

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень


Багатокомп'ютерна повнозв'язна топологія для паралельних систем
Назва теми

КВРКІ. 190115.19.01.16 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»
Назва

Виконав: студент IV курсу, група KI2-19-1  Підпис

Т. С. Ісаєв
Ініціали, прізвище

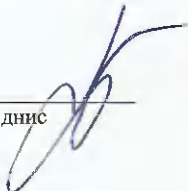
Керівник  Підпис, дата

Т. М. Кисіль
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер  Підпис, дата

С.М. Лисенко
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем

 Підпис

Т.О. Говоруценко
Ініціали, прізвище

« 1 » червня 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЯ ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 11 ” 01 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Ісаєву Тимуру Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Багатокомп'ютерна повнозв'язна топологія для паралельних систем

Керівник проекту (роботи) Кисіль Т.М., к.ф.-м.н., доцент.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 1.03.2023 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз топології та функціонування багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем;

Моделювання топології багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем

Побудова доцільної топології багатокомп'ютерної повнозв'язної паралельної системи


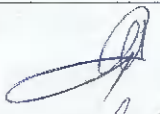

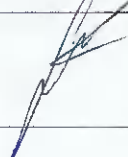
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Типи багатокомп'ютерних паралельних систем

Налаштування програми для роботи з моделюванням

Результати моделювання

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагиат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 01 » 01 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.01.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 - аналіз топології та функціонування багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем	01.03.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 - моделювання топології багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем	01.04.2023	виконано
5	Робота над розділом 3 - побудова доцільної топології багатокомп'ютерної повнозв'язної паралельної системи	30.04.2023	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	31.05.2023	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2023	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2023 року	

Студент


Підпис

Т. С. Ісаєв

Ініціали, прізвище

Керівник проєкту (роботи)


Підпис

Т. М. Кисілі

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Багатокомп'ютерна повнозв'язна топологія для паралельних систем».

Автор роботи: Ісаєв Тимур Сергійович.

Керівник роботи: Кисіль Тетяна Миколаївна.

Пояснювальна записка: 64 с., 54 рис., 1 табл., 60 джерел.

Графічна частина: презентаційні слайди, графічні креслення.

БАГАТОКОМП'ЮТЕРНА ПОВНОЗВ'ЯЗНА ТОПОЛОГІЯ ДЛЯ
ПАРАЛЕЛЬНИХ СИСТЕМ, ТОПОЛОГІЯ МЕРЕЖ, PARALAB

Multi-Computer Full-Mesh Parallel Systems, БКПІС, моделювання,
оптимізація, ефективність, швидкість, обґрунтування

Мета дослідження – встановлення найбільш ефективної
багатокомп'ютерної повнозв'язної топології для паралельних систем.

Об'єкт дослідження – топології комп'ютерних мереж.

Предмет дослідження – паралельні топології для багатокомп'ютерних
повнозв'язних систем.





Практичне значення: під час обґрунтування визначеної топології проектною
БКПІС встановлено, що серед оптимізаційних рішень, які впливають на
ефективність паралельного обчислення, найбільш доцільними є підвищення
пропускної здатності внутрішньої мережі та підвищення обчислювальної
потужності процесорів комп'ютерних вузлів. Доведено, що провадження
оптимізаційних заходів до ґрунтовно обраної повнозв'язної топології БКПІС
загалом підвищує ефективність паралельного обчислення з широким
варіативним сектором для кожного типового завдання


Підпис студента

29.05.23р
Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ТОПОЛОГІЇ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ БАГАТОКОМП'ЮТЕРНИХ ПОВНОЗВ'ЯЗНИХ ПАРАЛЕЛЬНИХ СИСТЕМ	9
1.1 Формування поняттєвої бази щодо розподілених систем та відкритих інтерфейсів.....	9
1.2 Класифікація та особливості функціонування типів топології багатокомп'ютерних систем	16
1.3 Дослідження концепту паралельного обчислення на базі багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем.....	20
1.4 Висновки	24
2 МОДЕЛЮВАННЯ ТОПОЛОГІЇ БАГАТОКОМП'ЮТЕРНИХ ПОВНОЗВ'ЯЗНИХ ПАРАЛЕЛЬНИХ СИСТЕМ	25
2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для моделювання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем.....	25
2.2 Математичний апарат моделі багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем.....	29
2.3 Моделювання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем в програмному середовищі визначених цифрових засобів.....	36
2.4 Висновки	49
3 ПОБУДОВА ДОЦІЛЬНОЇ ТОПОЛОГІЇ БАГАТОКОМП'ЮТЕРНОЇ ПОВНОЗВ'ЯЗНОЇ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ	50
3.1 Аналіз результатів цифропрограмного моделювання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем в програмному середовищі визначених цифрових засобів	50
3.2 Обґрунтування вибору доцільної топології багатокомп'ютерної повнозв'язної паралельної системи.....	54

КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	<i>Багатокомп'ютерна повнозв'язна топологія для паралельних систем</i>	Літера	Аркуші	Аркушів
Виконав		Ісаєв Т.С				у	2	64
Перевір.		Кисіль Т.М.			ХНУ КІ2-19-1			
Н.контр.		Лисенко С.М.						
Затвер.		Говоруценко Т.О.						

3.3 Апаратно-апаратні рішення з забезпечення функціонування проектної технології багатокомп'ютерної новозв'язної паралельної системи	62
3.4 Висновки	66
ВНСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	69
Додаток А	74
Конія креслення “Тини багатокомн’ютерних паралельних систем”	74
Додаток Б	75
Конія креслення “Налаштування програми для роботи з моделюванням”	75
Додаток В	76
Конія креслення “Результати моделювання”	76

ВСТУП

Тема дослідження: багатокомп'ютерна повнозв'язна топологія для паралельних систем.

Актуальність. Багатокомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи (Multi-Computer Full-Mesh Parallel Systems) є ключовими інструментами для виконання великих обчислювальних завдань у багатьох галузях, включаючи науку, інженерію, фінанси, медицину, та інше. Нижче наведена загальна статистика використання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем у світі [57-58]:

- ринок багатопроцесорних систем очікується досягти 30 мільярдів доларів США до 2032 року зі зростанням темпів 6,5% річно;
- найбільші ринки багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем включають США, Китай, Європейський Союз, Японію та Індію;
- у 2022 році було випущено більше 2,5 мільйонів процесорів для використання в багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних системах;
- найбільш популярні багатокомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи на даний час – це кластери, які складаються з десятків або навіть сотень взаємопов'язаних серверів, а також суперкомп'ютери, які мають більш ніж 100 тисяч процесорів;
- у 2020 році суперкомп'ютер Fugaku в Японії став найшвидшим у світі з швидкістю 415,5 петафлопс (тобто 415,5 трильйонів обчислювальних операцій за секунду);
- багатокомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи застосовуються у багатьох наукових дослідженнях, зокрема у кліматології, геноміці, фізиці та хімії;
- компанії, які активно розвивають багатоккомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи включають Intel, AMD, NVIDIA, IBM та Cray;
- застосування багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем у бізнесі зростає, зокрема в області фінансів та страхування, де вони

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

використовуються для аналізу ризиків, прогнозування ринків та управління портфелями;

– у 2020 році з'явилися перші комерційні багатокомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи на базі квантових комп'ютерів, такі як Honeywell Quantum Solutions та IBM Quantum;

– застосування багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем допомагає розв'язувати складні задачі швидше та ефективніше, забезпечуючи значний економічний та науковий вплив у світі.

Дослідження багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем є актуальним з кількох причин [48-49]:

– по-перше, з появою великих обсягів даних, штучного інтелекту та машинного навчання, зросла потреба в ефективних та потужних обчислювальних системах. Багатокомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи можуть допомогти збільшити продуктивність обчислень та зменшити час, необхідний для вирішення складних завдань;

– по-друге, багатокомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи мають потенціал стати основою для розробки нових технологій та програм, які можуть допомогти вирішувати складні проблеми в різних галузях, включаючи науку, медицину, енергетику та бізнес;

– по-третє, дослідження багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем можуть допомогти розробити нові алгоритми та технології, що покращать ефективність та продуктивність цих систем. Це може допомогти зменшити вартість та підвищити доступність таких систем для більшої кількості користувачів.

Отже, дослідження багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем є важливим і актуальним напрямком в сучасній науці та технологіях.

Мета дослідження – встановлення найбільш ефективної багатокомп'ютерної повнозв'язної топології для паралельних систем.

Завдання дослідження:

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– аналіз топології та функціонування багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем: визначення концепту, термінологічного базису та функціоналу багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем; класифікація та особливості функціонування типів топології багатокомп'ютерних систем; дослідження концепту паралельного обчислення на базі багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем;

– моделювання топології багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем: обґрунтування вибору програмного середовища для моделювання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем; математичний апарат моделі багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем; моделювання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем в програмному середовищі визначених цифрових засобів;

– побудова доцільної топології багатокомп'ютерної повнозв'язної паралельної системи: аналіз результатів цифропрограмного моделювання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем в програмному середовищі визначених цифрових засобів; обґрунтування вибору доцільної топології багатокомп'ютерної повнозв'язної паралельної системи; апаратно-аналітичні рішення з забезпечення функціонування проектної топології багатокомп'ютерної повнозв'язної паралельної системи. [58-60]

Методи вивчення та обробки завдання:

1. Моделювання: цей метод використовується для аналізу роботи багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем на основі математичних моделей. Моделі можуть бути розроблені для опису роботи окремих компонентів системи або для аналізу системи в цілому. Моделювання може допомогти прогнозувати продуктивність системи, виявляти можливі проблеми та покращувати алгоритми роботи.

2. Експериментальні дослідження: цей метод використовується для вимірювання продуктивності та характеристик багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем у реальних умовах. Експерименти можуть бути проведені на

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

різних рівнях системи, від окремих компонентів до системи в цілому. Експериментальні дослідження дозволяють виявляти проблеми та покращувати продуктивність систем.

3. Аналіз коду: цей метод використовується для виявлення проблем та покращення продуктивності багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем шляхом аналізу програмного коду. Аналіз коду може допомогти виявити можливі проблеми з пам'яттю, відсутність паралелізму, а також інші недоліки, що знижують продуктивність системи.

4. Симуляція: цей метод використовується для віртуального моделювання роботи багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем. Симуляція може бути використана для тестування нових алгоритмів, розробки програмного забезпечення, а також для відтворення реальних ситуацій.

Однією з основних проблем багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем є питання розподілу ресурсів, яке є досить складним завданням. Останні роки було проведено багато досліджень у галузі розподілу ресурсів, які використовують нові методи та алгоритми для досягнення кращої ефективності та продуктивності. Також, наукова новизна дослідження полягає у розробці нових моделей для аналізу роботи багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем, що дозволяють проводити більш точний та швидкий аналіз. Дослідження багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем також вимагає розробки нових алгоритмів для оптимізації розподілу завдань та ресурсів між комп'ютерами. Такі алгоритми повинні бути ефективними та масштабованими, щоб можна було використовувати їх для розподілу завдань на великих системах з великою кількістю комп'ютерів.

Дослідження в цій області дозволяють розробляти більш ефективні та потужні програмні засоби, які можуть бути застосовані у різних галузях, таких як наука, технології, фінанси, медицина тощо. Результати досліджень можуть бути використані для розробки нових алгоритмів, які можуть бути використані у багатьох областях, де потрібна висока швидкість та обчислювальна потужність.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також вони можуть допомогти покращити якість та надійність програмних засобів, які використовуються в багатопроесорних та багатокомп'ютерних системах. Крім того, дослідження багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем допомагає розробляти нові технології та рішення, які можуть покращити розподіл завдань між різними комп'ютерами та забезпечити оптимальне використання обчислювальних ресурсів. Це може бути важливо, особливо в областях, де великі обчислювальні завдання потребують багато ресурсів, таких як наука, інженерія, фінанси тощо.

Дослідження багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем має велике практичне значення у різних областях науки та техніки. Деякі з практичних застосувань цих систем включають:

1. Обробка даних в реальному часі: багатокомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи можуть бути використані для обробки великого обсягу даних в реальному часі, наприклад, у фінансовій та медичній індустрії.

2. Моделювання складних систем: за допомогою багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем можна моделювати складні системи, наприклад, кліматичні зміни або поведінку матеріалів.

3. Обчислювальна наука: багатокомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи використовуються в обчислювальній науці для розробки нових алгоритмів та методів обробки даних.

4. Ігрова індустрія: багатокомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи дозволяють створювати більш складні та реалістичні ігри, які потребують великої кількості обчислень.

5. Машинне навчання: багатокомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи дозволяють ефективно використовувати методи машинного навчання для обробки великого обсягу даних та розв'язання складних задач.

Отже, дослідження багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем допомагає розширити можливості в різних сферах техніки та науки, що має велике практичне значення.

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТОПОЛОГІЇ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ БАГАТОКОМП'ЮТЕРНИХ ПОВНОЗВ'ЯЗНИХ ПАРАЛЕЛЬНИХ СИСТЕМ

1.1 Формування поняттєвої бази щодо розподілених систем та відкритих інтерфейсів

Багатокомп'ютерні повнозв'язні паралельні системи (БКППС) (Multi-Computer Full-Mesh Parallel Systems (MFMP)) [59] є типом паралельних обчислювальних систем, де кожен процесор (комп'ютер) з'єднаний з кожним іншим процесором безпосередньо. Це означає, що кожен процесор може спілкуватись з будь-яким іншим процесором в системі без посередництва.

Передумовами створення БКППС створені відповідно до досліджень Дж. М. Амдала (1967), що в результаті отримало назву Закон Амдала (або аргумент Амдала). Закон Амдала описує теоретичний приріст швидкості виконання програми при використанні паралельного обчислення, залежно від кількості процесорів, які виконують її. Цей приріст обмежується часткою програми, яка повинна виконуватись послідовно. Наприклад, якщо 95% програм може бути розпаралелено, то теоретичний максимальний приріст швидкості за допомогою паралельного обчислення буде 20 разів. Важливою метрикою для вимірювання ефективності паралельного обчислення є зменшення «латентності» - часу між введенням та виведенням даних у системі – рисунок 1.1.

Закон Амдала є важливим для розуміння того, як ефективно використовувати паралельне обчислення. Він показує, що навіть якщо значна частина програми може бути розпаралелена, теоретичний приріст швидкості буде обмежений послідовно виконуваними частинами програми. Тому важливо уважно аналізувати програми та визначати, які частини можна розпаралелити, щоб досягнути максимальної ефективності. Щоб виконання програми було максимально ефективне та допомогло зрозуміти принцип роботи системи задля вирішення поставленої задачі та опрацювання усіх параметрів програми.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

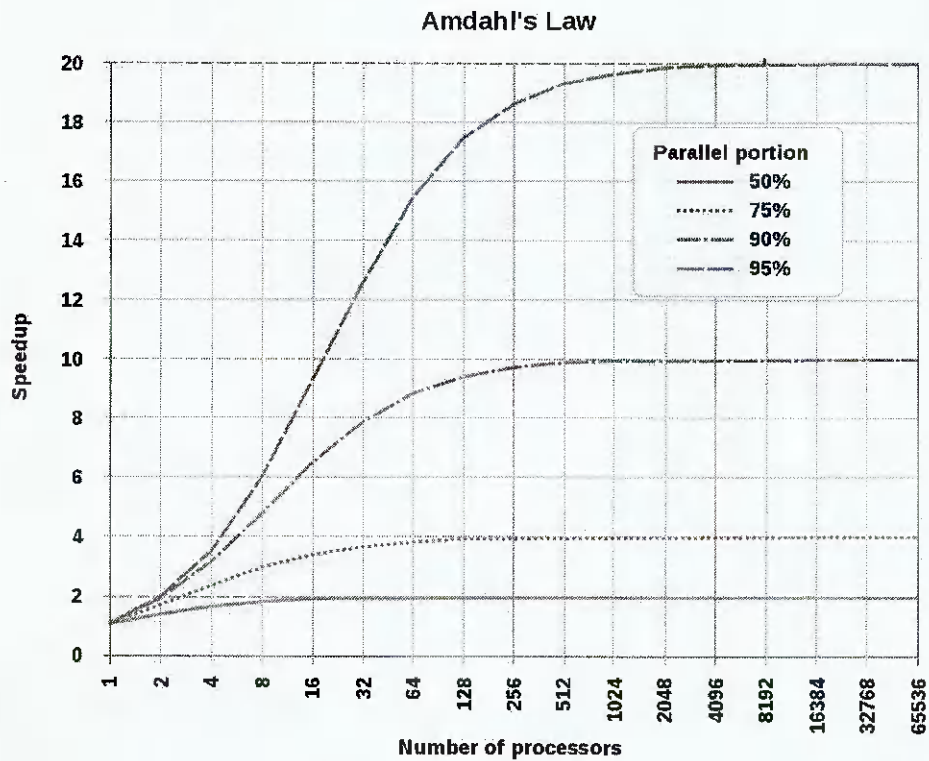


Рисунок 1.1 - Графічна інтерпретація закону Амдала[45]

Закон Амдала є інструментом для розрахунку теоретичного приросту швидкості програми при використанні паралельного обчислення. Він може бути використаний для планування паралельних обчислень та визначення кількості необхідних процесорів.

Принципи функціонування закону Амдала пояснюються наступним прикладом: припустимо, що задача має дві незалежні частини, А та В. Частина В займає близько 25% часу всієї обчислювальної роботи. Можливо дуже старанно працювати, щоб зробити цю частину в 5 разів швидше, але це зменшить час обчислення всього лише трохи. Натомість можна зробити частину А у 2 рази швидше, виконавши менше роботи. Це зробить обчислення набагато швидшим, ніж оптимізація частини В, навіть якщо швидкість покращення частини В більша за рахунок співвідношення (5 разів проти 2 разів) –рисунок 1.2.

Two independent parts A B

Original process 

Make B 5x faster 

Make A 2x faster 

Рисунок 1.2 – Приклад функціонування закону Амдала [55]

Також, концептуальну основу БКППС складає дослідження Дж. Л. Густафсона та Е. Х. Барсіса, що сформульований в закон Густафсона (або закон Густафсона – Барсіса) (1988), який став наступною ітерацією закону Амдала. Це закон, який визначає швидкість виконання задачі за допомогою паралельного обчислення порівняно з послідовним виконанням на одному процесорі. Закон дає теоретичну можливість оцінити «сповільнення» завдання, яке вже було паралелізовано, якщо виконувати його на послідовному процесорі.

Згідно з законом Густафсона, еволюція теоретичного прискорення часу виконання програми в залежності від кількості процесорів, які її виконують, має різні значення в залежності від параметра «а». Параметр «а» описує частку обчислень, які не можуть бути паралелізовані.

Згідно з законом Густафсона, якщо розмір задачі збільшується, а кількість процесорів в системі залишається стабільною, то час виконання задачі буде зростати. Проте, якщо збільшується кількість процесорів, то час виконання задачі зменшується. Тобто, при належному проектуванні системи і програмного забезпечення, збільшення кількості процесорів у системі не призводить до збільшення часу виконання задачі, а навпаки, дозволяє її виконувати швидше – рисунок 1.3.

Закон Густафсона дає більш оптимістичні прогнози для швидкодії паралельних систем, ніж закон Амдала. Закон Густафсона стверджує, що, якщо

розмір задачі збільшується, а кількість процесорів зростає пропорційно з ним, то кількість роботи, яку потрібно зробити на кожному процесорі, зменшується.

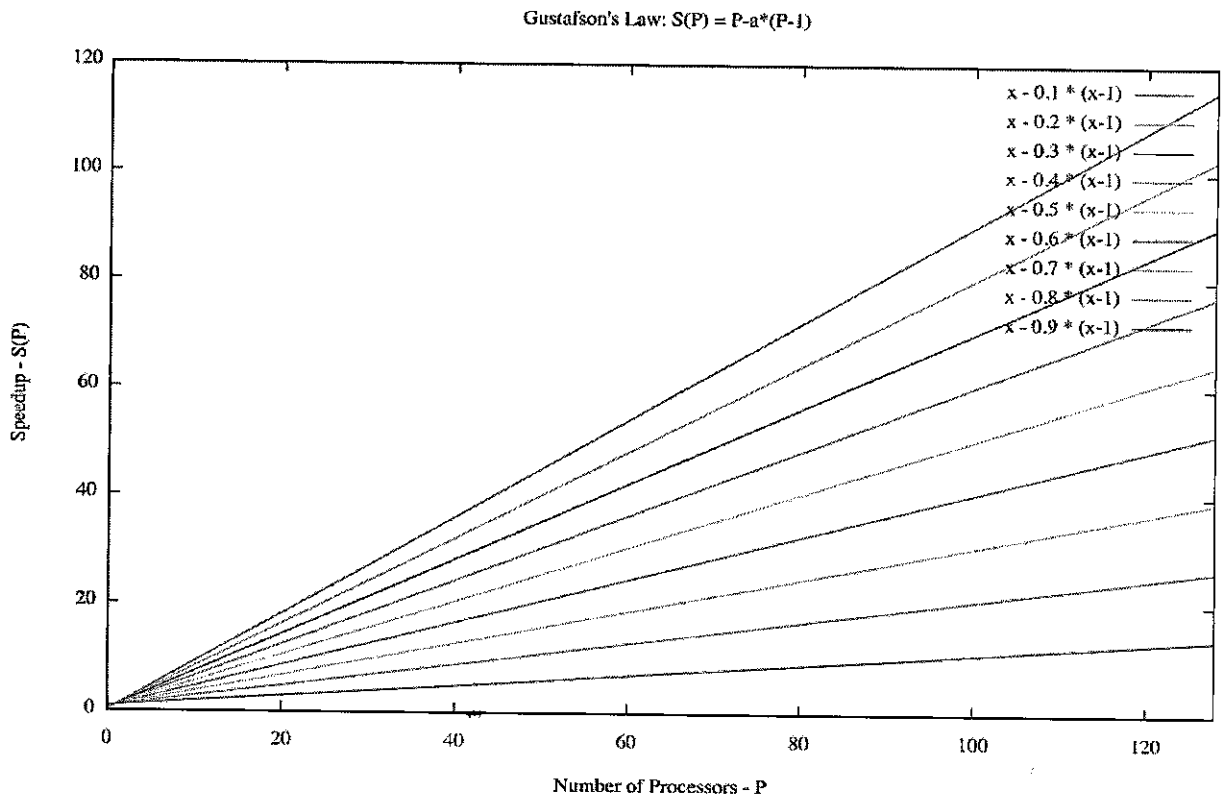


Рисунок 1.3 – Ілюстрація функціонування закону Густафсона – Барсіса[45]

Як наслідок, загальний час виконання задачі може зростати менш швидко, ніж кількість процесорів.

Оснoву коццепту БКПІС складають паралельні обчислення (Parallel Computing) [12-18]. Паралельне обчислення - це тип обчислень, в якому багато обчислень або процесів виконуються одночасно. Великі задачі часто можуть бути розділені на менші, які можуть бути вирішені одночасно. Існують кілька різних форм паралельного обчислення: бітовий рівень, рівень команд, рівень даних та задач. Паралелізм давно застосовується в високопродуктивних обчисленнях, але набув більш широкого інтересу через фізичні обмеження, які перешкоджають масштабуванню частоти. Оскільки споживання енергії (а отже, і генерація тепла)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ

Арк.

12

комп'ютерами стала проблемою в останні роки, паралельне обчислення стало домінуючою парадигмою в комп'ютерній архітектурі, переважно у формі багатоядерних процесорів.

Паралельне обчислення використовується у великій кількості різних доменів, включаючи науку про матеріали, біологію, фізика, криптографію, зображення та відео обробку, та багато іншого. Одним з популярних прикладів паралельного обчислення є розподілений обчислювальний процесор SETI@home, який використовує потужність великої кількості комп'ютерів з Інтернетом для пошуку ознак життя поза Землею.

Основними перевагами паралельного обчислення є можливість знизити час виконання складних завдань, збільшити продуктивність і швидкість розрахунків, а також збільшити можливості обробки даних. Однак, паралельне обчислення також вносить певні виклики та обмеження, такі як необхідність високої якості кодування програмного забезпечення, розподілення завдань між процесорами та вирішення питань синхронізації та взаємодії між процесорами.

Концепція БКПРС [20] виникла в середині 20-го століття і з тих пір пройшла значну еволюцію. Спочатку БКПРС були складними та дорогими системами, які використовувалися в основному для високоефективних обчислень у наукових та інженерних дослідженнях. Протягом 1970-х та 1980-х років БКПРС зазвичай були розроблені для вирішення конкретних задач, а не для загальних цілей. Такі системи були великими, складними та потребували високої кваліфікації операторів.

У 1990-х роках БКПРС стали доступнішими, з'явилися стандарти та програмні засоби, що зробило їх використання більш широким. У цей період також було розроблено нові топології мереж, які дозволили покращити продуктивність та масштабованість систем. Наприклад, технологія «Infiniband» була розроблена в 1999 році для підвищення продуктивності та масштабованості БКПРС.

З появою інтернету та зростанням обсягу даних, що обробляються, БКПРС стали все більш популярними у сферах, де потрібна велика обчислювальна потужність, наприклад, у веб-послугах та обробці великих обсягів даних. Сучасні

БКППС часто використовуються для вирішення задач штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу даних. Також БКППС використовуються у відеоігровій та розважальній індустрії для створення реалістичних та інтерактивних світів.

Загалом, еволюція концепції БКППС [46-47] відбулася для збільшення їх продуктивності, масштабованості та доступності. З'явилися нові технології та архітектури, які дозволили розширити можливості БКППС. Серед них можна виділити:

- розподілена обробка даних. Відмова від централізованої обробки даних дозволила збільшити продуктивність та масштабованість систем. Замість того, щоб обробляти всі дані на одному сервері, дані можуть розподілятися між різними комп'ютерами, що дозволяє збільшити продуктивність та зменшити навантаження на кожен окремий комп'ютер;

- використання графічних процесорів (GPU). Графічні процесори спеціалізовані на обчисленнях з великою кількістю операцій з плаваючою комою, що дозволяє їм швидко виконувати завдання, пов'язані з обробкою зображень та відео. GPU використовуються в БКППС для розпаралелювання обчислень та підвищення продуктивності;

- віртуалізація. Віртуалізація дозволяє запускати декілька віртуальних комп'ютерів на одному фізичному сервері, що дозволяє ефективніше використовувати ресурси та зменшити вартість обладнання;

- хмарні технології. Хмарні технології дозволяють використовувати ресурси БКППС через мережу Інтернет. Вони забезпечують доступ до великої кількості обчислювальних ресурсів за допомогою будь-якого пристрою з Інтернет-підключенням.

Сучасні БКППС мають багато можливостей та використовуються в різних сферах, таких як штучний інтелект, машинне навчання, обробка біоінформації, обробка зображень та відео, наукові дослідження та ін. Однією з найбільш відомих

та потужних БКПІС є IBM Summit, який використовує 27 648 графічних процесорів та досягає продуктивності понад 148 петафлопс.

Загалом, концепція БКПІС продовжує розвиватися, використовуючи нові технології та архітектури, щоб забезпечити високу продуктивність та масштабованість обчислювальних систем. За допомогою БКПІС можна розпаралелювати обчислення, збільшити швидкість та точність обробки даних та виконання завдань, а також зменшити вартість обладнання та споживання енергії. В майбутньому, з розвитком технологій, очікується подальший розвиток та застосування БКПІС в різних сферах людської діяльності.

Перспективи розвитку БКПІС пов'язані з розвитком технологій та збільшенням потреб у високопродуктивних обчисленнях.

Однією з основних перспектив розвитку БКПІС є зменшення розмірів та енергоспоживання обчислювальних систем, а також збільшення їх продуктивності. Це можливо застосуванням нових матеріалів та компонентів, таких як графен, квантові точки, фотонні кристали тощо. Використання цих компонентів дозволяє створювати більш продуктивні та енергоефективні БКПІС.

Іншою перспективою є розширення областей застосування БКПІС, зокрема в медицині, фінансах, машинному навчанні, геології та біоінформатиці. Застосування БКПІС дозволяє аналізувати та обробляти великі обсяги даних, що зробить можливим зробити більш точні прогнози та приймати обґрунтовані рішення в різних галузях.

Також, важливим напрямком розвитку БКПІС є підвищення рівня безпеки та надійності обчислювальних систем. Застосування розподілених алгоритмів, механізмів резервного копіювання та інших технологій дозволяє зменшити ризик виникнення аварій та збоїв в роботі систем.

Нарешті, з розвитком інтернету речей (IoT) [1-5] та інших технологій збільшується кількість підключених до мережі пристроїв, що потребують великої кількості обчислювальних ресурсів. Розробка спеціальних БКПІС для обробки даних з IoT пристроїв є ще однією перспективою розвитку БКПІС. Це дозволить

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищити продуктивність обробки даних, зменшити час відповіді та зробити можливим використання складних алгоритмів на різноманітних пристроях, що може відкрити нові можливості для розробки інноваційних додатків.

Також, однією з перспектив розвитку БКППС є їх інтеграція з хмарними сервісами та збільшення можливостей для розподілених обчислень. Це дозволить створювати більш складні та продуктивні системи, які можуть забезпечити швидку та ефективну обробку даних в режимі реального часу.

Нарешті, однією з перспектив розвитку БКППС є покращення можливостей управління та моніторингу системи. Розробка нових програмних та апаратних засобів дозволить забезпечити більш ефективне управління ресурсами та моніторингу системи, що зробить можливим підвищення продуктивності та забезпечить надійність роботи системи.

У цілому, розвиток БКППС є важливим напрямком розвитку інформаційних технологій, що забезпечує можливість створення більш продуктивних та надійних обчислювальних систем, які знадобляться в різних галузях діяльності людства..

1.2 Класифікація та особливості функціонування типів топології багатокомп'ютерних систем

Класифікація топологій БКППС базується на різноманітних принципах побудови та зв'язку між комп'ютерами. Для кожної з топологій характерні особливості функціонування та продуктивності. Розглянемо основні типи топологій багатокомп'ютерних систем [59]:

1. Лінійна топологія (Point-to-Point, Daisy Chain) – у цьому типі топології кожен комп'ютер підключений до попереднього та наступного комп'ютера, що створює лінію. Якщо один з комп'ютерів вийде з ладу, то вся система буде недоступною – рисунок 1.4, рисунок 1.5.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

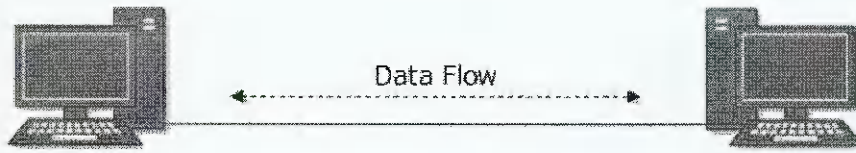


Рисунок 1.4 – Лінійна топологія (Point-to-Point) БКППС[60]



Рисунок 1.5 – Лінійна топологія (Daisy Chain) БКППС[60]

2. Зіркова топологія (Star Topology) – у цьому типі топології кожен комп'ютер підключений до центрального комутатора, що забезпечує зв'язок між комп'ютерами. У разі виходу з ладу одного з комп'ютерів, інші комп'ютери продовжують працювати – рисунок 1.6.

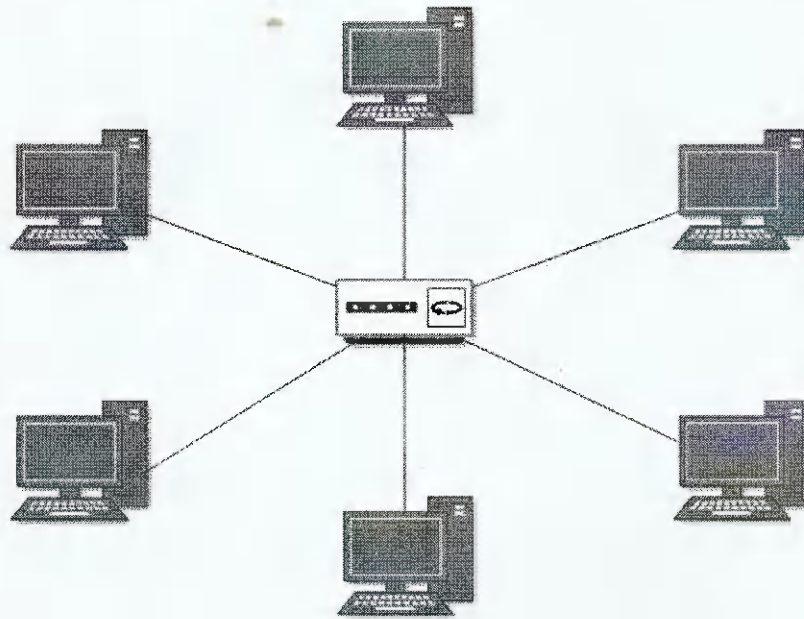


Рисунок 1.6 – Зіркова топологія (Star Topology) БКППС[60]

3. Кільцева топологія (Ring Topology) – у цьому типі топології кожен комп'ютер підключений до двох сусідніх комп'ютерів, створюючи кільце. Якщо

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

один з комп'ютерів вийде з ладу, то зв'язок між іншими комп'ютерами буде нерервано – рисунок 1.7.

4. Шина (Bus Topology) – у цьому типі топології всі комп'ютери підключені до спільної шини. Якщо один з комп'ютерів вийде з ладу, то це може спричинити проблеми зі зв'язком всієї системи – рисунок 1.8.

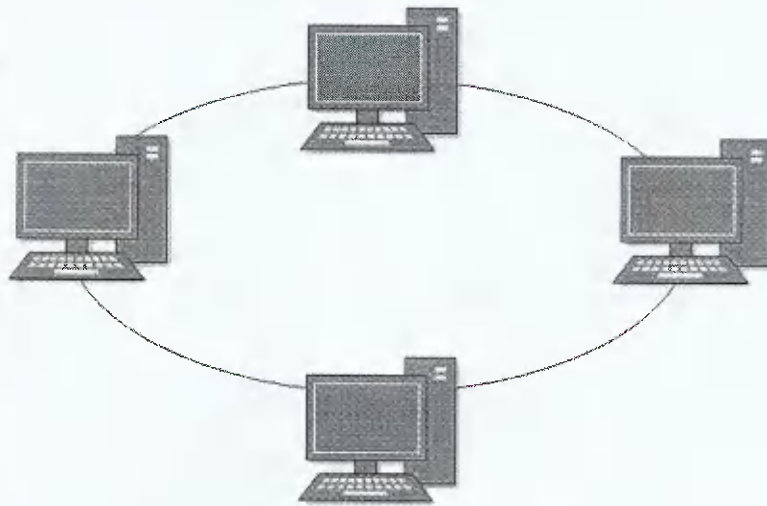


Рисунок 1.7 – Кільцева топологія (Ring Topology) БКППС[60]

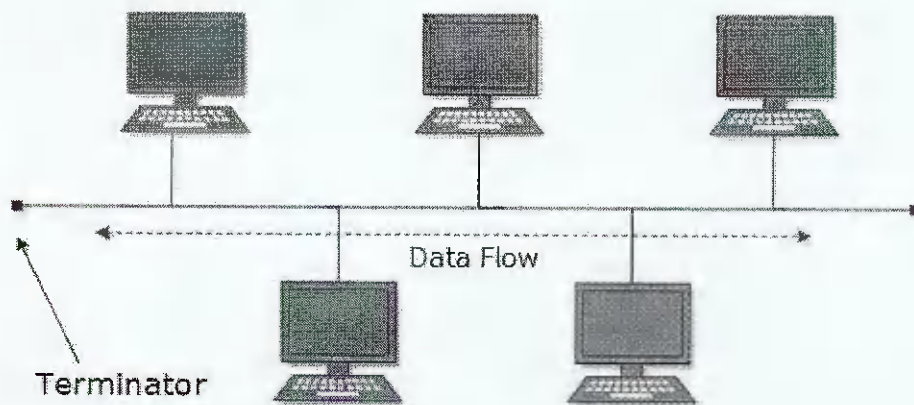


Рисунок 1.8 – Шина (Bus Topology) БКППС[60]

6. Повнозв'язна топологія (Fully Connected Topology, Mesh Topology) – у цьому типі топології кожен комп'ютер підключений до всіх інших комп'ютерів, що створює повнозв'язну мережу. Це дозволяє кожному комп'ютеру зв'язуватися з

будь-яким іншим комп'ютером безпосередньо. Однак, цей тип топології є дуже складним для реалізації та дорогим. Меш топологія – цей тип топології базується на ідеї повнозв'язної топології, але з меншою кількістю зв'язків між комп'ютерами. Комп'ютери організовані у вигляді сітки, де кожен комп'ютер має зв'язок зі своїми сусідами усіх сторін, що створює мережу, яка забезпечує високу міцність та надійність – рисунок 1.9.

7. Деревоподібна топологія (Tree Topology) – у цьому типі топології комп'ютери організовані у вигляді дерева, де головний комутатор забезпечує зв'язок між підключеними до нього вузлами, але вузли можуть також мати свої підвузли. Якщо один з комп'ютерів вийде з ладу, то це може вплинути лише на підключені до нього вузли – рисунок 1.10.

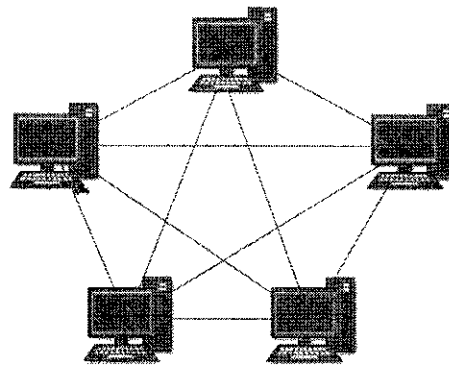


Рисунок 1.9 – Повнозв'язна топологія (Fully Connected Topology, Mesh Topology) БКПІС[60]

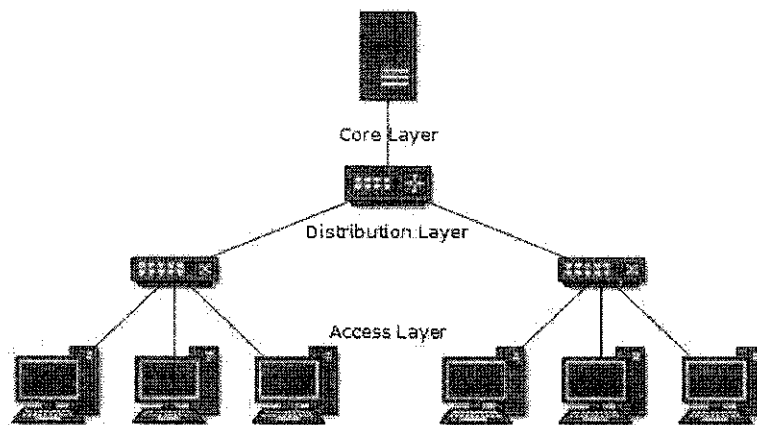


Рисунок 1.10 – Деревоподібна топологія (Tree Topology) БКПІС[60]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Кожен з цих типів топологій має свої переваги та недоліки, що залежать від конкретного застосування та вимог до мережі. Для прикладу, зіркова топологія є простою та ефективною для невеликих мереж, а повнозв'язна топологія є надійною та швидкою для великих мереж з високими вимогами до швидкості та міцності. Залежно від вимог до мережі, може бути вибрано один з цих типів топологій або їх комбінацію для забезпечення максимальної ефективності та надійності системи – рисунок 1.11.

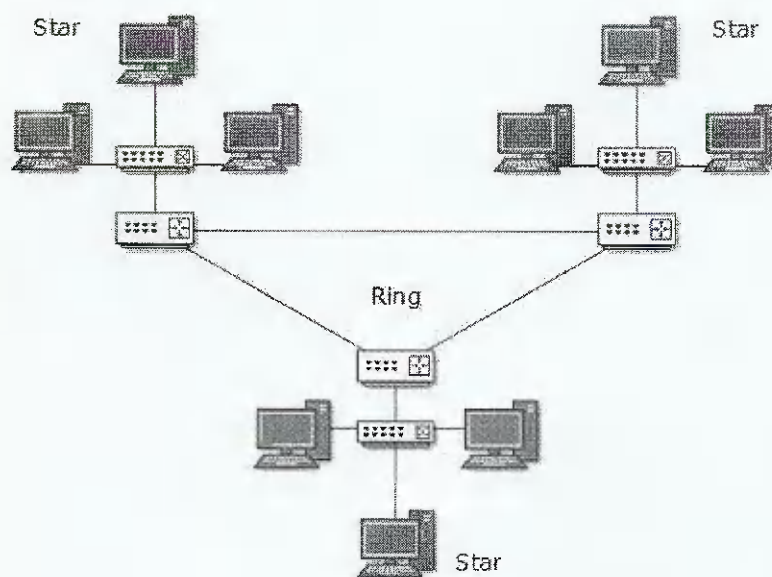


Рисунок 1.11 – Гібридна топологія БКПІС[60]

1.3 Дослідження концепту паралельного обчислення на базі багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем

Дослідження концепту паралельного обчислення на базі БКПІС є важливою галуззю науки про обчислення. Це пов'язано з тим, що паралельні обчислення дозволяють прискорити обробку даних та виконання складних завдань, що потребують значних обчислювальних ресурсів.

Дослідження цього концепту полягає у розробці та вдосконаленні алгоритмів паралельних обчислень, а також у розробці БКПІС, які можуть виконувати ці алгоритми.

Основні напрямки дослідження концепту паралельного обчислення на базі БКППС включають [48-49]:

1. Розробка топологій та конфігурацій БКППС, що можуть ефективно виконувати паралельні обчислення.
2. Розробка алгоритмів паралельних обчислень, що можуть бути виконані на БКППС.
3. Дослідження ефективності виконання паралельних обчислень на БКППС, зокрема, визначення часу виконання та ефективності використання ресурсів.
4. Розробка програмного забезпечення для керування та моніторингу БКППС.
5. Дослідження можливостей застосування БКППС у різних галузях, таких як наука, фінанси, медицина тощо.

Існує багато причин для застосування паралельного обчислення на базі БКППС. Наприклад, воно може дозволити розподіляти великі обчислювальні завдання між багатьма процесорами, що дозволяє зменшити час обробки даних. Крім того, паралельне обчислення може забезпечити підвищення надійності системи, оскільки відсутність одного процесора не призводить до зупинки всієї системи.

Однією з важливих областей застосування паралельного обчислення є обробка великих об'ємів даних, таких як наукові дослідження, інженерні розрахунки, обробка відео та зображень, машинне навчання та багато інших. У таких випадках ефективність та швидкість системи можуть бути критичними для успішного виконання завдань.

Проте розробка та використання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем має свої виклики та обмеження. Наприклад, одним з головних викликів є забезпечення ефективності виконання задач за допомогою паралельного обчислення. Це може вимагати розробки спеціалізованих алгоритмів, які були б ефективними для роботи з багатокомп'ютерними системами. Крім того, важливо

забезпечити ефективну комунікацію між процесорами та унавіління розподіленням завдаий між ними.

У цілому, паралельне обчислення на базі БКППС є важливою областю досліджень та розробок, яка має потенціал для різноманітних застосувань у наукових, промислових та комерційних галузях.

Крім того, розробка програмного забезпечення для багатоконп'ютерних повнозв'язних паралельних систем потребує особливого підходу. Паралельні програми мають свої особливості, які роблять їх важкими для розробки та відлагодження. Такі програми мають декілька виконавчих потоків, що працюють паралельно, і це створює певні проблеми, такі як гонки за даними, блокування та інші.

Для ефективного використання багатоконп'ютерних повнозв'язних паралельних систем необхідні спеціалісти з розумінням принципів паралельного програмування та володіння навичками розробки програмного забезпечення для таких систем.

Таким чином, дослідження коиценту паралельного обчислення на базі БКППС є важливим напрямком розвитку інформаційних технологій. Це дає можливість забезпечувати ефективні та швидкі обчислення для великих об'ємів даних, що є актуальним у багатьох наукових, технічних та прикладних задачах.

Дослідження паралельного обчислення на базі БКППС має велике значення в сучасному світі, де вимоги до швидкодії обчислювальних систем постійно зростають. Технологічний прогрес зумовив зростання обсягу даних, які необхідно обробляти, що вимагає використання більш потужних та швидких систем.

БКППС є одним з найбільш ефективних засобів для підвищення продуктивності обчислень. Вони дозволяють розподіляти завдання між декількома процесорами, що прискорює час виконання обчислень та зменшує завантаження окремих процесорів.

Дослідження паралельного обчислення на БКППС є актуальним завданням, оскільки воно сприяє розробці нових алгоритмів та технологій, які дозволяють

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покращувати продуктивність обчислень. В таких системах можливе виконання обчислень, які не були б досяжні для звичайних дослідовних систем.

Використання технології Parallel Computing в дослідженнях БКППС дозволяє досягнути значних результатів у різних галузях, включаючи науку, інженерію, медицину, фінанси та інші.

Одним з досягнень у дослідженнях БКППС є створення найшвидшого суперкомп'ютера в світі [58], Summit, який був запущений в 2018 році в Національному лабораторії Ок-Ридж на базі архітектури IBM POWER9 та NVIDIA Tesla V100. Його продуктивність становить 200 петафлонсів за секунду, що дозволяє обробляти величезні обсяги даних та розв'язувати надскладні наукові задачі.

Іншим досягненням є застосування БКППС для моделювання біологічних процесів та проектування нових лікарських препаратів. Наприклад, команда дослідників з Інституту Макса Планка для хімії обладнала БКППС з 80 000 процесорів для моделювання молекулярної динаміки білків, що дозволило з'ясувати механізм дії ряду лікарських препаратів та розробити нові можливості в цій галузі.

Також БКППС знаходять застосування в галузі фінансів для прогнозування фінансових ринків та управління ризиками. Наприклад, Goldman Sachs використовує БКППС для обробки терабайтів фінансових даних за декілька секунд.

Інші досягнення в області БКППС, що використовують технологію Parallel Computing, включають [51-56]:

1. Машинне навчання: Parallel Computing забезпечує зручний і швидкий спосіб навчання великих наборів даних. Наприклад, Google використовує Parallel Computing для навчання своїх нейронних мереж на масштабних даних.

2. Медична діагностика: Parallel Computing допомагає розробляти нові методи діагностики захворювань, що дають більш точні результати. Наприклад, для дослідження рентгенівських знімків Parallel Computing дозволяє розраховувати складні математичні моделі для визначення захворювання.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Наука про клімат: Parallel Computing дозволяє швидко обробляти великі обсяги даних про клімат та розробляти нові моделі прогнозування. Наприклад, NASA використовує Parallel Computing для розрахунку кліматичних змін із високою точністю.

4. Фінансова аналітика: Parallel Computing дозволяє швидко аналізувати великі обсяги даних та розробляти нові методи прогнозування. Наприклад, Parallel Computing використовують для аналізу фондових ринків та розрахунку ризиків в інвестиціях.

5. Космічна промисловість: Parallel Computing допомагає розробляти нові технології та методи для космічних місій. Наприклад, Parallel Computing використовують для розрахунку маршруту та керування космічними апаратами.

1.4 Висновки

Таким чином, дослідження паралельного обчислення на базі БКППС є важливим напрямом в області обчислювальної техніки та має велике значення для розвитку науки, техніки та промисловості. Це допоможе людству у майбутньому знайти більш досконалі та кращі методи оброблення інформації, створення мереж, де будуть усунені недоліки, пов'язані зі створенням мережі та її налаштуванням. Також, буде вирішено проблему затримки повідомлень між різними частинами світу та створення єдиної топології для обробки вхідної інформації та перетворення її в узгоджені потоки даних.

У майбутньому буде досліджено альтернативи, які зможуть покращити або замінити сам процес комунікації між комп'ютерами всередині багатокомп'ютерних паралельних систем та створити такий зв'язок, з яким кожен зможе налаштувати "суперкомп'ютер" у себе вдома.

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МОДЕЛЮВАННЯ ТОПОЛОГІЇ БАГАТОКОМП'ЮТЕРНИХ ПОВНОЗВ'ЯЗНИХ ПАРАЛЕЛЬНИХ СИСТЕМ

2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для моделювання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем

Дослідження релевантного та актуального наукометричного ландшафту з фокусом на обраному векторі дослідження БКПРС, що наводяться в публікаціях, дозволяють виокремити ряд програмно-цифрових засобів для моделювання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем – таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Короткий огляд цифрово-програмних застосувань для моделювання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем

Назва програмного продукту	Короткий опис програмного продукту	Посилання
SimGrid	Безкоштовне програмне забезпечення для моделювання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем. Воно дозволяє створювати складні моделі з великою кількістю взаємодіючих комп'ютерів. SimGrid підтримує різні типи повнозв'язних систем, включаючи кластери, ґрід та хмарні середовища.	simgrid.org
Charm++	Програмний засіб для моделювання багатокомп'ютерних паралельних систем на оснoві об'єктно-орієнтованого підходу. а різних комп'ютерах та забезпечує автоматичну балансyвання навантаження.	charmplusplus.org

Кінець таблиці 2.1 – Короткий огляд цифропрограмних застосунків для моделювання багатокомп'ютерних повнозв'язних паралельних систем

Назва програмного продукту	Короткий опис програмного продукту	Посилання
ADLB	Бібліотека для розподілу обчислювальних задач між багатьма комп'ютерами, що дозволяє збільшити ефективність роботи паралельних систем	olcf.ornl.gov/center-projects/adlb
ParaLab	Програмний продукт для моделювання та аналізу багатопроекторних та багатопотокових систем на базі різних архітектур. ParaLab має багато інструментів для моделювання та аналізу паралельних систем. Він дозволяє моделювати різні рівні паралелізму, від виконання одного потоку до виконання багатьох потоків на багатьох процесорах.	paralab.ui.sav.sk
Charm++	Програмний засіб для моделювання багатокомп'ютерних паралельних систем на основі об'єктно-орієнтованого підходу та максимальної взаємодії між користувачем та пристроєм	charmplusplus.org
OpenMPI	Безкоштовне програмне забезпечення для моделювання паралельних систем на основі протоколу передачі повідомлень (MPI).	open-mpi.org
PaRSEC	Високопродуктивна система для паралельного програмування, яка забезпечує максимальну ефективність виконання задач на багатоядерних та розподілених системах	icl.utk.edu/parsec

Основними параметрами вибору програмного середовища для моделювання БКППС можуть бути наступні:

1. Можливості для моделювання: наявність інструментів для побудови та редагування моделей, можливість розширення функціональності моделювання, наявність бібліотек та фреймворків для створення різноманітних паралельних систем.
2. Продуктивність: швидкодія та оптимізація програмного середовища для роботи з багатокомп'ютерними новоствorzаними паралельними системами.
3. Надійність: наявність механізмів контролю помилок, стабільності та безпеки роботи програмного середовища.
4. Підтримка: наявність активної спільноти розробників та користувачів, наявність документації, технічної підтримки та оновлень.
5. Вартість: доступність та вартість ліцензійного користування програмного середовища.

Порядок вибору програмного середовища для моделювання БКППС включає наступні етапи:

1. Аналіз потреб та вимог до моделювання БКППС: визначення мети моделювання, розмірів системи, характеристик вхідних даних та ін.
2. Вивчення можливостей різних програмних середовищ: огляд і порівняння наявних програмних продуктів, відбір найбільш підходящих серед них.
3. Перевірка наявності необхідних функцій та можливостей: оцінка наявності та реалізації необхідних функцій, перевірка підтримки форматів вхідних даних та вихідних результатів.
4. Тестування та порівняння продуктів: порівняння функціональності, ефективності та якості моделювання в різних середовищах.
5. Вибір найкращого продукту: вибір програмного середовища, яке найбільше відповідає вимогам до моделювання БКППС та має найкращі характеристики в тестуванні і дає змогу користувачу здійснити перетворення та дослідження.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Розробка та реалізація моделей БКППС: розробка моделей БКППС, перевірка роботи програмного середовища та моделей.

7. Підтримка та розвиток: підтримка та розвиток використовуваного програмного середовища та моделей БКППС.

Аналіз програмних засобів для моделювання БКППС (таблиця 2.1) проведений в наступному порядку:

1. Визначені потреби проєкту в моделюванні БКППС: тип системи, кількість вузлів, складність моделі, необхідність візуалізації, можливість розширення та ін.

2. Викопано ознайомлення зі списком програмних засобів для моделювання БКППС та складання нереліку, щодо відповідності потребам проєкту.

3. Для кожного програмного засобу проведений детальний аналіз наступних параметрів: підтримувані типи БКППС, можливість розширення та модифікації, можливості візуалізації, наявність інструментів для аналізу результатів моделювання, доступність підтримки та документації.

4. Виконано порівняння отриманих результатів та вибраний найбільш підходящий програмний засіб для проєкту.

5. Перевірена можливість інтеграції вибраного програмного засобу з іншими інструментами, що використовуються в проєкті.

6. Розроблений план розгортання та тестування програмного засобу.

7. Реалізоване та проведене моделювання БКППС з використанням вибраного програмного засобу з відповідним аналізом результатів.

Таким чином, вибір програмного середовища для моделювання БКППС повинен бути зроблений на основі багатьох факторів, таких як доступність документації, продуктивність, підтримка специфічних функцій, масштабованість і розширюваність.

Серед визначеного спектру програмно-цифрових засобів (таблиця 2.1), найбільш адекватним до мети та задач поточного дослідження є ПК ParaLab. Це потужний та універсальний інструмент для моделювання багатокомп'ютерних

					КВРКІ 190115.19.01.16 НЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повиозв'язаних паралельних систем, який має підтримку різних моделей програмування та архітектур. Він дозволяє використовувати різні мови програмування, включаючи C++, Java та Python, а також підтримує різні алгоритми паралельного програмування, включаючи MPI, OpenMP та CUDA.

ParaLab [21] має зручний інтерфейс користувача, дозволяє візуалізувати роботу системи та досліджувати різні аспекти паралельного програмування. Крім того, це програмне середовище є відкритим джерелом, що дозволяє користувачам модифікувати його та додавати нові функції.

ParaLab – це програмне забезпечення для паралельного обчислення, яке розроблено Уставною кібернетики Словацької академії наук. ParaLab надає засоби для розробки та виконання паралельних алгоритмів на основі різних платформ, таких як кластери, мультипроцесорні системи, клауд-обчислення тощо.

ParaLab забезпечує засоби для паралельного виконання коду з використанням різних підходів, таких як розподілений підхід та розподіл пам'яті. Окрім цього, ParaLab надає інструменти для аналізу та візуалізації результатів паралельних обчислень, такі як профілювання часу виконання, аналіз даних, відображення результатів тощо.

Таким чином, ParaLab є раціональним вибором для моделювання БКПІС завдяки своїй універсальності, продуктивності, зручному інтерфейсу та підтримці різних моделей програмування та архітектур

2.2 Математичний апарат моделі багатокомп'ютерних повнозв'язаних паралельних систем

Математичний апарат моделі БКПІС включає в себе різні методи і підходи для опису та аналізу характеристик таких систем. Деякі з ключових елементів математичної моделі БКПІС описуються нижче:

1. Мережа зв'язку: Описує топологію зв'язку між процесорами та іншими пристроями у системі. Може бути зображена за допомогою графу або матриці зв'язків.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Функції розподілу: Описують статистичні характеристики процесорів та зв'язку, такі як час обробки та пропускну здатність. Функції розподілу можуть бути неперервними або дискретними.

3. Алгоритми та задачі: Описують різні алгоритми та задачі, які можуть бути виконані на БКППС. Це можуть бути як класичні алгоритми, так і спеціалізовані алгоритми для паралельних обчислень.

4. Моделювання трафіку: Описує, як дані передаються між процесорами та іншими пристроями у системі. Це може включати різні механізми передачі даних, такі як обмін повідомленнями, заблокована передача даних та трансляція.

5. Моделі станів: Описують стани процесорів та інших пристроїв у системі, а також стани даних та повідомлень. Ці моделі можуть бути використані для аналізу та оптимізації продуктивності системи.

Ці елементи та багато інших факторів можуть бути використані для створення більш складних математичних моделей БКППС та для аналізу та оптимізації продуктивності таких систем.

Модель БКППС може бути математично описана за допомогою графу спілкування процесів. Граф спілкування процесів представляється як граф, де вузли відповідають процесам, а ребра вказують зв'язки між процесами. У такій моделі процеси, які можуть спілкуватись між собою, повинні бути підключені до одного комунікаційного каналу.

Кожен процес може мати свою власну надлишковість виконання, яка визначається як різниця між найбільшою швидкістю виконання процесу і середньою швидкістю виконання всіх процесів системи. Для забезпечення коректної роботи системи надлишковість кожного процесу повинна бути більшою за максимальну потужність будь-якого процесора в системі.

У моделі можуть бути визначені також різні види взаємодії між процесами, такі як синхронізація, блокування та сильний доступ до даних. Для визначення ефективності роботи системи можуть бути використані різні параметри, такі як час

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконання, кількість процесів та співвідношення надлишковості процесів до потужності процесорів.

Отже, математичний апарат моделі БКППС дозволяє описати їх структуру та взаємодію між їх складовими частинами, а також дозволяє визначати різні параметри для оцінки їх ефективності.

Основною характеристикою модельованої БКППС – час передачі даних між процесорами.

У випадку передачі повідомлень МПС, як невідільних (атомарних) блоків інформації (store-and-forward routing (SFR)) зазначений час передачі даних між процесорами визначається за ф. 2.1,

$$t_{nd} = t_n + \left(\frac{m}{R}\right) \times l, \quad (2.1)$$

де t_n – латентність БКППС: час початкової підготовки – це час, який характеризує тривалість підготовки повідомлення для передачі, пошуку маршруту в мережі тощо. Цей час враховується при обчисленні загального часу передачі даних між процесорами та визначенні комунікаційної складової тривалості виконання паралельного алгоритму в багатопроцесорних обчислювальних системах;

m – розмір повідомлень (пакету даних);

R – пропускна здатність мережі: пропускна здатність (throughput) – це максимальний обсяг даних, який може бути переданий протягом одиниці часу по одному каналу передачі даних. Ця характеристика вимірюється, наприклад, кількістю переданих бітів за секунду;

l – довжина маршруту передачі даних.

Описуючи моделювання БКППС, використовують технологію «точка-до-точки», де процесор, який має вхідне повідомлення, готує весь обсяг даних для передачі, визначає процесор-транзит, через який дані можуть бути доставлені до цільового процесору, і запускає операцію передачі даних. Процесор, до якого

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

направлено повідомлення, в першу чергу отримує всі передані дані, а потім розпочинає передачу отриманого повідомлення далі по маршруту.

Другий спосіб комунікації передбачає поділ вихідного повідомлення на менші блоки даних (накети), що дозволяє зменшити величину передаваної інформації. При такому методі передачі (МПП) транзитний процесор може відправляти пакети даних на наступні процесори вже після отримання першого пакету, не чекаючи завершення приймання всього повідомлення. Цей метод комунікації називається «cut-through routing» або CTR.

Час передачі даних для CTR – ф. 2.2,

$$t_{nd} = t_n + \frac{V}{R} \times \left(l + \left\lceil \frac{m}{V - V_0} \right\rceil \right) = t_n + \frac{V}{R} \times (l + n - 1), \quad (2.2)$$

де V – розмір пакету даних;

V_0 – об'єм службової інформації, що визначається у кожному пакеті даних – «заголовок пакету»;

n – кількість пакетів даних, що підлягають процедурі передачі – ф. 2.3,

$$n = \left\lceil \frac{m}{V - V_0} \right\rceil + 1, \quad (2.3)$$

де $\lceil \rceil$ – дужки, що позначають операцію приведення до цілого з надлишком.

Характерні обчислювальні задачі, на які тестуються різні варіанти топологій БКПС:

– множення матриці на вектор з отриманням скалярного добутку для кожного рядку матриці, що розміщується по векторі множення – ф. 2.4,

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$c_i = a_i, b = \sum_{j=1}^n a_{ij} \times b_j, 1 \leq i \leq m, \quad (2.4)$$

де a_i – i -й рядок матриці A , що має розмірність $m \times n$;

b – вектор, що складається з n елементів;

c_i – результуючий вектор добутку матриці A (у формі рядка a_i) та початкового вектору b , що має розмірність m ;

– перемноження матриць з використанням стрічкового та блочного (Фокса та Кенпопа) алгоритмів – ф. 2.5;

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{k1} & A_{k2} & \dots & A_{kk} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{k1} & B_{k2} & \dots & B_{kk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & \dots & C_{12} & \dots & C_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{k1} & \dots & C_{k2} & \dots & C_{kk} \end{pmatrix} \Rightarrow \quad (2.5)$$

$$\Rightarrow C_{ij} = \sum_{l=1}^k A_{il} \times B_{lj}.$$

– вирішення системи лінійних рівнянь за допомогою методу Гауса та методу сполучних градієнтів – ф. 2.6;

$$\begin{aligned} a_{0,0}x_0 + a_{0,1}x_1 + \dots + a_{0,n-1}x_{n-1} &= b_0; \\ a_{1,0}x_0 + a_{1,1}x_1 + \dots + a_{1,n-1}x_{n-1} &= b_1; \\ \dots & \dots \\ a_{n-1,0}x_0 + a_{n-1,1}x_1 + \dots + a_{n-1,n-1}x_{n-1} &= b_{n-1}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

– сортування є однією з типових проблем обробки даних і зазвичай розуміється як завдання розміщення елементів певпорядкового набору значень S у порядку монотонного зростання чи спадання $S \square S'$ (використовуються методи бульбашкового сортування та сортування Шелла) – ф. 2.7;

$$\begin{aligned} S &= \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \Rightarrow \\ \Rightarrow S \square S' &= \{a'_1, a'_2, \dots, a'_n\}: a'_1 \leq a'_2 \leq \dots \leq a'_n. \end{aligned} \quad (2.7)$$

– обробка графів: графові математичні моделі є дуже поширеними у моделюванні різноманітних явищ, процесів і систем. Це дозволяє вирішувати багато теоретичних та прикладних задач шляхом аналізу графових моделей. Серед цих процедур можна виділити набір типових алгоритмів обробки графів, які застосовуються для розв'язання різних задач;

– вирішення диференціальних рівнянь, як приклад наводиться проблема чисельного розв'язання задачі Діріхле для рівняння Пуассона – ф. 2.8;

$$\begin{cases} \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} = f(x, y) \Rightarrow (x, y) \in D; \\ u(x, y) = g(x, y) \Rightarrow (x, y) \in D^0. \end{cases} \quad (2.8)$$

– вирішення задач багатоекстремальної оптимізації: у всіх сферах їх діяльності виникає проблема вибору найкращого рішення з усіх можливих. Наприклад, в економіці – це управління економічними об'єктами, а в техніці – вибір оптимальної конструкції. До числа найпоширеніших моделей раціонального вибору належать математичні задачі оптимізації, коли потрібно максимізувати або мінімізувати деякий функціонал за умови наявності обмежень у вигляді нерівностей. При цьому виконання обмежень для деякого вектора параметрів, що визначає рішення, розуміється як допустимість цього рішення, тобто як можливість його реалізації за наявних ресурсів. Теорію та методи знаходження мінімумів функцій багатьох змінних за наявності додаткових обмежень на ці змінні зазвичай розглядають як окрему дисципліну – математичне програмування.

Розглянемо показники ефективності модельованих топологій БКППС на прикладі операції множення матриці на вектор, відповідно до ф. 2.4.

У випадку, коли матриця A є квадратною (розмірність $m \times n$), послідовний алгоритм множення матриці на вектор має складність $T_1 = n^2$. У випадку паралельних обчислень, кожен процесор множить лише частину (смугу) матриці A на вектор b , розмір цих смуг дорівнює n/p рядків. При обчисленні скалярного

добутку одного рядка матриці та вектора необхідно здійснити n операцій множення та $(n-1)$ операцій додавання. Отже, обчислювальна складність паралельного алгоритму визначається виразом – ф. 2.9:

$$T_p = \frac{n^2}{p}. \quad (2.9)$$

З урахуванням цієї оцінки показники прискорення та ефективності паралельного алгоритму мають вигляд – ф. 2.10:

$$\begin{aligned} S_p &= [n^2 / (n^2 / p)] = p; \\ E_p &= \{n^2 / [p \cdot (n^2 / p)]\} = 1. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Попередньо розглянуті оцінки часу обчислень виражені у кількості операцій і не враховують витрат на передачу даних. Ми використовуємо раніше сформульовані припущення про те, що операції множення і додавання мають однакову тривалість. Крім того, ми також припускаємо, що обчислювальна система є однорідною, тобто всі процесори, що складають цю систему, мають однакову продуктивність. З урахуванням введених припущень час виконання паралельного алгоритму, пов'язаний безпосередньо з обчисленнями, складає – ф. 2.11:

$$T_p(\text{calc}) = (n / p) \times (2n - 1) \times \tau. \quad (2.11)$$

Оцінка трудомісткості операції загального збору даних може бути визначена за $\log_2 p$ ітерацій. На першій ітерації взаємодіючі пари процесорів обмінюються повідомленнями об'ємом $w[n / p]$ (w є розміром одного елемента вектора s у байтах), на другій ітерації цей обсяг збільшується удвічі і стає рівним $2 \times w[n / p]$ і т. д. Як результат, тривалість виконання операції збору даних при використанні моделі Хокпі може бути визначена за допомогою наступного виразу – ф. 2.12,

$$T_p(comm) = \sum_{i=1}^{\log_2 p} (\alpha + 2^{i-1} w[n/p] / \beta) = \quad (2.12)$$

$$= \alpha \log_2 p + w[n/p](2^{\log_2 p} - 1) / \beta,$$

де α – латентність мережі передачі даних;

β – пропускна здатність мережі.

Таким чином, загальний час виконання паралельного алгоритму складає – ф. 2.13:

$$T_p = (n/p) \times (2n-1) \times \tau + \alpha \log_2 p + w(n/p)(p-1) / \beta \quad (2.13)$$

Таким чином встановлено, що математичний апарат моделей БКППС є важливим елементом в дослідженні та проектуванні паралельних систем обчислень. Для ефективного використання ресурсів паралельних систем необхідно розробляти оптимальні алгоритми та стратегії їх розподілу між процесорами для зменшення навантаження на один процесор та розподіл можливостей між усіма процесорами та ядрами, які знаходяться в системі та контролюють виконання усіх умов.

2.3 Моделювання багатокомп'ютерних новозв'язних паралельних систем в програмному середовищі визначених цифрових засобів

Відповідно до обґрунтування (н. 2.1 поточної роботи), у якості програмно-цифрового середовища для моделювання БКППС обрано ПК *ParaLab*, що є адекватним меті (серед інших розглянутих програмних засобів (таблиця 2.1), що полягає у дослідженні топологій мереж паралельного обчислення.

З метою виявлення найефективнішої топології БКППС (з урахуванням параметрів, описаних в п. 2.2 поточного дослідження) виконаємо порівняння кожного топологічного рішення на однакових умовах, з метою досягнення кореляційної чистоти модельного експерименту.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлюємо медіанні показники моделювання, що будуть однаковими для кожного топологічного рішення БКПІС [21], рисунок 2.1.

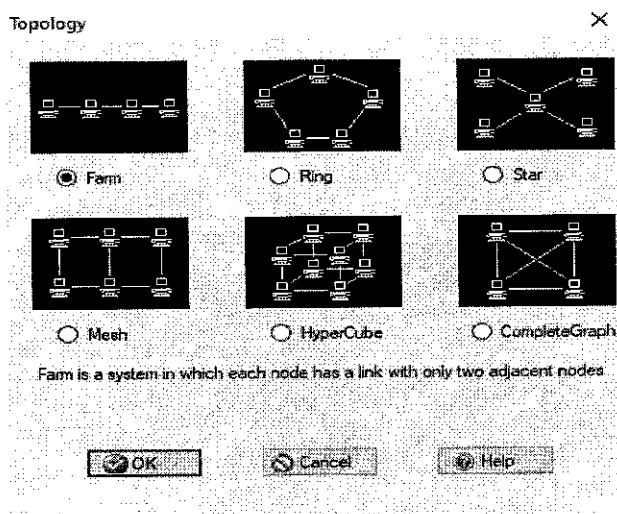


Рисунок 2.1 – Топологічні рішення БКПІС, що можуть бути змодельовані в ПК ParaLab

– кількість комп'ютерів мережі та ядерність кожного процесору – рисунок 2.2;

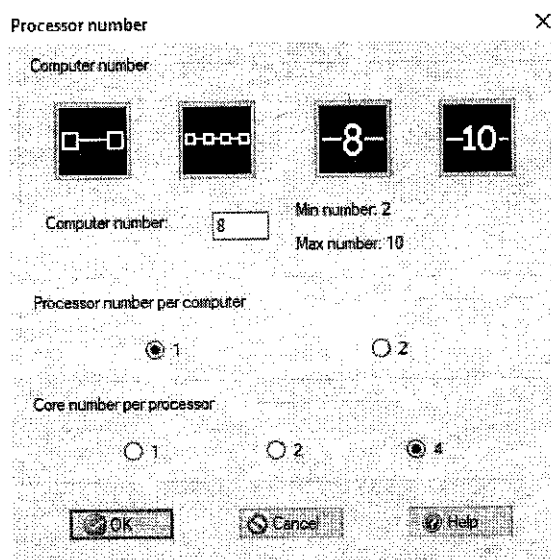


Рисунок 2.2 – Комп'ютерно-процесорні параметри модельного експерименту

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ

Арк.
37

– продуктивність процесорів, що будуть використані в моделюванні топологічних рішень – рисунок 2.3;

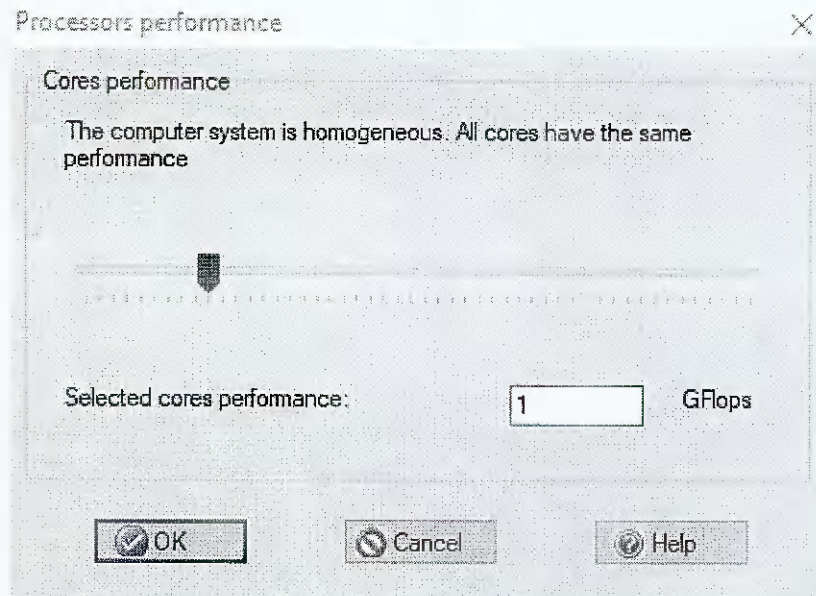


Рисунок 2.3 – Встановлення однакової продуктивності процесорів

– параметри латентності та пропускної здатності модельованих топологічних рішень БКППС (з урахуванням положень та параметрів п. 2.2 поточного дослідження) – рисунок 2.4;

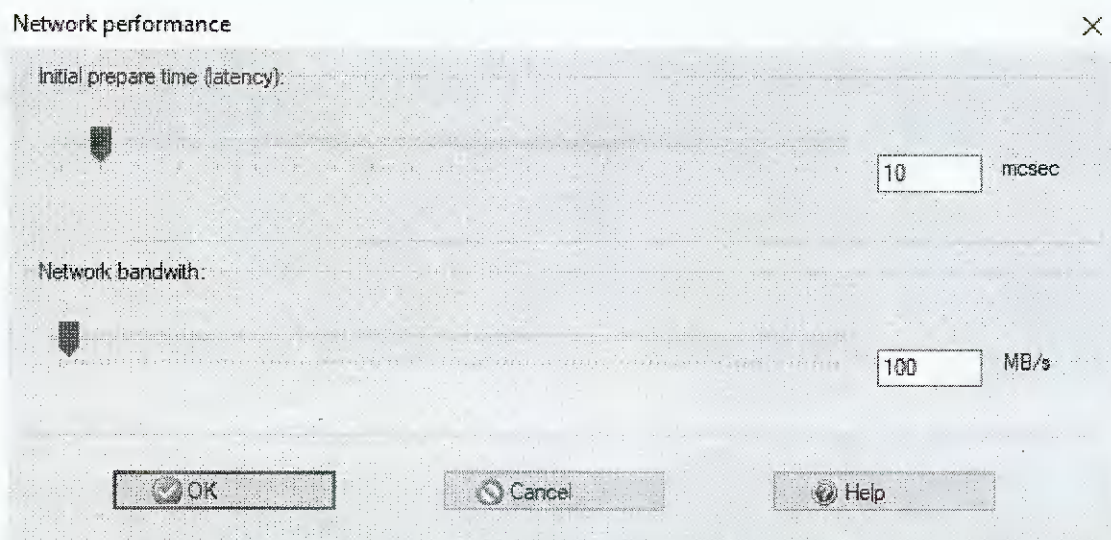


Рисунок 2.4 – Мережні параметри моделей

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ

Арк.
38

– метод передачі даних між компютерами кожного топологічного рішення БКПРС–рисунок 2.5;

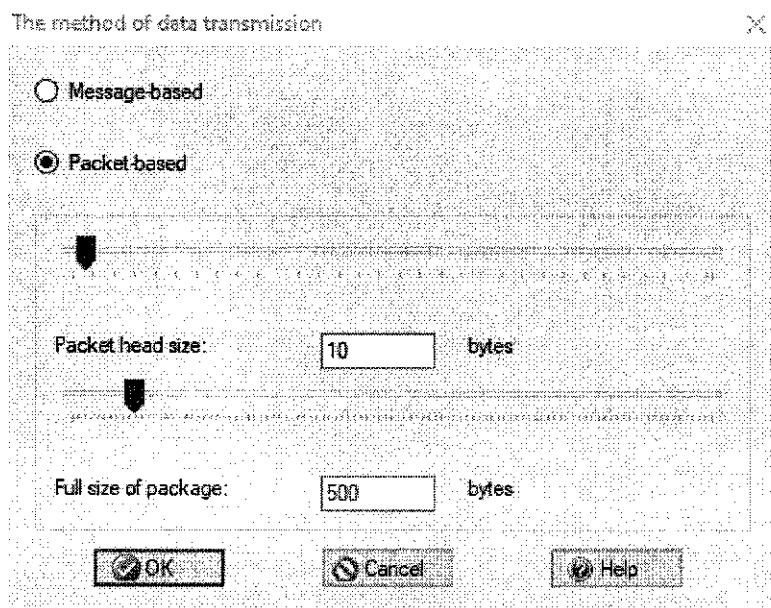


Рисунок 2.5 – Параметри методу передачі міжкомп'ютерних даних

– розміри масиву також встановлюються однаковими–рисунок 2.6;

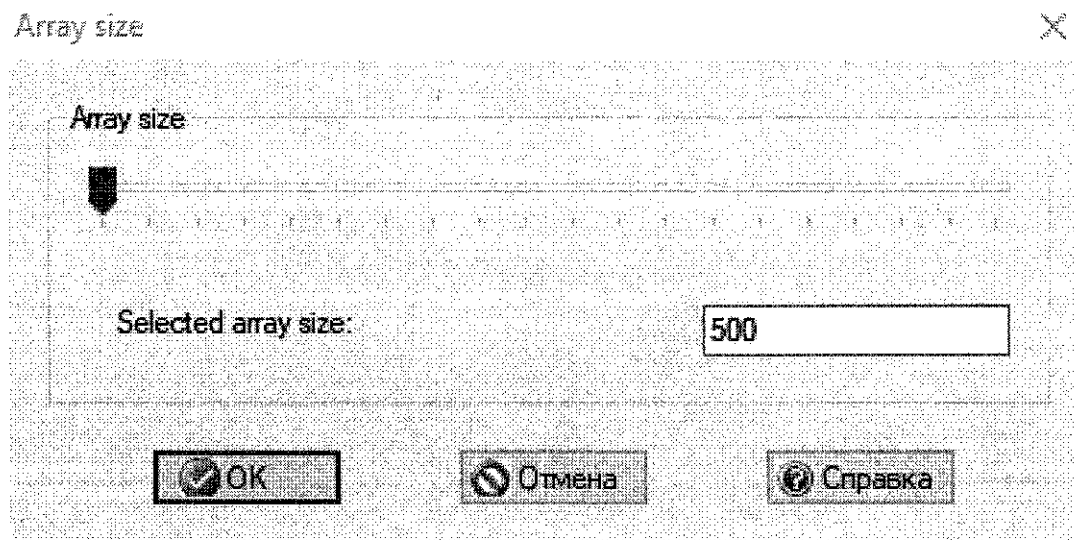


Рисунок 2.6 – Параметри масиву

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

– приймається типове обчислювальне завдання – сортування (опис математичної моделі, якого наводиться в п. 2.2 поточного дослідження) –рисунок 2.7;

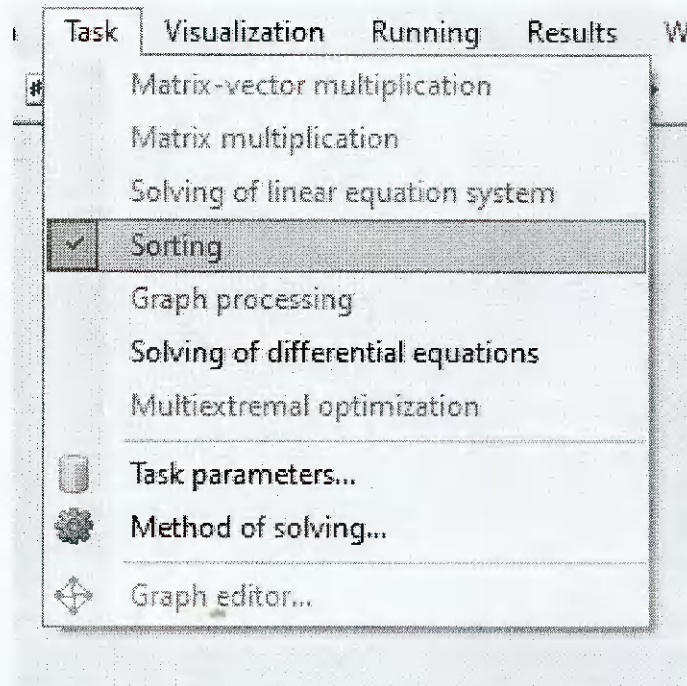


Рисунок 2.7 – Встановлення типового обчислювального завдання

– визначасмо один метод виконання сортування–рисунок 2.8;

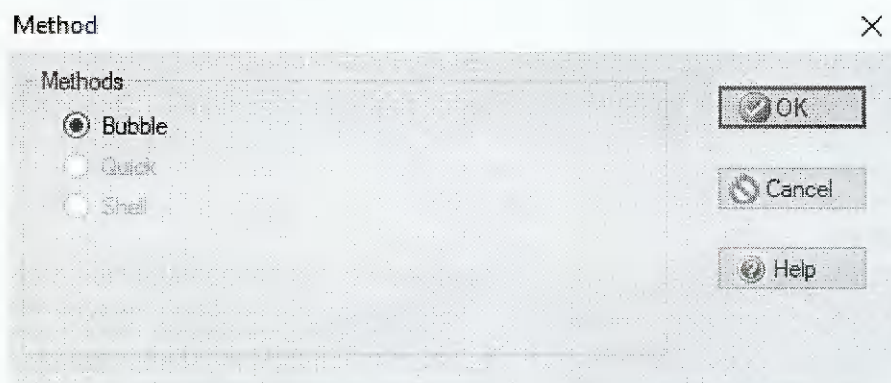


Рисунок 2.8 – Встановлення однакового методу сортування даних

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Далі наводимо результати моделювання для кожного топологічного рішення БКПІС для порівняння технологій та методів обробки та візуалізації інформації щодо комунікування пристроїв всередині сітсеми та навантаженість приладів відповідно до топології щоб мати можливість наочно подивитися та порівняти методи та способи –рисунок 2.9–рисунок 2.13.

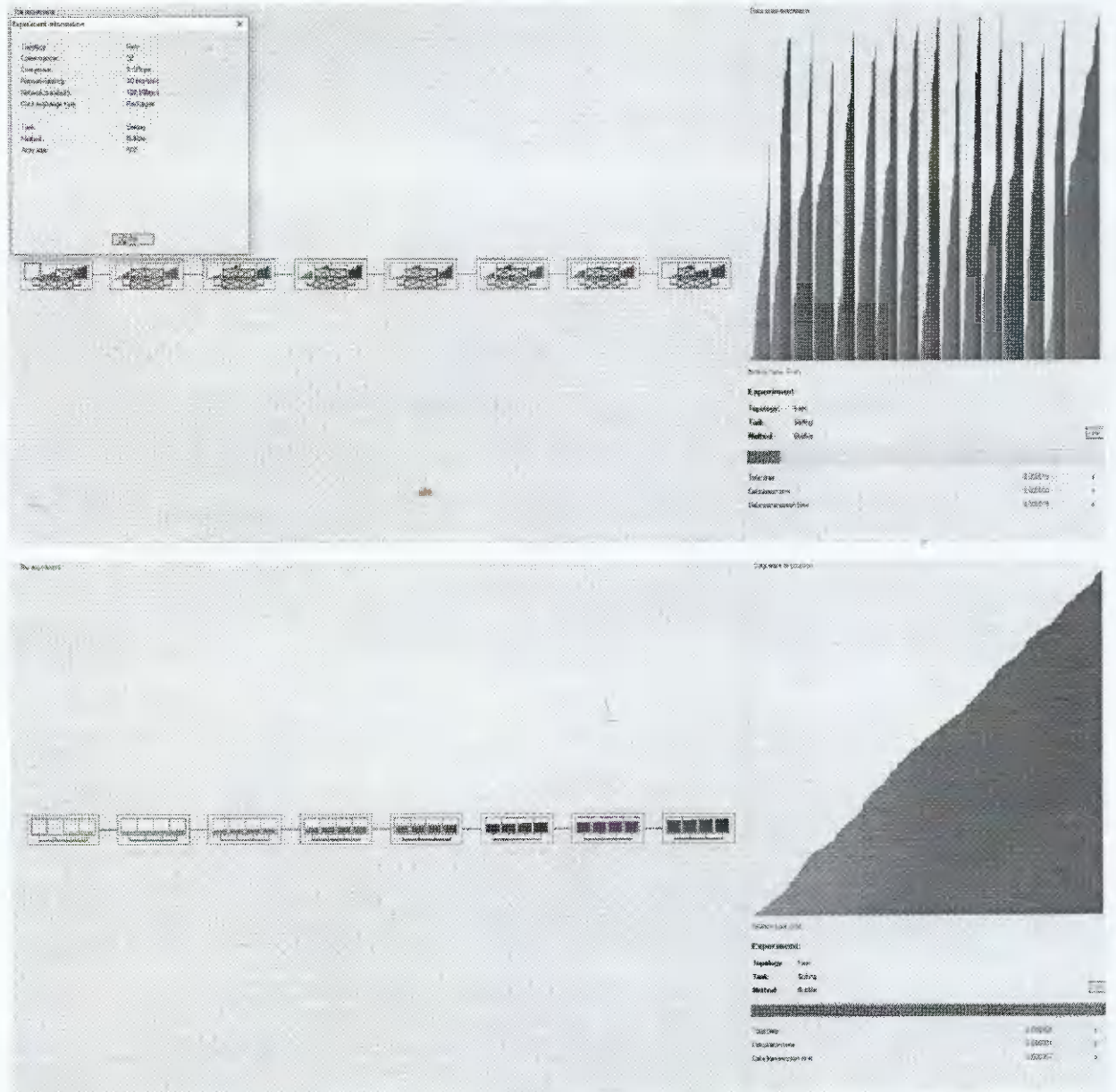


Рисунок 2.9 – Моделювання лінійної топології БКПІС

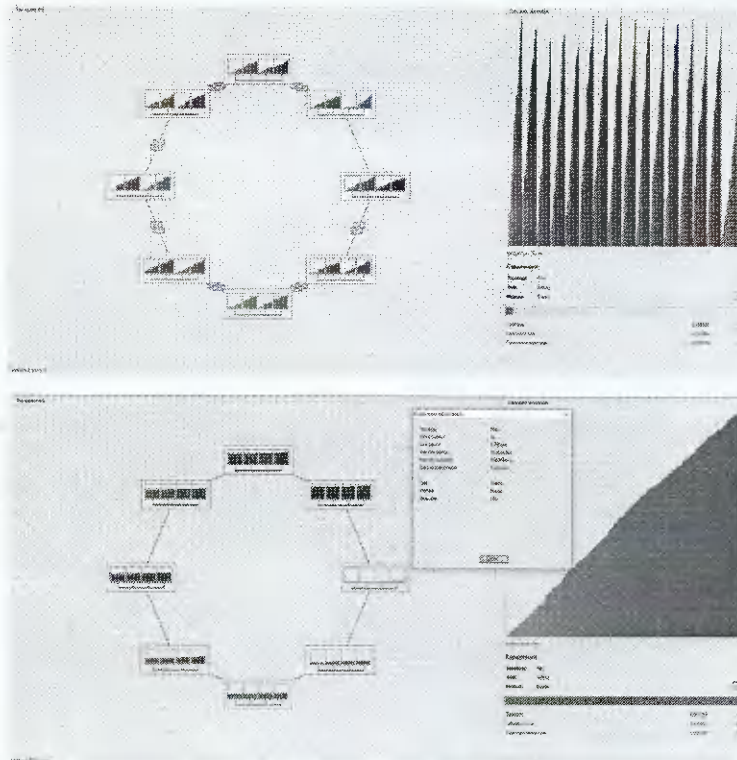


Рисунок 2.10 – Моделювання кільцевої топології БКПС

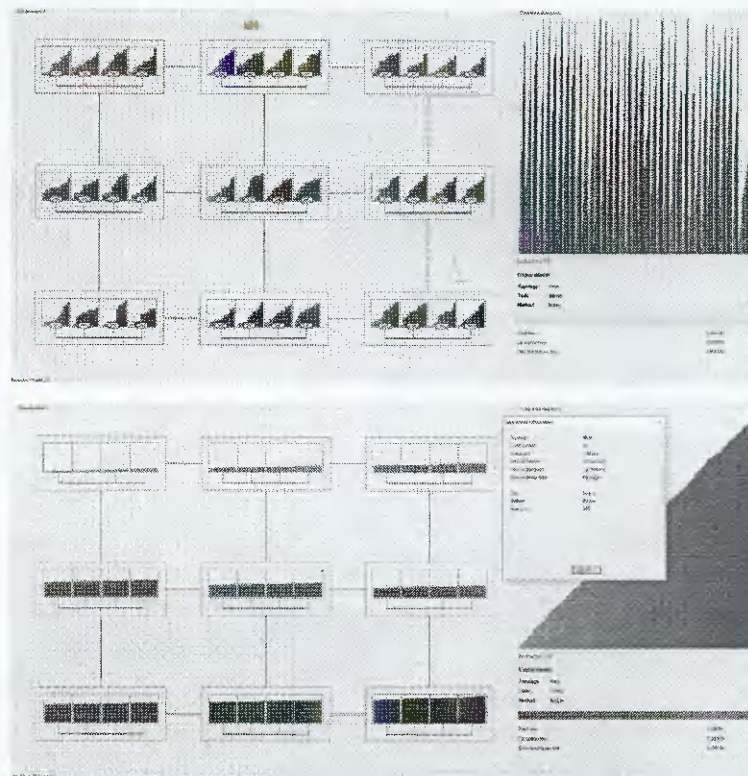


Рисунок 2.11 – Моделювання сіткової топології БКПС

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис Дата

КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ

Арк.
42

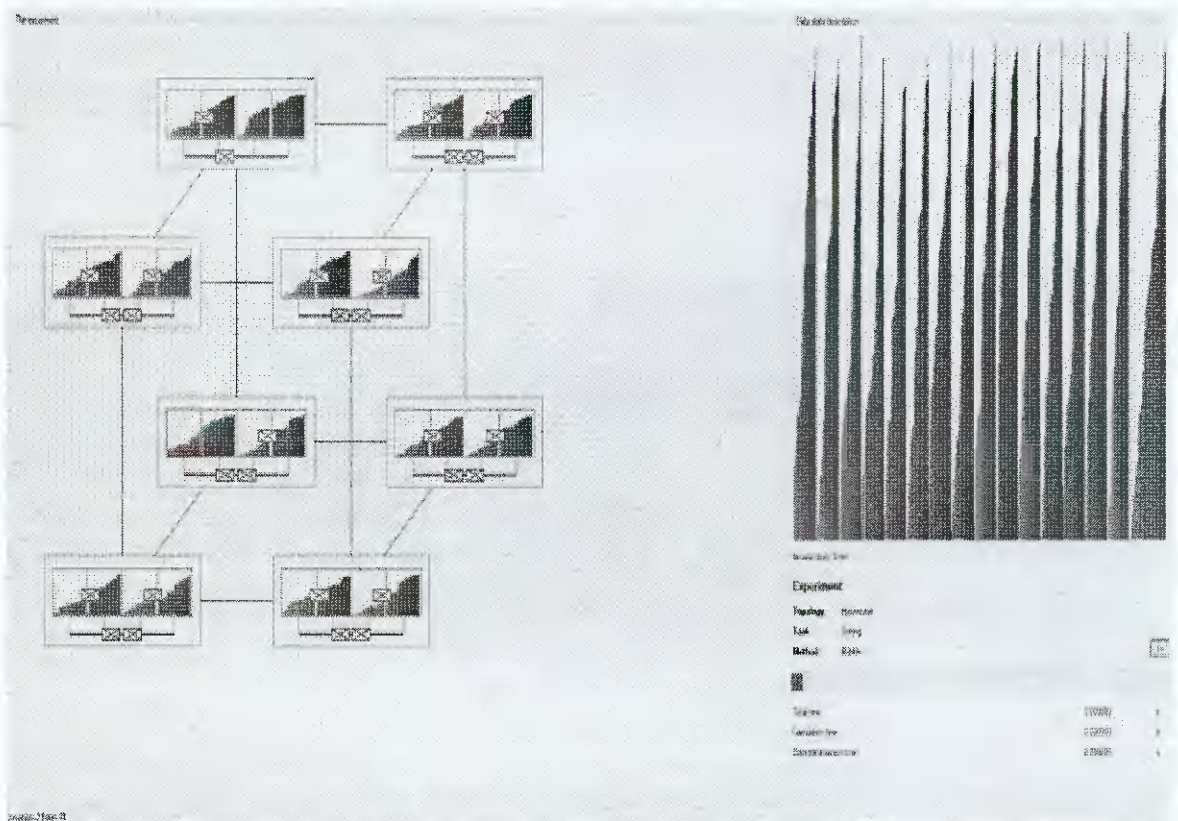
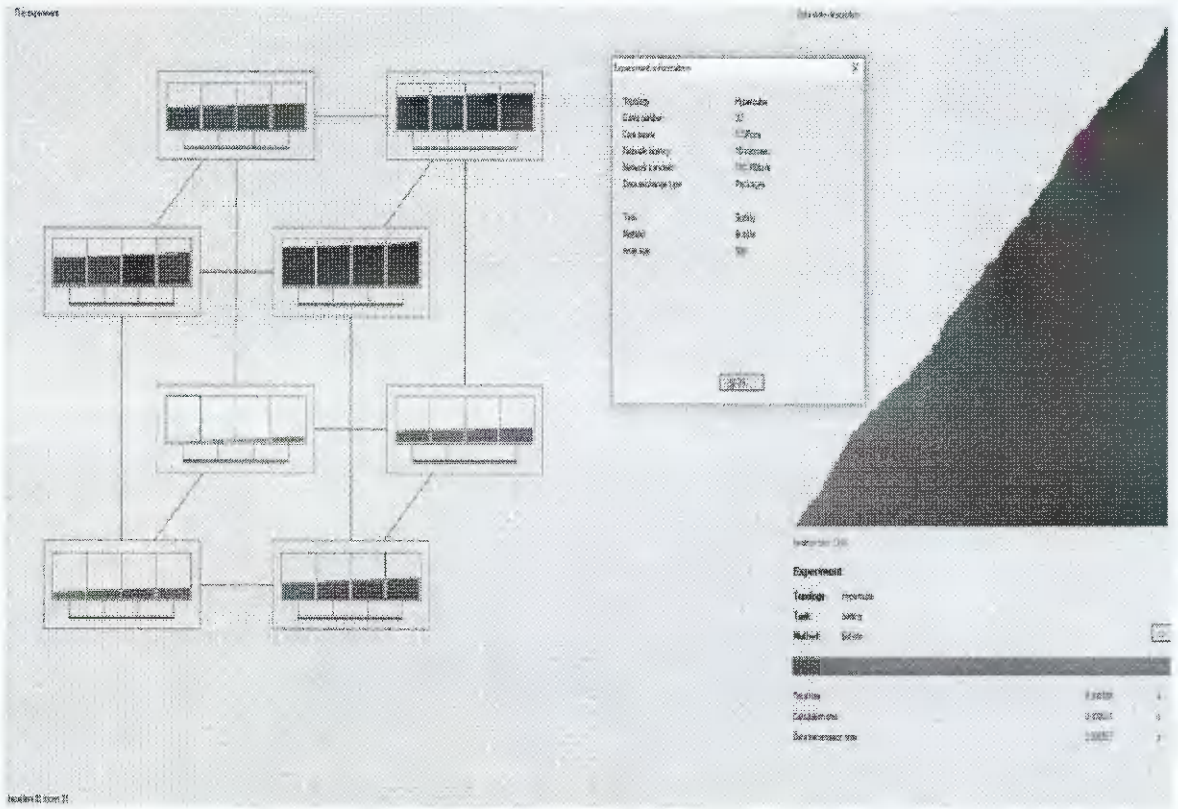


Рисунок 2.12 – Моделювання кубічної топології БКППС

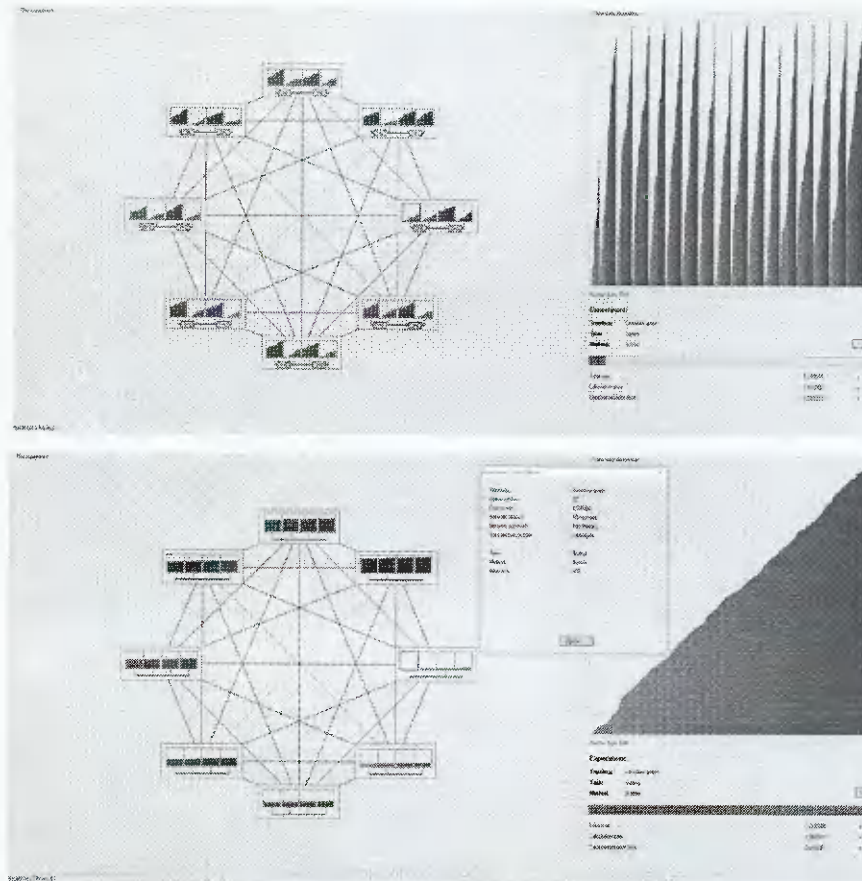
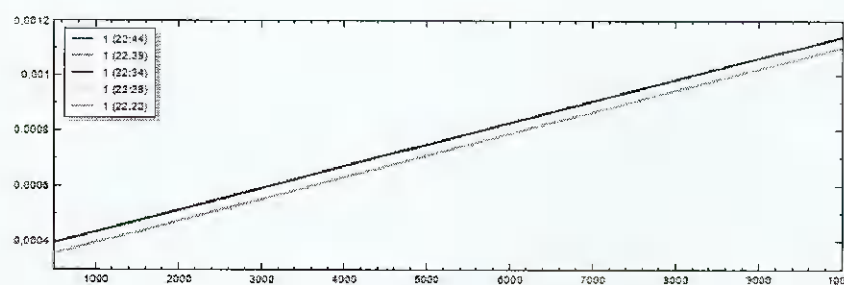


Рисунок 2.13 – Моделювання повнозв’язної топології БКППС

Порівняння топологічних рішень БКППС за часовими графами наводиться нижче—рисунок 2.14—рисунок 2.27.



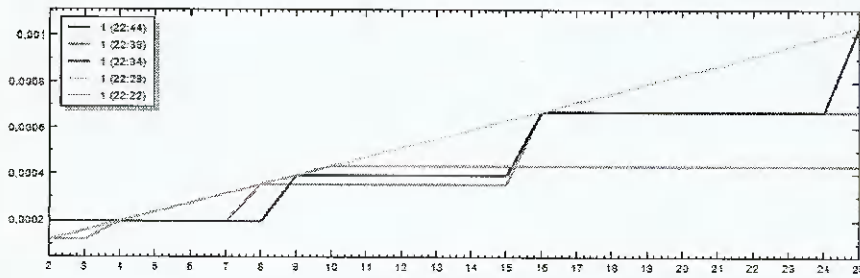
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рисунок 2.14 – Часова характеристика об’єму вихідних даних

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

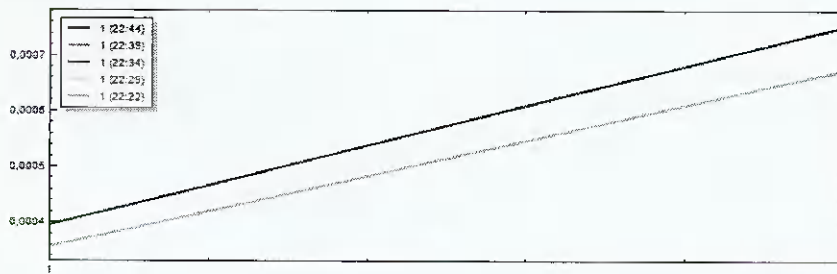
КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ

Арк.
44



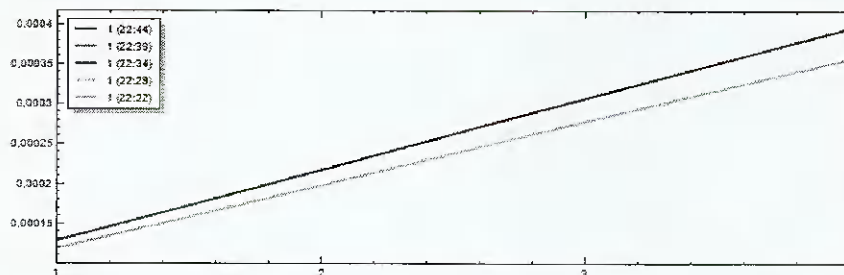
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рисунок 2.15 – Часова характеристика динаміки завантаження вузлів БКППС



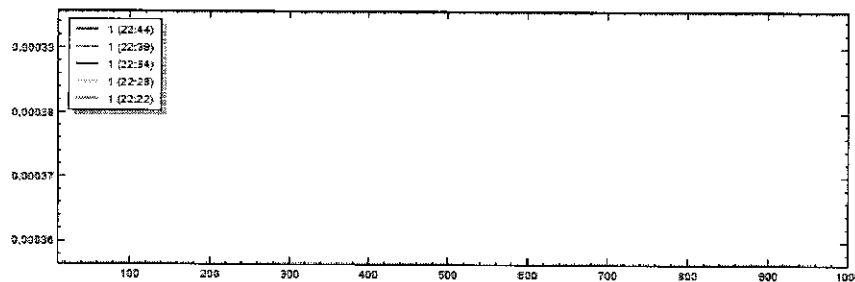
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рисунок 2.16 – Часова характеристика динаміки завантаженості процесорів у вузлах БКППС



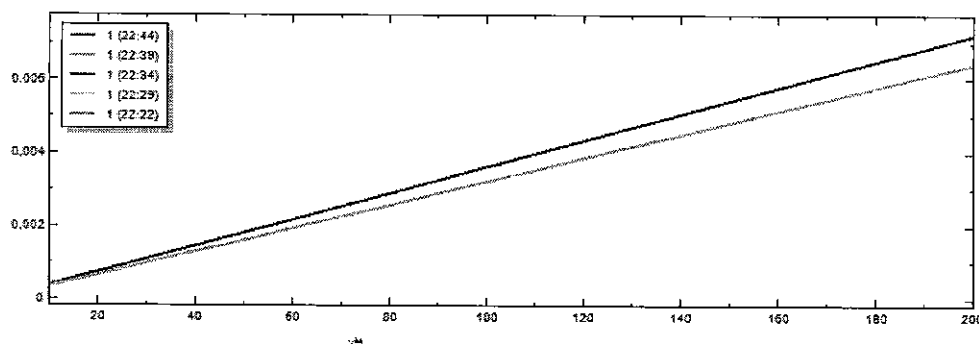
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рисунок 2.17 – Часова характеристика динаміки завантаженості ядер в процесорах БКППС



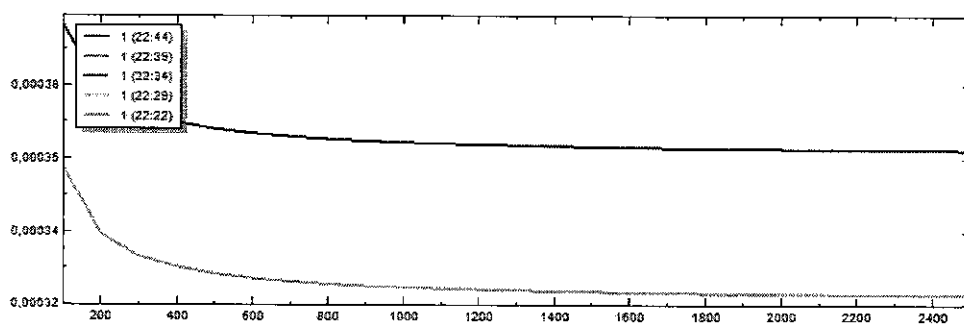
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рисунок 2.18 – Часова характеристика продуктивності БКППС



1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рисунок 2.19 – Часова характеристика латентності БКППС

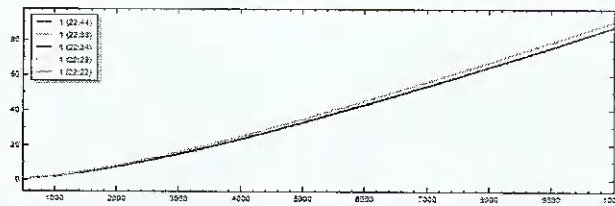


1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рисунок 2.20 – Часова характеристика пропускної здатності БКППС

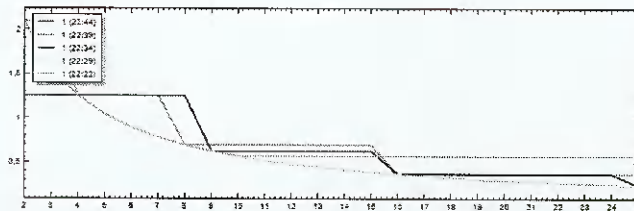
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Порівняння топологічних рішень БКПРС за графами прискорення наводиться нижче – Рисунок 2.21 – Рисунок 2.27.



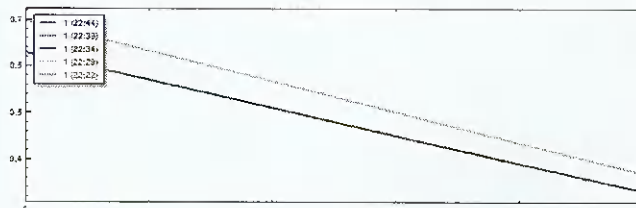
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)

Рисунок 2.21 – Характеристика прискорення для об'єму вихідних даних



1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)

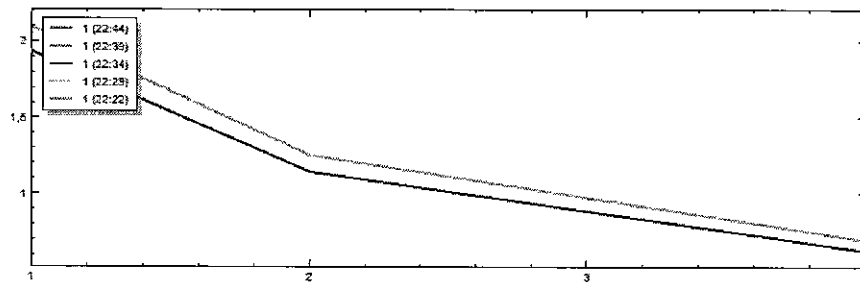
Рисунок 2.22 – Характеристика прискорення для динаміки завантаження вузлів БКПРС



1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)

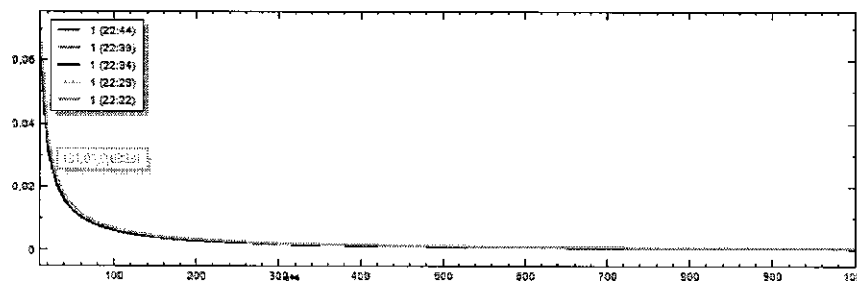
Рисунок 2.23 – Характеристика прискорення для динаміки завантаженості процесорів у вузлах БКПРС

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



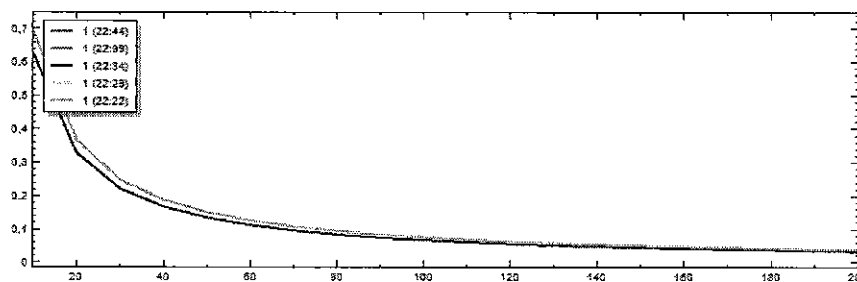
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рисунок 2.24 – Характеристика прискорення динаміки завантаженості ядер в процесорах БКПІС



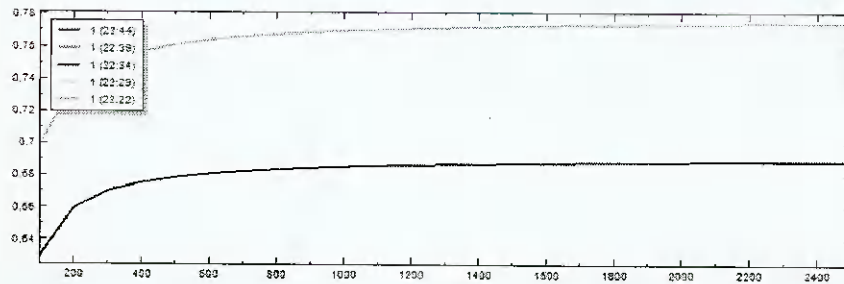
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рисупок 2.25 – Характеристика прискорення для продуктивності БКПІС



1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рисунок 2.26 – Характеристика прискорення для латентності БКПІС



1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рисунок 2.27 – Характеристика прискорення для пропускної здатності БКПІС

2.4 Висновки

На підставі результатів моделювання, встановимо, що всі топологічні рішення БКПІС працюють в одному хронометричному діапазоні, проте за динамікою показників продуктивності та пропускної здатності модельованих систем найбільшу ефективність продемонструвала повнозв’язна топологія.

Ця топологія здатна працювати з більшим значенням комп’ютерів та показувати продуктивність не гірше, а місцями краще, ніж інші топології розглянути вище

Повнозв’язна топологія дозволяє більш точно налаштувати процес комунікації комп’ютерів всередині мережі та отримати більш точний результат.

3 ПОБУДОВА ДОЦІЛЬНОЇ ТОПОЛОГІЇ БАГАТОКОМП'ЮТЕРНОЇ ПОВНОЗВ'ЯЗНОЇ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СПСТЕМП

3.1 Апаліз результатів цифропрограмного моделювання багатокоми'ютерних повнозв'язних паралельних систем в нрограмному середовищі визначених цифрових засобів

За результатами моделювання топологічних рішень БКПІС з урахуванням того, що відповідні цифропрограмні розрахунки здійснювались за умовами рівнозначних напараметрів модельованих комп'ютерних мереж (що забезпечило чистоту та довірчий статус результатів експерименту), всталиовили, що найбільш ефективну топологію має повнозв'язна система.

Дослідження проводились у оптимальних та рівних умовах для забезпечення правдивості досліду та зменшення або уиикнеиння помилок та похибок у кінцевих результатах та графіках.

Застосувавши ПК ParaLab, виконаємо дослідження повнозв'язної топології БКПІС у динаміці вирішення інших типових для паралельного обчислення мереж завдань. Весь процес моделювання, надсилання повідомлень у мережі та візуалізація результатів зображена на рисунках 3.1- 3.6. Було застосовано тонології мереж, які розглядались вище та иараметри відповідні до можливостей топологій, а саме: кількість компютерів, кількість процесорів, кількість ядер процесора, швидкість інтернету, затримка та емність повідомлення. Ці напаретри було обрано для моделювання різних топологій та методик в одиakovих умовах, щоб результати проведення досліду були найбільш наближені до реального процесу, щоб порівняти методики у реальному часі та мати змогу обрати найкращий варіант під певні цілі для найбільш продуктивної роботи, економії ресурсів, зменшення затримки між повідомленнями та доступність пристроїв всередині мережі протягом всього процесу передачі повідомлень.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

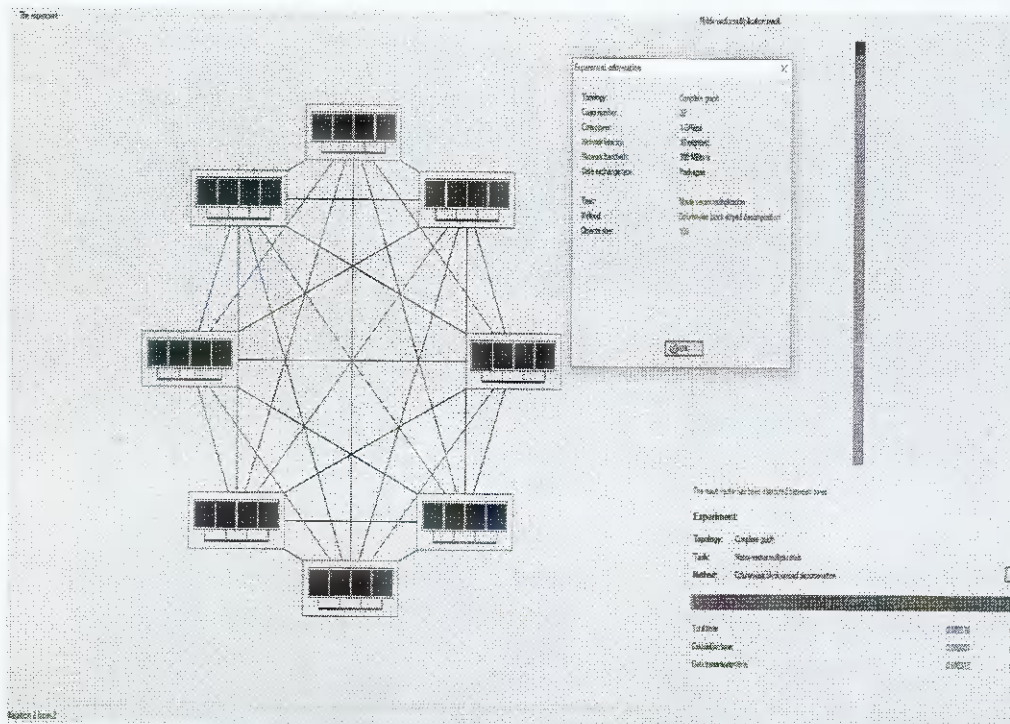


Рисунок 3.1 – Моделювання іовиозв'язної топології БКПІС при отриманні матрично-векторного добутку (загальний час виконання операції – 0,318 мс)

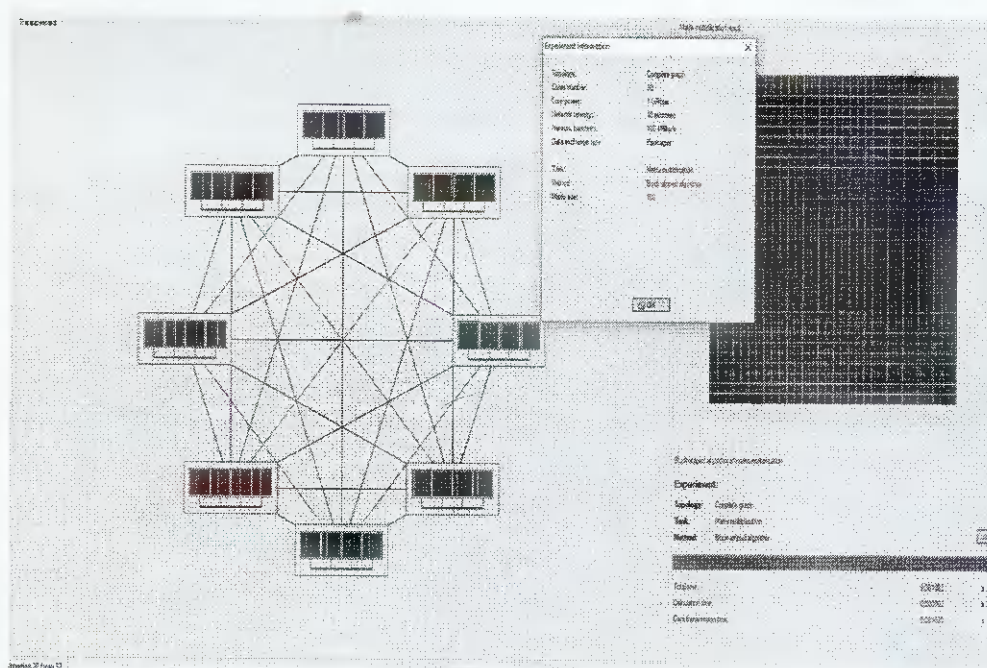


Рисунок 3.2 – Моделювання іовиозв'язної топології БКПІС при отриманні матрично-матричного добутку (загальний час виконання операції – 1,082 мс)

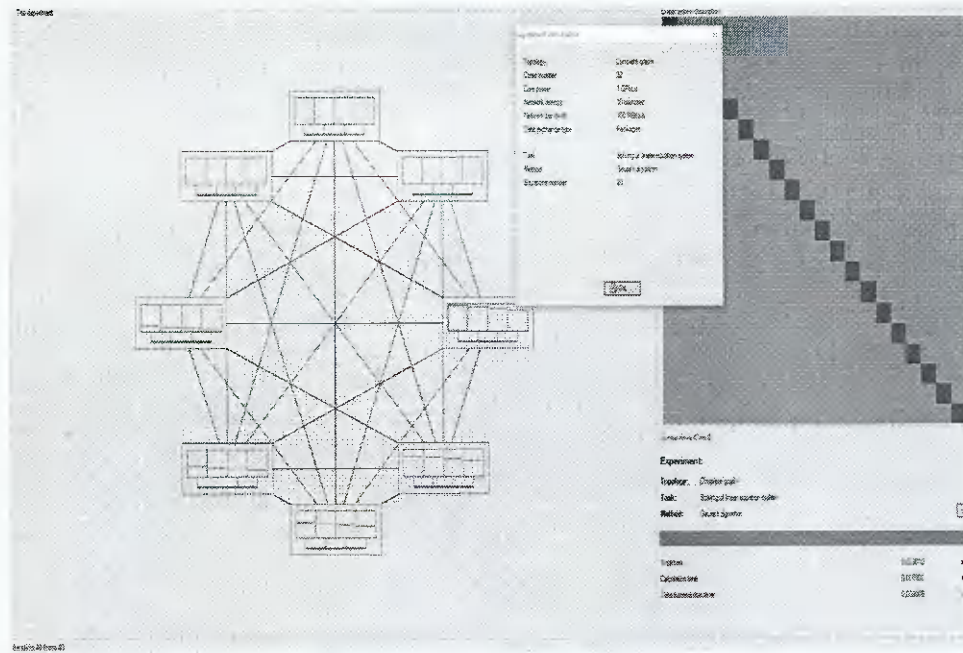


Рисунок 3.3 – Моделювання повнозв'язної топології БКППС при вирішенні системи лінійних рівнянь (загальний час виконання операції – 3,01 мс)

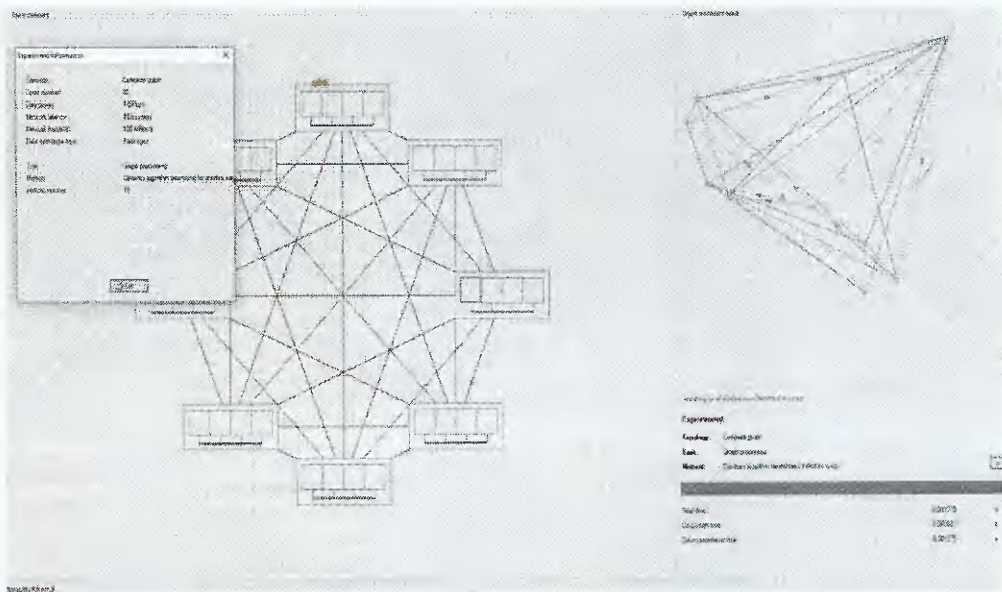


Рисунок 3.4 – Моделювання повнозв'язної тонології БКППС при вирішенні графів (знаходження оптимального рішення) (загальний час виконання операції – 1,075 мс)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ

Арк.
52

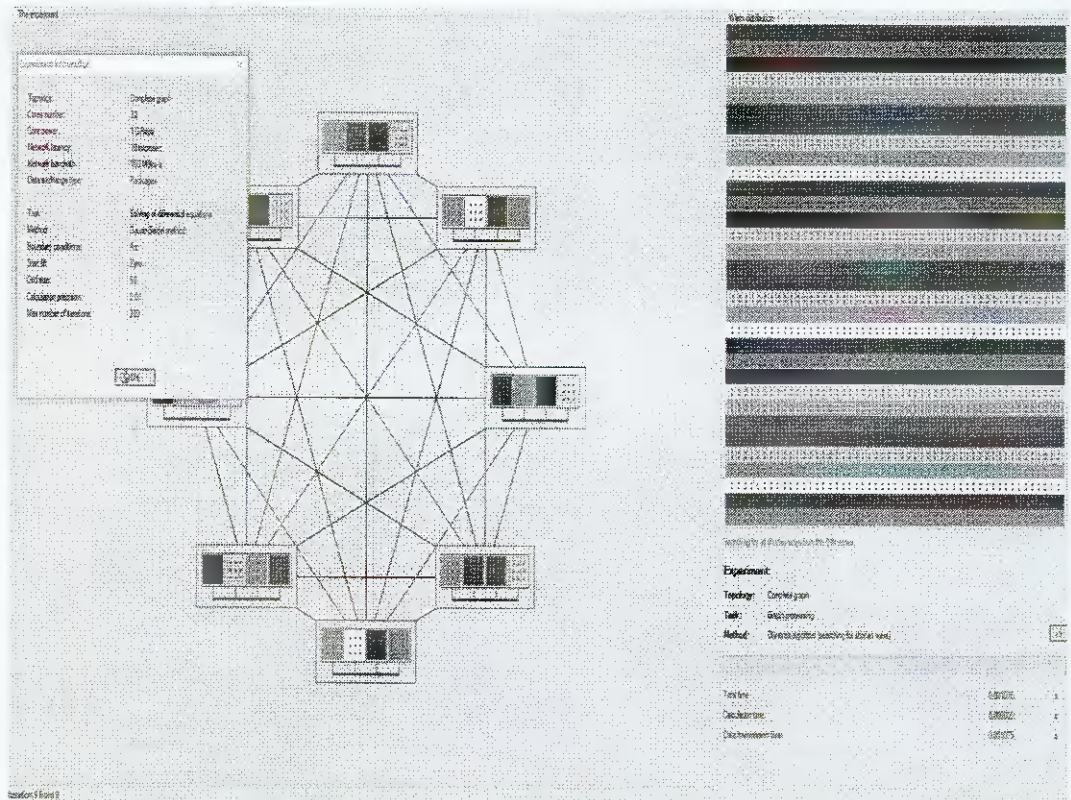


Рисунок 3.5 – Моделювання повнозв'язної топології БКПІС при вирішенні диференційних рівнянь (загальний час виконання операції – 1,075 мс)

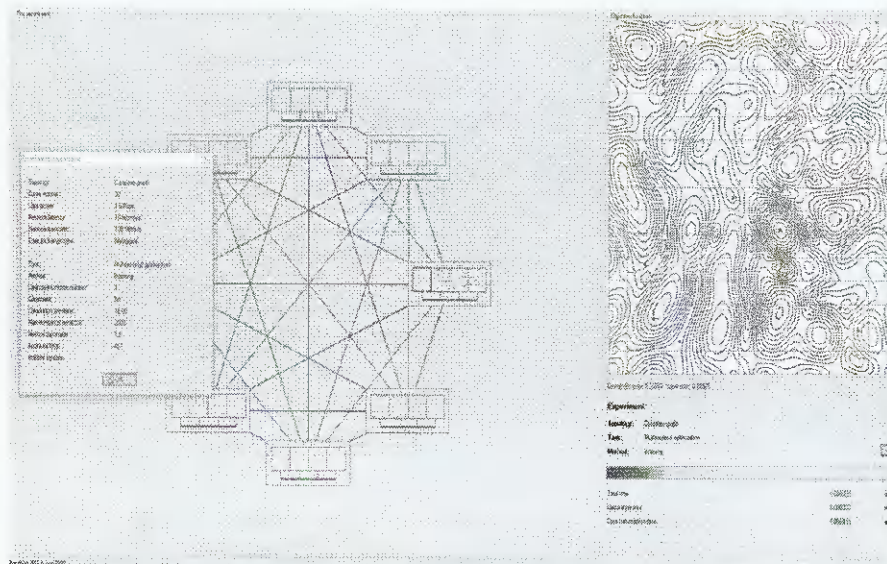
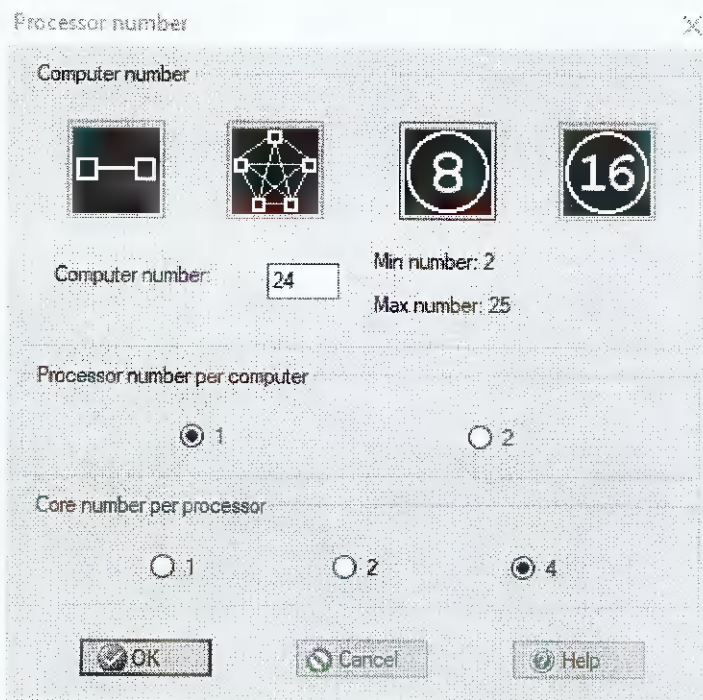


Рисунок 3.6 – Моделювання повнозв'язної топології БКПІС при вирішенні багатоекстремальної оптимізації (загальний час виконання операції – 66,93 мс)



б)

Рисунок 3.7 – Масштабування модельованої БКППС до 16(а) та 24(б) комп'ютерів

Результати, отримані при моделюванні вказують не збільшення часу обробки при незмінній продуктивності модельованої БКППС –рисунок 3.8–рисунок 3.9.

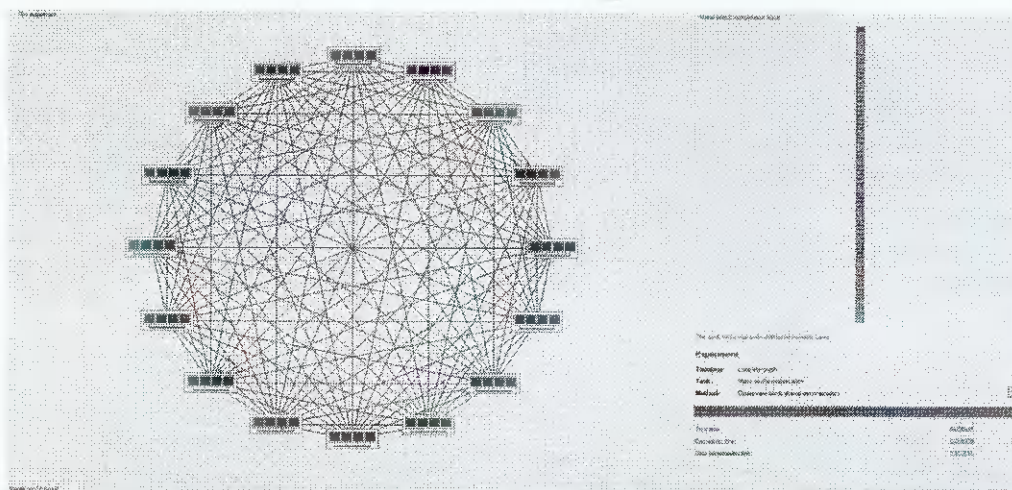
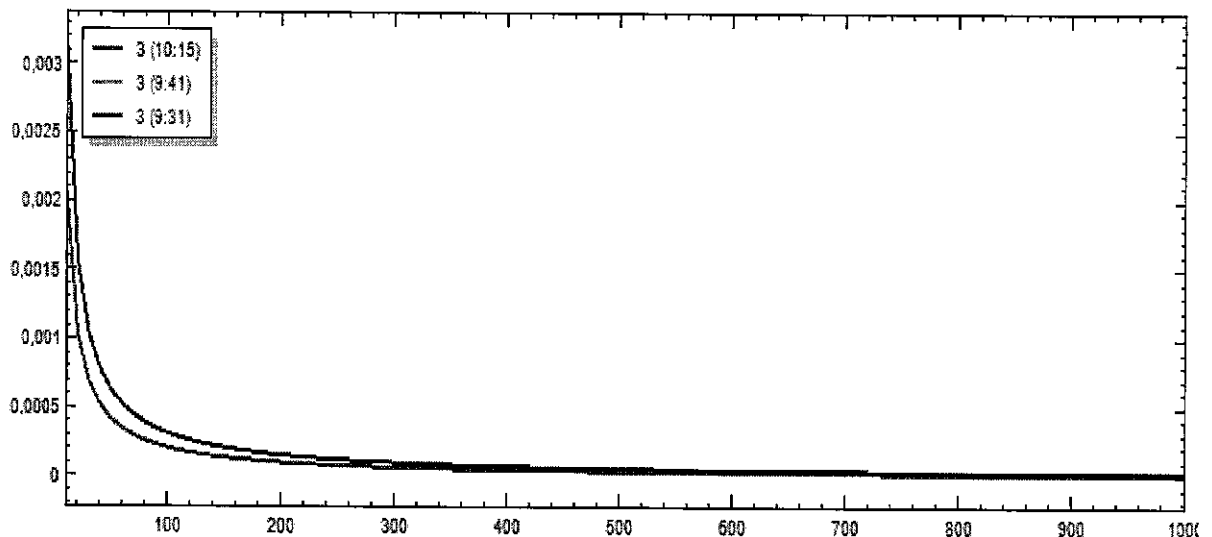


Рисунок 3.8 – Моделювання повнозв'язної топології БКППС при отриманні матрично-векторного добутку, масштабованої до 16 комп'ютерів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



1 – 8 комп'ютерів (червона лінія); 2 – 16 комп'ютерів (синя лінія); 3 – 24 комп'ютерів (зелена лінія)

Рисунок 3.11 – Характеристика прискорення для продуктивності модельованої повнозв'язної топології БКППС за різного рівня масштабу мережі

Відповідно до результатів моделювання повнозв'язної топології БКППС констатуємо, що час обробки типової операції отримання матрично-векторного добутку за однакових умов призвів до збільшення машинного часу:

- для БКППС на 8 комп'ютерів: загальний час виконання операції – 0,318 мс (при швидкості паралельного обчислення – 0,001 мс та швидкості надсилання пакетів даних – 0,317 мс);

- для БКППС на 16 комп'ютерів: загальний час виконання операції – 0,635 мс (при швидкості паралельного обчислення – 0,000 мс та швидкості надсилання пакетів даних – 0,635 мс);

- для БКППС на 24 комп'ютерів: загальний час виконання операції – 0,957 мс (при швидкості паралельного обчислення – 0,000 мс та швидкості надсилання пакетів даних – 0,957 мс).

Тобто, збільшення кількості однотипних комп'ютерних вузлів не призводить до збільшення продуктивності паралельного обчислення повнозв'язною топологією БКППС.

Надалі виконаємо оцінку мережних особливостей БКППС: перевіriamo вплив пропускної здатності мережі на ефективність паралельного обчислення для повнозв'язної топології БКППС, що запроєктована початково. Виконаємо ітераційне дослідження зі збільшенням пропускної здатності мережі до 1 Гбіт/с, 5 Гбіт/с та 10 Гбіт/с—рисунок 3.12.

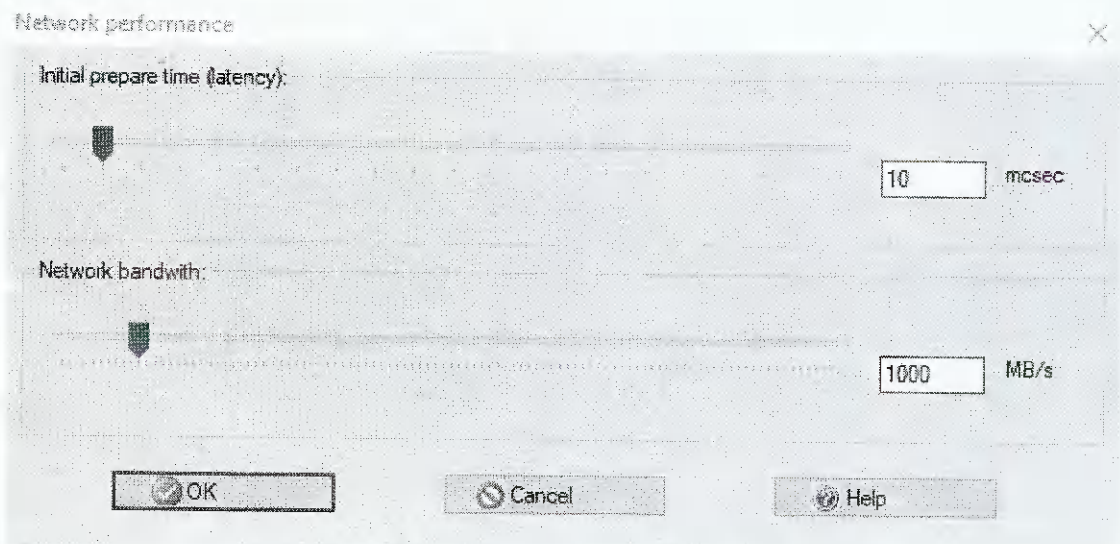


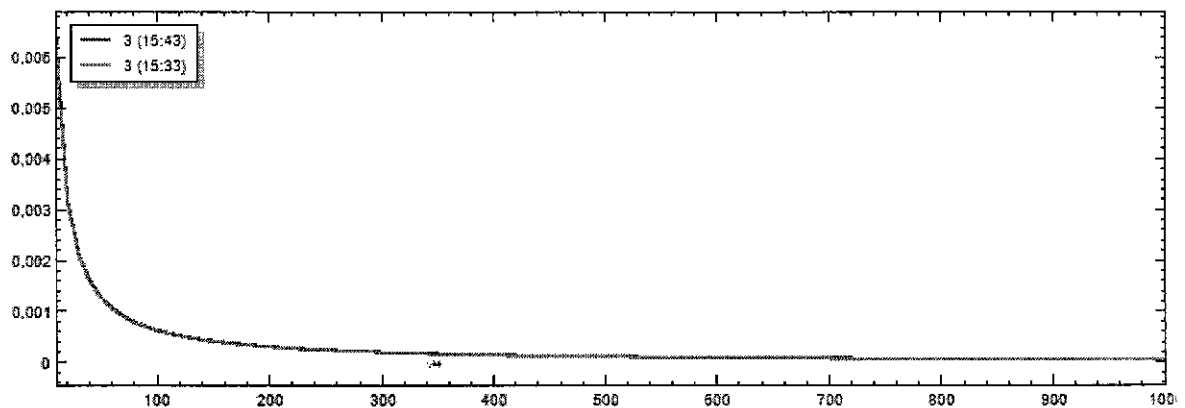
Рисунок 3.12 – Збільшення пропускної здатності мережі модельованої БКППС вирішеної за повнозв'язною топологією

За результатами моделювання впливу пропускної здатності на ефективність паралельного обчислення на базі моделі БКППС вирішеної за повнозв'язною топологією отримали наступні результати:

- пропускна здатність мережі – 100 Мбіт/с: загальний час виконання операції – 0,318 мс;
- пропускна здатність мережі – 1 Гбіт/с: загальний час виконання операції – 0,311 мс;
- пропускна здатність мережі – 5 Гбіт/с: загальний час виконання операції – 0,311 мс;
- пропускна здатність мережі – 10 Гбіт/с: загальний час виконання операції – 0,311 мс.

Таким чином, засвідчуємо, що збільшення пропускної здатності більше 1 Гбіт/с не призводить до підвищення ефективності паралельного обчислення на базі БКППС організованої за повповз'язною топологією та не призводить до підвищення внутрішньомережної пропускної здатності (рисунок 3.13–рисунок 3.14).

Наступним кроком до тестування обраної модельованої повповз'язної топології БКППС є підвищення швидкості паралельного обчислення за рахунок покращення продуктивності процесорів вузлів (комп'ютерів).



1 – 100 Мбіт/с (червона лінія); 2 – 10 Гбіт/с (зелена лінія)

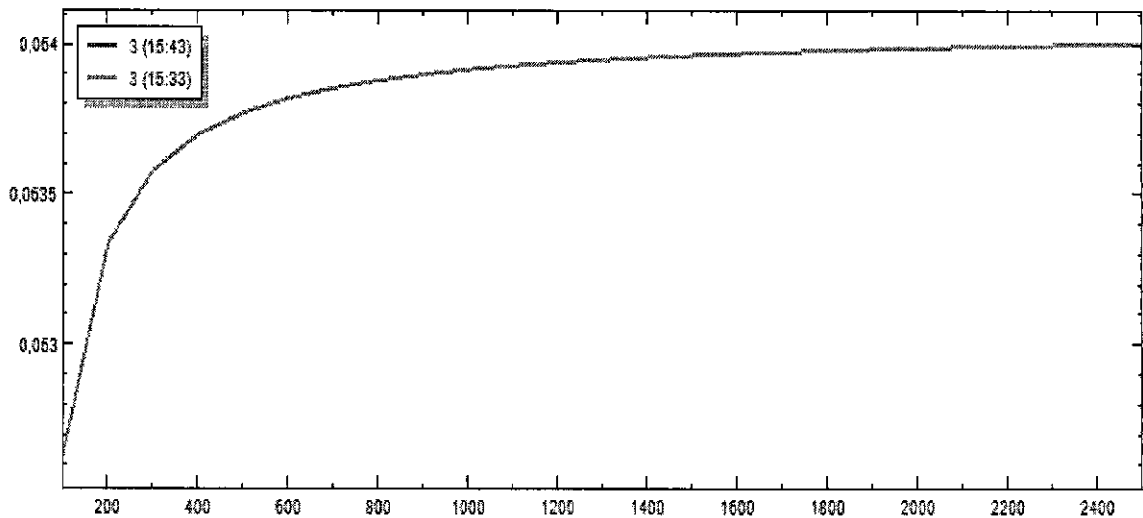
Рисунок 3.13 – Характеристика прискорення для продуктивності модельованої повповз'язної топології БКППС за різного рівня пропускної здатності мережі

Підвищення виконуємо ітераційним шляхом з кроком 2, 3 та 5 ГФлопс/с – рисунок 3.15.

За результатами моделювання та оцінки впливу продуктивності процесорів модельованої БКППС, улаштованої за повповз'язною топологією, при виконанні операції з паралельного обчислення матрично-векторного добутку, встановлено:

- продуктивність процесорів – 1 ГФлопс/с: загальний час виконання операції – 0,318 мс;
- продуктивність процесорів – 2 ГФлопс/с: загальний час виконання операції – 0,317 мс;

- продуктивність процесорів – 3 ГФлопс/с: загальний час виконання операції – 0,317 мс;
- продуктивність процесорів – 5 ГФлопс/с: загальний час виконання операції – 0,317 мс.



1 – 100 Мбіт/с (червона лінія); 2 – 10 Гбіт/с (зелена лінія)

Рисунок 3.14 – Характеристика прискорення для внутрішньомережної пропускну здатності мережі модельованої повнзв’язної топології БКПРС за різного рівня мережних характеристик

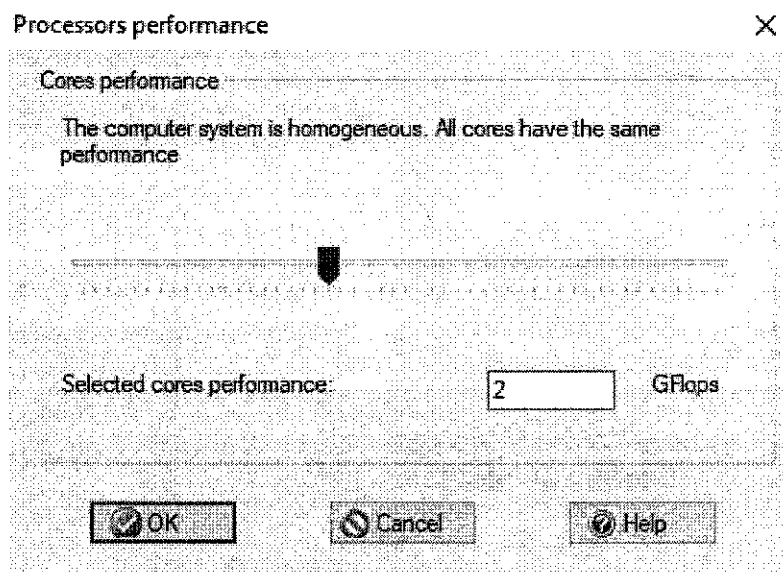


Рисунок 3.15 – Підвищення продуктивності процесорів комп’ютерів БКПРС

- матрично-матричний добуток: зменшення загальної тривалості виконання операції до 0,412 мс, підвищення ефективності на 61,9 %;
- вирішення системи лінійних рівнянь: зменшення загальної тривалості виконання операції до 2,866 мс, підвищення ефективності на 4,78 %;
- сортування: зменшення загальної тривалості виконання операції до 0,324 мс, підвищення ефективності на 9,48 %;
- вирішення графів: зменшення загальної тривалості виконання операції до 1,007 мс, підвищення ефективності на 6,33 %;
- вирішення диференціальних рівнянь: зменшення загальної тривалості виконання операції до 0,877 мс, підвищення ефективності на 18,42 %;
- вирішення багатоекстремальної оптимізації: зменшення загальної тривалості виконання операції до 21,23 мс, підвищення ефективності на 68,28 %.

Таким чином, доведено, що впровадження оптимізаційних заходів до ґрунтовно обраної повнозв'язної топології БКППС загалом підвищує ефективність паралельного обчислення з широким варіативним сектором для кожного типового завдання та певної ситуації залежно від топології та використаної мережі з її властивостями.

3.3 Аналітично-аналітичні рішення з забезпечення функціонування проектною топологією багатокомп'ютерної повнозв'язної паралельної системи

Для побудови БКППС необхідно обрати комп'ютери та мережне обладнання з урахуванням вимог до продуктивності та надійності.

Основні характеристики комп'ютерів:

- потужний процесор;
- достатня оперативна пам'ять для обробки великих обсягів даних;
- достатня ємність жорсткого диска для зберігання даних;
- швидкість мережевого порту для швидкої передачі даних по мережі;
- надійна система охолодження.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні характеристики мережевого обладнання:

- підтримка протоколів мережевого взаємодії;
- достатня пропускна здатність для передачі великих обсягів даних;
- можливість налаштування мережевої безпеки;
- надійність та стійкість до відмов.

В залежності від конкретних потреб БКППС можна обрати такі компоненти:

- сервери для зберігання та обробки даних;
- комутатори для з'єднання серверів та робочих станцій;
- мережеві адаптери для швидкої передачі даних по мережі;
- захисні пристрої для забезпечення безпеки мережі;
- резервне обладнання для забезпечення надійності та стійкості до відмов.

При виборі компонентів необхідно враховувати фінансові можливості та потреби користувачів, а також забезпечити можливість масштабування та розширення системи в майбутньому.

Зважаючи на сучасні тенденції у галузі паралельного обчислення, що наводяться в профільних публікаціях актуального та релевантного наукометричного ландшафту, а також результати моделювання, що визначають ефективну топологію та оптимізаційні рішення для підвищення обчислювальної потужності, визначено наступні апаратно-апаратні рішення з забезпечення функціонування проектої БКППС.

Вихідні дані для підбору обладнання БКППС: в одному комп'ютерному вузлі один комп'ютер з одним процесором на чотири ядра, продуктивність кожного процесора 2 ГФлопс/с, топологія повнозв'язна на вісім комп'ютерів, пропускна здатність внутрішньої мережі – 1 Гбіт/с. Мета БКППС – паралельні обчислення.

Оптимальне апаратно-апаратні рішення проектої БКППС:

- комп'ютерні вузли: 8 × HPE ProLiant DL380 Gen10 Server або аналогічні сервери інших виробників зі сумарною кількістю процесорних ядер 32 (4 ядра на процесор, 2 процесори на сервер) та продуктивністю 2 ГФлопс/с на кожному ядрі.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ці сервери мають високу продуктивність, надійність та можливості для масштабування;

– мережеве обладнання: 8 × Cisco Catalyst 2960-X Switch або аналогічні комутатори інших виробників з пропускнуою здатністю 1 Гбіт/с на порт. Ці комутатори мають повнозв'язну топологію і можуть забезпечити достатній рівень пропускнуої здатності для внутрішньої мережі;

– мережеві адаптери: InfiniBand або 10GbE для підвищення швидкості передачі даних між серверами;

– зовнішні сховища даних: HPE MSA 2050 SAN Storage або аналогічні сховища даних інших виробників з потужністю 7,2 ТБ та можливістю підключення за допомогою інтерфейсів SAS або iSCSI. Ці сховища даних дозволять зберігати та обробляти великі обсяги даних;

– оптичні модулі для комутаторів: для забезпечення зв'язку між комутаторами та іншим мережевим обладнанням (наприклад, маршрутизаторами) можна використовувати оптичні модулі. Наприклад, Cisco SFP-10G-SR-S або HPE J9150A;

– резервне живлення для комутаторів: Щоб забезпечити надійність мережі, рекомендується мати резервне живлення для комутаторів. Наприклад, Cisco PWR-C2-250WAC або HPE J9829A;

– додаткові диски для сховища даних: Залежно від обсягу даних, які необхідно зберігати, можна додати додаткові диски до сховища даних. Наприклад, HPE MSA 2050 1.2TB SAS 12G Enterprise 10K SFF або Seagate IronWolf 8TB NAS;

– резервне живлення для серверів: Щоб забезпечити надійність роботи серверів, можна додати резервне живлення. Наприклад, HPE 800W Flex Slot Platinum Hot Plug Power Supply Kit;

– резервне сховище для даних: Щоб забезпечити захист даних від втрати через випадкове пошкодження або відмову обладнання, можна додати резервне сховище для даних. Наприклад, HPE StoreEver MSL3040 Tape Library або Dell EMC PowerProtect DD Series.

						КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Проектна БКПІС з повнозв'язною топологією забезпечує швидке та ефективне розподілення обчислювальних завдань між різними серверами, що дозволяє забезпечити високу продуктивність та швидкість обробки даних. Крім того, ця топологія мережі дозволяє легко масштабувати систему, додавши нові сервери або комутатори до мережі, що дозволяє збільшувати її продуктивність та функціональні можливості.

Основною перевагою повнозв'язної топології є те, що кожен вузол мережі (комп'ютер, сервер, пристрій зберігання даних тощо) має пряме з'єднання з кожним іншим вузлом. Це забезпечує швидкий і надійний обмін даними в межах мережі, а також резервне з'єднання у випадку відмови одного з компонентів мережі.

У проєкті БКПІС з повнозв'язною топологією було використано високопродуктивні сервери HPE ProLiant DL380 Gen10 з сумарною кількістю процесорних ядер 32 та зовнішні сховища даних HPE MSA 2050 SAN Storage з потужністю 7,2 ТБ. Також встановлено мережеве обладнання – Cisco Catalyst 2960-X Switch, яке забезпечує пропускну здатність 1 Гбіт/с на порт.

Ця конфігурація дозволяє БКПІС ефективно вирішувати завдання зберігання, обробки та передачі великих обсягів даних у бізнес-та наукових проєктах. Також повнозв'язна топологія забезпечує високий рівень доступності та надійності мережі, що є критичним у бізнес-середовищах.

Крім того, застосування повнозв'язної топології забезпечує надійність та стійкість мережі. Кожен сервер і комутатор має з'єднання з кожним іншим сервером та комутатором, тому в разі відмови одного з пристроїв мережа може продовжувати працювати. Крім того, повнозв'язна топологія дозволяє зменшити час відновлення мережі після відмови одного з компонентів.

За такої конфігурації, БКПІС може забезпечити надійну та швидку обробку великих обсягів даних, які є необхідними для бізнесу. Така система може бути використана в різних галузях, включаючи фінанси, медицину, науку та інші, де швидка та надійна обробка даних є критично важливою.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, проектна БКПІС з повнозв'язною топологією та високопродуктивним обладнанням, зокрема серверами зі значною кількістю процесорних ядер, комутаторами з високою пропускнуою здатністю та зовнішніми сховищами даних, може забезпечити високу ефективність паралельних обчислень та швидкий доступ до великих обсягів даних.

Резюмуючи значимо, що проектна БКПІС з повнозв'язною топологією та ефективним обладнанням може бути важливим інструментом для різних галузей науки та промисловості, дозволяючи забезпечувати ефективні та швидкі обчислення для розв'язання складних задач.

3.4 Висновки

Було досліджено різні методи створення мережі та її використання у реальному часі для відображення переваг та недоліків кожної топології та визначення найкращої з них задля вирішення поставленої задачі під час моделювання та симуляції відправлення та отримання повідомлень всередині мережі та аналіз ефективності пристроїв всередині топології для виявлення цілеспрможності певної топології до певного завдання.

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У відповідності до поставленої мети та завдань, у поточному дослідженні встановлені наступні аспекти:

- встановлені основні принципи улаштування, функціонування та перспектив розвитку БКППС;
- у якості програмно-цифрового середовища для дослідження та визначення оптимальної топології проектною БКППС визначений ПК ParaLab;
- визначені основні принципи моделювання та виконання типових завдань паралельного обчислення, що моделюються в ПК ParaLab;
- в ПК ParaLab викопано моделювання ряду топологічних рішень, відповідно до результатів якого у якості оптимальної топології проектною БКППС визначена новозв'язана схема комутаційної організації паралельних комп'ютерних вузлів;
- під час обґрунтування визначеної топології проектною БКППС встановлено, що серед оптимізаційних рішень, які впливають на ефективність паралельного обчислення, найбільш доцільними є підвищення пропускної здатності внутрішньої мережі та підвищення обчислювальної потужності процесорів комп'ютерних вузлів;
- доведено, що провадження оптимізаційних заходів до ґрунтовно обраної новозв'язної топології БКППС загалом підвищує ефективність паралельного обчислення з широким варіативним спектром для кожного типового завдання;
- у проекції БКППС з новозв'язною топологією було використано високопродуктивні сервери HPE ProLiant DL380 Gen10 з сумарною кількістю процесорних ядер 32 та зовнішні сховища даних HPE MSA 2050 SAN Storage з потужністю 7,2 ТБ. Також встановлено мережеве обладнання – Cisco Catalyst 2960-X Switch, яке забезпечує пропускну здатність 1 Гбіт/с на порт.

Дослідження виявило, що запропонована повнозв'язна топологія комутаційної організації паралельних комп'ютерних вузлів в проекції БКППС

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показала високу ефективність при виконанні типових завдань паралельного обчислення, зокрема в області наукових досліджень та моделювання.

Отже, в результаті дослідження було встановлено ефективність запропонованої топології комутаційної організації паралельних комп'ютерних вузлів у проєкції БКППС та рекомендовано використання високопродуктивного обладнання для забезпечення швидкості та обчислювальної потужності.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

ИЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Samuel Greengard. The Internet of Things, revised and updated edition (The MIT Press Essential Knowledge series). 2021. 296 с.
2. Sudip Misra. Introduction to Industrial Internet of Things and Industry. 2020. 370 с.
3. David Hanes. IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, Internet of Things. 2019. 576 с.
4. Joseph Faisal Nusairat. Rust for the IoT. 2020. 615 с.
5. Vlasios Tsiatsis. Internet of Things: Technologies and Applications for a New Age of Intelligence. 2018. 390 с.
6. Andy King. Programming the Internet of Things. 2021. 421 с.
7. Scott J. Shackelford. The Internet of Things: What Everyone Needs to Know. 2020. 256 с.
8. Samuel Greengard. The Internet of Things. 2020. 232 с.
9. Fotios Chantzis. Ioannis Stais. Practical IoT Hacking. 2021. 464 с.
10. Giacomo Veneri. Antonio Capasso. Hands-On Industrial Internet of Things. 2018. 556 с.
11. Robert Robey. Yuliana Zamora. Parallel and High Performance Computing. 2021. 704 с.
12. Роман Trobee. Introduction to Parallel Computing. 2018. 270 с.
13. Pavan Balaji. Programming Models for Parallel Computing. 2019. 488 с.
14. Raghvendra Kumar. Duc-Nhuong Le. Cyber Security in Parallel and Distributed Computing. 2019. 294 с.
15. Norman Matloff. Parallel Computing for Data Science. 2020. 320 с.
16. Andrew Adamatzky. From Parallel to Emergent Computing. 2020. 608 с.
17. Ajit Singh. Parallel Computing: Simply in Depth. 2018. 457 с.
18. Doug Lowe. Networking All-in-One For Dummies. 2021. 1056 с.
19. Nathan A. Perez. Marcia Ballinger PhD. The 20-Minute Networking Meeting- Professional Edition. 2021. 179 с.

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Troy McMillan. Cisco Networking Essentials. 2020. 480 с.
21. ParaLab: <https://ceur-ws.org/Vol-1513/paper-02.pdf> (дата звернення: 28.02.2023).
22. Internet of Things. URL: https://www.internetsociety.org/iot/?gclid=Cj0KCQjwxYOiBhC9ARIsANiEIfbmoFekX8BBIT0wSX26q8Mc350lZIRrbvCSxoAsrJ91Fxb4gG_4l1waAsd4EALw_wcB (дата звернення: 28.02.2023).
23. What is IoT and how it works. URL: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT> (дата звернення: 28.02.2023).
24. Everything you need to know about IoT. URL: <https://www.zdnet.com/article/what-is-the-internet-of-things-everything-you-need-to-know-about-the-iot-right-now/> (дата звернення: 28.02.2023).
25. 29 Internet of Things Examples you should know. URL: <https://builtin.com/internet-things/iot-examples> (дата звернення: 28.02.2023).
26. What is Parallel Networking. URL: <https://www.westbase.io/blog/what-is-parallel-networking> (дата звернення: 01.03.2023).
27. Series-Parallel Network. URL: <https://mathworld.wolfram.com/Series-ParallelNetwork.html> (дата звернення: 01.03.2023).
28. Communication Networks/Parallel vs Serial. URL: <https://www.tutorialspoint.com/difference-between-serial-and-parallel-transmission> (дата звернення: 01.03.2023).
29. A general parallel network architecture. URL: https://www.researchgate.net/figure/A-general-parallel-network-architecture_fig5_4294411 (дата звернення: 01.03.2023).
30. What is Parallel Processing? Types and Examples. URL: <https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/what-is-parallel-processing/> (дата звернення: 01.03.2023).

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

31. Як створити мережу між двома комп'ютерами. URL: <https://uk.soringprepair.com/how-create-local-network-between-two-computers/> (дата звернення: 30.03.2023).

32. Налаштування мережі LAN. URL: <https://voll.kiev.ua/uk/blog/nalashtuvannya-lokalnoji-merezhi-lan-mizh-komputerami-windows-10-8-i-7> (дата звернення: 30.03.2023).

33. Налаштування мережі у Windows 10. URL: <https://best.net.ua/tp-link/> (дата звернення: 30.03.2023).

34. Налаштування мережі у офісі. URL: <https://ittel.com.ua/nalashtuvannya-aktivnogo-merezhevogo-obladnannya/> (дата звернення: 30.03.2023).

35. How to set up network. URL: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/tip/Tips-for-setting-up-a-home-network> (дата звернення: 30.03.2023).

36. Мережа через інтернет. URL: <https://vidpoviday.com/yak-stvoriti-lokalnu-merezhu-cherez-internet> (дата звернення: 30.03.2023).

37. Set up your business network. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/troubleshoot/windows-client/networking/set-up-your-small-business-network> (дата звернення: 30.03.2023).

38. Set up your network. URL: <https://edu.gcfglobal.org/en/basic-computer-skills/how-to-set-up-a-wifi-network/1/> (дата звернення: 30.03.2023).

39. 4 ways to set up a network. URL: <https://www.wikihow.com/Set-up-a-Computer-Network> (дата звернення: 30.03.2023).

40. Install VPN on router. URL: <https://nordvpn.com/uk/blog/vstanovyty-vpn-na-router/> (дата звернення: 30.03.2023).

41. Що таке суперкомп'ютер LUMI. URL: <https://rautagroup.com/uk/superkomp-yuter-lumi-tehnologiyi-stvorennya-innovatsijogo-tsentru-obrobky-danyh/> (дата звернення: 20.04.2023).

42. Що таке суперкомп'ютер та як його використовують. URL: <https://itechua.com/articles/183978> (дата звернення: 30.03.2023).

					КьРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

43. Що таке суперкомп'ютер та на що вони здатні. URL: <https://mc.today/uk/blogs/zlamaty-megakod-drugoyi-svitovoyi-vijny-i-rozrobyty-lyky-vid-kovida-navishho-potribni-superkompyutery-svitu/> (дата звернення: 30.03.2023).

44. Що таке суперкомп'ютер та для чого їх використовують. URL: <https://pingvin.pro/gadgets/article-gadget/shho-take-superkompyuter-i-dlya-chogo-jogo-vykorystovuyut.html> (дата звернення: 30.03.2023).

45. Що таке суперкомп'ютер та спектр їх дій. URL: <https://ukrbukva.net/91425-Superkomp-yutery-i-ih-primenenie.html> (дата звернення: 30.03.2023).

46. Supercomputers make a Comeback. URL: <https://www.computerworld.com/article/2595837/supercomputers-make-a-comeback.html> (дата звернення: 30.03.2023).

47. What is Supercomputer. URL: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/supercomputer> (дата звернення: 30.03.2023).

48. What is Supercomputer: Characteristics, Examples and Facts. URL: <https://www.britannica.com/technology/supercomputer> (дата звернення: 30.03.2023).

49. What is Supercomputing. URL: <https://www.ibm.com/topics/supercomputing> (дата звернення: 30.03.2023).

50. What are Supercomputers and why are they important. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2023/01/how-supercomputers-are-changing-the-world-as-we-know-it/> (дата звернення: 30.03.2023).

51. Supercomputers-Overview. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/supercomputer> (дата звернення: 30.03.2023).

52. Norman P. Jouppi. Doe Hyun Yoop. George Kurian. Sheng Li. Nishant Patil. James Laudon. Cliff Young. David Patterson. A domain-specific supercomputer for training deep neural networks. *Communications of the ACM*. 2020. Number 63. С. 67-78.

53. Alvaro Fernandez. Supercomputers to improve the performance. *Computers and Education*. 2019. Volume 128. С. 353-364.

					КвРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

54. Jason Bell. Machine Learning and the City. *What is Machine Learning*. 2022. Volume 9. С. 210-254.

55. Jimmy Kapadia. Daniel Kok. Parallel Computing. *Powersplit of Parallel*. 2019. Volume 6. С. 68-76.

56. Cheng Xu. Reliable Parallel Systems. *Energy-efficient systems*. 2019. Volume 3. P. 167-181.

57. Rolf Riesen. Operating Systems for Supercomputers. 2019. 540 с.

58. Суперкомп'ютери: все про ці невідомі машини. URL: <https://www.linuxadictos.com/uk/supercomputadoras-todo-sobre-estas-desconocidas-maquinas.html> (дата звернення: 19.04.2023).

59. Рейтинг суперкомп'ютерів 2022. URL: <https://itc.ua/ua/articles/rejting-superkompyuteriv-2022-najpotuzhnishi-ta-prosto-czikavi/> (дата звернення: 19.04.2023).

60. Топологія мереж. URL: https://comp-net.at.ua/index/topologija_komp_39_juternikh_merezh/0-6 (дата звернення: 19.04.2023).

					КВРКІ 190115.19.01.16 ПЗ	Арк. 73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1014924359

Дата перевірки:
04.05.2023 18:29:28 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
04.05.2023 18:30:04 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Ісаєв_Багатокомп'ютерна повнозв'язна топологія для паралельних систем

Кількість сторінок: 76 Кількість слів: 11074 Кількість символів: 89941 Розмір файлу: 2.65 MB ID файлу: 1014619423

3.49% Схожість

Найбільша схожість: 0.79% з Інтернет-джерелом (<http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/10429/3/%d0%94%d>)

3.4% Джерела з Інтернету 300 Сторінка 78

1.09% Джерела з Бібліотеки 95 Сторінка 79

0.33% Цитат

Цитати 2 Сторінка 80

Посилання 1 Сторінка 80

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 2

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 13%

ID: 113022 Назва: БКР Багатокомп'ютерна повнозв'язна топологія для паралельних систем Додано в БД: 2023-05-04 Автора: Т. С. Ісаєв Керівники: Т. М. Кисіль Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	78922	582	204 (0%)	3 (1%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Ісаєв Тимур Сергійович

Тема: Багатокомп'ютерна повнозв'язна топологія для паралельних систем

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 64

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є встановлення найбільш ефективної багатокомп'ютерної повнозв'язної топології для паралельних систем
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області (проаналізовано теорію багатокомп'ютерної повнозв'язної топології, розглянуто види та підвиди мережевих топологій, їх недоліки та переваги, а також розглянуто можливості багатокомп'ютерної повнозв'язної топології для паралельних систем) та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено вибір програми-компілятора для виконання завдань, співставлення з іншими програмами, опис переваг та недоліків кожної з них та вибір найкращої з-поміж доступних варіантів; було розглянуто математичну модель багатокомп'ютерної повнозв'язної топології, її опис та структуру; було розглянуто інтерфейс вибраної програми-ParaLab; було змодельовано та проаналізовано топології, що було розглянуто у 1 розділі роботи. В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано побудову багатокомп'ютерної повнозв'язної топології для паралельних систем, аналіз та вибір найкращої з них методом порівняння при рівних умовах та навантаженнях.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага опису програм-конкурентів та їх можливостям.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Гурман

Іван Васильович доцент кафедри ТЛЗ.

"29" травня 2023 р.

Гурман (підпис)

Завідувачу кафедри КПС
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Ісаєва Тимура Сергійовича

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-19-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, включено в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

29.05.23р

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОНУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованою системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Багатокомп'ютерна повнозв'язна топологія для паралельних систем

Автор: Ісаєв Тимур Сергійович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Кисіль Тетяна Миколаївна, к.ф.-м.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідно
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та дорпрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів виконаної роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформлені посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-30 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів з україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 3.49% і адресується до 395 періоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

Т. М. Кисіль

С. М. Лисенко

І. О. Говорущенко