

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОДІЇ РЕАЛІЗАЦІЇ КЛІТИННО-АВТОМАТНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

*Анотація.* Розглядається залежність швидкодії «класичної» та «фронтальної» реалізації клітинних автоматів від активності клітинних автоматів в області моделювання, та її розмірів.

*Ключові слова:* Клітинний автомат, фронтальний клітинний автомат, алгоритм, швидкодія.

**Постановка проблеми.** Одним з ефективних математичних апаратів розв'язання динамічних польових задач з розподіленими параметрами є клітинні автомати [1, 2]. Недоліком даного способу моделювання є велика кількість обчислень, що призводить до зниження швидкодії алгоритму.

**Аналіз останніх публікацій.** Як відомо, головним елементом алгоритму клітинних автоматів є визначення стану клітини за допомогою так званих правил переходу [3]. Ці правила описують стан осередків у наступному кроці на підставі визначення стану осередків у його сусідстві (поточний стан клітини часто не враховується). Класичний алгоритм клітинних автоматів використовує це правило безпосередньо, тобто осередок збирає інформацію (рисунок 1). Для комірки в середині рисунка перевіряються правила переходу і вона отримує інформацію, досліджуючи стан своїх сусідів (наприклад в оточенні Дж. фон Неймана). Тому для реалізації обчислень в одному кроці необхідно дослідити весь клітинний простір (стрілка у верхній частині малюнка), перевіряючи правила переходу для кожного осередку і стан всіх сусідів для кожного осередку просторі. У фронтальних клітинних автоматах напрямок передачі інформації змінюється на протилежне, як це показано на рисунку 2. Це перший крок, який не дає будь-яких видимих переваг тому, що і в цьому випадку доводиться досліджувати весь клітинний простір і немає істотної різниці чи

буде осередок отримувати або відправляти інформацію до всіх своїх сусідів.

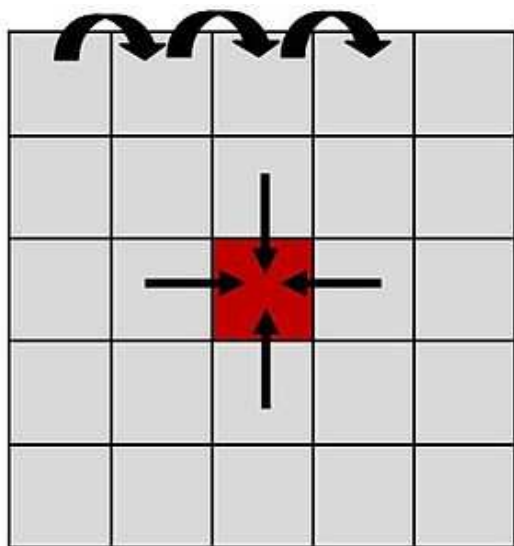


Рисунок 1 - Алгоритм класичного клітинного автомата

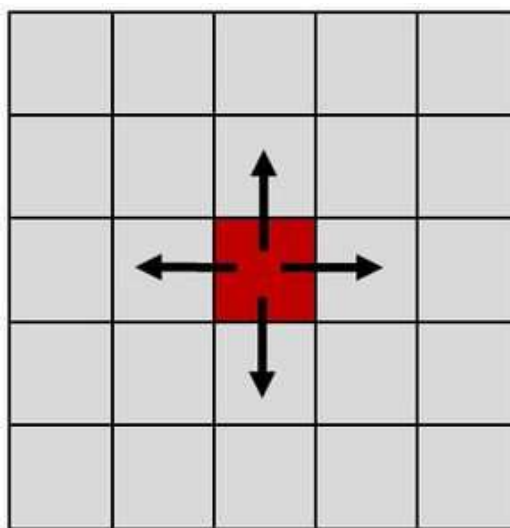


Рисунок 2 - Напрямок передачі інформації фронтального клітинного автомата

Різниця між класичним та фронтальним алгоритмами з'являється, якщо розглядаються переходи та стабільні стани. Якщо в сусідстві осередку не відбуваються зміни, він залишається в тому ж стані, і можна сказати, що він знаходиться в стійкому сталому стані. І навпаки, якщо відбуваються зміни в сусідстві, він може змінити свій стан, тобто буде в перехідному стані. Вже на цьому етапі проявляються відмінності між двома алгоритмами, так як збір інформації від сусідів не створює будь-яких передумов, які вказували б, чи слід збирати таку інформацію, чи ні. Однак, при поширенні (розсилці) інформації від осередку до сусідів рішення може бути прийняте на підставі знання, чи змінився стан цього осередку чи ні. Осередок, який не змінює свого стану, не посилатиме інформацію до свого оточення, однак, якщо зміни в його стані відбулися, осередки в усьому його оточенні отримають повідомлення, і на підставі цієї інформації справлять перевірку правил переходу, без вивчення свого сусідства. Це другий крок, друга відмінність.

Третій і останній крок полягає у використанні для розрахунку тільки осередків у перехідному стані. Якщо сутністю другого кроку була розсилка сигналів тільки від осередків в перехідному стані і не-

змінним дослідженням всього клітинного простору, то головним елементом третього етапу модернізації алгоритму є обмеження дослідження осередків тільки тими з них, які знаходяться в перехідному стані.

Як приклад ефективного застосування може бути показаний процес зростання кристала. Частковий простору з зростаючим кристалом показаний на рисунку 3. У будь-якому процесі росту кристалу або зерна, можна виділити три зони. У першій зоні (a) не відбулося ніяких змін вихідного стану. У другій зоні (b) такі зміни закінчилися, і подальші зміни більше відбуватися не будуть. Нарешті, в третій зоні (c) зміни відбуваються в даний момент часу і, отже, тільки осередки з третьої зони використовуються в розрахунках. І перша, і друга зони повинні бути виключені з розрахунків в поточному кроці, оскільки зміни в осередках цих зон не очікуються і не відбудуться. Для вибраної комірки на рисунку 3 в перехідному стані показано стрілками напрямком передачі інформації, суттєвої для сусідів. Таким чином, в поточному кроці тільки шість осередків у зоні (c) будуть брати участь у розрахунку.

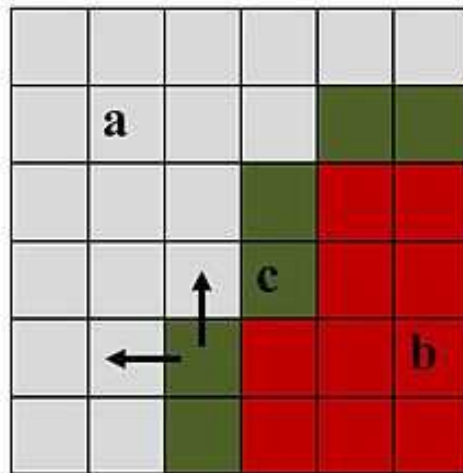


Рисунок 3 - Алгоритм фронтального клітинного автомата

Використання фронтального клітинного автомата, замість звичайних клітинних автоматів, дозволяє знизити обчислювальні витрати в двовимірних (2D) моделях, але особливо істотно в тривимірних (3D), тому що значні області простору виключаються з розрахунку в кожному кроці за часом, і лише тонкий шар бере участь у розрахунку. У класичних клітинних автоматах практично кожен крок вима-

гає таких же витрат і час його обчислення протягом всього процесу моделювання залишається незмінною. Час же розрахунку одного кроку фронтального клітинного автомата залежить від кількості клітин, що беруть участь у розрахунку, і змінюється в широких межах, залишаючись завжди лише малою частиною порівняно з часом обчислень одного кроку в класичних клітинних автоматах. Кожна комірка фронтального клітинного автомата насправді бере участь у розрахунках тільки один раз протягом усього процесу розрахунку, в той час, як у класичному алгоритмі, на кожному кроці обчислень. Тобто, основна різниця між фронтальним і класичним клітинним автоматом полягає в способі обчислення станів клітин на кожному кроці.

**Постановка задачі.** Актуальною задачею є визначення меж ефективного застосування фронтальних клітинних автоматів у порівнянні з їх класичною реалізацією.

#### **Результати досліджень**

Дослідження швидкодії роботи клітинно-автоматних алгоритмів проводилось на прикладі хвильової клітинно-автоматної моделі Вінера-Розенблюта [4]. Вихідними даними для проведення серії обчислювальних експериментів були наступні: розмір поля 100\*100 клітин, кількість ітерацій 120. Загалом, було проведено серію з трьох обчислювальних експериментів при варіації початкового заповнення області моделювання.

Як відомо, в алгоритмі фронтального КА додається умова перерахунку стану клітини за правилами. Якщо хоч один сусід змінив свій стан, то наступний стан для центральної клітини буде перерахований за правилами, інакше - стан незмінний.

В кодї алгоритму це змінилось наступним чином:

1) для кожної клітини ввели маркер, що фіксує зміну її стану «is\_changed»;

2) з'явилась нова функція що повертає для кожної клітини значення параметру зміни після кожного кроку;

3) з'явилась умова перерахунку стану клітини за правилами

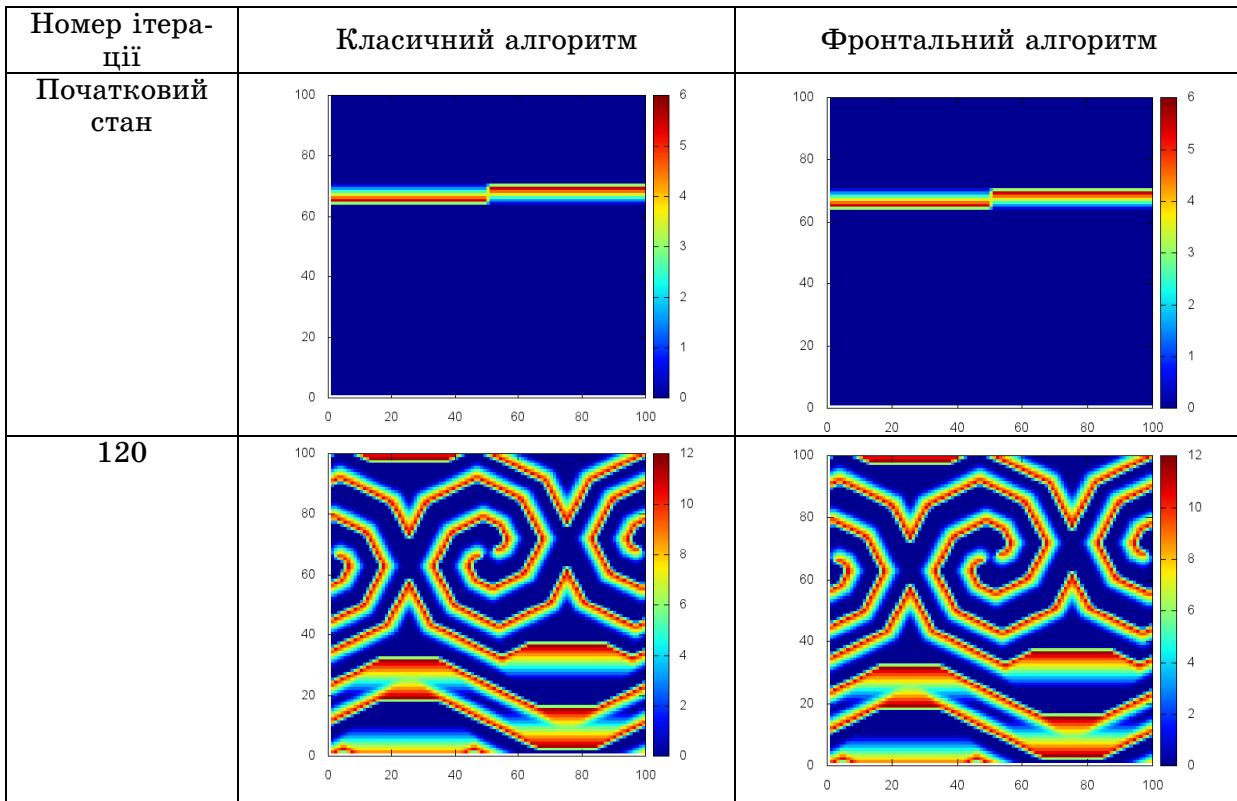
За рахунок того, що в алгоритмі фронтального автомата стан не всіх клітин перераховується за правилами, очікується різниця в швидкодії двох алгоритмів.

Данні наведені в таблицях 1, 3, 5 свідчать про те, що результати розв'язку польової задачі тотожні, як для класичної так і для

фронтальної реалізації клітинних автоматів, проте істотна різниця в швидкодії, що визначається кількістю клітин, що змінили свій стан в процесі обчислення. Данні наведені в таблицях 2, 4, 6 свідчать про те, що в процесі обчислення класична реалізація клітинних автоматів призначає нове значення абсолютно всім коміркам області обчислення на відмінно від фронтального клітинного автомата (КА).

Таблиця 1

## Хвильовий процес. Обчислювальний експеримент 1



Таблиця 2

Кількість клітин, що змінила стан за правилами КА в процесі моделювання (рисунок 4). Обчислювальний експеримент 1

Номер ітерації	Кількість клітин, що змінили стан за правилами	
	Класичний КА	Фронтальний КА
1	10000	800
10	10000	1816
25	10000	3236
53	10000	6136
78	10000	8792
120	10000	10000
150	10000	10000

Аналіз результатів першого обчислювального експерименту показав, що кількість клітин, що перерахували стан за правилами КА за весь період моделювання (120 кроків) для класичного КА становить – 1500000, для фронтального КА – 1075728. Час виконання всіх ітерацій для класичного КА – 37 с, для фронтального КА – 49 с.

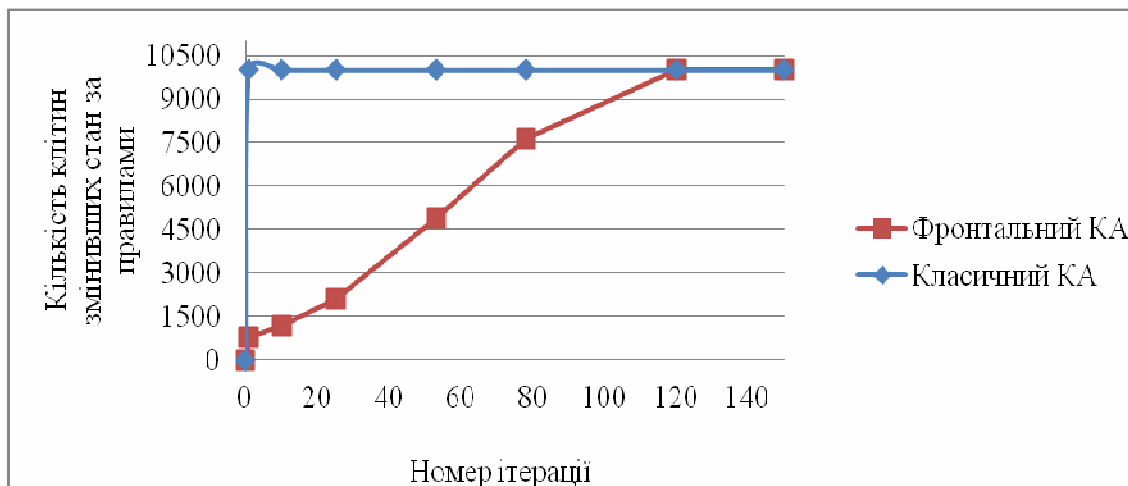


Рисунок 4 – Залежність кількості клітин, стан яких перерахований, від номеру ітерації. Обчислювальний експеримент 1

Таблиця 3

Хвильовий процес. Обчислювальний експеримент 2

Номер ітерації	Класичний алгоритм	Фронтальний алгоритм
Початковий стан		
120		

Кількість клітин, що змінила стан за правилами КА на різних в процесі моделювання (рисунок 5). Обчислювальний експеримент 2

Номер ітерації	Кількість клітин, що змінили стан за правилами	
	Класичний КА	Фронтальний КА
1	10000	576
10	10000	1158
25	10000	2118
53	10000	4872
78	10000	7642
120	10000	10000
150	10000	10000

Другий обчислювальний експеримент показав, що кількість клітин, які перерахували, тобто змінили, стан за правилами КА за весь період моделювання для класичного КА – 1500000, для фронтального КА – 974444. Час обчислення 120 ітерацій для класичного КА становив 44 с, для фронтального КА – 55 с.

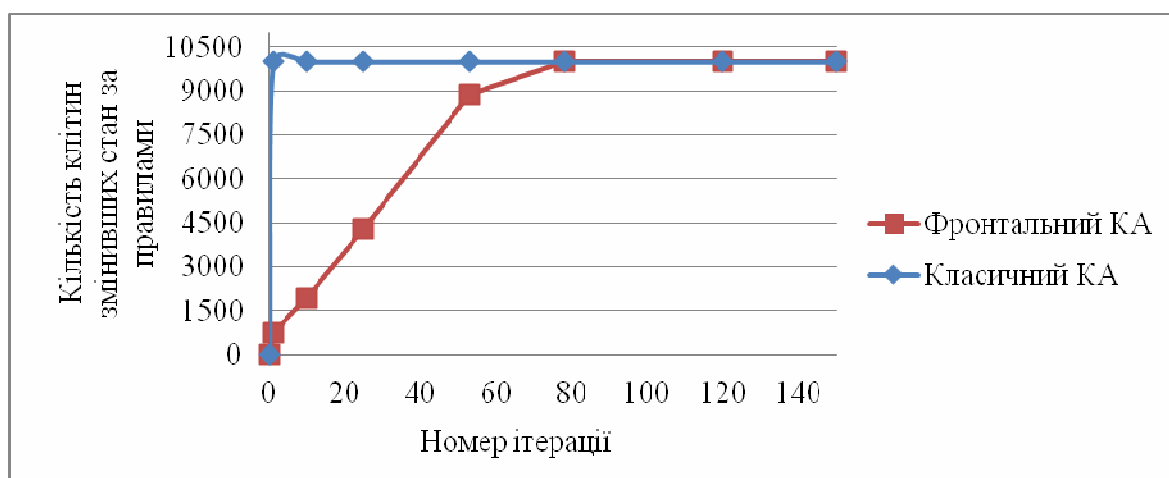
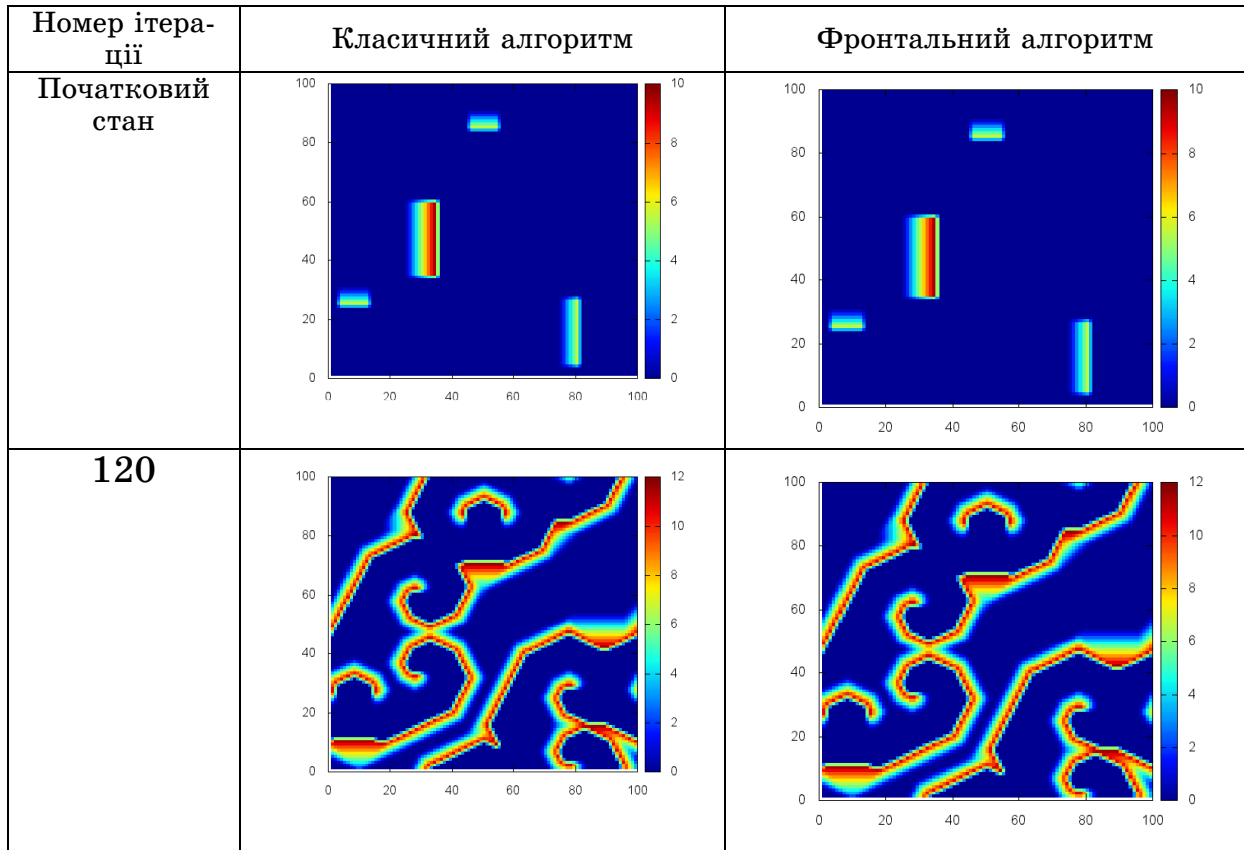


Рисунок 5 – Залежність кількості клітин, стан яких перерахований, від номеру ітерації. Обчислювальний експеримент 2

Третій обчислювальний експеримент, було проведено при більшій щільності збуреннями у області поширення хвиль (таблиця 5).

## Хвильовий процес. Обчислювальний експеримент 3



Таблиця 6

Кількість клітин, що змінила стан за правилами КА на різних в процесі моделювання (рисунок 6). Обчислювальний експеримент 3

Номер ітерації	Кількість клітин, що змінили стан за правилами	
	Класичний КА	Фронтальний КА
1	10000	728
10	10000	1912
25	10000	4275
53	10000	8884
78	10000	10000
120	10000	10000
150	10000	10000



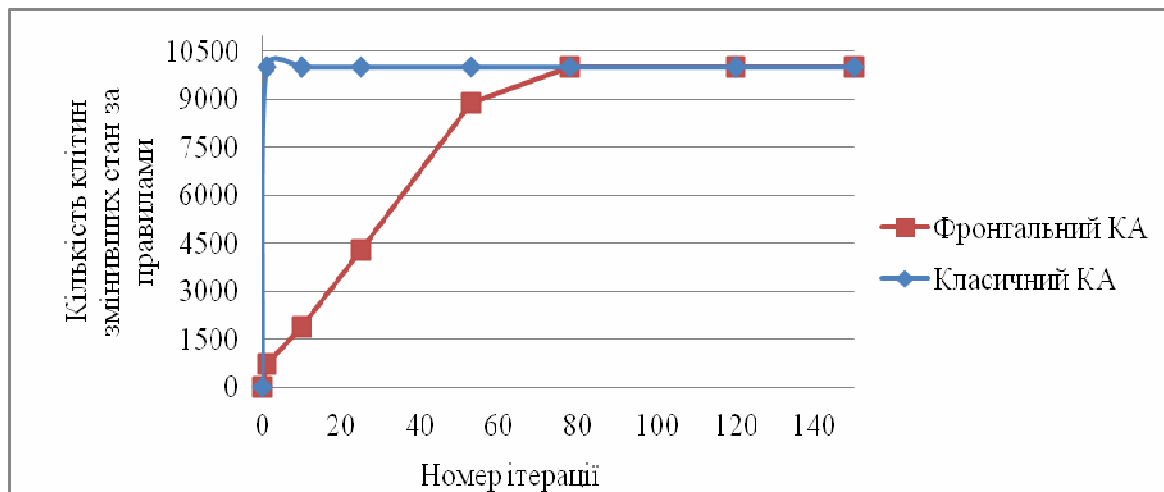


Рисунок 6 – Залежність кількості клітин, стан яких перерахований, від ітерації. Обчислювальний експеримент 3

Аналіз результатів третього обчислювального експерименту показав, що на протязі 120 ітерацій змінили свій стан 1500000 комірок (класичний КА), та 1206098 комірок (фронтальний КА). Час виконання всіх ітерацій для класичного КА становив 43 с, для фронтального КА – 60 с.

Узагальнивши вище наведені результати, можна зробити висновок про те, що загальний час виконання обчислень результати має класичний алгоритм. Але, якщо брати до уваги кількість розрахунків, то, чим менше активності в області моделювання, тим менше розрахунків проводиться фронтальним КА. В той час як для класичного цей показник буде завжди однаковим. Проте, при збільшенні кількості комірок в області моделювання ситуація докорінним чином змінюється – швидкість обчислень фронтальних КА стає меншою у порівнянні з класичним КА (таблиця 7, рисунок 7).

Таблиця 7

Залежність часу виконання алгоритму від розміру обчислювального поля

Розмір поля	Час виконання алгоритму (проходження всіх ітерацій), с	
	Класичний КА	Фронтальний КА
100*100	37	49
200*200	186	180
300*300	349	344
400*400	655	578
500*500	975	839

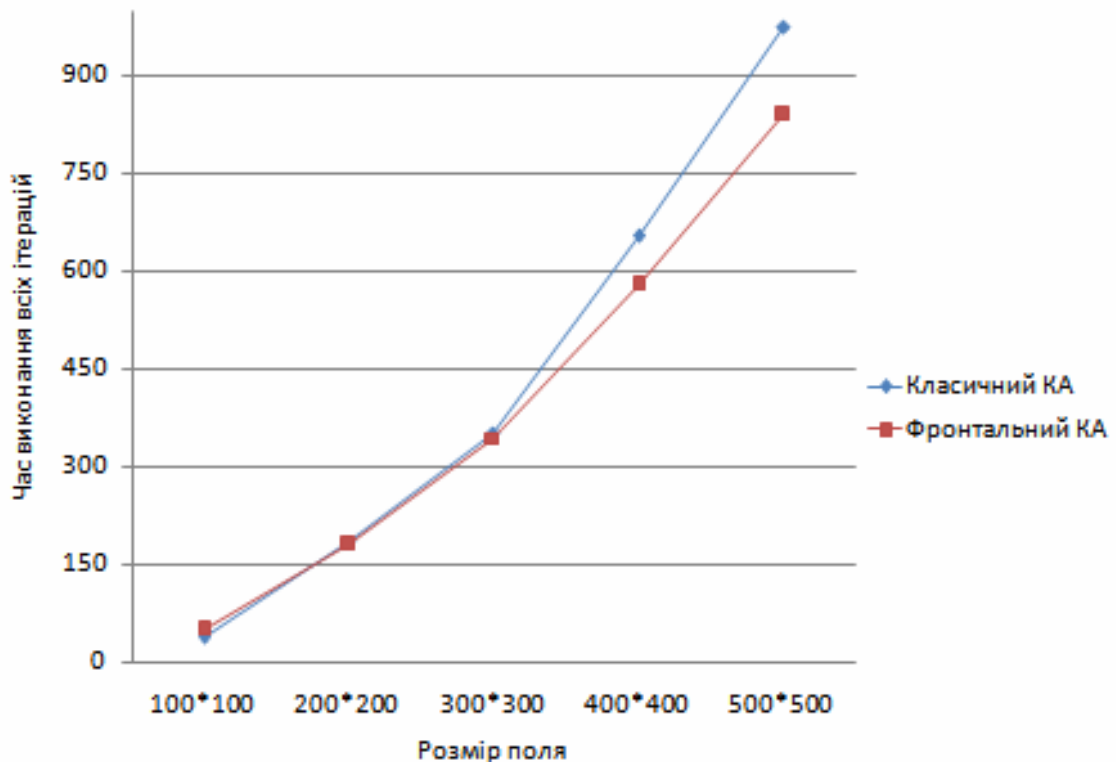


Рисунок 7 – Швидкодія алгоритмів від розмірів обчислювального поля

### Висновки

В ході проведення дослідження швидкодії реалізації клітинно-автоматних обчислень було встановлено що:

1) кількість клітин що підлягають перерахунку залежить від активності в області моделювання (чим активність більша, тим більше клітин перераховується за правилами в ході роботи алгоритму),

2) швидкодія фронтального КА перебільшує швидкодію класичного КА лише на малому полі, із зростанням розмірів поля обчислень – фронтальний алгоритм показує кращі показники швидкодії, ніж класичний.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов. М.: Мир, 1991. – 280 с
2. Wolfram S. Cellular automation Fluids.// J.Stat.Phys. 1986. – Vol. 45. – PP. 471-526.
3. Svyetlichnyy D. "Modelling of the microstructure: From classical cellular automata approach to the frontal one ", Computational Materials Science, t. 50, 2010. – P. 92-97.
4. Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. Введение в синергетику: Учеб. руководство. — М.: Наука, 1990. — 272 с.