу в циклі у межах діапазону значень компоненти $z2$ процесу та в циклі для всіх значень ресурсів $z1$ виконуються:

- розрахунок номеру фазового стану i в межах процесу;
- розрахунок параметрів фазових переходів i -го стану та додавання їх в локальний для процесу масив параметрів фазових переходів `procStateTrans`;
- визначення розрахункового номеру фазового стану та додавання його в локальний для процесу масив номерів фазових станів `procRNS`.

Після виконання розрахунків за кожен з процесів виконує:

- повернення кількості фазових переходів для кожного процесу та їх збір головним процесом та виділення пам'яті для отримання даних фазових переходів від процесів;
- повернення даних фазових переходів для кожного процесу та їх збір головним процесом у масиві параметрів фазових переходів всієї задачі `StateTrans`;
- фіналізацію даних (звільнення пам'яті).

Розрахунок параметрів фазових переходів для початкового стану $i=N_s$ відбувається у головному процесі. Це доцільно тому що, обсяг розрахунків невеликий щодо розмірності задачі і таким чином значно спрощується алгоритм розрахунку для кожного з процесорів.

Головний процес на останньому кроці виконує визначення номеру кінцевого стану j за розрахунковим номером кінцевого стану шляхом пошуку в масиві розрахункових номерів станів, фіналізує дані та виконує збереження результатів.

Таким чином у запропонованому автором багатопроцесному алгоритмі параметрів фазових переходів ДТІП СП виконано розпаралелювання основного блоку (циклів) обчислень на базі запропонованих автором підходів до розпаралелювання, мінімізовано кількість та обсяги обміну даними. Крім того розрахунок параметрів фазових переходів в базовий стан та розрахунок параметрів фазових переходів в для початкового стану відбувається в

головному процесі, оскільки обсяг цих розрахунків невеликий щодо розмірності задачі і значно спрощує алгоритм розрахунку для кожного з процесорів. Запропонований багатопроцесний алгоритм ефективно розпаралелює обчислення поки кількість паралельних процесів менше ніж $M-1$.

4. Опис експериментальної перевірки

Як відомо [5–7], основними показниками ефективності паралельного алгоритму є прискорення та ефективність використання процесорів. При цьому під процесором розуміють один потік виконання паралельної програми.

Прискорення для p процесорів визначається за формулою:

$$S_p(n) = \frac{T_1(n)}{T_p(n)}, \quad (1)$$

де $T_1(n)$ – час для вирішення задачі за допомогою однопроцесного алгоритму; $T_p(n)$ – час для вирішення задачі за допомогою багатопроцесного алгоритму на p процесорах; n – величина, що характеризує обчислювальну складність задачі, наприклад кількість вхідних даних.

Ефективність використання процесорів визначається за формулою:

$$E_p(n) = \frac{T_1(n)}{p \cdot T_p(n)} = \frac{S_p(n)}{p}. \quad (2)$$

Для апробації алгоритму та експериментальної перевірки його ефективності автором розроблено прототип програмних засобів, що реалізують алгоритм методу розрахунку параметрів фазових станів та фазових переходів ДТІП стратегічного планування з розпаралелюванням обчислень. Програмні засоби розроблено з використанням бібліотеки MPI2.

З використанням розробленого прототипу програмних засобів виконано серію розрахунків (експериментів) для задач з розмірністю 10^4 , $2 \cdot 10^4$, $3 \cdot 10^4$, $4 \cdot 10^4$ для різної кількості процесорів. Таблиця містить результати розрахунків.

Таблиця. Результати експерименту

Номер експерименту	Кількість процесорів	Загальний час розрахунку, сек	Час роботи послідовної частини, сек	Час роботи паралельної частини, сек	Загальне прискорення розрахунку	Ефективність використання процесорів
Задача 1	1	18,892	6,297	12,594	1,000	1,000
Розмірність задачі	2	13,734	6,341	7,394	1,376	0,688
Заявок – 19	3	11,201	6,355	4,846	1,687	0,562
Ресурсів – 500	4	11,158	6,368	4,790	1,693	0,423
Фазових станів – 9 521	5	10,654	6,476	4,178	1,773	0,355
Фазових переходів – 646 372	6	10,512	6,240	4,271	1,797	0,300
	7	10,060	6,225	3,836	1,878	0,268
	8	10,053	6,242	3,810	1,879	0,235
Задача 2	1	81,198	26,118	55,080	1,000	1,000
Розмірність задачі	2	49,843	26,179	23,665	1,629	0,815
Заявок – 19	3	41,472	26,156	15,316	1,958	0,653
Ресурсів – 1 000	4	40,180	26,211	13,969	2,021	0,505
Фазових станів – 19 021	5	37,442	26,193	11,249	2,169	0,434
Фазових переходів – 1 358 872	6	37,252	26,152	11,100	2,180	0,363
	7	36,185	26,143	10,042	2,244	0,321
	8	36,378	26,519	9,859	2,232	0,279
Задача 3	1	187,714	59,628	128,086	1,000	1,000
Розмірність задачі	2	107,363	59,607	47,756	1,748	0,874
Заявок – 19	3	90,441	60,358	30,083	2,076	0,692
Ресурсів – 1 500	4	86,114	60,450	25,664	2,180	0,545
Фазових станів – 28 521	5	80,263	59,373	20,891	2,339	0,468
Фазових переходів – 2 071 372	6	80,394	59,520	20,874	2,335	0,389
	7	79,442	59,591	19,852	2,363	0,338
	8	78,671	59,519	19,152	2,386	0,298
Задача 4	1	339,231	107,349	231,882	1,000	1,000
Розмірність задачі	2	185,480	106,830	78,650	1,829	0,914
Заявок – 19	3	158,113	106,962	51,151	2,146	0,715
Ресурсів – 2 000	4	149,643	107,003	42,641	2,267	0,567
Фазових станів – 38 021	5	141,516	106,829	34,687	2,397	0,479
Фазових переходів – 2 783 872	6	141,480	107,078	34,402	2,398	0,400
	7	139,024	107,071	31,953	2,440	0,349
	8	138,274	106,725	31,549	2,453	0,307

Рис. 3 містить графік загального прискорення виконання програми для алгоритму з розпаралелюванням для різної розмірності задачі та кількості процесорів. Слід зазначити, що відповідно до закону Амдала та закону Густафсона – Баріса, загальне прискорення програми з розпаралелюванням не може бути кращим за

лінійне.

Рис. 4. містить графік показника ефективності використання процесорів. Як видно з графіка при додаванні кожного наступного процесора ефективність використання процесорів знижується. Що пояснюється наявністю не розпаралеленої частини програми.

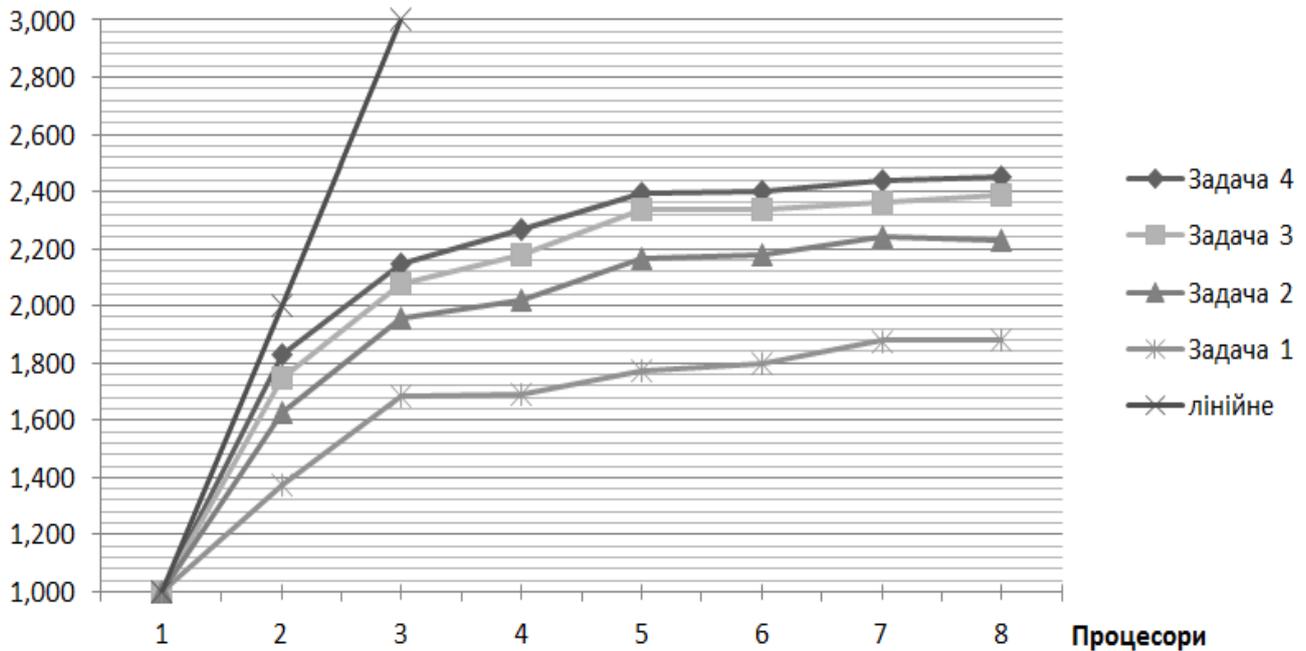


Рис. 3. Загальне прискорення розрахунку

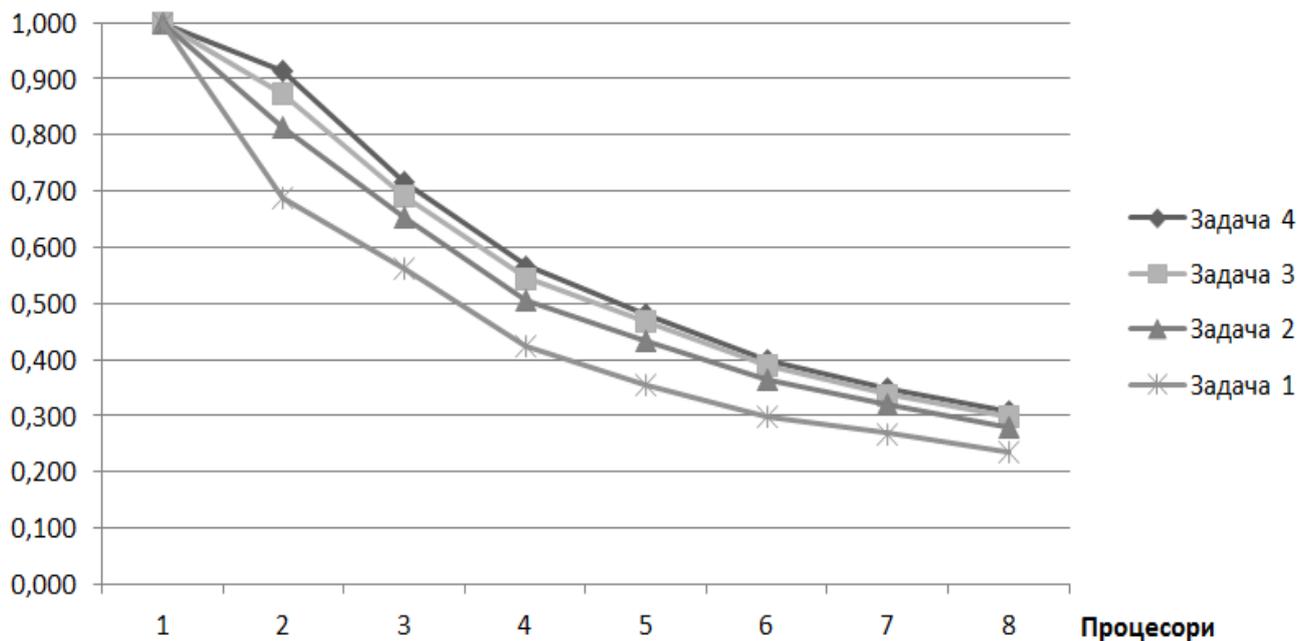


Рис. 4. Ефективність використання процесорів

Висновки

Уперше запропоновано метод розрахунку параметрів фазових переходів для вирішення задач стратегічного планування з використанням технології автоматизації управління дискретними технологічними та інформаційними процесами з розпаралелюванням обчислень.

Запропонований метод дозволяє підвищити ефективність управління дискретними технологічними та інформаційними процесами оскільки робить можливим використання моделей реальної розмірності. Запропонований автором алгоритм методу з розпаралелюванням дозволяє отримати майже лінійний приріст продуктивності обчислень, що підтверджено експериментально. Отримані наукові результати апробовано під час наукової конференції [8]. Використаний автором підхід до розпаралелювання може бути використаний для широкого класу моделей ДТІП.

software engineering. – Boston: Addison Wesley, 1995.

5. *Воеводин В.В., Воеводин Вл.В.* Параллельные вычисления. Серия "Научное издание". – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
6. *Антонов А.С.* Параллельное программирование с использованием технологии MPI: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 71 с.
7. *Карпов В.Е.* Введение в распараллеливание алгоритмов и программ // Компьютерные исследования и моделирование. – 2010. – Т. 2, № 3. – С. 231–272.
8. *Степанюк М.Ю., Синицын И.П.* Метод расчета параметров фазовых переходов ДТІП стратегического планирования с распараллеливанием вычислений // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС'2013: Восьма міжнародна науково-практична конференція. Тези доповідей (Чернігів – Жукин, 24-28 червня 2013р.). – Чернігів: Черніг. держ. технол. ун-т, 2013. – С. 394 – 398.

Одержано 01.04.2013

1. *Синицын И.П.* Основы автоматизации управления дискретными технологическими и информационными процессами. – Киев: Наукова думка, 2005. – 164 с.
2. *Бурлаков М.В.* Основы технологии автоматизации управления дискретными технологическими и информационными процессами // Монография. – К: Университет "Україна", 2010. – 561 с.
3. *Степанюк М.Ю.* Математична модель чисельної оптимізації ДТІП стратегічного планування на основі збалансованої системи показників // Математичні машини і системи. – 2013. – № 2. – С. 166–175.
4. *Foster I.* Designing and building parallel programs: concepts and tools for parallel

Про автора:

Степанюк Михайло Юрійович,
молодший науковий співробітник.

Місце роботи автора:

Інститут програмних систем
НАН України,
03187, Київ-187,
проспект Академіка Глушкова, 40.
Тел.: +38 050 441 8510.
E-mail: realmstep@gmail.com