

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

на тему «Метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин»

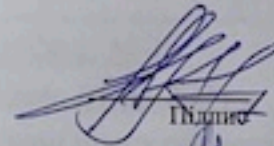
КвРКІП. 180107.18.05 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2М-22-1

Керівник доктор техн. наук, професор
Науковий ступінь, вчене звання

До захисту допускаю:
Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.

Т.О. Говорущенко
06 05 2024 р.


Підпис

Карцан А.Р.
Ініціали, прізвище


Підпис

Лисенко С.М.
Ініціали, прізвище

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 01 ” 09 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Карцану Артуру Руслановичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Керівник проекту (роботи) Лисенко С.М., д.т.н., професор

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

Затверджена наказом ректора університету від 01.01.2024 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2024 р.

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

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

Аналіз відомих методів оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів

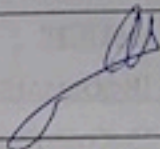
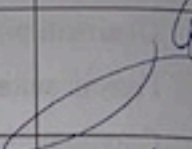
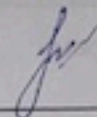

Моделювання енергоспоживання дата-центрів

Метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Система оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

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

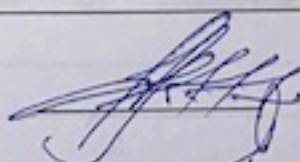
7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2023р.

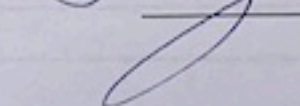
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики КвРМ з керівником	01.09.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.10.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	01.11.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	01.12.2023	виконано
5	Робота над науковою статтею	01.02.204	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2024	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	01.04.204	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.04.2024	виконано
9	Попередній захист	29.04.2024	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 15.05.2024	

Студент

Керівник роботи





Підпис

Підпис

А.Р. Карпан

С.М. Лисенко

Ініціали, прізвище

Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Автор роботи: Артур Карцан

Керівник роботи: Сергій Лисенко

Пояснювальна записка: 82 с., 10 рис., 2 табл., 2 дод., 90 джерел.

ОПТИМІЗАЦІЯ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ДАТА-ЦЕНТР, ВІРТУАЛЬНА МАШИНА, ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ

Об'єктом дослідження є процес оптимізації енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Предметом дослідження є метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є оптимізація енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися основні положення теорії комп'ютерних мереж та систем, системного аналізу, моделювання, методів аналізу даних, теорії математичної статистики, теорії дискретної математики.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Набув подальшого розвитку метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин, який на відміну від відомих для оптимізації енергоспоживання дата-центрів використовує технологію віртуальних машин, а процес оптимізації здійснюється застосуванням модифікованого генетичного алгоритму.

2. Набули подальшого розвитку програмно-технічні засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Практична цінність отриманих результатів. В результаті виконаного наукового дослідження було розроблено апаратно-програмні засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	6
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ДАТА-ЦЕНТРІВ.....	10
1.1 Аналіз відомих методів оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів	10
1.2 Планування та оптимізація ресурсів	12
1.3 Методи планування технології віртуалізації.....	15
1.4 Методи управління навантаженням для зменшення енергоспоживання.....	19
1.5 Оптимізація мережі.....	21
1.6 Методи оптимізація енергозбереження ПЗ	22
1.7 Висновки та постановка задачі	26
2 МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ДАТА-ЦЕНТРІВ.....	27
2.1 Організаційна модель енергоспоживання	27
2.2 Моделювання енергоспоживання серверів дата-центрів.....	28
2.3 Моделювання енергоспоживання процесорного обладнання дата-центрів ..	31
2.4 Енергоспоживання графічних процесорів.....	32
2.5 Моделювання енергоспоживання пам'яті та потужності накопичувачів.....	34
2.5.1 Моделі живлення пам'яті.....	34
2.5.2 Моделі живлення жорстких дисків	36
2.5.3 Моделі живлення твердотільних дисків	37
2.5.4 Моделювання енергоспоживання серверів зберігання даних	38
2.6 Моделювання енергоспоживання центрів обробки даних	39

2.7	Моделювання енергоспоживання групи серверів	39
2.8	Моделювання енергоспоживання мереж центрів обробки даних	40
2.8.1	Моделювання енергоспоживання мережевого каналу.....	40
2.8.2	Моделювання споживання енергії мережевих пристроїв.....	41
2.8.3	Споживання енергії мережевих інтерфейсів.....	43
2.8.4	Споживання енергії оптичних мереж	45
2.9	Моделювання енергоспоживання систем умовно-вихідної потужності.....	47
2.9	Висновки	49
3 МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ДАТА-ЦЕНТРІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІРТУАЛЬНИХ МАШИН		51
3.1	Основи методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин	51
3.2	Застосування генетичного алгоритму для оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин	55
3.2.1	Основні передумови функціонування функції пристосованості	59
3.2.2	Використання рядів Тейлора для отримання функції пристосованості.....	68
3.2.3	Дослідження складності методу	70
3.4	Висновок	71
4 СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ДАТА-ЦЕНТРІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІРТУАЛЬНИХ МАШИН		73
4.1	Реалізація системи-конфігуратора для оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин	73
4.2	Експериментальні дослідження системи-конфігуратора для оптимізації енергоспоживання	75
4.2.1	Параметри налаштування генетичного алгоритму в системі-конфігуратора для оптимізації енергоспоживання	75

4.2.2 Час обчислення функції пристосованості.....	78
4.2.3 Час виконання генетичного алгоритму в малих, середніх та великих масштабах.....	79
4.2.4 Обчислення енергоспоживання в малих, середніх та великих масштабах .	82
4.3 Висновки	84
ВИСНОВКИ	85
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	87
ДОДАТОК А Тези.....	95
ДОДАТОК Б Презентація	97

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ВМ - віртуальна машина

ГА – генетичний алгоритм

БД - база даних

ОС - операційна система

ПЗ - програмне забезпечення

ПК – персональний комп'ютер

ВСТУП

Використання дата-центрів є надзвичайно актуальним у сучасному цифровому світі, де зростає обсяг даних та потреба в їх зберіганні, обробці та передачі.

Дата-центри забезпечують надійне та ефективне зберігання даних, а також можливість швидкої обробки та доступу до них.

Дата-центри використовуються в різних сферах, включаючи бізнес, науку, організації та громадські послуги, і відіграють ключову роль у підтримці функціонування інформаційних технологій та цифрових сервісів.

За ростом технологічних інновацій та зростанням обсягу даних попит на дата-центри продовжуватиме зростати в майбутньому.

Оптимізація інфраструктури дата-центрів має велику актуальність в сучасному світі, де швидкість, ефективність і економічність грають важливу роль в ІТ-сфері.

Враховуючи постійний зріст обсягу даних і потребу у їх обробці, зберіганні та передачі, оптимізація інфраструктури дата-центрів стає ключовим завданням. Вона дозволяє забезпечити оптимальне використання ресурсів, зменшити споживання енергії, підвищити продуктивність та надійність роботи сучасних дата-центрів.

Оптимізація може включати в себе впровадження ефективних технологій віртуалізації, автоматизації управління, побудову енергоефективних систем охолодження, а також вдосконалення архітектури мережі та забезпечення високої рівності надійності та безпеки.

Враховуючи постійний технологічний прогрес і зростаючі вимоги користувачів, оптимізація інфраструктури дата-центрів є невід'ємною складовою успішної роботи будь-якої організації, що працює в галузі інформаційних технологій.

Оптимізація енергоспоживання інфраструктури дата-центрів має величезне значення у сучасному світі, де зростає обсяг обробки та зберігання даних.

Дата-центри відомі своїм високим споживанням електроенергії, що призводить до великих викидів вуглецю та високих витрат на електроенергію. Оптимізація енергоспоживання може включати в себе впровадження енергоефективних технологій, використання відновлювальних джерел енергії, вдосконалення систем охолодження та вентиляції, а також управлінням енергозбереженням та використанням ресурсів у реальному часі.

Це дозволяє зменшити вплив дата-центрів на навколишнє середовище, знизити витрати на електроенергію та підвищити їхню ефективність.

Враховуючи зростання обсягу даних та потребу в обробці інформації, оптимізація енергоспоживання стає все більш актуальною для дата-центрів.

Актуальність роботи полягає в розробці удосконаленого методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин, який уможливить зменшити рівень енергоспоживання.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є оптимізація енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- дослідити методи оптимізації енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин;
- проаналізувати сучасні програмно-технічні засоби оптимізації енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин;
- дослідити та описати моделювання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин;
- удосконалити метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин;
- реалізувати засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Об'єктом дослідження є процес оптимізація енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Предметом дослідження є метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Набув подальшого розвитку метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин, який на відміну від відомих для оптимізація енергоспоживання дата-центрів використовує технологію віртуальних машин, а процес оптимізації здійснюється застосуванням модифікованого генетичного алгоритму.

2. Набули подальшого розвитку програмно-технічні засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Практична цінність отриманих результатів. В результаті виконаного наукового дослідження було розроблено апаратно-програмні засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення теорії комп'ютерних мереж та систем, системного аналізу, моделювання, методів аналізу даних, теорії математичної статистики, теорії дискретної математики, теорії еволюційних алгоритмів.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опубліковані тези у матеріалах конференції XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій» 18-19 квітня 2024 р., Одеса, Україна [1].

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ДАТА-ЦЕНТРІВ

1.1 Аналіз відомих методів оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів

Центри обробки даних - це комп'ютерні кластери, які зберігають велику кількість даних для різних організацій, що виконують функцію обробки повсякденних запитів та операцій, як зазначається у джерелі [1]. Центри обробки даних можна розглядати як сукупність різних серверів та мережевої інфраструктури, де сервери використовуються для збору даних, а мережева інфраструктура - для передачі, зберігання та оновлення даних серверів, безпосередньо користувачі мають можливість отримати доступ до серверів дата-центру через мережу.

Останнім часом, кількість цифрової інформації стрімко зростає, а сфера її використання також значно розширюється. Центри обробки даних є основною інфраструктурою для підтримки такої тенденції. Разом з розвитком хмарних обчислень та пропозиціями щодо «зелених» обчислень, технології центрів обробки даних стали полем битви «інформаційних змагань» для ІТ-гігантів. Висока продуктивність - не єдина вимога до розгортання центрів обробки даних. Все більше уваги починають приділяти енергоспоживанню дата-центрів зазначено у джерелі [2].

Згідно зі статистичними даними, наведеними в посиланні [3], центри обробки даних у спожили майже 61 мільярд кВт-год, що становить приблизно 1,5% від загального енергоспоживання. А після створення додаткових дата-центрів, енергоспоживання зросло до понад 100 мільярдів кВт-год, що було виявлено в результаті дослідження [4]. З глобальної точки зору, енергоспоживання світових центрів обробки даних становило 1,1-1,5% від загального світового енергоспоживання, що еквівалентно середньому обсягу енергоспоживання в 25 000 американських домогосподарств, як зазначено у роботі [5].

З постійним розширенням глобальної економіки споживання енергії та викиди вуглецю в найближчі роки продовжуватимуть зростати. Згідно з джерелом [6], викиди CO₂ від дата-центрів, в залежності від їх енергоефективності, зростають зі швидкістю 6% на рік, і з такими темпами зростання вони становитимуть 12% світових викидів вже в найближчі роки.

Енергоспоживання дата-центрів можна розділити на дві категорії: обчислювальні ресурси та фізичні ресурси. Статистичні дані, наведені в джерелі [7], свідчать про те, що на обчислювальні ресурси припадає до 50% від загального енергоспоживання. На сервери та комп'ютерну потужність припадає близько 40% загального енергоспоживання, на мережеве обладнання - близько 5%, а пристрої зберігання даних в свою чергу використовують близько 5%.

З іншого боку, енергоспоживання систем охолодження є основною частиною енергоспоживання фізичного обладнання, на нього припадає близько 40% від загального енергоспоживання, крім того, на системи електропостачання та інші прилади припадає близько 10% енергоспоживання.

Тому можна зробити висновок, що сервери та системи охолодження найбільш енергоємні об'єкти в дата-центрах. На них припадає домінуюча частка загальних операційних витрат. Тому зниження енергоспоживання серверів і систем охолодження є ключовим питанням сталого розвитку дата-центрів.

Загалом, енергоспоживання дата-центрів обмежує розвиток та масштабування дата-центрів з високою вартістю електроенергії, і в той же час стрімке зростання «вуглецевого сліду» посилює шкоду, завдану навколишньому середовищу, як і зазначено у джерелі [8]. Питання енергоспоживання центрів обробки даних викликає широке занепокоєння як в академічних колах, так і в галузі в цілому.

Віртуалізація на краю мережі недавно здобула достатню увагу досліджень. Це відкрило шлях для туманних центрів обробки даних з можливістю розширення для розміщення великого різноманіття користувацьких застосувань [1]. Хоча центри обробки даних є важливими для безперебійної роботи туманних послуг, вони також мають значний вплив на

навколишнє середовище через велику кількість енергії, необхідної для їх функціонування [2].

Споживання енергії центрів обробки даних є ключовою проблемою [3], оскільки обладнання ІТ, особливо фізичні машини (ФМ), споживають до 60% від загальної енергії, навіть коли центр обробки даних не працює. Високі витрати, погані екологічні наслідки та зменшена надійність обчислювального обладнання [4] впливають з надмірно великих вимог до енергії серверів. Неefективне розміщення віртуальних машин та розподіл частотних ФМ серед кількох клієнтів витрачають цінні ресурси та використовують зайву енергію [4, 5]. Ці факти спонукали значну наукову увагу до енергоефективних рішень для розміщення віртуальних машин в центрах обробки даних з метою зменшення споживання енергії.

1.2 Планування та оптимізація ресурсів

В даний час, в області енергозберігаючих досліджень процесорів, найбільш широко використовується метод планування завдань з урахуванням енергоспоживання (PATS), заснований на динамічному масштабуванні напруги (DVS). Ця методика може зменшити енергоспоживання процесорів за рахунок розумного планування завдань.

Як результат досліджень, вчені запропонували серію класичних алгоритмів реального часу RTDVS, орієнтованих на періодичну збірку завдань, як зазначено у праці [11], і результати їхніх експериментів показали, що ці алгоритми можуть знизити енергоспоживання вбудованих платформ на 20-40%.

Майже в той самий час була запропонована методика динамічного масштабування напруги з адаптивним зміщенням корпусу (DVS-ABB), яка суттєво сприяє зменшенню потужності витоку енергії, що зазначено у джерелі [12]. На основі цього вчені застосували метод розрахунку на основі частоти ключа, спрямованого на одночасне зменшення витоку та динамічне споживання енергії, виявлено у науковій роботі [13].

Крім того, з часом була прийнята та вдосконалена технологія DVS-ABB для вирішення труднощів PATS у розподілених гетерогенних системах реального часу, вказано у джерелі [14].

Згодом, з широким розповсюдженням багатоядерних та багатопроцесорних платформ, з'являється все більше наукових робіт, присвячених технології PATS на базі багатоядерних та багатопроцесорних платформ.

На основі симетричного мультипроцесора з підтримкою DVS, вчені розробили алгоритм зменшення енергоспоживання періодичних задач у реальному часі та проаналізували функцію евристичного методу класифікації з використанням алгоритму раннього дедлайну (EDF), зазначено в роботі [15].

Для досягнення мети енергозбереження використовувалась технологія відновлення вільного часу, для динамічного регулювання швидкості виконання процесорних задач, за допомогою планування та оптимізації ресурсів.

Коефіцієнт використання серверних ресурсів досягає лише близько 20% від загальної продуктивності, подано у наукових роботах [26, 27]. Очевидно, що планування та оптимізація ресурсів серверного кластера може ефективно зменшити час простою сервера та споживання енергії, а також підвищити ефективність використання серверних ресурсів, зазначено у роботі [28]. Доведено, що планування та оптимізація ресурсів серверного кластера є важливим засобом зменшення енергоспоживання сервера.

Енергозберігаючі рішення для серверів в основному включають дві категорії: віртуалізовані та невіртуалізовані рішення. Для невіртуалізованих рішень існує три види технологій, включаючи концентрацію навантаження (LC), DVFS і управління часом простою (Powerap).

А віртуалізована технологія використовує чотири особливості віртуалізованої платформи:

- 1) незалежність між базовим обладнанням і додатком верхнього рівня може підтримувати кілька запущених VM на одній апаратній платформі;
- 2) VM може динамічно запускатися, зависати і вимикатися;
- 3) ресурси, призначені для VM, можуть динамічно регулюватися;

4) ВМ може підтримувати динамічну міграцію.

Ці особливості технології віртуалізації надають технічні засоби та нові ідеї для гнучкого управління та оптимізації ресурсів.

Технологія LC, є найбільш рання невіртуалізована схема, яка розподіляє запити на виконання завдань між динамічним набором серверів, встановлених через шлюз.

Це рішення використовує стратегію енергозбереження, яка дозволяє зосередити навантаження на невеликій кількості серверів, наскільки це можливо, так що деякі сервери простоюють, а потім вимикаються для економії енергії. Крім того, ця стратегія була перевірена у активному веб-середовищі і їхні експериментальні результати показали, що технологія LC може досягти більш ніж 29% економії енергії.

Згодом з'явилися роботи, в яких порівнювалися три різні моделі прийняття рішень, включаючи незалежне масштабування напруги (IVS), координоване масштабування напруги (CVS) та Vary-On Vary-Off (VOVO), власне це є описано у роботі [29]. Між цими трьома моделями існують різні механізми:

1) у моделі IVS сервер регулює швидкість процесорів відповідно до власного навантаження;

2) у моделі CVS розроблено глобальний пристрій керування, який визначає схему регулювання швидкості процесора на основі аналізу навантаження всіх серверів у системі;

3) у моделі VOVO деякі сервери, що простоюють, завжди вимикаються і вмикаються лише тоді, коли це потрібно системі. Згідно з результатами фінального експерименту, як CVS, так і VOVO досягають хорошого ефекту енергозбереження, а комбінація CVS і VOVO виявилася найкращим способом енергозбереження в практичному застосуванні.

Також був запропонований метод енергозбереження серверів під назвою PowerNap. Згідно з його дослідженням, споживання енергії та використання ресурсів процесора в основному мають лінійну кореляцію, незважаючи на те,

підтримується чи не підтримується на сервері технологія DVFS, і загальний ефект енергозбереження, який надає технологія DVFS, не є настільки очевидним.

Виходячи з цього, була створена нова модель енергоспоживання та запропонований метод енергозбереження шляхом швидкого перемикання між активним станом високої продуктивності та станом простою з низьким енергоспоживанням, і результати експерименту показують, що цей метод досягає економії енергії в середньому на 74%.

Новий енергозберігаючий метод планування хмарних обчислень запропоновано в роботі [30], він досягає економії енергії на 72,2% за рахунок зменшення кількості працюючих серверів, а ті, що простоюють, вимикаються.

Згодом також запропонували алгоритм з лінійною комбінацією мінімальної та максимальної частоти процесорів для оптимізації енергоспоживання, він є описаним у джерелі [31], алгоритм досягає економії енергії на 13,5% згідно з результатами експерименту.

Згідно з роботою [30], енергоспоживання та завантаження процесора майже лінійно залежать від рівня завантаження процесора, кореляція між двома серверами з різним рівнем завантаження процесора в діапазоні від 10% до 100%, збільшує споживання електроенергії приблизно на 6,5% та 3,0% відповідно при збільшенні завантаження процесора на 10%.

Крім того можна спостерігати, що машина в стані простою споживає багато енергії, досягаючи 62% у випадку чотирьохядерної машини і 78% у випадку двоядерної машини від пікової потужності. Отже, значного зниження енергоспоживання можна досягти шляхом переведення серверів, що простоюють, у стан з низьким енергоспоживанням.

1.3 Методи планування технології віртуалізації

Згідно з дослідженням консалтингових компаній, поточне використання серверних ресурсів дата-центрів по всьому світі не перевищує 20%, і велика кількість ресурсів простоює даремно. Технологія віртуалізації дозволяє об'єднати

декілька серверів в один віртуалізований сервер для покращення використання серверних ресурсів.

Поряд з технологією віртуалізації, яка широко використовується в центрах обробки даних, як важлива частина системного програмного забезпечення, програмне забезпечення менеджера віртуальних машин в єдиній обчислювальній системі також має нагальну потребу у впровадженні заходів з енергозбереження. В даний час дослідження енергозбереження, орієнтовані на диспетчер віртуальних машин в основному включають підтримку інтерфейсу управління енергоспоживанням, структуру управління енергоспоживанням та енергозбереження віртуальної машини на рівні робочого столу, зазначено у роботі [32]. Наведений вище механізм управління енергозбереженням забезпечує лише закритий інтерфейсний канал для енергозбереження повної системи віртуалізації, але як саме потрібно реалізувати енергозбереження середовища віртуальної машини - все ще потребує подальшого дослідження.

В наукових спільнотах була запропонована система управління енергоспоживанням в умовах багатомодульної та багаторівневої архітектури віртуалізації на базі віртуальної машини L4.

Virtual Power - це дослідницький проєкт з енергозберігаючих технологій на основі менеджера віртуальних машин, який інтегрує енергозберігаючі технології як апаратного, так і програмного забезпечення у віртуальні машини, і, таким чином, має локальні та глобальні стратегії енергозбереження, описано у дослідженні [33].

Також в наукових роботах була розроблена дворівнева структура управління з RTSS, як і зазначено у джерелі [34], де верхній рівень забезпечує відповідність продуктивності кожної віртуальної машини вимогам додатків, а нижній рівень досягає мети зниження енергоспоживання шляхом керування частотою процесора на основі продуктивності верхнього рівня.

Планування робочого навантаження з урахуванням температури (TAWS) - одне з найпоширеніших рішень до початку широкомасштабного застосування технології віртуалізації. Після цього, енергозберігаючі рішення з управління ресурсами центрів обробки даних більше почали зосереджуватись на поліпшенні

використання ресурсів шляхом підходу з віртуальними машинами і гіпервізором, наскільки це можливо і вимиканні серверів, що простоюють, з метою підвищення рівня енергозбереження.

Це протилежно принципу TAWS, оскільки сервер, що працює з високим навантаженням, спричиняє різке підвищення робочої температури, в той час як для охолодження цих серверів необхідно збільшити частоту вмикання кондиціонерів, оскільки не існує єдиного рішення для охолодження серверних блоків в дата-центрах з повітряним і водяним охолодженням.

Для вирішення вищезазначених проблем було запропоновано енергозберігаючу стратегію на основі механізму керування живленням та температурою (PTM), це описано у джерелі [35], стратегія приймає своєчасні рішення щодо активних значень серверів дата-центрів, а саме керує стратегією маршрутизатора та частотою охолодження за допомогою моніторингу навантаження в режимі реального часу.

Ще одним із рішень на основі технології злиття є стратегія під назвою PowerTrade & SurgeGuard, яке забезпечує найнижче енергоспоживання із загального енергоспоживання сервера та систем охолодження шляхом розрахунку енергоефективної системи енергозбереження та охолодження сервера. Ця програма також запропонувала стратегію «надлишкової доставки» ресурсів для забезпечення якості сервісу - QoS, враховуючи системні витрати та продуктивність, на які впливає перемикач стану сервера.

Поширення технології віртуалізації робить управління серверними ресурсами більш гнучким. Енергоефективні рішення, засновані на технології віртуалізації, сьогодні привертають все більше уваги з боку світових дослідницьких інститутів та підприємств. Завдяки інтересу до технології в цілому було створено дворівневу платформу управління віртуалізацією на базі гіпервізора, для реалізації специфічного для конкретного додатку, тонкого контролю енергоспоживання.

Науковці дослідили нову стратегію, що поєднує ресурси, які виділяються динамічно, та DVFS VM для досягнення енергозбереження сервера і виявили більш

комплексне енергозберігаюче рішення, що показали кращі експериментальні результати зі зниженням енергоспоживання на 22%.

Є й інші роботи, в яких побудовано модель міграції VM, орієнтовану на енергоефективність та угоду про рівень обслуговування (SLA), і ця модель використовує алгоритм першого зменшення (FFD) для вибору оптимальних фізичних серверів для розміщення VM з урахуванням вартості міграції. Крім того, в роботах [36,37] також обговорюються проблеми інтеграції VM у хмарних дата-центрах і пропонується евристичний метод енергозбереження.

Згодом, що стосується ресурсів центрів обробки даних, було запропоновано надання клієнтським додаткам розподілу з урахуванням енергоспоживання - для підвищення енергоефективності центрів обробки даних на основі передумови визначення якості обслуговування (QoS), зазначено у роботі [38]. Розроблено архітектуру планування з урахуванням невизначеності для хмарного центру обробки даних, а також запропоновано новий алгоритм планування RPS для досягнення компромісів між завданнями, що гарантують співвідношення, використання системних ресурсів, енергоспоживання та стабільність системи, вказано у джерелі [39].

Існують й інші роботи, в яких представлено рішення для консолідації серверів з керуванням продуктивністю для віртуалізованих центрів обробки даних для досягнення енергоефективності та забезпечення продуктивності на рівні додатків. В роботі [40] представлено зміну часу виконання та енергоспоживання віртуалізованих центрів обробки даних при зміні значення $\Delta\epsilon$ від 1 до 0,01 при фіксованій кількості VM - 5 одиниць, а час виконання завдань швидко зростає зі збільшенням $\Delta\epsilon$.

Загалом, існуючі рішення покладаються на DVFS або консолідацію серверів окремо, їхнє рішення інтегрує управління враховуючи поточний стан обладнання, із оптимізацією для використання як DVFS, так і консолідації серверів для максимальної економії енергії з сталою продуктивністю.

Наразі ще одним викликом, з яким стикаються оператори дата-центрів є те, як можна мінімізувати енергоспоживання і водночас запобігти втраті доходів бізнесу, збалансувавши постачання ІТ-ресурсів та мінімізувавши порушення SLA.

Як тільки певні ІТ-послуги, засновані на попередньо визначених SLA та QoS, стануть важкодоступними, то центри обробки даних зіткнуться зі втратами на рівні сервісу, які в результаті призведуть до втрати доходу бізнесу.

Amazon, наприклад, буде нести 1% втрати своїх продажів при кожній затримці на 100 мс, в той час як Google виявив, що його пошуковий трафік зменшиться на 20%, якщо час відгуку пошукової сторінки буде більше 500 мс, вказано у дослідженні [41]. Тому, як більш коректно налаштувати ІТ-обладнання - є важливою проблемою в управлінні ресурсами дата-центру, таке налаштування спрямоване на те, щоб уникнути порушення стандартів SLA та мінімізувати енергоспоживання.

В роботі [42] запропоновано гібридний підхід до вирішення цієї проблеми, а саме підхід до конфігурації серверів шляхом відстеження історії робочого навантаження для визначення моделей попиту на довготривале робоче навантаження. Результати експерименту показують, що цей метод має значне покращення в плані енергозбереження та показує зменшення витрат на енергопостачання до 35% та на 21% менше порушень SLA, порівняно з іншими підходами.

1.4 Методи управління навантаженням для зменшення енергоспоживання

Метод управління навантаженням має низьку вартість та енергоефективність, особливо для територіально розподілених центрів обробки даних. Згідно з роботами [43,44], однакові навантаження розподіляються на різні сервери в одній і тій же стійці, в той час як приріст температури серверів є непослідовним. Чим ближче сервери знаходяться до підлоги, тим приріст менший, і навпаки, чим далі, тим більший.

Сервер, що знаходиться близько до підлоги, має кращий ефект охолодження, так як знаходиться безпосередньо ближче до засобів кондиціонування, тому приріст температури є меншим і навпаки із сервером віддаленим від підлоги. На основі цього відкриття вони запропонували метод під назвою «зональна дискретизація» (ZBD), що базується на регіональному поділі алгоритму планування навантаження, який значно покращує ефективність охолодження та зменшує споживання енергії.

Водночас вони також запропонували інший алгоритм мінімізації рециркуляції тепла (MinHR), який зменшує тепловиділення всього центру обробки даних за рахунок диспетчеризації навантаження та зменшує вплив термоциклічності на охолодження, тим самим покращуючи методи ефективності охолодження. Експериментальні результати показують, що обидва методи мають хорошу ефективність енергозбереження, в той час як MinHR є більш енергоефективним, ніж ZBD, на жаль, час обчислення методу MinHR занадто довгий, щоб відповідати потребам практичного застосування, і може бути використаний лише за певних обставин.

Згодом було запропоновано ще один подібний метод за рахунок зменшення тепловиділення для всього центру обробки даних, підхід описаний у роботі [45], що дозволило зменшити вплив теплового циклу на ефективність охолодження.

В роботі [46], шляхом моделювання реальних умов, показано, що тепловий цикл впливає на ефективність охолодження, моделюючи реальні ціни на електроенергію та історичні температурні дані, дослідники запропонували розподілений m -блоковий алгоритм ADMM на основі класичного 2-блокового алгоритму, а потім провели симуляцію моделі ефективності охолодження. Експериментальні результати показують, що цей алгоритм дозволяє досягти економії енергії на 15%-20% за рахунок обладнання охолодження та зменшити загальні витрати центру обробки даних на 5%-20%.

Науковці також намагались використовувати теплову потужність пристрою, щоб показати, що скоординоване планування теплового сприйняття та спільної роботи в часі дасть хороший ефект енергозбереження, також представлені різні

рішення з точки зору доходу та балансу енергоспоживання центрів обробки даних, це і є зазначено у роботах [47,48].

Згодом був запропонований новий підхід з урахуванням додатків, в результаті чого ресурси ЦОД масштабуються з метою мінімізації енергоспоживання та одночасної підтримки наскрізної продуктивності, підхід є описаний у роботі [49]. Згідно з дослідженням [50], розроблено модель серверного кластеру «Платформа як послуга», яка може надавати сервери в оренду орендарям за умови максимізації вигоди, і має краще рішення для конфлікту між максимізацією потреб користувачів та мінімізацією споживання енергії.

Була запропонована дворівнева модель управління центрами обробки даних з комплексним врахуванням питань якості обслуговування та балансу між енергоспоживанням серверів та енергоспоживанням систем охолодження, що дозволяє максимально знизити енергоспоживання, згідно з джерелом [51], центр обробки даних може бути як збудований на базі серверів, так і на базі систем охолодження, що дозволяє знизити енергоспоживання, а для оцінки стратегії координації CPS було створено мережеву модель та модель теплової мережі, відповідна стратегія планування представлена методом зв'язку.

1.5 Оптимізація мережі

З постійним розширенням центрів обробки даних, внутрішня мережева інфраструктура (включаючи маршрутизатори, комутатори, тощо) також вимагає уваги через швидке зростання разом із кількістю дата-центрів, а дослідження енергоефективності мережі стало популярною темою, що є описано у роботі [52].

В енергозбереженні мережевого середовища доволі поширеним механізмом є підхід «сплячого» режиму, він зменшує та оптимізує енергоспоживання за рахунок перебудови топології мережі.

Базуючись на попередньо згаданому підході, як зазначено в роботі [53] промислові гіганти почали впроваджувати технологію зелених агентів, які будуть “пробуджувати” вузли, які необхідні в топології, через проксі-клієнта, це не тільки

не впливає на продуктивність мережі, але й зменшує енергоспоживання. У всіх типах приватних мереж зв'язок між топологією та енергоспоживанням широко вивчався, наприклад, у мережах Ad Hoc.

Інші пов'язані роботи [54, 55] також задіяні для дослідження розподілені топології та кооперативний алгоритми, для підтримки структури топології з метою енергозбереження.

Крім того існують деякі інші дослідження бездротової сенсорної мережі, автомобільної мережі, бездротової багатоадресної мережі.

Технологія адаптації стану каналу (LSA). Енергоспоживання мережевих портів не залежить від їхнього навантаження, а пов'язане лише зі швидкістю пересилання пакетів даних, що є основою запропонованого методу LSA.

Комітет IEEE 802.3 запропонував стандарти технології ALR (Ethernet Adaptive Link Rate), яка дозволяє мережевому порту автоматично регулювати швидкість пересилання пакетів самостійно і підтримує поточні швидкості 10 Мбіт/с, 100 Мбіт/с і 1 Гбіт/с, зазначено у [56].

Згідно з даними у роботі [57], енергоспоживання в мережі, що працює на основі цієї технології, є досить високим, енергоспоживання мережевих портів зі швидкістю 1 Гбіт/с на 4 Вт вище, ніж у портів зі швидкістю 100 Мбіт/с, а енергоспоживання мережевих портів зі швидкістю 10 Гбіт/с на 10 Вт вище, ніж у портів зі швидкістю 1 Гбіт/с, згідно з результатами тестів для основного мережевого обладнання.

1.6 Методи оптимізація енергозбереження ПЗ

Деякі роботи з енергоефективних методів компіляції включають в себе комплексний технічний комбінований алгоритм планування і передачі даних між ядрами та взаємопов'язані методи проектування мережі, які можуть мінімізувати споживання енергії під час передачі даних. Була запропонована енергозберігаюча схема для багатоядерних процесорів, керованих статичним компілятором, це описано у джерелі [69].

Ця схема дозволяє зменшити енергоспоживання середовища паралельної обробки даних, за рахунок керування напругою живлення кожного ядра. В поєднанні з DVS та Adaptive Body Biasing (ABB) можна ефективно зменшити енергоспоживання додатків, що працюють на процесорах та оптимізувати динамічне енергоспоживання, зі зменшенням загального енергоспоживання приблизно на 26%.

Також наукова спільнота у роботі [70] представила планування завдань у реальному часі з механізмом управління споживання енергії, який може ефективно зменшити енергоспоживання на основі механізму планування за найпершим дедлайном.

Згідно з роботою [71], мета енергозбереження може бути досягнута шляхом використання програми аналізу компілятора та забезпечення кешу, і ця стратегія може сприяти тому, щоб програма зверталася до регістрів за один цикл зі зменшенням енергоспоживання при гарантованій продуктивності.

Останнім часом це одна з ефективних стратегій енергозбереження для зниження енергоспоживання центрів обробки даних шляхом оптимізації дизайну програмного забезпечення та способів програмування.

Сучасна технологія оптимізації енергоспоживання програмного забезпечення досягла певного прогресу. В роботі [72], присвяченій дослідженню проблеми енергозбереження в центрах обробки даних, дослідник проаналізував значення енергоспоживання програмного забезпечення та провів його оптимізацію на основі структурного підходу, шляхом трансформації структури коду, розгортання циклу, блокування циклу, злиття циклу, вставки функції в код на мові C, а потім порівняв результати оптимізації.

Згідно з роботою [73], за рахунок зменшення кількості циклів у коді, можна досягти значної економії часу доступу до пам'яті. Можна ефективно зменшити енергоспоживання системи на основі технології символічної алгебри (symbolic algebra) для специфічного програмного забезпечення алгоритму декодера MP3. В роботі [74] наведено метод графів архітектури програмного забезпечення (SAG), його було застосовано для трансформації архітектури багатопроцесорних та

вбудованих Linux-додатків, при цьому економія енергоспоживання системи може становити до 66,1%.

Згідно з роботою [75], енергозбереження в Linux-додатках може досягати до 1,6 %, тому енергоспоживання центрів обробки даних може бути ефективно зменшено при обмеженнях обчислювальних потужностей та їх використання за рахунок раціонального проектування архітектури програмного забезпечення.

В праці [76] представлено фреймворк багатоцільової оптимізації (МОО) для проектування, документування та реалізації багатоцільової оптимізації у вбудованому керуючому програмному забезпеченні, а запропонований ними підхід може призвести до збільшення продуктивності на 20%, а також до зменшення енергоспоживання на 10%.

Попередня вибірка в межах програмного коду - це техніка вставки інструкцій попередньої вибірки в коди для звернення до пам'яті, яка, ймовірно, може бути пропущена в кеші, що було зазначено у роботах [77,78]. Методи оптимізації коду допоможуть досягнути покращення продуктивності та економії енергії, як показали попередні дослідження.

Для покращення енергоефективності в дата-центрах протягом останнього десятиліття було проведено багато досліджень. Управління енергоефективними активами, ефективність обладнання та продуктивність користувачів можуть суттєво впливати на покращення енергоефективності [79]. Автор [78] використовує графові нейронні мережі для оцінки споживання ресурсів різних завдань.

Автор [79] надав парадигму для кількісного визначення оперативних викидів вуглецю за допомогою маргінальних даних про викиди на одиницю енергії з урахуванням місцевих умов та часових параметрів. Робота включала застосування обробки природної мови та комп'ютерного зору з широким спектром розмірів моделей, включаючи попередню підготовку мовних моделей з 6,1 мільярда параметрів для оцінки моделювання викидів вуглецю.

Автор [80] дослідив обмежене використання енергії для дата-центрів з використанням генетичних алгоритмів для оптимізації енергетики. Для

створення моделі, яка враховує переваги генетичних алгоритмів та алгоритму комбінованого упорядку першого призначення (КУПП), в [81] було запропоновано комбінований генетичний алгоритм на основі КУПП (КУПП-ГА). Продуктивність запропонованого КУПП-ГА порівнювалася зі стандартним ГА та наступним ГА. Дослідження, представлене в [82], покращило надійність та швидкість ГА, поєднуючи його з методом виправлення неможливого розташування та методом місцевого покращення. Для підвищення енергоефективності центрів обробки даних було запропоновано гібридний ГА.

Крім того, автори [83] використовували ГА для обмеження кількості фізичних машин, які використовуються, а також міграцій центрів обробки даних. Нарешті, вони використовували віртуальний дизайн упаковки машин Grivon (SLA), щоб покращити використання енергії, забезпечуючи вимоги на рівні адміністрування.

Проте, план обчислення функції пристосованості не обговорювався в їхній роботі, але вони навели покращені результати для деяких базових функцій придатності для енергоефективності. Автори [84] запропонували хмарно-орієнтовану координовану енергетичну платформу для підвищення енергетичної продуктивності в розумному місцевому середовищі. Вони представили дворівневий план, який залежав від енергетичного центру та агрегаторів навантаження. Також був створений компонент затемнення даних на основі прямих планувальних можливостей для захисту конфіденційності хмарного сервера.

Автори [85] сприяли розподіленій обчислювальній платформі для постійної оцінки та верифікації енергетичної продуктивності. Вони застосували оптимізацію рою часток та багатовимірний регресійний аналіз для створення точних прогнозних моделей. Це допомагає уряду подальшому розвитку програм енергоефективності та поліпшенню проектів з управління енергією.

Це дослідження [86] ґрунтується на попередній роботі, пропонуючи моделі споживання енергії графічними процесорами та комбінованими системами ЦП-ГП, які були емпірично перевірені за допомогою різних типів апаратного забезпечення ГП та важких робочих навантажень для ГП.

У [87] автори описали попередні результати профілювання віртуальних машин з урахуванням трьох метрик енергії, а саме потужності, ефективності потужності та енергії, в різних умовах високої продуктивності.

У будь-якому випадку, жодне з цих досліджень не досліджувало обчислення функцій придатності, які значно впливають на ефективність ГА. Це дослідження має на меті сприяти іншій функції пристосованості для застосування швидшого ГА як віртуального активу до ради.

1.7 Висновки та постановка задачі

Таким чином постає завдання є оптимізація енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Для цього необхідним є:

1. дослідити методи оптимізації енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин;
2. проаналізувати сучасні програмно-технічних засоби оптимізації енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин;
3. дослідити та описати моделювання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин;
4. удосконалити метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин;
5. реалізувати засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ДАТА-ЦЕНТРІВ

2.1 Організаційна модель енергоспоживання

Для досягнення мети оптимізації енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин здійснимо моделювання такої системи. З цією метою зіставимо енергоспоживання центру обробки даних та його компонентів з організаційною структурою.

Позначимо миттєву потужність, що розсіюється в момент часу t , як:

$$P_t = f(\vec{C}_t, \vec{V}_t, \vec{S}_t), \quad (2.1)$$

де \vec{C}_t – представляє внутрішній стан системи в момент часу t . Це можна розділити на три підкатегорії: фізичний, операційна система та прикладне програмне забезпечення. Конфігурації апаратного забезпечення, такі як тип процесора, обсяг пам'яті, диск і структура мережевої карти є прикладами стану системи. Вимірювання вихідної потужності та значення лічильників продуктивності вказують на стан системи у певний момент часу;

\vec{V}_t – представляє вхідні дані програми в момент часу t , включаючи, наприклад, параметри програми та швидкість надходження запитів;

\vec{S}_t – представляє стратегію виконання та планування по всій системі центру обробки даних у момент часу t . Приклади для планування включають керування частотою процесора, вмикання або вимикання сервера, розподіл робочого навантаження на різні вузли або ядра тощо. Яке програмне забезпечення використовується в певний момент часу, як налаштовуємо програмне забезпечення стек, алгоритми балансування навантаження та планування, також визначає стратегію виконання.

Значення t , пов'язане з кожним параметром позначає часовий аспект цих параметрів. Потужність обчислюється за допомогою середнє значення за певний

проміжок часу. Для простоти, в подальшому ми просто використовуємо назву параметра, наприклад, A , замість часової назви параметра, наприклад, \vec{V}_t .

Організаційна модель може бути використана для прогнозування енергоспоживання центру обробки даних, планування системи центру обробки даних, порівняння систем/підсистем та оптимізації енергоспоживання.

Подамо формальний опис процесу прогнозування енергоспоживання в момент часу t наступним чином,

$$P_{t+1} = g(\vec{C}_t, \vec{V}_t, \vec{S}_t), \quad (2.2)$$

де параметри функції позначено через $t = 0, 1, \dots$, а функція g передбачає споживання енергії на наступному кроці. Якщо відомо деталі фізичного стану системи та вхідні дані для системи, вона може скласти графік (тобто, налаштувати \vec{S}) програми для найбільш ефективної роботи для заданого бюджету електроенергії.

2.2 Моделювання енергоспоживання серверів дата-центрів

ІТ-системи, розташовані в центрі обробки даних, організовані у вигляді компонент. Розробка моделей енергоспоживання на такому рівні корисна для різних видів діяльності, наприклад, закупівля нового обладнання, планування системних потужностей тощо. Хоча деякі з розглянутих компонентів можуть з'являтися на інших рівнях ієрархії центру обробки даних, всі компоненти, описані в цьому розділі, відносяться саме до серверів. У розділі ми класифікуємо моделі живлення, які надають агреговане уявлення про потужність сервера як адитивної моделі, моделі на основі використання та моделі на основі черг.

Сервери є джерелом продуктивності системи центру обробки даних. Вони виконують більшу частину роботи в центрі і відповідають значному навантаженню незалежно від кількості місця, яке займають.

Представимо модель потужності наступним чином,

$$E(R) = E_{cpu}(R) + E_{mem}(R), \quad (2.3)$$

де $E_{cpu}(R)$ та $E_{mem}(R)$ – енергоспоживання процесора та пам'яті при виконанні алгоритму R .

Модель енергоспоживання сервера можна подати як:

$$E_{tot} = E_{cpu} + E_{mem} + E_{I/O}, \quad (2.4)$$

де енергія, що використовується сервером, виражається як функція енергії, що використовується процесором, пам'яттю та пристроями вводу/виводу. Однак більшість сучасних платформ не дозволяють вимірювати потужність, споживану трьома основними підсистемами (ЦП, пам'ять та диск) серверів окремо. Тільки повна можна виміряти лише повну потужність системи, що позначається як E_{tot} .

Модель може бути розширена, враховуючи той факт, що енергія може бути розрахована шляхом множення середню потужність на час виконання як:

$$E_{tot} = \bar{P}_{use}T_{use} + \bar{P}_{card}T_{net} + \bar{P}_{net_run}T_{net_run}, \quad (2.5)$$

де \bar{P}_{use} позначає середнє споживання енергії процесором та пам'яттю разом узятими;

T_{use} - середній час обчислень;

T_{net} - загальний час роботи в мережі;

а \bar{P}_{card} – середня потужність мережевої інтерфейсної карти.

Така модель також враховує витрати енергії від живлення мережевих пристроїв \bar{P}_{net_run} та час роботи T_{net_run} , коли пристрої під навантаженням.

Розгляне модель енергоспоживання з точки зору використання системних ресурсів (u) як відображення стратегії планування завдань модельованої системи.

Чим більше завдань заплановано в системі, тим завантаження процесора відповідно зростає:

$$E_s = R_0(E_s + E_{mem}) + R_1E_{em} + R_2E_b + R_3E_{hdd}, \quad (2.6)$$

де, R_0 , R_1 , R_2 та R_3 - невідомі константи, які обчислюються за допомогою лінійного регресійного аналізу і залишаються постійними для конкретної архітектури сервера.

Терміни E_s , E_{mem} , E_{em} , E_b та E_{hdd} означають загальну енергію, споживану процесором, енергію, споживану мікросхемами DDR та RAM, енергію, споживану електромеханічними компонентами в серверному блоці, енергію, споживану периферійними пристроями, що підтримують роботу на борту, та енергію споживана жорстким диском (HDD).

Розглянемо моделі енергоспоживання для сервера на основі фаз його роботи:

$$E = E_{load} + E_w + E_h, \quad (2.7)$$

де E_{load} та E_h відповідає завантаженню системи та споживання енергії при зупинці, яке дорівнює нулю, якщо обладнання не потрібно завантажувати або зупиняти протягом свого життєвого циклу. Однак, використання такого типу фазових моделей енергоспоживання енергії насправді досить рідко зустрічається в реальному світі.

Важливим пунктом в оцінці енергоспоживання дата-центрів є підхід до розбиття потужності на компоненти для моделювання потужності сервера, що реалізує певну множину віртуальних машин:

$$P_{serv} = P_{bl} + \sum_{i=1}^n P_{aph} \quad (2.8)$$

де P_{serv} - загальна потужність фізичного сервера;

P_{bl} - це базова потужність, яка визначається емпірично;

P_{aph} - потужність активної віртуальної машини;

n - кількість віртуальних машин на сервері.

Цю модель потужності можна розширити, виразивши потужність використання кожної віртуальної машини у вигляді рівняння.

Тоді повна потужність сервера може бути виражена як:

$$P_{serv} = \alpha \sum_{i=1}^n U_{cpu}(k) + \beta \sum_{i=1}^n U_{mem}(k) + \gamma \sum_{i=1}^n U_{io}(k) + ne + E_{bl}, (2.9)$$

де n - кількість віртуальних машин, що працюють у фізичному вузлі.

2.3 Моделювання енергоспоживання процесорного обладнання дата-центрів

На сьогоднішній день процесор є одним з найбільших споживачів енергії сервера. Частота процесора значною мірою визначає поточне енергоспоживання процесора. Більшість сучасних системних серверів центрів обробки даних оснащені багатоядерними процесорами. У зв'язку з тим, що використання різних ядер для різних потоків може призводити до різних рівнів використання ресурсів процесора, важливо моделювати енергоспоживання багатоядерного процесора на рівні окремих ядер. Енергоспоживання сервера залежить від швидкості з якою працює ядро.

Розглянемо енергоспоживання багатоядерного процесора:

$$P_n = \sum_{j=1}^n P_Q(j), (2.10)$$

де P_n позначає потужність, споживану n ядрами;

$P_Q(j)$ відповідає потужності розсіювання ядра j .

Хоча ядро процесора можна розглядати як найменшого споживача енергії в багатоядерному процесорі, можна описати кількість енергії, що споживається робочим навантаженням W у багатоядерній комп'ютерній системі як:

$$P = (P_{idle} + LP_t), \quad (2.11)$$

де P_{idle} - енергоспоживання в режимі очікування;

L - рівень рівень одночасності робочого навантаження;

P_t - середня розсіювана потужність потоку;

T - загальний час, необхідний на виконання робочого навантаження центрального процесора;

LP_t враховує загальне динамічне розсіювання потужності всіма потоками, що виконуються багатоядерним процесором.

З урахуванням споживання динамічної та статичної енергії, де динамічна енергія пов'язана з енергією, що витрачається ядрами, кеш-пам'яттю на чіпі, контролером пам'яті (тобто доступом до пам'яті), то загальна потужність процесора може бути змодельована:

$$P_p = P_c + \sum_{i=1}^3 g_i V_i + g_m M + P_b, \quad (2.12)$$

де P_b - базове/статичне енергоспоживання пакета;

компонент $\sum_{i=1}^3 g_i V_i + g_m M + P_b$ - це енергоспоживання за рахунок доступу до кешу та пам'яті⁴

V_i – кількість звернень за секунду до кешу i -го рівня⁴

g_i – вартість доступу до кешу i -го рівня;

P_c можна представити у вигляді $P_c = R w^3 + X w$, де R і X - деякі константи.

2.4 Енергоспоживання графічних процесорів

Графічні процесори (GPU) стають поширеним компонентом у центрах обробки даних, оскільки багато сучасних серверів оснащені графічними процесорами загального призначення (GPGPUs).

Вони дозволяють запускати масивні паралельні системи з апаратною підтримкою.

Побудуємо моделі споживання енергії GPU як моделі, що базуються на лічильниках продуктивності, та як додаткові моделі споживання енергії.

Модель потужності складається з робочого споживання під навантаженням (P_l), холостого SM (P_{idlesm}), і динамічної потужності всіх компонентів (загалом N) як:

$$P = \sum_1^N (\alpha_i P_{max_i}) + P_{idlesm} + P_l, \quad (2.13)$$

де динамічна потужність кожного компонента розраховується як коефіцієнт активності (α_i), помножений на пікову потужність кожного компонента P_{max_i} .

Тоді розглянемо загальне енергоспоживання графічного процесора GPU як суму потужностей споживаної різними компонентами графічного процесора:

$$P = \sum P_{comp}, = P_{wpu} + P_{alu} + P_{constmem} + P_o, \quad (2.14)$$

де P_{wpu} , P_{alu} та $P_{constmem}$ відповідають потужностям, що розсіюються арифметико-логічним блоком (ALU), блоком з плаваючою комою (FPU) та постійною пам'яттю.

Слід зазначити, що енергоспоживання графічних процесорів суттєво змінюється залежно від використання пропускну здатності пам'яті. Якщо потужність пам'яті можна зменшити вдвічі, це призведе до економії енергоспоживання системи. Ядра (функціональні блоки) графічних процесорів домінують у енергоспоживанні. Крім того, зовнішня пам'ять споживає значну частину енергії в графічному процесорі.

Розглянемо модель енергоспоживання GPU з точки зору поєднання в собі аспектів енергоспоживання як графічного, так і зовнішнього (центрального) процесора.

Тоді матимемо:

$$P_{syst}(\theta) = \sum_{i=1}^n P_{gpu}^i(\theta^i) + \sum_{j=1}^m P_{cpu}^j(\theta^j) + P_{motherb}(\theta), \quad (2.15)$$

де P_{syst} , P_{cpu} , P_{gpu} та $P_{motherb}$ представляють потужність всієї системи, GPU, CPU та материнської плати відповідно.

Кількість графічних та центральних процесорів представлено як N та M , які беруть участь в обчислювальному навантаженні θ .

Робочі навантаження, призначені графічним процесорам GPU_i та CPU_j , представлено через θ^i та θ^j відповідно.

2.5 Моделювання енергоспоживання пам'яті та потужності накопичувачів

Традиційно процесори вважаються основним джерелом енергоспоживання серверів.

Однак останнім часом збільшився внесок пам'яті та вторинних сховищ даних в енергоспоживання центрів обробки даних.

2.5.1 Моделі живлення пам'яті

Другим за величиною споживачем енергії в сервері є його пам'ять.

ІТ-обладнання, таке як сервери, складається з пам'яті ієрархії використовуваної пам'яті.

Швидке збільшення ємності та пропускної здатності DRAM призвело до того, що підсистема пам'яті DRAM стала споживати значну частину загальної потужності системи.

Енергоспоживання підсистеми пам'яті слід моделювати з урахуванням різних компонентів, що складають ієрархію пам'яті: DRAM, регістр/ПФС (петля фазової синхронізації) та живлення контролера пам'яті.

У контексті адитивного моделювання потужності одним з фундаментальних підходів є представлення енергоспоживання як статичної та динамічної потужності. Це можна спостерігати і в контексті моделей потужності DRAM.

Статична потужність в основному складається з потужності, що споживається периферійними схемами (наприклад, DLL та буферами вводу/виводу), такими як транзистори, а також операціями оновлення.

Оскільки доступ до DRAM - це двоетапний процес, динамічну потужність можна розділити на дві частини.

Перша - це *потужність активації попереднього заряду*, яка розряджається, коли бітові лінії в банку мікросхеми DRAM попередньо заряджаються (під час цього процесу дані у рядку банку передаються до бітліній і захоплюються (активуються) до підсилювачів зчитування за допомогою команд на рівні рядка).

Другий тип потужності - це *потужність читання-запису*, яка споживається, коли частина рядка зчитується або оновлюється командами на рівні стовпців. Динамічне енергоспоживання пропорційне швидкості виконання кожної операції. Оскільки рядок може бути прочитаний або записаний кілька разів, коли він активований, швидкість операцій активації-перезарядки та читання-запису може бути різною.

Таким чином загальна потужність, споживану каналом пам'яті (тобто загальну потужність основної пам'яті P_{mem}) подамо так:

$$P_{mem} = DLR\phi + E_{rf}\rho_{rf} + DE_{ap}w_{ap}, \quad (2.16)$$

де D - кількість мікросхем DRAM у підмножині;

L - кількість підмножин у рядку;

R - кількість рядків у каналі;

ϕ - статична потужність мікросхеми DRAM;

E_{rf} - енергія, необхідна для читання або запису біта;

ρ_{rf} - пропускна здатність читання-запису на канал пам'яті (виміряна, не пікова);

E_{ap} - енергія активації та попереднього заряду в мікросхемі DRAM;

w_{ap} - частота пар операцій активації та попереднього заряду в каналі пам'яті.

2.5.2 Моделі живлення жорстких дисків

Жорсткий диск (HDD) на сьогоднішній день є основним типом вторинного носія інформації, що використовується в серверах центрів обробки даних.

HDD містить дискові пластини на обертовому шпинделі та голівки для зчитування і запису, що плавають над пластинами.

Дві складові потужності, споживаної жорсткими дисками (дисковими накопичувачами загалом), називаються статичною та динамічною потужністю.

У жорсткому диску є три джерела енергоспоживання: шпиндельний двигун (SPM), двигун звукової котушки (VCM) та електроніка.

Таким чином, загальна кількість енергії, що споживається накопичувачем, який обслуговує набір з N запитів (враховуючи час простою I), що складається з S запитів, буде:

$$E_{tot} + \sum_{i=0}^N E_{act} + \sum_{i=0}^N E_{find} + \sum_{i=0}^N E_{idle}, \quad (2.17)$$

де E_{tot} - повна енергія;

E_{find} - енергія пошуку;

E_{idle} - енергія простою.

Енергоспоживання HDD залежить від низькорівневих факторів, таких як фізична конструкція накопичувача, динамічна поведінка електромеханічних компонентів.

Розсіювання енергії в режимі очікування (E_{wait}) як функцію часу очікування T_{wait} (час між двома запитами на ввід/вивід) наступним чином:

$$E_{wait}(T_{wait}) = P_{wait}T_{wait}, \quad (2.18)$$

у режимі очікування споживання енергії диском P_{us} можна представити як функцію часу простою T_{wait} як,

$$E_{us}(T_{wait}) = P_{us}(T_{wait} - T_{du}) + E_{du} = P_{us}T_{wait} + E'_{du}, \quad (2.19)$$

де $E'_{du} = E_{du} - P_{us}T_{du}$ - додаткова енергія, що розсіюється під час обертання та розгортання диска в режимі очікування.

2.5.3 Моделі живлення твердотільних дисків

Твердотільні диски на основі флеш-пам'яті (також відомі як твердотільні накопичувачі) (SSD) стали найважливішим компонентом сучасних ієрархій пам'яті центрів обробки даних.

SSD став сильним кандидатом на основну пам'ять завдяки своїй кращій енергоефективності та швидшому довільному доступу.

Дизайн флеш-пам'яті тісно пов'язаний з енергоспоживанням, у межах якого вона може працювати. Флеш-пам'ять, що використовується в побутових електронних пристроях, має значно нижчий бюджет енергоспоживання порівняно з SSD, що використовується в центрах обробки даних.

У типовому пристрої флеш-пам'яті кілька кремнієвих мікросхем флеш-пам'яті упаковані у тривимірний стек.

Подамо модель енергоспоживання для двох варіантів флеш-пам'яті NAND, які називаються однорівневими комітками (SLC) і 2-бітними багаторівневими комітками (MLC) на основі мікросхем флеш-пам'яті NAND.

Таким чином, загальна енергія, що розсіюється за одну операцію читання для SLC флеш-пам'яті та швидкої сторінки для MLC флеш-пам'яті буде описана виразом:

$$E_{rd} = E_{disp,r} + E_{up,r} + E_{sc1,r} + E_{sc0,r} + E_{sl,r} + E_{trre} + E_{ss,r} + E_{dec,r}, \quad (2.20)$$

де $E_{disp,r}$ - енергія зсуву рядка слів вибраної сторінки на землю;

$E_{up,r}$ - енергія зсуву невибраних сторінок на V_{read} ;

E_{trre} - енергія переходу зі стану зчитування в стан попереднього заряду (E_{trre});

$E_{dec,r}$ - енергія операції декодування

$E_{sc1,r}$ і $E_{sc0,r}$ відповідають енергії, що розсіюється при переході від логічної "1" до "0" і навпаки.

2.5.4 Моделювання енергоспоживання серверів зберігання даних

Системи зберігання, розгорнуті у центрах обробки даних, забирають значну кількість енергії, яку використовує весь центр обробки даних.

Частина зберігання в центрі обробки даних складається з контролерів зберігання та непрямо приєднаного зберігання.

Споживання енергії систем зберігання є унікальним, оскільки вони містять великі обсяги даних (часто зберігають кілька копій даних у вищих рівнях зберігання).

У системах резервного зберігання більшість даних є холодними, оскільки резервні копії, як правило, доступні лише у випадку виходу з ладу більш високих рівнів зберігання.

Модель енергоспоживання для виконання прикладних процесів типу сховища, де максимальна електрична потужність комп'ютера споживається, якщо на комп'ютері виконується хоча б один прикладний процес сховища.

Модель енергоспоживання на читання (R) і запис (W) можна представити у вигляді:

$$e_{\varphi}(t) = \begin{cases} (a) \max W, \text{ якщо } m \geq 1 \text{ і } f = 1, \\ (b) \max R, \text{ якщо } m \geq 1 \text{ і } f = 1,0 \\ (c) (12.66f^3 - 17.89f^2 + 9.11f) \\ \quad \left(\frac{\max W - \max R}{3.88} + \max R \right), \\ (d) \min E \text{ якщо } iwm = 0, \end{cases} \quad (2.21)$$

де $\max W$ і $\max R$ відповідають максимальній швидкості, з якою виконуються операції читання і запису.

2.6 Моделювання енергоспоживання центрів обробки даних

При побудові моделей енергоспоживання вищого рівня для центрів обробки даних важливо мати знання про деталі таких компонентів нижчого рівня, які відповідають за загальне споживання енергії центру обробки даних. Розглянемо моделювання розподілу споживання енергії для охолодження центру обробки даних та метрик для енергоефективності центру обробки даних.

2.7 Моделювання енергоспоживання групи серверів

Розробимо модель енергоспоживання для групи серверів. Для цього необхідно враховувати декілька різних типів параметрів. Наприклад, існує затримка в часі, а іноді і штраф за потужність, пов'язаний з витратами на налаштування (увімкнення серверів).

Нехай існує фіксований об'єм потужності P , який може бути розподілений між k серверами P у k кластері, з виділенням P_i потужності на сервер i , де $\sum_{i=1}^k P_i = P$.

У моделі сервер може перебувати в одному з чотирьох станів:

- Увімкнений.
- Простоює.
- Вимкнений.

- Налаштований.

Коли сервер обслуговує завдання, він знаходиться у стані "увімкнено", а його енергоспоживання позначається P_{on} .

Якщо завдань немає, сервер може або простоювати, або бути вимкненим, причому затримка на вимкнення сервера не передбачена.

Крім того, якщо сервер простоює, він споживає ненульову потужність P_{wait} , і вважається, що $P_{wait} < P_{on}$.

Сервер споживає нульову потужність, якщо його вимкнено. Звідси $0 = P_{off} < P_{wait} < P_{on}$.

Для того, щоб перевести сервер з вимкненого у ввімкнений стан, він повинен пройти режим налаштування, в якому він не може обслуговувати жодних запитів.

Під час налагодження за P_{on} приймається енергоспоживання сервера. Середнє енергоспоживання у стані ON/IDLE(wait) позначили як,

$$P_{on|wait} = \lambda P_{on} + (k - \lambda) P_{wait}, \quad (2.22)$$

де λ - очікувана кількість працюючих серверів, а $(k - \lambda)$ - очікувана кількість серверів, що простоюють.

2.8 Моделювання енергоспоживання мереж центрів обробки даних

Опишемо моделі енергоспоживання групи серверів, з'єднаних через мережу центру обробки даних, а також такі сценарії, як кілька систем центру обробки даних, з'єднаних через глобальні мережі (тобто, розподілені центри обробки даних).

2.8.1 Моделювання енергоспоживання мережевого каналу

Моделювання енергоспоживання, проведене для мереж центрів обробки даних, враховує енергоспоживання всієї мережі, включаючи мережеві пристрої, а також мережеві з'єднання

Опишемо загальне енергоспоживання мережі на основі рівня енергоспоживання однієї лінії зв'язку як:

$$E_{net} = \sum_{(u,v) \in E} A_{u,v} a(u, v) + \sum_{u \in V} B_u b(u), \quad (2.23)$$

де $a(u, v)$ - вартість електроенергії для каналу (u, v) ;

$b(u)$ - вартість електроенергії для комутатора u ;

$A_{u,v}$ - двійкова змінна рішення, яка вказує, чи увімкнено канал (u, v) ;

$B_{u,v}$ - бінарна змінна рішення, яка вказує, чи увімкнено перемикач u . Витрати електроенергії на канал і комутатор вважаються фіксованими (не існує такого поняття, як напівувімкнений канал Ethernet).

Опишемо моделі для мережевих потоків трафіку центрів обробки даних, що включають загальну кількість мережевої енергії, що використовується для передачі групи потоків трафіку в центрі обробки даних як:

$$E = \sum_{i \in I} (P_i t_i + \sum_{j \in J(i)} Q_{i,j} t'_{i,j}), \quad (2.24)$$

де I та $J(i)$ представляють набір комутаторів та набір портів у комутаторі i , відповідно.

Фіксоване енергоспоживання комутатора i позначається через P_i , а тривалість активної роботи комутатора i позначається через t_i .

Тривалість активної роботи порту j у комутаторі i позначимо через $t'_{i,j}$.

2.8.2 Моделювання споживання енергії мережевих пристроїв

Мережа дата-центру - це структура, на якій динамічно діляться процесори, пам'ять та пристрої введення-виведення, і в цілому вона розглядається як важливий елемент конструкції системи.

У цій структурі мережеві пристрої, такі як маршрутизатори, комутатори тощо, відіграють ключову роль у роботі дата-центру.

У більшості випадків мережеві пристрої, такі як маршрутизатори, резервуються для пікових навантажень, але вони працюють на низьких середніх рівнях використання.

Маршрутизатор може споживати потужність:

$$E(\sigma) = E_{stat} + E_{dyn}(\sigma), \quad (2.25)$$

де E_{stat} - статичне споживання енергії, незалежне від трафіку;

$E_{dyn}(\sigma)$ - динамічна частина, яка є функцією навантаження трафіку ρ .

Споживання енергії P маршрутизатора IP/комутатора Ethernet можна представити як суму споживаної енергії його основних:

$$P = P_{cl} + P_{enu} + P_{dat}, \quad \text{ч} \quad (2.26)$$

де P_{cl} , P_{enu} і P_{dat} представляють споживання енергії керуючих блоків маршрутизатора.

Компонент маршрутизатора, що залежить від навантаження P_{dat} , може мати в архітектурі додаткові підсистеми для обробки пакетів, збереження та пересилання даних.

Тоді енергоспоживання буде:

$$P = P_{wait} + E_p R_{pki} + E_{sw} R_{byt}, \quad (2.27)$$

де E_p - це енергія обробки на пакет;

E_{sw} - енергія збереження та пересилання на байт, які є константами для певної конфігурації маршрутизатора/комутатора;

R_{pki} - це швидкість вхідних пакетів;

R_{byt} - це швидкість вхідних байтів ($R_{pki} = R_{byt}/L$, де L - довжина пакета у байтах).

Загальна енергія, використовувана комутатором, може бути подана моделлю:

$$E = \sum_{i=1}^j E_{Ii} + E_{supl} + E_{cont} - \sum_{j=1}^k E_{Oj}, \quad (2.28)$$

де всі енергії введення/виведення до/від комутатора позначаються як E_{Ii} і E_{Oj} .

Енергія постачання та керування для комутатора позначаються як E_{supl} і E_{cont} відповідно.

Моделювання споживання енергії комутаторів можна також подати наступним чином:

$$P_{sw} = P_{chss} + \alpha P_{lcard} + \sum_{i=0}^{config} \beta_i P_{config_i} S_i, \quad (2.29)$$

де P_{lcard} - потужність, яку споживає лінійна карта з усіма портами вимкнутими;

α - кількість активних карт у комутаторі;

$config$ - кількість конфігурацій для швидкості лінії порту;

P_{config_i} - потужність для порту, що працює зі швидкістю i ;

β_i - кількість портів цієї категорії.

Тут i може бути 0, 10Мбіт/с, 100 Мбіт/с, 1 Гбіт/с і т.д. S_i - масштабний коефіцієнт для врахування використання порту.

2.8.3 Споживання енергії мережевих інтерфейсів

Мережева карта (NIC) є значним внеском у споживання енергії системи. Більшість мережевого обладнання працює постійно на максимальній потужності, незалежно від навантаження трафіку, хоча його середнє використання значно нижче максимального. Традиційний Ethernet є стандартом, що не враховує споживання енергії, і використовує постійну кількість енергії незалежно від фактичного трафіку, що протікає через кабелі.

Однак високошвидкісні мережеві інтерфейсні карти Gigabit Ethernet можуть споживати до 20 Вт, що робить доцільним введення механізмів економії енергії для таких мережевих інтерфейсів.

Як у режимі очікування, так і у режимі активності вони виміряли постійні 7 Вт енергії, які споживає мережева карта. Це призводить до значного споживання енергії при роботі великого серверного обладнання. Отже, при моделюванні загального споживання енергії системи дата-центру необхідно враховувати мережеву карту.

Мережева карта може знаходитися в режимі очікування або активному режимі в будь-який момент часу.

Якщо E_{wait} - це потужність мережевого інтерфейсу у режимі очікування, а P_{dyn} - потужність у режимі активності (чи то приймання, чи передача пакетів), то загальне споживання енергії інтерфейсу (E_{nic}) може бути представлено як

$$E_{nic} = P_{wait}T_{wait} + P_{dyn}T_{dyn}, \quad (2.30)$$

де T_{wait} - це загальний час очікування;

T_{dyn} представляє собою загальний активний час протягом всього періоду спостереження T .

Значення T може бути визначено як

$$T = T_{wait} + T_{dyn}, \quad (2.31)$$

де середня потужність NIC P_{nic} протягом періоду T може бути позначена як:

$$P_{nic} = \frac{(T - T_{dyn})P_{wait} + P_{dyn}T_{dyn}}{T} = P_{wait} + (P_{dyn} - P_{wait})\sigma, \quad (2.32)$$

де $\sigma = \frac{T_{dyn}}{T}$ - це використання каналу (тобто нормалізоване навантаження каналу).

Часові періоди та значення потужності залежать від конкретної мережевої технології, яка використовується.

Вибір мережевої технології може впливати на використання інших компонентів комп'ютерної системи (особливо ЦП). Наприклад, у послідовних точка-точка комунікаціях ЦП зазвичай використовується для виконання значної кількості операцій, пов'язаних з комунікаціями, що легко збільшує динамічне споживання енергії ЦП. З іншого боку, вбудовані мережеві технології, такі як Infiniband, можуть переносити значну частину комунікаційної роботи на вбудовану архітектуру. Така поведінка може бути врахована в моделях споживання енергії ЦП.

2.8.4 Споживання енергії оптичних мереж

Оптичні інтерконектори забезпечують ефективне рішення, яке пропонує велику пропускну здатність, зменшену затримку та зменшене споживання енергії порівняно з поточними мережами на базі комодітетних комутаторів.

Подано обчислення споживання енергії комутаторів представлена як вираз:

$$P_{upl} = \sum_{racks} (P_{torr} + P_{transc}) + P_{aggsw} + P_{gb}, \quad (2.33)$$

де P_{torr} - це потужність, споживана комутатором;

P_{transc} - потужність для трансиверів Ethernet зі швидкістю 1 Гбіт/с;

P_{aggsw} - потужність комутатора;

P_{gb} - потужність трансиверів Ethernet зі швидкістю 10 Гбіт/с.

Енергія пасивної оптичної мережі представимо:

$$P_{WDM} = \sum_{racks} (P_{torr} + P_{transc} + P_{opt}) + P_{aggs} + P_{wag}, \quad (2.34)$$

де P_{opt} - потужність оптичних трансиверів багатомодового волокна;

P_{wag} - потужність порту волоконного WDM в комутаторі.

Споживання енергії для архітектури мережі дата-центру на основі маршрутизації з використанням Arrayed Waveguide Grating (AWGR) опишемо виразом:

$$P = \sum P_{opx} + \sum P_{twc} + \sum P_{buff} = nP_{opx} + nP_{twc} + an(P_{oe} + P_{eo} + P_{sdram}), \quad (2.35)$$

де P_{opx} - потужність оптичного трансивера;

P_{twc} - потужність настроюваного перетворювача хвильової довжини;

P_{buff} - потужність спільного буфера

$P_{oe, eo}$ - потужність конвертерів оптика-електрика та електрика-оптика;

P_{sdram} , n , та a позначають споживання енергії SDRAM кількість комутаторів Top of the Rack та ймовірність конфлікту відповідно.

Потужність споживання системи передачі WDM, що складається з l ідентичних ступенів оптичного підсилення може бути описана:

$$P_{tot} = lP_A + P_{TF/RF}, \quad (2.36)$$

де P_A - це потужність живлення для кожного підсилювача;

$P_{TF/RF}$ - це потужність живлення для кожної пари передавачів/приймачів WDM;

P_{TF} та P_{RF} - це потужності живлення передавачів і приймачів.

Загальна потужність розсіювання оптичної мультішарової основної мережі (P_{core}) складе:

$$P_{cor} = P_{ip} + P_{ethe} + P_{oth} + P_{wdm}, \quad (2.37)$$

де терміни P_{ip} , P_{ethe} , P_{oth} та P_{wdm} представляють споживану потужність на рівні IP, Ethernet, оптичної транспортної мережі та мультиплексування по довжині хвилі відповідно.

2.9 Моделювання енергоспоживання систем умовно-вихідної потужності

Система умовно-вихідної потужності центру обробки даних відповідає за постачання електричної енергії до навантажень системи (ІТ та механічного обладнання).

Збереження адекватного рівня якості потужності та сталості подачі електроенергії є обов'язковим. Система умовно-вихідної потужності центру обробки даних споживає значну кількість енергії через енергію, що втрачається під час процесу перетворення, яка може бути відслідкована у її ієрархії потужності.

Розподіл безперервної електричної енергії в центр обробки даних вимагає значної інфраструктури (такої як трансформатори, вимикачі, РЦП, UPS тощо).

У типовій ієрархії потужності центру обробки даних основна комутаційна шафа розподіляє енергію серед кількох підстанцій безперебійного живлення (UPS). Кожен UPS, у свою чергу, постачає енергію для набору РЦП. РЦП пов'язана з набором стелажів серверів, і кожен стелаж має кілька шасі, які приймають індивідуальні сервери. Такий розподіл утворює ієрархію постачання потужності в межах центру обробки даних.

РЦП відповідають за надання стабільного постачання електроенергії для серверів. Вони перетворюють високовольтну електричну енергію, що розподіляється по всьому центру обробки даних, на рівні напруги, що відповідає

серверам. РЦП витрачають постійну енергію, яка пропорційна квадрату навантаження, що може бути представлена як:

$$P_{pu_loss} = P_{pu_wait} + \pi_{pu}(\sum_N P_{srv})^2, \quad (2.38)$$

де P_{pu_loss} представляє потужність, споживану РЦП, тоді як π_{pu} представляє коефіцієнт втрат потужності РЦП, а P_{pu_wait} - це споживання потужності РЦП у режимі очікування. Кількість серверів у центрі обробки даних позначається як N .

UPS витрачають певну енергію навантаження навіть при роботі з комунальним електропостачанням, що може бути модельовано

$$P_{up_loss} = P_{up_wait} + \pi_{up}(\sum_M P_{pu}), \quad (2.39)$$

де π_{up} позначає коефіцієнт втрат UPS.

Зазвичай найбільшим споживачем електроенергії та найменш ефективною системою в центрі обробки даних є система охолодження CRAC.

Потужність споживання охолоджувального обладнання центру обробки даних, як правило, залежить від двох параметрів: споживаної обладнанням в центрі обробки даних кількості тепла та оточних параметрів, таких як температура.

Модельовання споживання потужності C_k одиниці CRAC k подамо так:

$$C_k = \frac{\sum_i p_i}{\mu}, \quad (2.40)$$

де $\sum_i p_i$ - це споживана потужність серверів з відведенням тепла до одиниці CRAC;

μ - це коефіцієнт продуктивності (CoP).

Модель для споживання потужності систем підтримки охолодження включатиме вентилятор кондиціонера серверної кімнати, холодильне обладнання

за допомогою холодильних агрегатів, насоси блоку розподілу охолодження, освітлення, контроль вологості та інші дрібні предмети.

Тоді загальне розподілення потужності центру обробки даних (P_{rfl}) подамо виразом:

$$P_{rfl} = P_{it} + P_{pu} + P_{crac} + P_{cdu} + P_{misc}, \quad (2.41)$$

де P_{rfl} відповідає за потужність підлоги;

P_{it} - за споживання потужності обладнанням ІТ;

P_{crac} - за споживану потужність одиниць кондиціонера серверної кімнати дата-центру.

Втрати потужності відбуваються через системи безперебійного живлення (UPS) та втрати, пов'язані з розподілом потужності, позначаються як P_{pu} . Вони використовували P_{cdu} для позначення втрат потужності для насосів у блоці розподілу охолодження (CDU), які забезпечують безпосереднє охолодження водою для задніх дверей та бічних вентиляторів, встановлених на декількох стійках.

Подамо загальне споживання потужності CRAC та загальну потужність CDU можуть бути позначені наступним чином:

$$P_{crac} = \sum_i P_{crac_i}, i, P_{cdu} = \sum_j P_{cdu_j}, \quad (2.42)$$

де i та j відповідають CRAC та CDU відповідно.

2.9 Висновки

В розділі описано моделювання енергоспоживання дата-центрів, зокрема організаційну модель енергоспоживання дата-центрів, моделювання енергоспоживання процесорного обладнання дата-центрів; енергоспоживання графічних процесорів; моделювання енергоспоживання пам'яті та потужності

накопичувачів; моделі живлення пам'яті, жорстких дисків, твердотільних дисків; моделювання енергоспоживання серверів зберігання даних, моделювання енергоспоживання центрів обробки даних, моделювання енергоспоживання групи серверів, моделювання енергоспоживання мереж центрів обробки даних, зокрема: моделювання енергоспоживання мережевого каналу, мережевих пристроїв, мережевих інтерфейсів, оптичних мереж.

3 МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ДАТА-ЦЕНТРІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІРТУАЛЬНИХ МАШИН

3.1 Основи методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

З метою подальшого розвитку методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів було розроблено методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин [1].

Метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин, який на відміну від відомих для оптимізація енергоспоживання дата-центрів використовує технологію віртуальних машин, а процес оптимізації здійснюється застосуванням модифікованого генетичного алгоритму.

Упорядкування віртуальних машин (ВМ) - це метод вибору ідеальної множини фізичних машин (ФМ) для заданої задачі.

Іноді утворена множина фізичних машин пов'язані з дата-центрами, можуть бути не повністю зайняті, що впливає на енергоефективність.

Розумне розташування віртуальних машин має велике значення для покращення енергоефективності та обмеження кількості активних ФМ в дата-центрах в хмарі.

Щоб правильно налаштувати ВМ на ФМ, потрібно мати на увазі фізичні можливості машини, вимоги віртуальної машини і знати, як надійно вирішувати конфлікти ресурсів за допомогою методів дата-центру.

З метою формалізації методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин приймемо:

- P_{total} - загальна потужність дата-центру;
- e_{total} - загальне споживання енергії;
- s_{total} - загальна вилучена постійна з енергії;

- e – оптимізація енергії;
- nt – часовий період;
- k – часовий інтервал;
- p^{cpu} – потужність процесора;
- $f; g$ функція пристосованості;
- $f_0; g_0$ визначена функція;
- x – функція оцінки пристосованості;
- r_{total} – загальні залишкові ресурси;
- p^{min} – базова потужність;
- p^{max} – максимальна, мінімальна потужність j -го фм;
- r – вихід функції пристосованості як дійсне число;
- n – приблизна кількість фізичних машин;
- e_j ; – енергія та потужність фм j -го;
- t – швидкість зміни тривалості віртуальної машини;
- t_j – темп зміни тривалості j -го віртуального комп'ютера;
- u – загалом використання часу процесора;
- u^{ij} – використання i -го віртуального машини на j -му фізичному сервері;
- u_{jk} – використовуючи j -ий ресурсний менеджер в k -му інтервалі часу;
- $u^{max}; u^{min}$ – використання машини на максимальній та найнижчій потужності;
- n_v ; – кількість віртуальних та активованих фізичних машин;
- $u_{np}; u_{nr}$ – використання n -го кількості віртуальних машин на n -му кількості хостів;
- α – розподіл швидкості ЦП;
- c_j – параметр для функції пристосованості, що має постійний нижній меж $p^{wcpu}; p^{rcpu}$;

- n_{vj} – пропорція віртуальних машин, які працюють на j -му хості;
- n_{vjk} – кількість віртуальних машин, активних в j -му періоді у часовому слоті k -м ;
- $v; v_i$ віртуальна машина;
- $\Delta_{ij}; \Delta_{inpr}$ – використання j -го та (nr) -го хостів.

Тоді, використання процесора в ФМ, P_j обчислюється наступним чином:

$$u_{ij} = p_j^{w_{cpu}} / p_j^{cpu} \quad (3.1)$$

Огляд використання ФМ в цілому ідентичний з оглядом всіх призначених ВМ.

Подальше використання j -го ФМ перераховано наступним чином:

$$u_j = \sum_{i=1}^{n_{vj}} u_{ij} . \quad (3.2)$$

Коли передбачається повне використання потенціалу використання ФМ, можна розрахувати її енерговитрати.

Варто підкреслити, що величина споживання енергії ЦП може бути використана для конкретного відображення використання потужності використаного сервера.

Розглянемо множину параметрів, що беруть участь в планування моделі потужності ЦП:

$$p^{cpu} = p^{max} - (p^{max} - p^{min}) / e^{\alpha i} \quad (3.3)$$

де:

p^{min} - це базова потужність при нульовому використанні ЦП в модельованій системі;

p^{\max} - максимальна робоча потужність при використанні ЦП на 100 відсотків, що відображає використання ЦП.

У кожного центру обробки даних є велика кількість віртуальних машин, і ці віртуальні машини регулярно працюють протягом різних запланованих періодів.

В результаті загальна вартість електроенергії для центру обробки даних обчислюється наступним чином:

$$p_{total} = \sum_{i=1}^{np} p_j \cdot \quad (3.4)$$

Тому протягом запропонованих періодів часу обов'язки фізичних машин в дата центрі змінюються.

Кожна віртуальна машина має час початку та закінчення, і часто працює в різний час.

Таким чином, різні віртуальні машини працюють на одній і тій же фізичній машині протягом різних періодів часу.

Використання ЦП залишається в основному стабільним протягом всіх проміжків часу. Враховуючи nT проміжків часу для всіх активованих ВМ, енергія, споживана ФМ, може бути оцінена в термінах окремих ФМ наступним чином:

$$e_j = \sum_{k=1}^{nt} p_{jk} t_{jk} \cdot \quad (3.5)$$

Покращений метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин спрямований на призначення загальної кількості базових хостів для всіх віртуальних машин, включаючи проекти.

Тому бездіяльні ФМ можуть бути ввімкнені у разі потреби у додаткових серверах.

Метою дослідження є процес мінімізації використання енергії з плином часу, враховуючи вимоги до ЦП з метою покращення енергоефективності центрів обробки даних на рівні туману.

В результаті елементи оптимізації обмежують доступні ресурси, зменшуючи обчислення функції пристосованості.

З урахуванням усіх ФМ, що містять ВМ, було побудовано модель використання енергії для центру обробки даних.

Рівняння (3.6) показує, як поєднується модель потужності обробки з загальною моделлю енергії для всіх динамічних ФМ.

В результаті віртуальний планувальник ресурсів може вирішити примусову проблему розширення, враховуючи конфігурацію віртуальних машин наступним чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min E = \sum_{j=1}^{np} \sum_{k=1}^n T(p_j^m ax - (p_j^m ax - p_j^m in)/e^{\alpha u_{jk}}) t_{jk} \\ s. t. u_{jk} = \sum_{i=1}^{nv_{jk}}, u_{jk} \in u_{v1}, u_{v2}, \dots, u_{nv} \\ 0 \leq u^{min} \leq u_{jk} \leq u^{max} \leq 100 \end{array} \right. \quad (3.6)$$

3.2 Застосування генетичного алгоритму для оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

З метою здійснення оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин було застосовано апарат еволюційних алгоритмів пошуку, здатних до здійснення вирішення задач оптимізації – генетичного алгоритму (ГА).

Розглянемо основні етапи роботи генетичного алгоритму в задача оптимізації.

Генетичний алгоритм починає роботу з формування початкової популяції, яка генерує кращі наближені рішення через покоління, використовуючи принцип "виживання найкращих".

Кожне покоління вибирає індивіда на основі сумісності кількох рішень в точних викликаних областях.

Нова популяція, що відображає інноваційний набір рішень, формується, коли знаходяться різноманітні рішення [88].

Популяція в генетичному алгоритмі є комбінацією ймовірних точок розв'язку.

Покоління представляє ітерацію алгоритму.

ГА створює нових нащадків за допомогою поєднання відбору, кросовера та мутації [89].

ГА потребує лише значень функції пристосованості, пов'язаних з кожною особою, щоб успішно шукати безкінечно кращі рішення.

Оскільки оцінка функції пристосованості визначається більше одного разу в кожному поколінні ГА, будь-яке поліпшення оцінки функції пристосованості призведе до значно ефективнішої узагальнення генетичного алгоритму [90].

Основна перевага використання ГА для вирішення проблем NP-повного призначення полягає в тому, що він забезпечує швидшу збіжність, шукаючи простір розв'язків в різних напрямках.

Після завершення роботи ГА завжди досягається розумне та більш розвинене рішення, як тільки отримано прийнятне рішення.

Рисунок 3.1 зображує потік функції пристосованості в генетичному алгоритмі.

Згідно з адресами, часом та умовами ресурсів, віртуальні машини розподіляються на фізичні машини в цій структурі інформації, і кожна фізична машина має конкретне призначення.

Таким чином, не потрібно знати, які віртуальні машини формують фізичні машини.

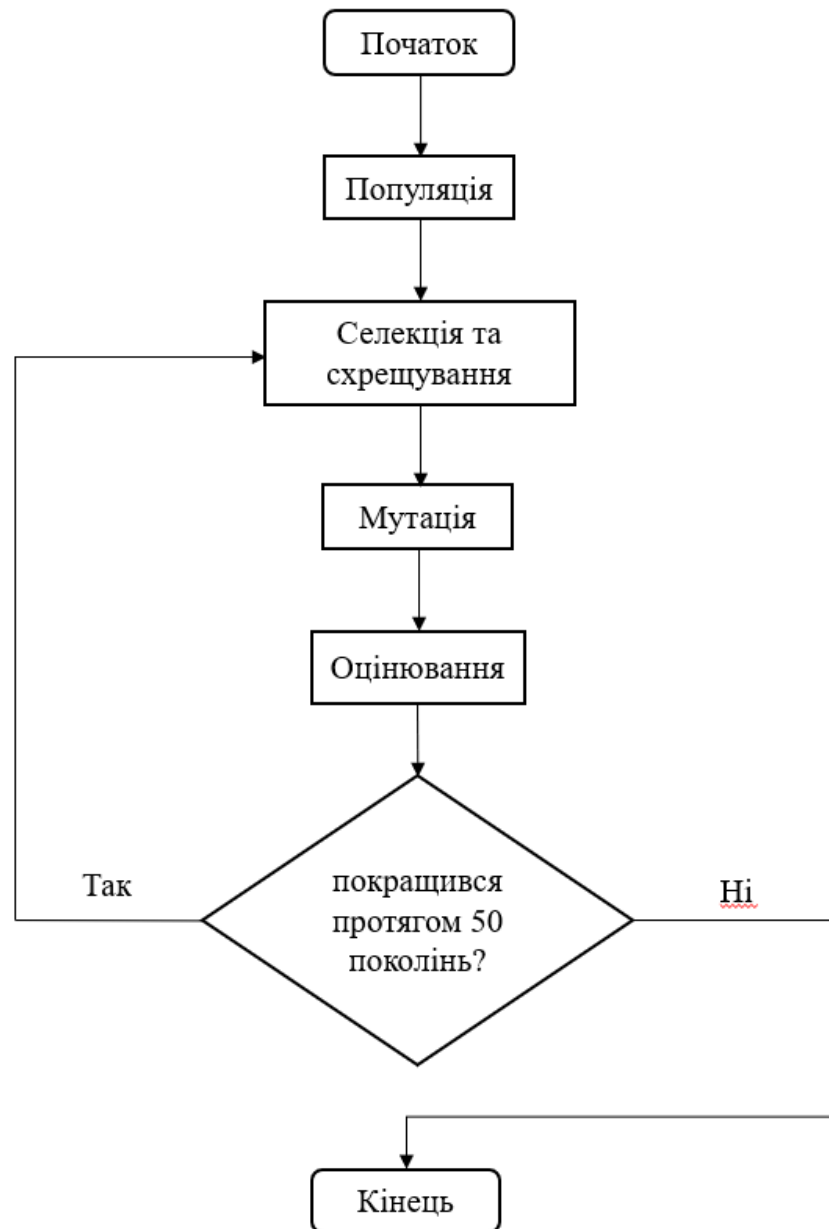


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи генетичного алгоритму

Формалізуємо типову функцію пристосованості в процесі оптимізації:

$$\left\{ \begin{array}{l} g(u_1, \dots, u_{np}; n_p) = \sum_{j=1}^{np} \sum_{i=1}^n p(p_j^m ax - (p_j^m ax - p_j^m in) / e^{au_{ijk}}) \\ n_v = \sum_{j=1}^{np} u_j = \sum_{i=1}^{nvj} u_{ij} \in [0,1], u_j \in [0,1] \\ i = 1, \dots, n_{vj}, j = 1, \dots, n_p \end{array} \right. \quad (3.7)$$

Таким чином, генетичний алгоритм, який успішно застосовується для оптимального планування та операцій в різноманітних галузях управління ресурсами, дозволить здійснити ефективне управління енергоспоживанням інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Одним з ключових завдань у застосуванні генетичного алгоритму, є множина параметрів, що налаштовані для ефективного впровадження та функціонування ГА.

Однак функції пристосованості (fitness function), які часто розробляються для ефективної продуктивності, стають обчислювально складними.

У дата-центрах алгоритм сценарію віртуальних машин розподіляє різні ресурси, такі як фізичні машини, на віртуальні машини таким чином, що обмежує загальну кількість хостів шляхом вимкнення певних серверів.

Таким чином, застосування ГА дало змогу:

- зменшити об'єм обчислень функції пристосованості за допомогою простого обчислення, щоб зменшити загальну кількість ітерацій генетичного алгоритму вчасно;
- визначити необхідні умови та числові формулювання для забезпечення успішної спроби обчислення ГА;
- визначити межі для вимірювання та оцінки кількості фізичних машин, необхідних для виконання завдань;
- зменшити складність, обмежуючи кількість поколінь (комбінацій).

Тому необхідним є використання прискореної функції пристосованості в генетичному алгоритмі з метою скорочення часу, витраченого на обчислення роботи функції пристосованості, а отже, і кількості коштів, витрачених на виконання цієї роботи в дата-центрі.

У зв'язку з цим, у дослідженні пропонується практична стратегія для розгортання віртуальних машин на великому різноманітті конфігурацій серверів.

Розглянемо особливості функції пристосованості в генетичному алгоритмі для енергоефективного дата-центру за допомогою розгортання віртуальних машин.

З метою спрощення, перелік використаних документів у нашому дослідженні наведено в скороченнях.

Функція пристосованості відіграє важливу роль у керуванні генетичним алгоритмом для досягнення найкращих рішень у відповідному просторі пошуку.

Погані функції пристосованості можуть ефективно ув'язнити ГА в майже ідеальному розташуванні, де він втрачає свій потенціал розкриття.

У будь-якому випадку, відмінні функції пристосованості допоможуть ГА більш ефективно досліджувати простір пошуку.

3.2.1 Основні передумови функціонування функції пристосованості

Розглянемо передумови та характеристики ефективної функції пристосованості.

У генетичному алгоритмі оцінка функції пристосованості зазвичай повторюється; отже, вона повинна бути достатньо швидкою.

Згідно з дослідженням, функція пристосованості повинна мати багатовимірність:

$$\begin{cases} f: x^{n_p+1} \rightarrow R \\ x = (u_1, \dots, u_{n_p}; n_p), (u_1, \dots, u_{n_p}) \in r^{n_p} \\ u_j \in [0,1], n_p \in n \end{cases} \quad (3.8)$$

У будь-якому випадку, нижньо-обмежені РМ потребують енергії, коли вони не використовуються в проблемі розташування віртуальних машин.

Така ситуація графічно представлена на рисунку 3.2.

Таким чином, частина функцій пристосованості повинна бути підтримана на попередньо визначених значеннях в певних обставинах.

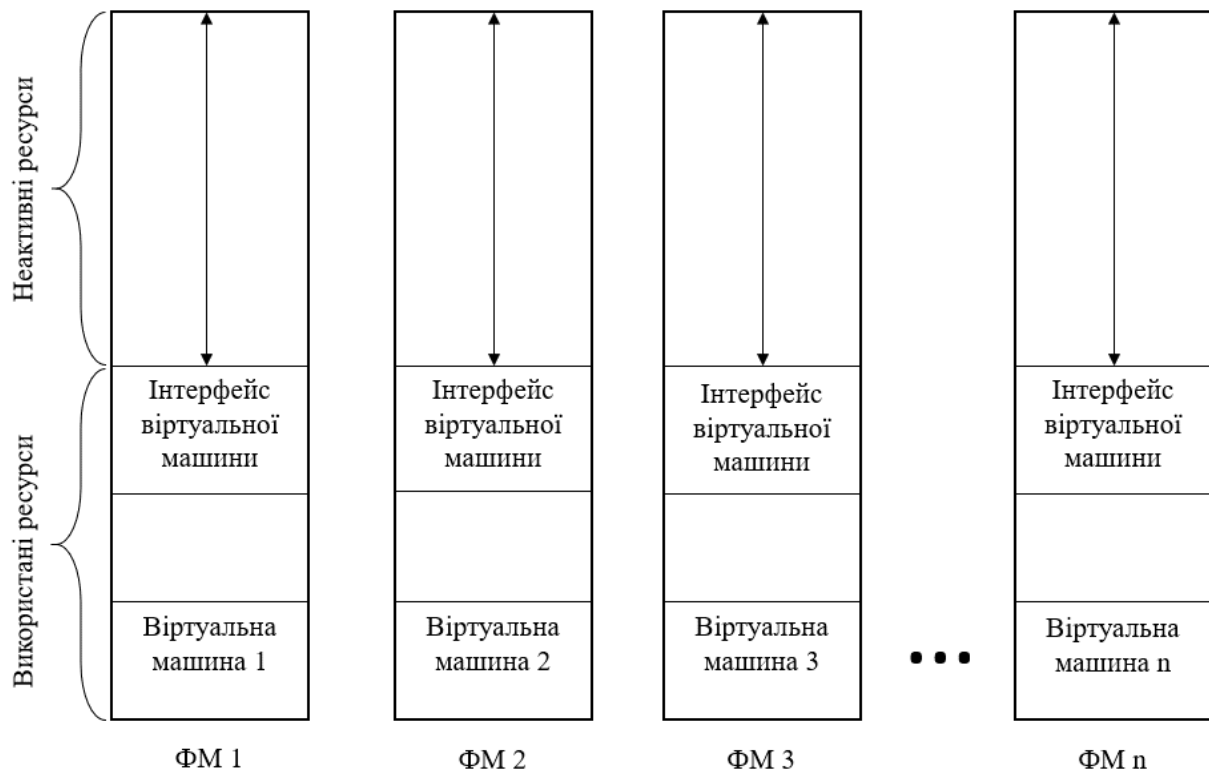


Рисунок 3.2 – Фізичні машини, їх використання та зайві ресурси

Слід підкреслити, що використання енергії може бути виражено як розмір використання ЦП.

Таким чином, функція пристосованості повинна бути обмежена та на користь кожної якості:

$$f(u_1, \dots, u_{np}, n_p) \geq \sum_{j=1}^{np} c_j \quad (3.9)$$

Формула (3.9) демонструє можливість існування позиції кожної віртуальної машини.

Рівняння (3.7) показує, що базове значення звичайної функції пристосованості, яке є p_{np}^{min} , також є нижньо-обмеженим.

Внаслідок цього, основна потреба в функції пристосованості може бути задоволена звичайною функцією придатності.

Розглянемо ситуацію, в якій спостерігається монотонне зростання обов'язків ФМ по мірі їх збільшення.

Для кожного окремого внеску в функцію придатності друга основна потреба є абсолютно монотонною.

При вирішенні проблеми, що включає розгортання віртуальних машин, функція пристосованості використовується для оцінки обсягу енергії, яка використовується в центрі обробки даних туману.

При збільшенні споживання енергії фізичних машин споживання енергії зростає монотонно.

Таким чином, розглянемо наступні два випадки, коли кількість хостів у середовищі віртуальних машин досить порівнянна.

Розширення використання одного з сценаріїв шляхом застосування сценарію використання кінцевої фізичної машини вказує на те, що функція придатності (енергоєфективність) покращилася на цей момент.

Щоб уточнити, вважатимемо, що наступна обставина повинна бути відповідною, якщо маємо дослідження стану здоров'я $f(u_1, \dots, u_{np}, n_p)$ для кожного $j = 1, \dots, n_p$,

$$f(u_1, \dots, u_j + \Delta u_j, \dots, u_{np}, n_p) > f(u_1, \dots, u_{np}, n_p) \quad (3.10)$$

Така ситуація демонструє, що по мірі зростання відповідальності, функція пристосованості повинна зростати монотонно.

Додатково, n_p - це точна кількість ФМ, тоді як u_j адресує повну інтеграцію ВМ у j -й ФМ.

В результаті для типової функції пристосованості можна отримати наступний вираз:

$$\sum_{j=1}^{np} (p_j^m ax - (p_j^m ax - p_j^m in)/e^{-\alpha u_j + \Delta u_j}) > \sum_{j=1}^{np} (p_j^m ax - (p_j^m ax - p_j^m in)/e^{\alpha u_j}) \quad (3.11)$$

Це застосовно і до деяких інших фізичних машин в дата-центрі ($j = 1, \dots, np^{-1}$):

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{np} (p_j^m ax - (p_j^m ax - p_j^m in)/e^{-\alpha u_j + \Delta u_j}) - \sum_{j=1}^{np} (p_j^m ax - (p_j^m ax - p_j^m in)/e^{-\alpha(\Delta u_{np}) + u_{np}}) = \sum_{j=1}^{np} (p_j^m ax - (p_j^m ax - p_j^m in)/e^{-\alpha u_j + \Delta u_j}) - \sum_{j=1}^{np} (p_j^m ax - (p_j^m ax - p_j^m in)/e^{-\alpha u_{np}}) = -(p_j^m ax - ((p_j^m ax)(e^{-\alpha}(\Delta u_{np} - e^{-\alpha u_{np}}))) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Це також стосується будь-якого іншої ФМ ($j = 1; \dots; np - a$).

Розглянемо іншу ситуацію, у якій спостерігається постійне зростання споживання енергії зі збільшенням кількості ФМ.

Крім того, функція пристосованості повинна мати зменшене значення роботи пристосованості при додаванні більшої кількості серверів у певному дата-центрі.

Зі зростанням кількості фізичних машин у центрах обробки даних значення функції пристосованості повинно знижуватися, оскільки це створює проблему розміщення віртуальних машин.

Припустимо, що кількість фізичних машин збільшилася на одну; отже, для кожної фізичної машини значення функції пристосованості розширюється і призводить до більшої енергоспоживання на дата-центрах.

Щоб зберегти повне використання на одному рівні, використання цієї нової фізичної машини буде зменшуватися на певне значення Δu_{np} , і тоді отримаємо:

$$f = (u_1, \dots, u_{np} - \Delta u_{np}, \dots, u_{np}, n_p + 1) > f(u_1, \dots, u_j, u_{np}, n_p) \quad (3.13)$$

З однією додатковою серверною установкою ми виявили наступне для стандартної функції пристосованості ГА:

$$g(u_1, \dots, u_{np}, -\Delta u_{np}), \Delta u_{np}, n_{p+1} = \sum_{j=1}^m ax(p_j^m ax - (p_j^m ax - p_j^m in)e^{\alpha u_j}) + p_{np}^m ax - (p_{np}^m ax - p_{np}^m in)e^{-\alpha(u_{np})} - \Delta u_{np} + p_{np+1}^m ax - (p_{np+1}^m in)e^{-\alpha \Delta u_{np}},$$

$$g(u_1, \dots, u_{np}, n_p) = \sum_{j=1}^{np} -1 - (p_j^m ax - p_j^m in)e^{-\alpha u_j} + p_{np}^m ax - (p_{np}^m ax - p_{np}^m in)e^{-\alpha u_{np}} \text{ де } 1 \geq u_{np} > u_{np} - \Delta u_{np} \geq 0$$

Припустимо, що коли кількість серверів збільшується на один, $p_{np}^{max} = p_{np+1}^{max}$ і $p_{np}^{min} + p_{np+1}^{min}$.

Як зазначено у визначенні випуклої функції, g_0 є випуклою.

З $g_0 = p_{np}^m in > 0$, g_0 також є під-аддитивною функцією:

$$0 \leq x_1 < x_2 \leq 1, g_0 x_1 + g_0 x_2 \geq g_0(x_1 + x_2);$$

отже, можна отримати:

$$g(u_1, \dots, u_{np}, -\Delta u_{np}, n_p + 1) - g(u_1, \dots, u_{np}, -n_p) = g_0(u_{np} - \Delta u_{np}) + g_0(\Delta u_{np} - g_0(u_{np})) > 0 \quad (3.14)$$

Це демонструє, що разом із зростанням загальної кількості фізичних машин зростає і значення роботи пристосованості, а отже, використання енергії дата-центром.

Традиційна функція пристосованості тепер чітко відповідає вимозі до функції пристосованості.

Розглянемо також ситуацію, коли спостерігається збільшення з все більш рівномірним розподілом обов'язків.

У випадку проблеми з віртуальною машиною функція пристосованості місткості повинна бути гіршою (більшою), коли розподіл обов'язків є гіршим навіть за тієї ж кількості серверів.

У тому ж ключі, як функція пристосованості, так і споживання енергії зростають, коли кожна фізична машина у дата-центрі несе однакову відповідальність за власні системи живлення та охолодження, навіть якщо ми економимо більше грошей, використовуючи більше фізичних машин в дата-центрі.

Покращення значення функції пристосованості та більша ефективність використання енергії - це результат більш рівномірно розподіленого робочого навантаження.

Це означає, що четверта умова для звичайної функції пристосованості наразі достатня для наших потреб.

Таким чином, побудуємо функцію пристосованості, яка в сутності простіша за (3.7).

Для вимірювання загальної практичності перспективних розташувань ФМ в дата-центрі, завдання функції пристосованості - це конкретна цільова діяльність.

Оцінка функції пристосованості в основному зменшує ефективність генетичного алгоритму, оскільки її потрібно виконувати велику кількість разів у кожному випадку.

Таким чином, необхідним є вирішення задачі розміщення віртуальних машин із застосуванням генетичного алгоритму для вирішення проблеми енергоефективності у центрах обробки даних у хмарних обчисленнях.

Виходячи з цього, потрібно застосувати функція пристосованості для генетичного алгоритму.

Додатковим аспектом в задачі оптимізації є поняття залишкових ресурсів - невикористаних ресурсів, до яких можна отримати доступ через фізичні машини дата-центрах.

Робота з вигодою від залишкових ресурсів у хмарному серверному фермерстві впливає на розширення енергоефективності та час виконання. Припускаючи, що залишкові ресурси зберігаються у менш активних ФМ, такі ресурси можна ефективно використовувати для виконання нових вимог щодо призначення віртуальних машин.

Крім того, збільшено використання ресурсів за рахунок зменшення залишкових ресурсів.

Це означає, що коли ФМ використовуються частіше, присутні менш активні ФМ.

У дослідженні для обчислення різної функції пристосованості в дата-центрі використовується розширення Тейлора.

Відповідно, запропонована метрика залишкових ресурсів зменшується, що призводить до збільшеного використання енергії в хмарному дата-центрі.

В цій ситуації функція пристосованості генетичного алгоритму повинна мати певну нижню межу.

Обмеження є обов'язковою умовою, як описано в формалізованому представленні рівняння (3.9).

Аргументи на користь цього критерію також відповідають запропонованій функції пристосованості, оскільки для кожного значення у домені функції пристосованості існує унікальне числове представлення.

Відключення компонентів ФМ у режимі очікування призводить до обмеженого і зазвичай унікального обсягу енергоспоживання фізичними машинами на рівні 30 відсотків.

Це означає, що фізична машина може використовувати до 70% своєї максимальної потужності, навіть коли вона повністю неактивна.

Запропонована функція пристосованості дозволяє лише для того, щоб значення u_j було між 0 і 1, що означає, що j -та фізична машина завжди використовується в межах цього діапазону.

Кількість використаної потужності фізичної машини може бути представлена безпосередньо в термінах розміру ЦП.

Мінімальна кількість неактивних ресурсів у задачі розміщення віртуальних машин - це та, при якій використання ЦП демонструватиме максимально низьке значення.

Крім того, найбільша кількість неактивних ресурсів доступна, коли ЦП взагалі не використовується.

Подібно до інших нижньо-обмежених функцій придатності, тут представлена така:

Те, що максимальне використання ЦП u_j відповідає точці, коли функція пристосованості має мінімальне значення нижньої межі.

Найбільше споживання енергії фізичної машини відбувається тоді, коли вона зовсім нічого не робить.

Рівняння (3.16) показує, що запропонована функція пристосованості має як мінімальне число, так і мінімальне значення.

Обов'язкова передумова: приблизної функції пристосованості буде знижено з часом, коли обов'язки ФМ зростатимуть.

Функція пристосованості задовольняє передумову загальної функції пристосованості.

Згідно з рівнянням (3.10), використання фізичної машини повинно відбуватися з урахуванням споживання енергії (вхід).

Однак у функції пристосованості значущі тільки ті значення, які відображають постійні витрати енергії з часом.

Тому у задачі розташування віртуальних машин можна припустити, що споживання енергії постійно зростає з кожним додатковим використанням фізичної машини.

Це означає, що при збільшенні попиту запасні ресурси вичерпуються, що призводить до вищої енергоефективності дата-центру.

Залежно від результатів, отриманих при застосуванні функції пристосованості, запропонований режим повинен або зростати монотонно з u_j , або зменшуватися монотонно з u_j .

Таким чином, можна переконати за вагомих обставин, що запропонована функція пристосованості відповідає наступній умові.

Розглянемо ситуацію, коли функція пристосованості зростає монотонно при збільшенні загальної кількості фізичних машин.

Умова для функції пристосованості в проблемі розташування віртуальних машин на сервері полягає в тому, що значення роботи повинно збільшуватися монотонно пропорційно кількості фізичних машин (np).

Припустимо, що абсолютне продуктивність є рівномірною у методі розміщення віртуальних машин.

З однаковим рівнем споживання та збільшенням кількості фізичних машин передбачається погіршення ефективності застосування передбачуваної функції пристосованості.

Тоді можна отримати наступне: стандартна передумова функції пристосованості вказуватиме на те, що коли кількість фізичних машин на сервері зростає, значення запропонованої функції пристосованості повинно зменшуватися зі збільшенням цієї кількості (розширюватися).

У процедурі позиціонування віртуальних машин загальне використання стабільне, і якщо припустити, що кількість фізичних машин в одній ситуації збільшується на одиницю, то також можна спостерігати подібне використання для кожного РМ, значення функції пристосованості (використання енергії) збільшується.

Таким чином, очевидно, що це досягається за допомогою передбаченої вимоги до функції пристосованості.

Запропонована функція пристосованості покращується, коли більше відповідальностей розподіляється між учасниками.

Першою і найбільш базовою передумовою для функції пристосованості є те, що для певної кількості потенційних учасників (ФМ), значення роботи функції пристосованості повинно зменшуватися зі збільшенням розподілу використання.

Використання фізичних машин особливо важливе при роботі зі станом віртуальної машини (ВМ) у хмарному центрі обробки даних.

Таким чином, видно, що оцінка функції пристосованості зменшується, а решта ресурсів ФМ збільшується, коли використання розподіляється рівномірно серед них у віртуальному середовищі ВМ, що призводить до зменшення енергоефективності.

З тією самою кількістю ФМ, які використовуються в дата-центрі, функція пристосованості стає нерівномірною.

Коли енергоефективність дата-центру збільшується разом зі збільшенням використання кожного ФМ у віртуальному середовищі машин (ВМ), ситуація змінюється.

В результаті запропонована функція пристосованості задовольняє вимоги стандарту високої якості функції пристосованості.

У дослідженні було використано ряди Тейлора для надання нового підходу до оцінки функції пристосованості, який зменшує споживання енергії та сприяє верифікації запропонованого методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

3.2.2 Використання рядів Тейлора для отримання функції пристосованості

З кількісної точки зору, існує значна підтримка запропонованої функції пристосованості. Теорія рядів Тейлора застосовується для удосконалення функції пристосованості.

Запити термінів призводять до прискорених функцій придатності.

Відповідно, функція пристосованості може бути отримана зі стандартної функції пристосованості, зазначеної в (7), як наведено нижче:

$$g(g_1, \dots, u_{np}; n_p) = \sum_{j=1}^n p P_j^m ax - (P_j^m ax - P_j^m in) / e^{\alpha u_j}.$$

Отже, ряд Тейлор показує, що середня функція пристосованості становить приблизно

$$g(g_1, \dots, u_{np}; n_p) = \sum_{j=1}^n p P_j^m ax - (P_j^m ax - P_j^m in) + \sum_{j=1}^n p P_j^m ax - (P_j^m ax - P_j^m in) \alpha u_j - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n p \alpha^2 (p_j^m ax - p_j^m in) u_j^2.$$

В результаті, розклад функції пристосованості за Тейлором може бути знайдений за таким способом, як показано нижче.

$$f(u, \dots, u_{np}; n_p = \sum_{j=1}^n p P_j^m in - \sum_{j=1}^n p (p_j^m ax - p_j^m in) u_j^2) \quad (3.15)$$

У випадку з задачею віртуальних машин, умова (3.11), яка впливає з рівняння (3.15), виражає нормалізовані залишкові активи ФМ.

Це означає, що при збільшенні використання стандартизовані залишкові активи монотонно зменшуються.

Тому запропонована нормалізована функція пристосованості вводиться в Рівнянні (3.12):

$$r_{total} = \sum_{j=1}^n p (1 - u_j^2), \quad (3.16)$$

де r_{total} вказує на повні нормалізовані залишкові ресурси фізичних машин в дата-центрі.

У відповідності до цього, математичне визначення нашої запропонованої функції пристосованості у рівнянні (3.15) зменшується, коли споживання монотонно зростає.

Здійснимо верифікацію роботи методу на оцінці споживання енергії системи на основі процесора типу Intel Xeon.

Стандартизовані значення можуть бути ідентифіковані тим, що Y-вісь змінилася з 0 на 1. Кожного разу, коли u дорівнює 1, запропонована функція

пристосованості зменшує значення до нуля, і кожного разу, коли u дорівнює 0, значення збільшуються до одиниці.

Значення зменшуються, коли використання збільшується, і це означає, що запропонована функція пристосованості $1 - u^2$ монотонно зменшується.

Рівняння (3.16) можна використовувати для створення сценаріїв проектування набору віртуальних машин.

В той же час рівняння (3.15) може бути використане для отримання енергоспоживання в рівнянні (3.7).

Основна мета ідентифікації елементів роботи для цього тесту - це рівняння (3.16), яке сприяє покращенню використання ресурсів в проектованій системі.

Низька ефективність енергоспоживання у хмарних дата-центрах протягом короткого часового періоду дослідження демонструє швидке обчислення функції пристосованості.

Більше того, запропоновані функції пристосованості очевидно задовольняють числові вимоги в цілому, і третій розділ встановив нові необхідності.

Таким чином, функція ряду Тейлора функцією оцінки пристосованості. Щоб провести додаткові перестановки, Формула (3.15) представляє нову функцію пристосованості.

3.2.3 Дослідження складності методу

Здійснимо опис обчислення для запропонованої функції пристосованості для генетичного алгоритму у ситуації побудови множини необхідних віртуальних машин у дата-центрі.

Супровідне обчислення призначене для подальшого розвитку обчислення функції пристосованості в генетичному алгоритмі для проекту конфігурації віртуальної машини для дата-центру.

Результатом обчислення є схема ситуації віртуальної машини, яка деталізує, як буде використана кожна віртуальна машина разом із її припущеним фізичним сервером.

Це обчислення дає план використання множини віртуальних машин в дата-центрі.

Використання кожної віртуальної машини додається до зв'язаного фізичного сервера, коли список використання фізичного сервера сконфігурований.

В результаті розраховується загальне споживання ЦП фізичної машини в дата-центрі.

У випадку, якщо використання фізичної машини не рівне нулю, буде можливим розрахувати залишкові ресурси фізичного сервера.

Наступні віртуальні машини (ВМ) отримують всі обов'язки, і додаткові віртуальні машини додаються до фізичних машин через застосування генетичного алгоритму.

3.4 Висновок

У розділі з метою подальшого розвитку методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів було розроблено методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин, який на відміну від відомих для оптимізації енергоспоживання дата-центрів використовує технологію віртуальних машин, а процес оптимізації здійснюється застосуванням модифікованого генетичного алгоритму.

Запропонований удосконалений метод використовує модифікований генетичний алгоритм для вирішення оптимізації використовуваних

віртуальних машин у хмарному середовищі для зменшення енергоспоживання в дата-центрах.

Експериментальні результати, отримані за допомогою впровадженого методу показали зменшення енергоспоживання на 5-8%.

4 СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ДАТА-ЦЕНТРІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІРТУАЛЬНИХ МАШИН

4.1 Реалізація системи-конфігуратора для оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

З метою здійснення апробації та перевірки ефективності запропонованого методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин було здійснено його практичну реалізацію у вигляді системи-конфігуратора.

Система на вхід отримує дані про дата-центр та функціонує на основі Алгоритму 4.1.

Алгоритм 4.1 - Формулювання обчислення функції пристосованості для розгортання віртуальних машин

Вхід: Стратегія розгортання віртуальних машин, що деталізує місце та спосіб використання кожної з них.

Вихід: Підсумок потенційних залишкових ресурсів.

Ініціалізація: набір використання ФМ без елементів.

Зробити це для кожної віртуальної машини у вказаній стратегії.

Збільшити використання розміщеного ФМ, включивши цю ВМ.

Змінити статус будь-яких відповідних активних ФМ.

кінець Циклу

Виконати наступне для кожного випадку використання ФМ, які показано в таблиці використання ФМ:

Використання ФМ, якщо 0, то

Якою мірою можна використовувати РМ, коли всі інші ресурси вичерпано?

Включити залишковий ресурс цього РМ під час обчислення суми всіх залишків.

кінець умови Якщо

кінець Циклу

Повернути суму потенційних ресурсів плану.

Після застосування Алгоритму 4.1 отримується розподіл навантаження та стратегію розгортання ВМ. Тоді можливим є обчислення споживання енергії може бути за допомогою Алгоритму 4.2.

Алгоритм 4.2 - Оцінка споживаної потужності

Вхід: стратегія розгортання наших віртуальних машин, повністю з деталями щодо того, як і де буде використовуватися кожна з них.

Вихід: кількість енергії, потрібна для цієї стратегії.

Ініціалізація: Набір використання ФМ без елементів.

Зробити це для кожної віртуальної машини у вказаній стратегії:

Збільшити використання розміщеного ФМ, включивши цю ВМ.

Збільшити використання розміщеного ФМ, включивши цю ВМ.

кінець Циклу

Виконати наведені нижче дії для кожного випадку використання ФМ, перелічених у таблиці використання ФМ:

Якщо немає використання ФМ, то

Використати наступне Рівняння (3.6) для визначення споживаної потужності цього ФМ.

Врахувати енергетичні потреби ФМ, а також потенційні пристосованості переваги плану.

кінець умови Якщо

кінець Циклу

Повернути загальну кількість використаної енергії

4.2 Експериментальні дослідження системи-конфігуратора для оптимізації енергоспоживання

4.2.1 Параметри налаштування генетичного алгоритму в системі-конфігуратора для оптимізації енергоспоживання

З метою дослідження ефективності роботи системи-конфігуратора, який використовує модифікований генетичний алгоритм, було проведено ряд експериментів.

Використовувані налаштування подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Таблиця параметрів

Параметри	Масштаб
Кількість	60
Розміри	18
Ексклюзивність	true
Рівна тарифна ставка	0.4
Швидкість мутації	0.01
Прогони	500
Максимальна кількість ітерацій	5000

Генетичний алгоритм складається з популяції з 64 особин. Зменшення розміру популяції призводить до швидшої збіжності; однак, навпаки, великі числа популяції мають протилежний ефект.

Крім того, генетичний алгоритм використовує популяцію для мінімізації загальної кількості поколінь.

Після отримання стратегії розташування віртуальних машин, загальне енергоспоживання сценарію плану віртуальних машин можна визначити за допомогою стандартного рівняння використання енергії.

Таким чином, складність запропонованої функції пристосованості записана наступним чином: n_v представляє собою абсолютну кількість віртуальних машин, а n_p вказує на кількість динамічних фізичних машин у віртуалізованих дата-центрах.

В результаті запропонована функція пристосованості робить часову складність лінійною.

Складність обчислення функції пристосованості була зменшена в цьому напрямку за допомогою використання простої функції пристосованості для залишкових ресурсів.

Таким чином, зменшуючи використання енергії і зменшуючи кількість фізичних машин.

Динамічні фізичні машини мають бути обладнані віртуальними машинами з обчислювальними завданнями, а повний контроль над серверною частиною дата-центру під час етапів оцінки та прогнозування розподілу майна використовує запропоновану функцію пристосованості для генетичного алгоритму.

Для оцінки ефективності методу було проведено експерименти для аналізу різних розмірів дата-центрів.

Експериментальні дослідження проводилися із залучення апаратного забезпечення, обладнаним процесором Intel Core i7-14700K 4.3GHz/33MB і 32 ГБ оперативної пам'яті. ПК працював під управлінням операційної системи Windows 11. Для створення нашої програми використовувався набір розробки Java.

Результати реконструкції використовуються для оцінки ефективності запропонованого процесу формули пристосованості для використання генетичного алгоритму в обчислювальних центрах.

Нормальне порівняння згаданих експериментів використовується для представлення результату.

Додатково, VM мають бути призначені для завдань обробки в першу чергу. Таким чином, необхідно використовувати дані від Google з усіх завдань для призначення VM з використанням Алгоритму 4.3.

Після того, як VM призначені завданням, нові VM повинні бути додані до фізичних машин за допомогою ГА.

Потім можна використовувати Алгоритм 4.2 для розрахунку енергоспоживання після отримання завдання, а також плану організації VM відповідно до Алгоритму 4.1.

Алгоритм 4.3 - Розподіл завдань віртуальної машини (VM).

Вхід: Додатки для всіх завдань.

Вихід: Стратегія призначення додатків віртуальним машинам.

Ініціалізація: Набір вільних віртуальних комп'ютерів використовується для кожної роботи для кожного доступного завдання.

Цю роботу слід надати віртуальній машині належного розміру.

Додати цю віртуальну машину до наявної групи віртуальних машин.

кінець Циклу

Виконати перетворення плану призначення на наборі VM.

Повернути план завдання для програми

Робота генетичного алгоритму завершується, коли проводиться понад 50 поколінь без покращень.

Щоб відтворити навантаження обчислень для розробки сценарію віртуальних машин, було використовуємо доступні для загального користування дані про використання кластеру Google, які надходять з не віртуалізованого сервера.

Дані про використання кластеру Google слід комбінувати з урахуванням у реальному часі досліджень.

Незважаючи на те, що вказано кожне завдання і заняття, межі і організація проектів, запити на ресурси та розподіл ресурсів у трасах є точними. В дані про використання кластеру Google входить інформація про дата-центрів за місяць.

Протягом одного періоду оцінки, який складає 30 хвилин у трасах використання кластеру Google, вхідні завдання (відповідальність) слід розподіляти

між віртуальними машинами (ВМ) і потім розміщувати на фізичних машинах (ФМ). Оскільки дані про дата-центри об'ємні на протязі місяця, то в дослідженні було оцінено інформаційні записи протягом 24 годин.

В таблиці 4.2 подано середні значення наведено оброблювану інформацію засобами малої, середньої та великої областей спочатку проектується з загалом ідентичними фізичними машинами без застосування результатів системи-конфігуратора, а потім з ними.

Таблиця 4.2 – Результати досліджень

Трасування кластера (G)	Малий	Середній	Високий
Призначення віртуальних машин	1400	2600	4900
Фізичні машини	900	1200	2300

4.2.2 Час обчислення функції пристосованості

На рисунку 4.1 показано, скільки часу потрібно на обчислення функції пристосованості.

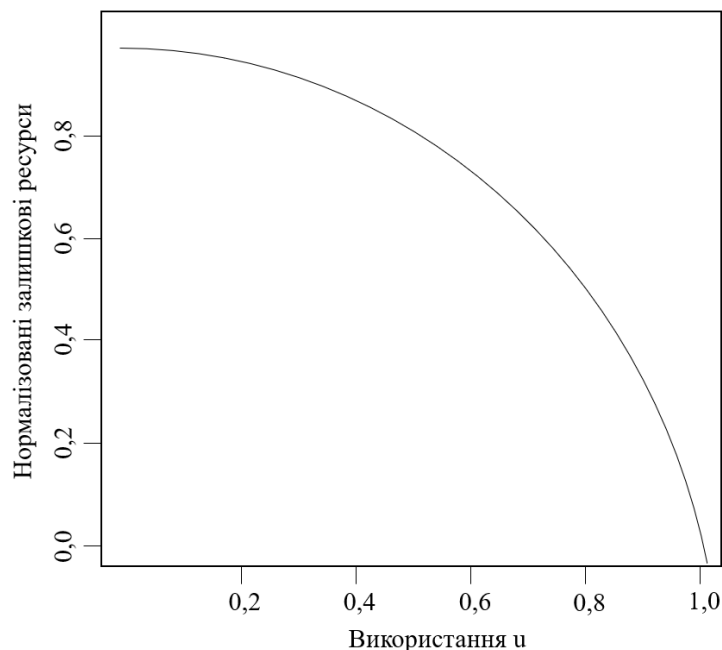


Рисунок 4.1 - Час обчислення функції пристосованості

Видно, що модифікований ГА може значно зменшити час, необхідний для обчислення функції пристосованості.

4.2.3 Час виконання генетичного алгоритму в малих, середніх та великих масштабах

У порівнянні з традиційною функцією оцінки продуктивності, робота з функцією пристосованості, згідно з рисунком 4.2, показує, що абсолютний час виконання запропонованої функції пристосованості для ГА знижено на 66% для великого обсягу оброблюваної інформації.

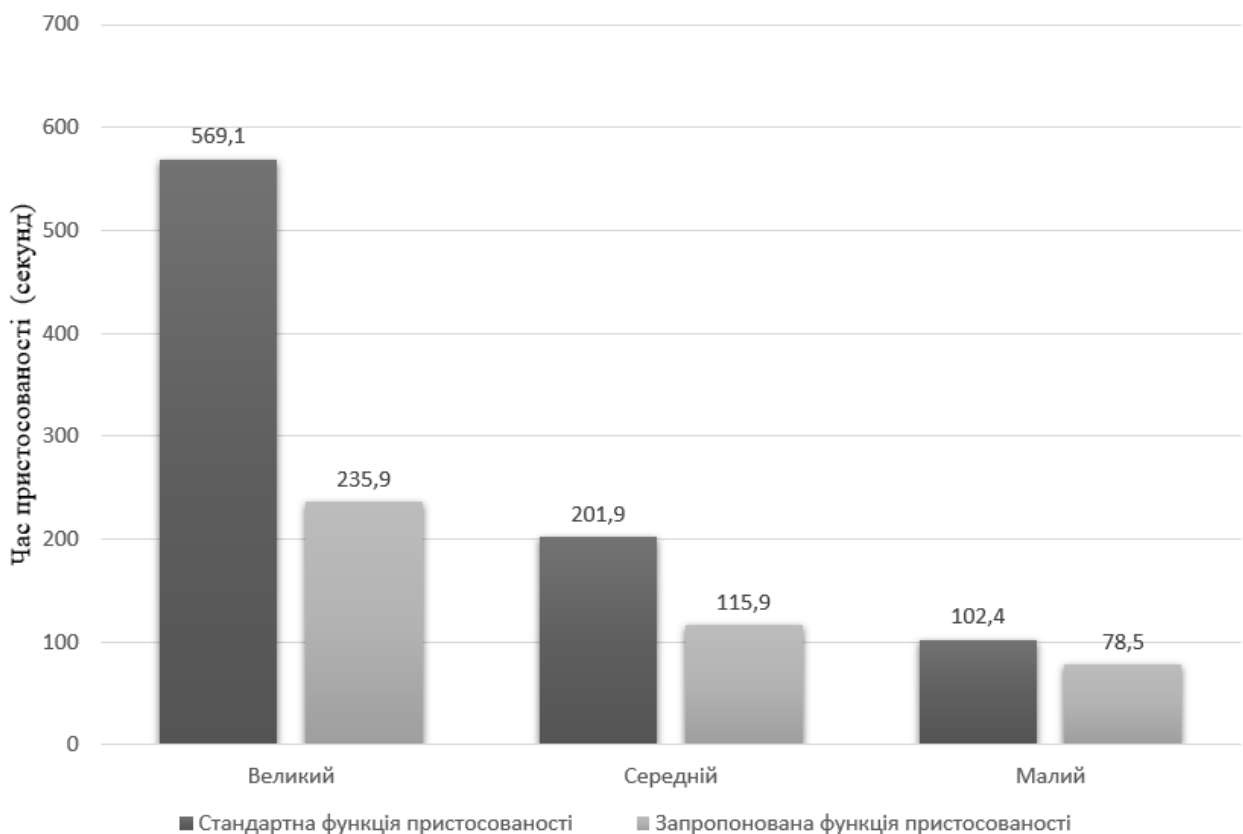


Рисунок 4.2 - Порівняння пристосованості часу

Оновлена функція пристосованості скорочує абсолютний час обчислень генетичного алгоритму.

Це підтверджує, що прогрес в оптимізації енергопостачання в дата-центрі є успішним.

Таким чином, результати на рисунку 4.3 демонструють, що система здатна підтримувати контрольований та відповідний час обчислень.

Проаналізуємо типову кількість активних РМ в кожному розмірі обсягу, включаючи малі, середні та великі.

Результати експериментальних досліджень заборонованого методу тестів різних розмірів у хмарному центрі обробки даних показали, що під час нового етапу розробки з передбачуваною функцією придатності наведено на рисунку 3.6 для кількості динамічних ФМ.

Як показано на рисунку 4.3, ГА з рекомендованою функцією придатності часто використовує менше ФМ, ніж звичайний ГА та ЗПП.

Дослідження включало 3000 ФМ у широкому обсязі інформативного індексу.

Далі, коли було застосовано ГА, було отримано лише 1086 фізичних машин.

У відміню від типового ГА, можна вимкнути значно більшу кількість фізичних машин.

У генетичному алгоритмі покращення енергоспоживання в дата-центрі можливе за меншої кількості поколінь.

Кількість ітерацій генетичного алгоритму в схемі розташування віртуальних машин може бути скорочена завдяки зазначеній здатності функції пристосованості, як показано на рисунку 4.4.

Генетичний алгоритм розраховує оцінку функції пристосованості для всіх віків.

У реалізованій для запропонованої функції пристосованості генетичного алгоритму, демонструється значно меншим.

Згідно з цими результатами, поданими на рисунках 4.1-4.3, видно, що застосування системи-конфігуратора виконує оптимізацію енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин.

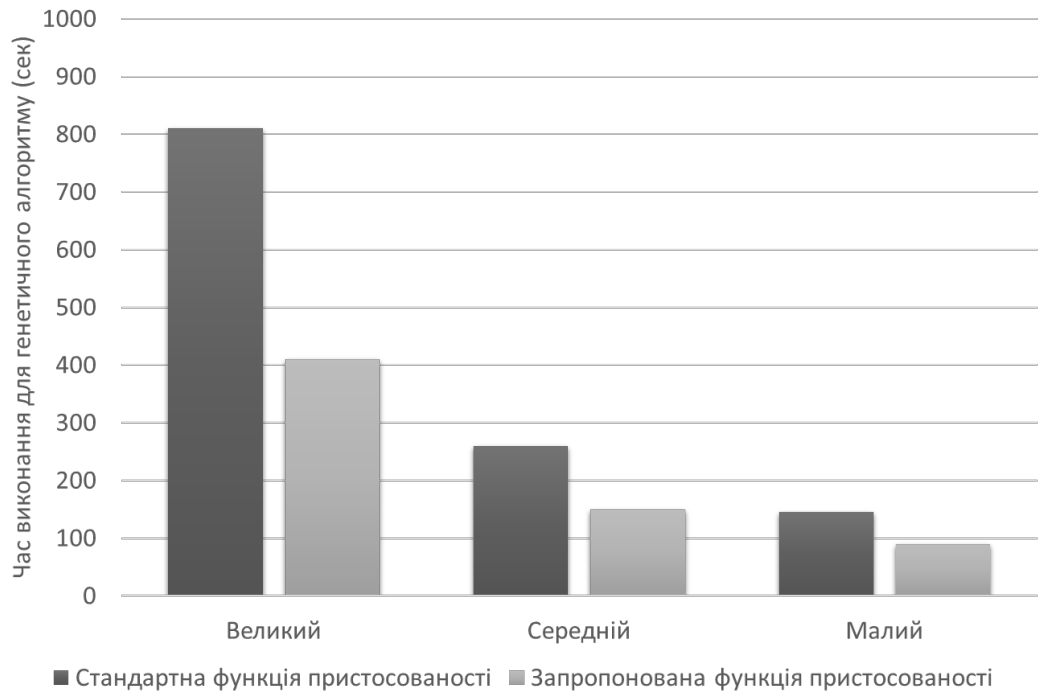


Рисунок 4.3 - Середній час виконання для генетичного алгоритму

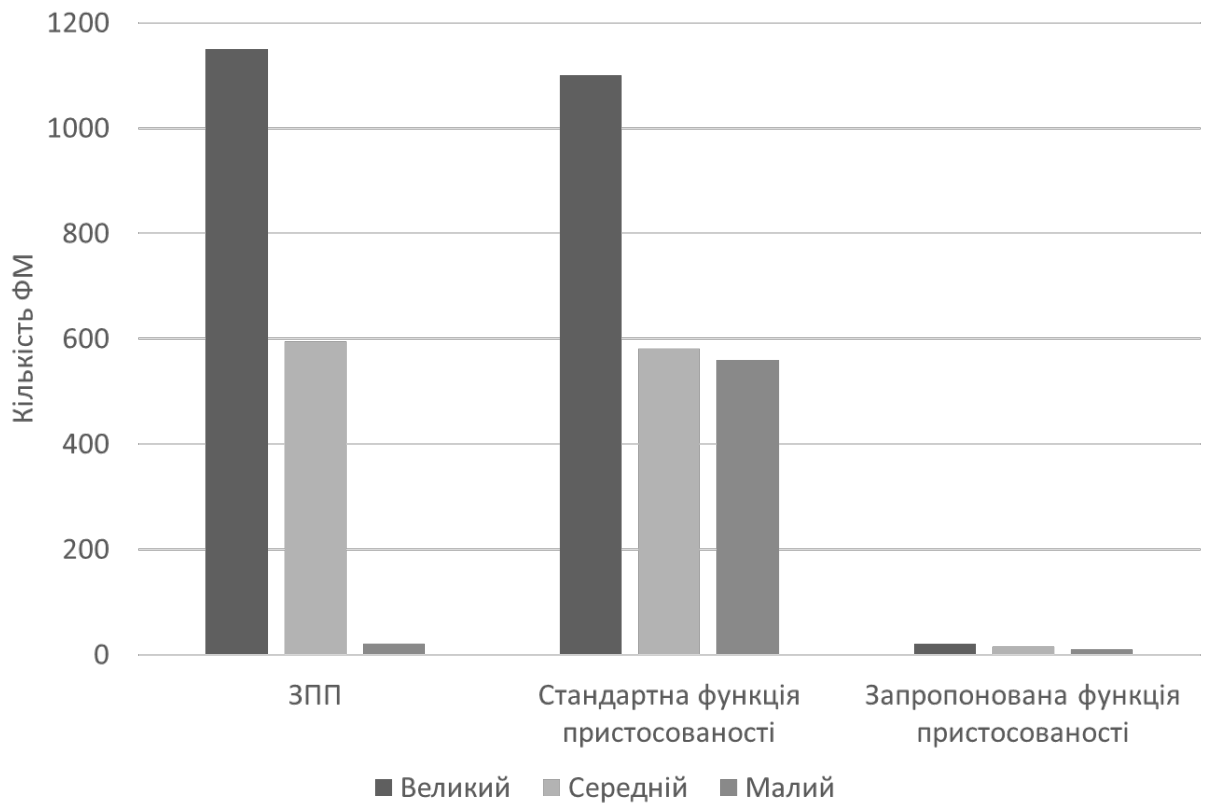


Рисунок 4.5 - Середня кількість ФМ

4.2.4 Обчислення енергоспоживання в малих, середніх та великих масштабах

З використанням рядів Тейлора для рівняння оцінки завдання придатності генетичний алгоритм спрямований на підвищення енергоефективності в дата-центрі (3.15).

У дослідженні використовувався традиційний генетичний алгоритм і обчислення ЗПП як вихідний пункт для порівняння нашого генетичного алгоритму з запропонованою функцією придатності.

У центрі обробки даних на серверах туману порівнюються енергоспоживання нашого генетичного алгоритму та типового генетичного алгоритму на рисунку 4.7.

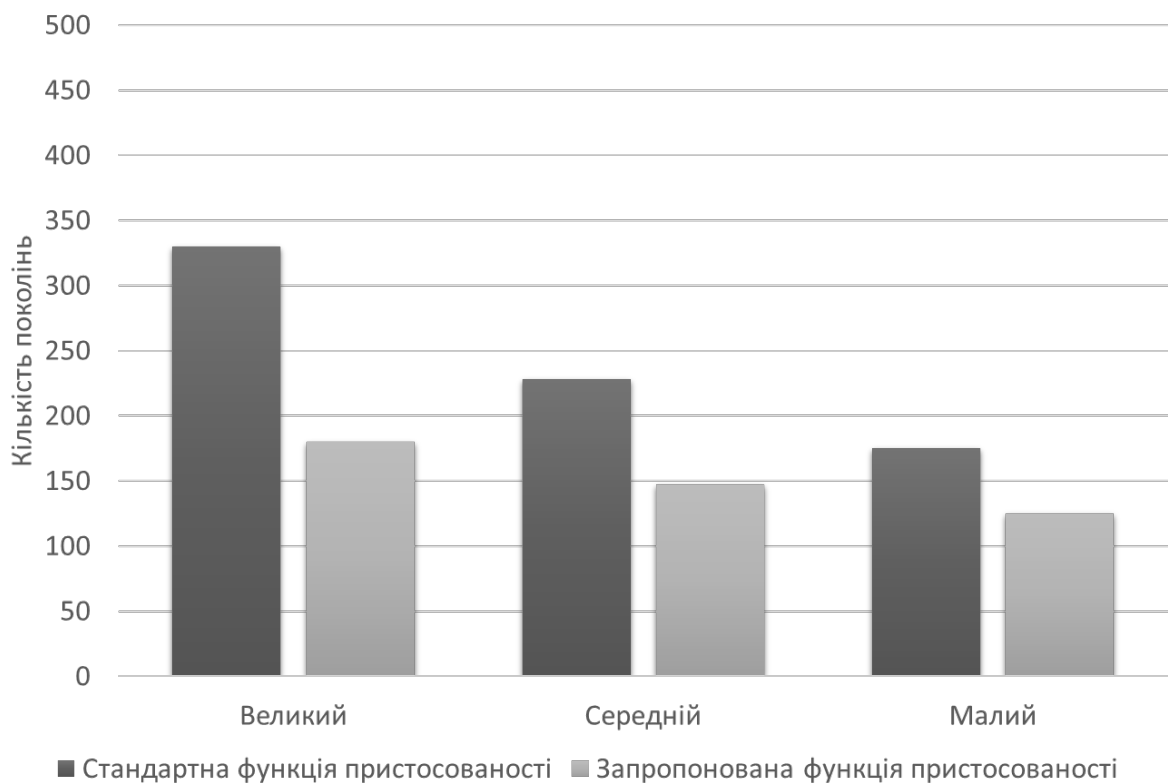


Рисунок 4.6 - Середня кількість поколінь

Видно, що запропонований метод уможливив зменшення використання енергії на 5% (рисунки 4.7-4.8).

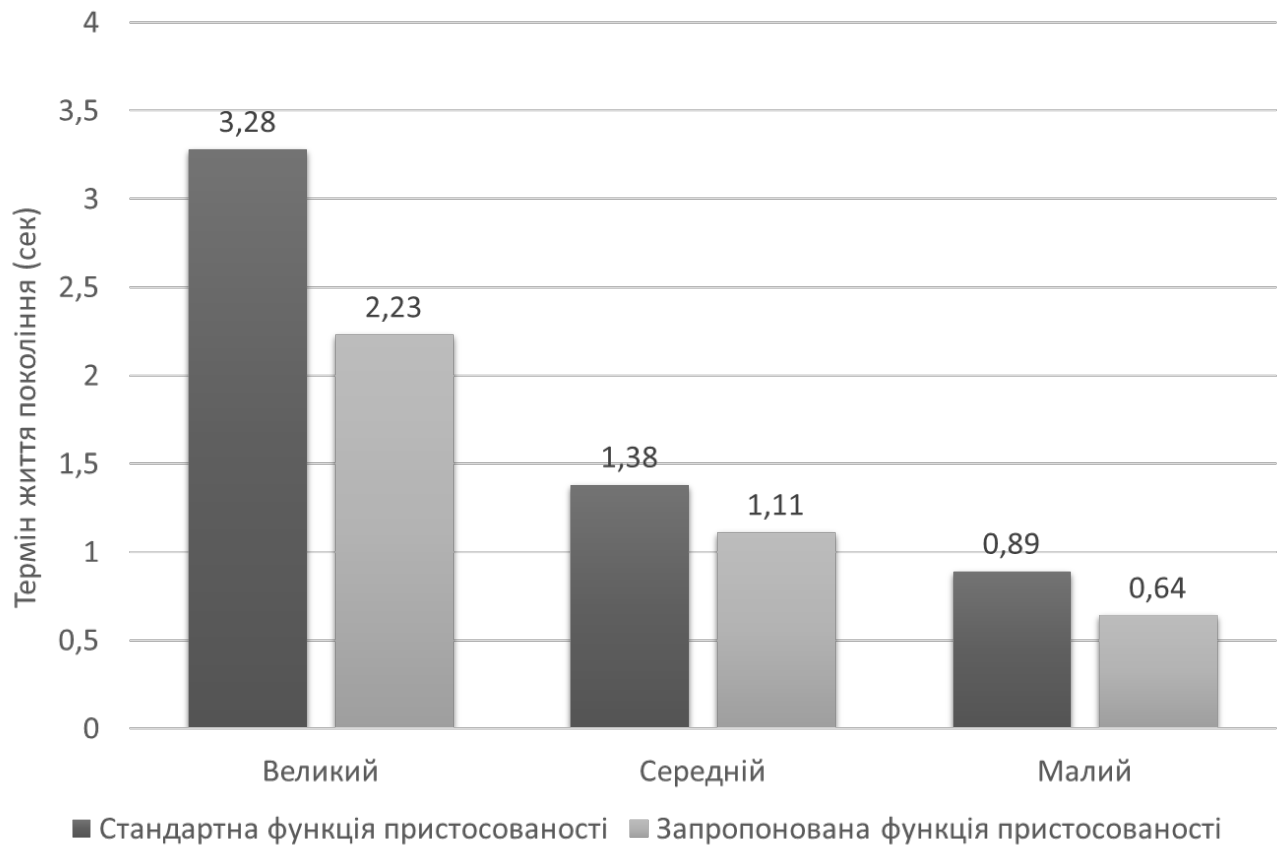


Рисунок 4.7 - Типовий термін життя покоління

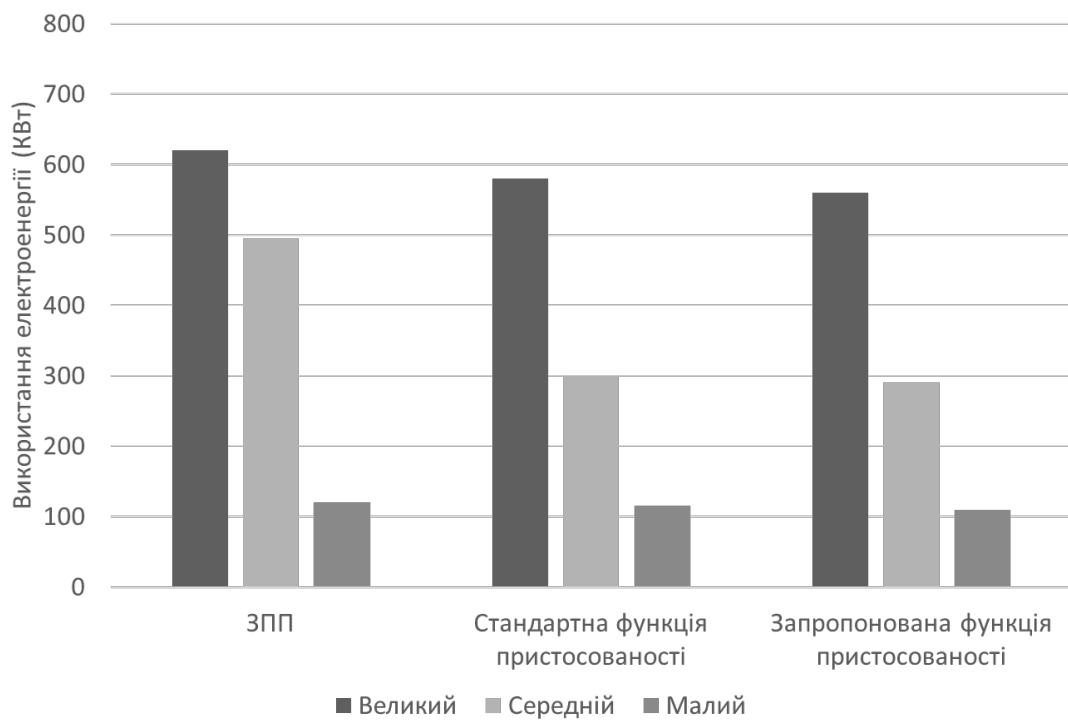


Рисунок 4.8 - Шкали та алгоритми для обчислення використання електроенергії в дата-центрі протягом повного дня

4.3 Висновки

З метою здійснення апробації та перевірки ефективності запропонованого методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин було здійснено його практичну реалізацію у вигляді системи-конфігуратора.

Результат експериментальних досліджень застосування системи-конфігуратора показали зменшення енергоспоживання дата-центрів на 5%.

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було розроблено апаратно-програмні засоби оптимізації (систему-конфігуратор) енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

У першому розділі досліджено методи оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів.

У другому розділі представлено опис моделювання енергоспоживання дата-центрів, зокрема організаційну модель енергоспоживання дата-центрів, моделювання енергоспоживання процесорного обладнання дата-центрів; енергоспоживання графічних процесорів; моделювання енергоспоживання пам'яті та потужності накопичувачів; моделі живлення пам'яті, жорстких дисків, твердотільних дисків; моделювання енергоспоживання серверів зберігання даних, моделювання енергоспоживання центрів обробки даних, моделювання енергоспоживання групи серверів, моделювання енергоспоживання мереж центрів обробки даних, зокрема: моделювання енергоспоживання мережевого каналу, мережевих пристроїв, мережевих інтерфейсів, оптичних мереж.

У третьому розділі з метою подальшого розвитку методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів було розроблено методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин. Метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин, який на відміну від відомих для оптимізація енергоспоживання дата-центрів використовує технологію віртуальних машин, а процес оптимізації здійснюється застосуванням модифікованого генетичного алгоритму. Запропонований удосконалений метод використовує модифікований генетичний алгоритм для вирішення оптимізації використовуваних віртуальних машин у хмарному середовищі для зменшення енергоспоживання в дата-центрах.

Експериментальні результати, отримані за допомогою впровадженого методу показали зменшення енергоспоживання на 5-8%.

У четвертому розділі описано практичну реалізацію методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин у вигляді системи-конфігуратора.

Результат експериментальних досліджень застосування системи-конфігуратора показали зменшення енергоспоживання дата-центрів на 5%.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опубліковані тези у матеріалах конференції XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій» 18-19 квітня 2024 р., Одеса, Україна [1].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Лисенко С.М., Карцан А.Р. Основи методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури Дата-центрів із використанням віртуальних машин. *Тези у матеріалах конференції XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій»* 18-19 квітня 2024 р., Одеса, Україна.
2. Kant K. Data center evolution: a tutorial on state of the art, issues, and challenges. *Comput Netw* 2020;53:2939–65.
3. Uddin M, Rahman AA. Energy efficiency and low carbon enabler green IT framework for data centers considering green metrics. *Renew Sustain Energy Rev* 2019;16:4078–94.
4. Brown R. Report to congress on server and data center energy efficiency: Public law 109-431. *Lawrence Berkeley National Laboratory* 2020.
5. PA. EPA ENERGY STAR program requirements for computer systems—draft 4. Washington, DC: *Environmental Protection Agency* 2020.
6. Koomey J. Growth in data center electricity use 2022 to 2021. A report by Analytical Press, completed at the request of The New York Times; 2019.
7. Kumar R., Mieritz L. Conceptualizing green IT and data center power and cooling issues. Gartner research paper no. G00150322; 2023.
8. Johnson P, Marker T. Data center energy efficiency product profile. Pitt & Sherry, report to equipment energy efficiency committee (E3) of The Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA); 2020
9. Webb M. SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age. *Clim Group* 2020;1 1-1.
10. Rangan K, Cooke A, Post J. The Cloud Wars: \$100 billion at stake. Tech. rep., Merrill Lynch; 2020.
11. Barroso LA, Hölzle U. The datacenter as a computer: an introduction to the

design of warehouse-scale machines. *Synth lectures Comput Archit* 2020;4:1–108.

12. Pillai P, Shin KG. Real-time dynamic voltage scaling for low-power embedded operating systems. *ACM SIGOPS Oper Syst Rev* 2001;35:89–102.

13. Martin SM, Flautner K, Mudge T, et al. Combined dynamic voltage scaling and adaptive body biasing for lower power microprocessors under dynamic workloads. *ACM Int Conf Computer-aided Des* 2002:721–5.

14. Jejurikar R, Pereira C, Gupta R. Leakage aware dynamic voltage scaling for real-time embedded systems. *Proceedings of the 41st annual Design Automation Conference* 2016; 275-80.

15. Yan L, Luo J, Jha NK. Joint dynamic voltage scaling and adaptive body biasing for heterogeneous distributed real-time embedded systems. *IEEE Transactions on* 2022; 24:1030-41.

16. Aydin H, Yang Q. Energy-aware partitioning for multiprocessor real-time systems. *Parallel and Distributed Processing Symposium* 2022; 9 pp.

17. Zhu D, Melhem R, Childers BR. Scheduling with dynamic voltage/speed adjustment using slack reclamation in multiprocessor real-time systems. *Parallel Distrib Syst* 2022;14:686–700.

18. Zhong X, Qi Y, Hou D, Miao L, Zheng XM. Tasks scheduling with dynamic voltage scaling on multi-core real-time systems. *Acta Electron Sin* 2023;34:12A.

19. Jing SY, She K, Zhong Y. Power-aware algorithm for hard real-time tasks scheduling in multi-core embedded environment. *J Comput Appl* 2019;31:11.

20. Raghavendra R, Ranganathan P, Talwar V, Wang ZK, Zhu XY. No power struggles: Coordinated multi-level power management for the data center. *ACM SIGARCH Comput Archit News* 2020;36:48–59.

21. Gandhi A, Harchol-Balter M, Das R, Lefurgy C. Optimal power allocation in server farms. *ACM SIGMETRICS Perform Eval Rev* 2020;37:157–68.

22. Kusic D, Kephart JO, Hanson JE, Kandasamy N, Jiang GF. Power and performance management of virtualized computing environments via lookahead control. *Cluster Comput* 2020;12:1–15.

23. Younge AJ, Von LG, Wang L, Lopez-Alarcon S, Carithers W. Efficient

resource management for cloud computing environments. *Green Computing Conference 2021*; 357-364.

24. Mishra A, Tripathi AK. Energy efficient voltage scheduling for multi-core processors with software controlled dynamic voltage scaling. *Appl Math Model* 2023;38:3456–66.

25. Buyya R, Beloglazov A, Abawajy J. Energy-Efficient Management of Data Center Resources for Cloud Computing: A Vision, Architectural Elements, and Open Challenges. *Eprint Arxiv* 2021:6–17.

26. Asghari NM, Mandjes M, Walid A. Energy-efficient scheduling in multi-core servers. *Comput Netw* 2023;59:33–43.

27. Barroso L, Holzle U. The case for energy-proportional computing. *IEEE Comput* 2023.

28. Fan X, Weber XD, Barroso LA. Power provisioning for a warehouse-sized computer. *Proc 34th Ann Int symposium on Comput Archit (ISCA '07)* 2023:13–23.

29. Li X, Qian Z, Lu S, Wu J. Energy efficient virtual machine placement algorithm with balanced and improved resource utilization in a data center. *Math Comput Model* 2023;58:1222–35.

30. Pinheiro E, Bianchini R, Carrera EV, Heath T. Load balancing and unbalancing for power and performance in cluster-based systems. *Workshop on compilers and operating systems for low power* 2001; 180:182–95.

31. Chase JS, Anderson DC, Thakar PN, Vahdat AM, Doyle RP. Managing energy and server resources in hosting centers. *ACM SIGOPS Oper Syst Rev* 2001;35:103–16.

32. Elnozahy ENM, Kistler M, Rajamony R. Energy-efficient server clusters. *Power-Aware Comput Syst* 2022:179–97.

33. Meisner D, Gold BT, Wenisch TF. PowerNap: eliminating server idle power. *ACM SIGARCH Comput Archit News* 2020;37:205–16.

34. Duy TVT, Sato Y, Inoguchi Y. Performance evaluation of a green scheduling algorithm for energy savings in cloud computing. *IEEE International Symposium on. IEEE* 2021;1–8.

35. Rizvandi NB, Taheri J, Zomaya AY, Lee Y.C. Linear combinations of dvfs-enabled processor frequencies to modify the energy-aware scheduling algorithms. *Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2021 10th IEEE/ ACM International Conference on IEEE 2021*; 388-97.
36. Barham P, Dragovic B, Fraser K, Hand S, Harris T. Xen and the art of virtualization. *ACM SIGOPS Oper Syst Rev 2022*;37:164–77.
37. Stoess J, Lang C., Bellosa F. Energy Management for Hypervisor-Based Virtual Machines. *USENIX Annual Technical Conference 2023*; 1–14.
38. Nathuji R, Schwan K. Virtual power: coordinated power management in virtualized enterprise systems. *ACM SIGOPS Oper Syst Rev 2023*;41:265– 78.
39. Wang Y, Wang X, Chen M, Zhu X. Power-efficient response time guarantees for virtualized enterprise servers. *Real-Time Systems Symposium 2020*; 303–312.
40. Pakbaznia E, Pedram M. Minimizing data center cooling and server power costs. *Proceedings of the 14th ACM/IEEE international symposium on Low power electronics and design 2020*;145–150.
41. Ahmad F, Vijaykumar TN. Joint optimization of idle and cooling power in data centers while maintaining response time. *ACM Sigplan Notices. ACM 2021*;45:243–56.
42. Stoess J, Lang C., Bellosa F. Energy Management for Hypervisor-Based Virtual Machines. *USENIX Annual Technical Conference 2023*; 1–14.
43. Kim KH, Beloglazov A, Buyya R. Power-aware provisioning of cloud resources for real-time services. *Proceedings of the 7th International Workshop on Middleware for Grids, Clouds and e-Science. ACM 2020*; 1.
44. Kusic D, Kephart JO, Hanson JE, Kandasamy N, Jiang GF. Power and performance management of virtualized computing environments via lookahead control. *Cluster Comput 2020*;12:1–15.
45. Verma A, Ahuja P, Neogi A, pMapper. Power and migration cost aware application placement in virtualized systems. *Berlin Heidelberg: Springer; 2020. p. 243–64.*
46. Srikantaiah S, Kansal A, Zhao F. Energy aware consolidation for cloud com-

- puting. Proceedings of the 2020 conference on. *Power Aware Comput Syst* 2020;10.
47. Beloglazov A, Buyya R. Energy efficient allocation of virtual machines in cloud data centers. *Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2021 10th IEEE/ACM International Conference on IEEE* 2021; 577-8.
 48. Beloglazov A, Abawajy J, Buyya R. Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for cloud computing. *Future Gen Comput Syst* 2019;28:755–68.
 49. Chen H, Zhu XM, Guo H, Qin X, Zhu JH, Wu JH. Towards Energy-Efficient Scheduling for Real-Time Tasks under Uncertain Cloud Computing Environment. *J Syst Software* 2023.
 50. Wang Y, Wang X. Performance-controlled server consolidation for virtualized data centers with multi-tier applications. *Sustain Comput Informatics Syst* 2023;4:52–65.
 51. Linden G. Make data useful. Presentation, Amazon, November 2023.
 52. Gandhi A, Chen Y., Gmach D., Arlitt M., Marwah M. Minimizing data center sla violations and energy consumption via hybrid resource provisioning. *Green Computing Conference and Workshops (IGCC), 2019 International IEEE* 2019; 1-8.
 53. Moore J, Chase J, Farkas K, Ranganathan P. A Sense of Place: Toward a Location-aware Information Plane for Data Centers. Hewlett Packard 2016.
 54. Moore J, Chase J, Ranganathan P, Sharma R. Making Scheduling "Cool": Temperature-Aware Workload Placement in Data Centers. *USENIX Ann Techn Conf Gen Track* 2022:61–75.
 55. Tang Q, Gupta SKS, Varsamopoulos G. Energy-efficient thermal-aware task scheduling for homogeneous high-performance computing data centers: A cyber-physical approach. *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on* 2020;19:1458-72.
 56. Xu H, Feng C., Li B. Temperature aware workload management in geo-distributed datacenters. *Proceedings of the ACM SIGMETRICS/international conference on Measurement and modeling of computer systems* 2023; 373-4.
 57. Mukherjee T, Banerjee A, Varsamopoulos G, Gupta SKS, Rungtab S. Spatio-temporal thermal-aware job scheduling to minimize energy consumption in

virtualized heterogeneous data centers. *Comput Netw* 2020;53:2888–904.

58. Le SE, Heiser G. Dynamic voltage and frequency scaling: The laws of diminishing returns. Proceedings of the 2021 international conference on Power aware computing and systems. *USENIX Association* 2021; 1-8.

59. Gandhi A, Gupta V, Harchol-Balter M, Kozuch A. M. Optimality analysis of energy-performance trade-off for server farm management. *Perform Eval* 2021;67:1155–71.

60. Chen S, Joshi KR, Hiltunen MA, Schlichtingb RD, Sandersa WH, Using CPU. gradients for performance-aware energy conservation in multitier systems. *Sustain Comput Informatics Syst* 2019;1:113–33.

61. Mazzucco M, Dyachuk D. Optimizing Cloud providers revenues via energy efficient server allocation. *Sustain Comput Informatics and Syst* 2019;2:1–12.

62. Abbasi Z, Varsamopoulos G, Gupta SKS. TACOMA: server and workload management in internet data centers considering cooling-computing power trade-off and energy proportionality. *ACM Trans Archit Code Optim (TACO)* 2019;9:11.

63. Parolini L, Sinopoli B, Krogh BH, Wang ZK. A cyber-physical systems approach to data center modeling and control for energy efficiency. *Proc IEEE* 2019;100:254–68.

64. Greenberg A, Hamilton J, Maltz DA, Patel P. The cost of a cloud: research problems in data center networks. *ACM SIGCOMM Comput Commun Rev* 2020;39:68–73.

65. Jimeno M, Christensen K, Nordman B. A network connection proxy to enable hosts to sleep and save energy. Performance, *Computing and Communications Conference, 2020. IPCCC 2020. IEEE International*. IEEE, 2020; 101-110.

66. Wattenhofer R, Li L, Bahl P., Wang M.Y. Distributed topology control for power efficient operation in multihop wireless ad hoc networks. *Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings* 2001; 3:1388-1397.

67. Chen B, Jamieson K, Balakrishnan H, Morris R. Span: an energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks. *Wireless*

Netw 2002;8:481–94.

68. IEEE 802.3 Standard 2023.
<http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>.
69. Gunaratne C, Christensen K, Nordman B, Suen S. Reducing the energy consumption of Ethernet with adaptive link rate (ALR). *Computers, IEEE Transactions on* 2020; 57:448-61.
70. Gupta M, Singh S. Greening of the Internet. *Proceedings of the 2022 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications* 2022; 19-26.
71. Gupta M, Singh S. Using Low-Power Modes for Energy Conservation in Ethernet LANs. *INFOCOM* 2023;7:2451–5.
72. Gupta M, Singh S. Dynamic ethernet link shutdown for energy conservation on ethernet links. *Communications, 2023. ICC'07. IEEE International Conference on. IEEE* 2023; 6156-6161.
73. Kliazovich D, Bouvry P, Khan SU. DENS: data center energy-efficient network-aware scheduling. *Cluster Comput* 2023;16:65–75.
74. Lu G, Krishnamachari B, Raghavendra CS. An adaptive energy-efficient and low-latency MAC for tree-based data gathering in sensor networks. *Wireless Commun Mobile Comput* 2023;7:863–75.
75. Zhang J, Zhou G, Huang C, Son SH, Stankovic J.A. TMMAC: An energy efficient multi-channel mac protocol for ad hoc networks. *Communications, 2023. ICC'07. IEEE International Conference on. IEEE* 2023; 3554–3561.
76. Tsai WT, Song W, Paul R, Huang H. Services-oriented dynamic reconfiguration framework for dependable distributed computing. *COMPSAC-New York* 2016:554–9.
77. Madkour M, El GD, Maach A, Hasbi A. Context-Aware Service Adaptation: An Approach Based on Fuzzy Sets and Service Composition. *J Inform Sci Eng* 2023;29:1–16.
78. Hoschek W. The web service discovery architecture. *Supercomputing, ACM/ IEEE 2002 Conference. IEEE* 2002; 38-38.

79. Zhang Y, Zhou Y. 4VP: A novel meta OS approach for streaming programs in ubiquitous computing. *Adv Inform Netw Appl* 2023:394–403.
80. Urgaonkar B, Pacifici G, Shenoy P, Spreitzer M, Tantawi A. An analytical model for multi-tier internet services and its applications. *ACM SIGMETRICS Perform Eval Rev* 2022;33:291–302.
81. Urgaonkar B, Shenoy P, Chandra A, Goyal P, Wood T. Agile dynamic provisioning of multi-tier internet applications. *ACM Trans Auton Adaptive Syst* 2020;3:1.
82. Choi J, Govindan S, Jeong J, Urgaonkar B, Anand Sivasubramaniam. Energy consumption prediction and power-aware packing in consolidated environments. *Computers, IEEE Transactions on* 2021; 59:1640-54.
83. Chabarek J, Sommers J, Barford P., Estan C., Tsiang D., Wright S. Power awareness in network design and routing. *INFOCOM 2020. The 27th Conference on Computer Communications*; 2020.
84. Heller B, Seetharaman S, Mahadevan P, Yiakoumis Y, Sharma P, Banerjee S, McKeown N. Elastic Tree: Saving Energy in Data Center Networks. *NSDI* 2021;10:249–64.
85. Tiwari V, Malik S, Wolfe A. Power analysis of embedded software: a first step towards software power minimization. *Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, IEEE Transactions on* 1994; 2:437-45.
86. Shao Z, Zhuge Q, Liu M, Xue C, Sha E, Xiao B. Algorithms and analysis of scheduling for loops with minimum switching. *Int J Comput Sci Eng* 2023;2:88–97.
87. Shirako J, Oshiyama N, Wada Y, Shikano H, Kimura KJ. Compiler control power saving scheme for multi core processors. *Languages and Compilers for Parallel Computing*. Berlin Heidelberg: Springer; 2023. p. 362–76.
88. Alhijawi, B., & Awajan, A. (2023). Genetic algorithms: Theory, genetic operators, solutions, and applications. *Evolutionary Intelligence*, 1-12.
89. Gen, M., & Lin, L. (2023). Genetic algorithms and their applications. In *Springer handbook of engineering statistics* (pp. 635-674). London: Springer London.
90. Sohail, A. (2023). Genetic algorithms in the fields of artificial intelligence and data sciences. *Annals of Data Science*, 10(4), 1007-1018.

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

ТЕЗИ

Матеріали конференції «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій»

УДК 004.056

ОСНОВИ МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ДАТА-ЦЕНТРІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІРТУАЛЬНИХ МАШИН

ЛИСЕНКО С.М., КАРЦАН А. (artur.kartsan.silva@gmail.com)

Хмельницький національний університет

Набув подальшого розвитку метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин, який на відміну від відомих для оптимізація енергоспоживання дата-центрів використовує технологію віртуальних машин, а процес оптимізації здійснюється застосуванням модифікованого генетичного алгоритму.

Набув подальшого розвитку метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин, який на відміну від відомих для оптимізація енергоспоживання дата-центрів використовує технологію віртуальних машин, а процес оптимізації здійснюється застосуванням модифікованого генетичного алгоритму.

Упорядкування віртуальних машин (ВМ) - це метод вибору ідеальної множини фізичних машин (ФМ) для заданої задачі. Утворена множина фізичних машин пов'язані з дата-центрами, можуть бути не повністю зайняті, що впливає на енергоефективність. Розумне розташування віртуальних машин має велике значення для покращення енергоефективності та обмеження кількості активних ФМ в дата-центрах в хмарі. Щоб правильно налаштувати ВМ на ФМ, потрібно мати на увазі фізичні можливості машини, вимоги віртуальної машини і знати, як надійно вирішувати конфлікти ресурсів за допомогою методів дата-центру.

Тоді, використання процесора в ФМ, P_j обчислюється наступним чином:

$$u_{ij} = p_j^{w_{cpu}} / p_j^{cpu} \quad (1)$$

Огляд використання ФМ в цілому ідентичний з оглядом всіх призначених ВМ.

Подальше використання j -го ФМ перераховано наступним чином:

$$u_j = \sum_{i=1}^{nv_j} u_{ij} \quad (2)$$

Коли передбачається повне використання потенціалу використання ФМ, можна розрахувати її енерговитрати.

Варто підкреслити, що величина споживання енергії ЦП може бути використана для конкретного відображення використання потужності використовуюваного сервера. Розглянемо множину параметрів, що беруть участь в планування моделі потужності ЦП:

$$p_{cpu} = p_{max} - (p_{max} - p_{min}) / e_{au} \quad (3)$$

де: p_{min} - це базова потужність при нульовому використанні ЦП в модельованій системі; p_{max} - максимальна робоча потужність при використанні ЦП на 100 відсотків, що відображає використання ЦП.

У кожного центру обробки даних є велика кількість віртуальних машин, і ці віртуальні машини регулярно працюють протягом різних запланованих періодів. В результаті загальна вартість електроенергії для центру обробки даних обчислюється:

$$p_{total} = \sum_{i=1}^{np} p_j \quad (4)$$

Тому протягом запропонованих періодів часу обов'язки фізичних машин в дата центрі змінюються. Кожна віртуальна машина має час початку та закінчення, і часто працює в різний час. Таким чином, різні віртуальні машини працюють на одній і тій же фізичній машині протягом різних періодів часу. Використання ЦП залишається в основному стабільним протягом всіх проміжків часу. Враховуючи nt проміжків часу для всіх активованих ВМ, енергія, споживана ФМ, може бути оцінена в термінах окремих ФМ наступним чином:

$$e_j = \sum_{k=1}^{nt} p_{jk} t_{jk} \quad (5)$$

Покращений метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин спрямований на призначення загальної кількості базових хостів для всіх віртуальних машин, включаючи проекти. Тому бездіяльні ФМ можуть бути ввімкнені у разі потреби у додаткових серверах.

Враховуючи вимоги до ЦП з метою покращення енергоефективності центрів обробки даних на рівні туману. В результаті елементи оптимізації обмежують доступні ресурси, зменшуючи обчислення функції пристосованості. З урахуванням усіх ФМ, що містять ВМ, було побудовано модель використання енергії для центру обробки даних. В результаті віртуальний планувальник ресурсів може вирішити примусову проблему розширення, враховуючи конфігурацію віртуальних машин наступним чином:

$$\begin{cases} \min E = \sum_{j=1}^{np} \sum_{k=1}^n T(p_j^m ax - (p_j^m ax - p_j^m in)/e^{aujk}) t_{jk} \\ s. t. u_{jk} = \sum_{i=1}^{nvjk}, u_{jk} \in u_{v1}, u_{v2}, \dots, u_{nv} \\ 0 \leq u_{min} \leq u_{jk} \leq u_{max} \leq 100 \end{cases} \quad (6)$$

З метою здійснення оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин було застосовано апарат еволюційних алгоритмів пошуку, здатних до здійснення вирішення задач оптимізації – генетичного алгоритму (ГА).

Розглянемо основні етапи роботи генетичного алгоритму в задачі оптимізації. Генетичний алгоритм починає роботу з формування початкової популяції, яка генерує кращі наближені рішення через покоління, використовуючи принцип "виживання найкращих". Кожне покоління вибирає індивіда на основі сумісності кількох рішень в точних викликаних областях. Нова популяція, що відображає інноваційний набір рішень, формується, коли знаходяться різноманітні рішення. Популяція в генетичному алгоритмі є комбінацією ймовірних точок розв'язку. Покоління представляє ітерацію алгоритму. ГА потребує лише значень функції пристосованості, пов'язаних з кожною особою, щоб успішно шукати безкінечно кращі рішення.

Висновок. Набув подальшого розвитку метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин, який на відміну від відомих для оптимізації енергоспоживання дата-центрів використовує технологію віртуальних машин, а процес оптимізації здійснюється застосуванням модифікованого генетичного алгоритму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kant K. Data center evolution: a tutorial on state of the art, issues, and challenges. Computer Networks. 2020. Vol.53. 2939–65.
2. Uddin M, Rahman AA. Energy efficiency and low carbon enabler green IT framework for data centers considering green metrics. Renew Sustain Energy. 2019;16:4078–94.
3. Brown R. Report to congress on server and data center energy efficiency: Public law 109-431. Lawrence Berkeley National Laboratory 2020.
4. PA. EPA ENERGY STAR program requirements for computer systems—draft 4. Washington, DC: Environmental Protection Agency. 2020.
5. Koomey J. Growth in data center electricity use 2022 to 2021. A report by Analytical Press, completed at the request of The New York Times. 2019.
6. Kumar R., Mieritz L. Conceptualizing green IT and data center power and cooling issues. Gartner research paper no. G00150322. 2023.
7. Johnson P, Marker T. Data center energy efficiency product profile. Pitt & Sherry, report to equipment energy efficiency committee (E3) of The Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA). 2020
8. Webb M. SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age. Clim Group 2020.1 1-1.

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)

ПРЕЗЕНТАЦІЯ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Карпан Артур

**Метод та засоби оптимізації енергоспоживання
інфраструктури дата-центрів із використанням
віртуальних машин**

Науковий керівник – д.т.н. проф. Лисенко
С.М.

Хмельницький - 2024

Мета і задачі дослідження

Метою кваліфікаційної роботи магістра є оптимізація енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Об'єктом дослідження є процес оптимізація енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Предметом дослідження є метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Мета і задачі дослідження

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- ❑ дослідити методи оптимізації енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин;
- ❑ проаналізувати сучасні програмно-технічні засоби оптимізації енергоспоживання дата-центрів із використанням віртуальних машин;
- ❑ дослідити та описати моделювання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин;
- ❑ удосконалити метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин;
- ❑ реалізувати засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Наукова новизна та практична цінність отриманих результатів

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Набув подальшого розвитку метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин, який на відміну від відомих для оптимізації енергоспоживання дата-центрів використовує технологію віртуальних машин, а процес оптимізації здійснюється застосуванням модифікованого генетичного алгоритму.
2. Набули подальшого розвитку програмно-технічні засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

Актуальність дослідження

Використання дата-центрів є надзвичайно актуальним у сучасному цифровому світі, де зростає обсяг даних та потреба в їх зберіганні, обробці та передачі.

Дата-центри забезпечують надійне та ефективне зберігання даних, а також можливість швидкої обробки та доступу до них.

Дата-центри використовуються в різних сферах, включаючи бізнес, науку, організації та громадські послуги, і відіграють ключову роль у підтримці функціонування інформаційних технологій та цифрових сервісів. За ростом технологічних інновацій та зростанням обсягу даних попит на дата-центри продовжуватиме зростати в майбутньому.

Оптимізація інфраструктури дата-центрів має велику актуальність в сучасному світі, де швидкість, ефективність і економічність грають важливу роль в IT-сфері.



Метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Основи методу

1. Метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин, який на відміну від відомих для оптимізації енергоспоживання дата-центрів використовує технологію віртуальних машин, а процес оптимізації здійснюється застосуванням модифікованого генетичного алгоритму.
2. Упорядкування віртуальних машин (ВМ) - це метод вибору ідеальної множини фізичних машин (ФМ) для заданої задачі. Іноді утворена множина фізичних машин пов'язані з дата-центрами, можуть бути не повністю зайняті, що впливає на енергоефективність.
3. Розумне розташування віртуальних машин має велике значення для покращення енергоефективності та обмеження кількості активних ФМ в дата-центрах в хмарі.
4. Щоб правильно налаштувати ВМ на ФМ, потрібно мати на увазі фізичні можливості машини, вимоги віртуальної машини і знати, як надійно вирішувати конфлікти ресурсів за допомогою методів дата-центру.

Метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

З метою формалізації методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин приймемо:

- P_{total} - загальна потужність дата-центру;
- e_{total} - загальне споживання енергії;
- s_{total} - загальна вилучена постійна з енергії;
- e – оптимізація енергії;
- nt – часовий період;
- k – часовий інтервал;
- $pcpu$ – потужність процесора;
- $f; g$ функція пристосованості;
- $f_0; g_0$ визначена функція;
- x – функція оцінки пристосованості;
- r_{total} – загальні залишкові ресурси;
- p_{min} – базова потужність;

Метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

З метою формалізації методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин приймемо:

- p_{min} – базова потужність;
- p_{max} – максимальна, мінімальна потужність j -го фм;
- r – вихід функції пристосованості як дійсне число;
- n – кількість фізичних машин;
- e_j ; – енергія та потужність фм j -го;
- t – швидкість зміни тривалості застосування віртуальної машини;
- t_j – час зміни тривалості j -го віртуального комп'ютера;
- u – загалом використання часу процесора;
- u_{ij} – використання i -го віртуального машини на j -му фізичному сервері;
- u_{jk} – використовуючи j -ий ресурсний менеджер в k -му інтервалі часу;
- $u_{max}; u_{min}$ – використання машини на максимальній та найнижчій потужності;
- m ; – кількість віртуальних та активованих фізичних машин;

Метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

З метою формалізації методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин приймемо:

- unp ; unp – використання n -го кількості віртуальних машин на n -му кількості хостів;
- a – розподіл швидкості ЦП;
- cj – параметр для функції пристосованості, що має постійний нижній меж $prscrj$; $prscrj$;
- nvj – пропорція віртуальних машин, які працюють на j -му хості;
- $nvjk$ – кількість віртуальних машин, активних в j -му періоді у часовому слоті k -м;
- v ; vi – віртуальна машина;
- Δuij ; Δunp – використання j -го та (unp)-го хостів.

Метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Використання процесора в ФМ, P_j обчислюється наступним чином:

$$u_{ij} = p_j^{w_{cpu}} / p_j^{cpu} \quad (1)$$

Подальше використання j -го ФМ перераховано наступним чином:

$$u_j = \sum_{i=1}^{nvj} u_{ij} \quad (2)$$

Коли передбачається повне використання потенціалу використання ФМ, можна розрахувати її енерговитрати.

Розглянемо множину параметрів, що беруть участь в планування моделі потужності ЦП:

$$prscrj = p_{max} - (p_{max} - p_{min})/e_{cpu} \quad (3)$$

де: p_{min} - це базова потужність при нульовому використанні ЦП в модельованій системі;

p_{max} - максимальна робоча потужність при використанні ЦП на 100 відсотків, що відображає використання ЦП.

В результаті загальна вартість електроенергії для центру обробки даних обчислюється наступним чином:

$$p_{total} = \sum_{i=1}^{np} p_j \quad (4)$$

Метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Кожна віртуальна машина має час початку та закінчення, і часто працює в різний час, різні віртуальні машини працюють на одній і тій же фізичній машині протягом різних періодів часу. Використання ЦП залишається в основному стабільним протягом всіх проміжків часу.

Враховуючи пТ проміжків часу для всіх активованих ВМ, енергія, споживана ФМ, може бути оцінена в термінах окремих ФМ наступним чином:

$$e_j = \sum_{k=1}^{nt} p_{jk} t_{jk} \quad (5)$$

Метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Покращений метод спрямований на призначення загальної кількості базових хостів для всіх віртуальних машин, включаючи проекти. Тому бездіяльні ФМ можуть бути ввімкнені у разі потреби у додаткових серверах. Метою дослідження є процес мінімізації використання енергії з плином часу, враховуючи вимоги до ЦП з метою покращення енергоефективності центрів обробки даних на рівні туману. В результаті елементи оптимізації обмежують доступні ресурси, зменшуючи обчислення функції пристосованості. З урахуванням усіх ФМ, що містять ВМ, було побудовано модель використання енергії для центру обробки даних. В результаті віртуальний планувальник ресурсів може вирішити примусову проблему розширення, враховуючи конфігурацію віртуальних машин наступним чином:

$$\begin{cases} \min E = \sum_{j=1}^{np} \sum_{k=1}^n T(p_j^m ax - (p_j^m ax - p_j^m in) / e^{au_{jk}}) t_{jk} \\ s. t. u_{jk} = \sum_{i=1}^{nv} u_{ijk}, u_{jk} \in u_{v1}, u_{v2}, \dots, u_{nv} \\ 0 \leq u_{min} \leq u_{jk} \leq u_{max} \leq 100 \end{cases} \quad (6)$$

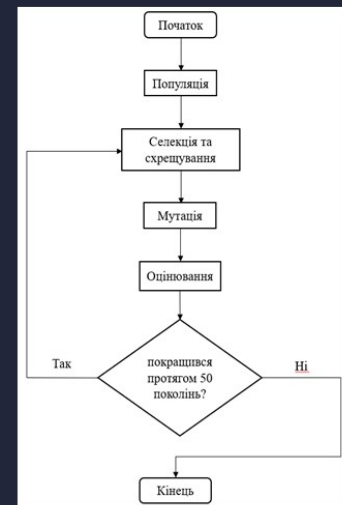
Метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Для мінімізації витрат було застосовано генетичний алгоритм (ГА).

Згідно з адресами, часом та умовами ресурсів, віртуальні машини розподіляються на фізичні машини в цій структурі інформації, і кожна фізична машина має конкретне призначення.

Одним з ключових завдань у застосуванні генетичного алгоритму, є множина параметрів, що налаштовані для ефективного впровадження та функціонування ГА.

У дата-центрах алгоритм сценарію віртуальних машин розподіляє різні ресурси, такі як фізичні машини, на віртуальні машини таким чином, що обмежує загальну кількість хостів шляхом вимкнення певних серверів.



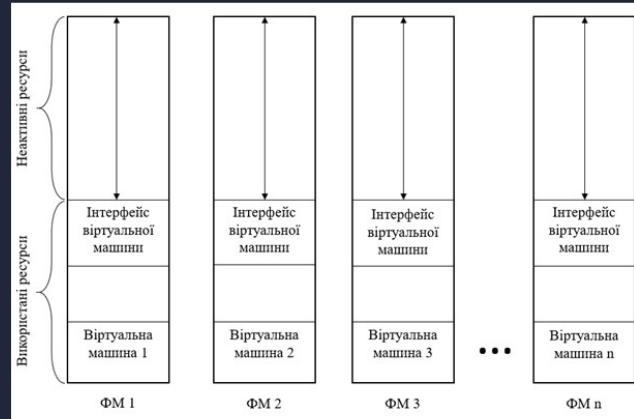
Метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Таким чином, застосування ГА дало змогу:

- зменшити об'єм обчислень функції пристосованості за допомогою простого обчислення, щоб зменшити загальну кількість ітерацій генетичного алгоритму вчасно;
- визначити необхідні умови та числові формулювання для забезпечення успішної спроби обчислення ГА;
- визначити межі для вимірювання та оцінки кількості фізичних машин, необхідних для виконання завдань;
- зменшити складність, обмежуючи кількість поколінь (комбінацій).

Метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Фізичні машини, їх використання та зайві ресурси



Реалізація методу

Результати досліджень

Трасування кластера (G)	Малий	Середній	Високий
Призначення віртуальних машин	1400	2600	4900
Фізичні машини	900	1200	2300

Публікації

- За темою кваліфікаційної роботи магістра опубліковані тези у матеріалах конференції XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій» 18-19 квітня 2024 р., Одеса, Україна

Висновки

1. У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було розроблено апаратно-програмні засоби оптимізації (систему-конфігуратор) енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.
2. У першому розділі досліджено методи оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів.
3. У другому розділі представлено опис моделювання енергоспоживання дата-центрів, зокрема організаційну модель енергоспоживання дата-центрів, моделювання енергоспоживання процесорного обладнання дата-центрів; енергоспоживання графічних процесорів; моделювання енергоспоживання пам'яті та потужності накопичувачів; моделі живлення пам'яті, жорстких дисків, твердотільних дисків; моделювання енергоспоживання серверів зберігання даних, моделювання енергоспоживання центрів обробки даних, моделювання енергоспоживання групи серверів, моделювання енергоспоживання мереж центрів обробки даних, зокрема: моделювання енергоспоживання мережевого каналу, мережевих пристроїв, мережевих інтерфейсів, оптичних мереж.

Висновки

4. У третьому розділі з метою подальшого розвитку методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів було розроблено методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин. Метод використовує технологію віртуальних машин, а процес оптимізації здійснюється застосуванням модифікованого генетичного алгоритму. Запропонований удосконалений метод використовує модифікований генетичний алгоритм для вирішення оптимізації використовуваних віртуальних машин у хмарному середовищі для зменшення енергоспоживання в дата-центрах. Експериментальні результати, отримані за допомогою впровадженого методу показали зменшення енергоспоживання на 5-8%.

5. У четвертому розділі описано практичну реалізацію методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин у вигляді системи-конфігуратора.

Результат експериментальних досліджень застосування системи-конфігуратора показали зменшення енергоспоживання дата-центрів на 5%.

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1016226851

Дата перевірки:
03.05.2024 18:55:57 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
03.05.2024 19:03:33 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Карцан_Метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із ви...

Кількість сторінок: 96 Кількість слів: 17098 Кількість символів: 134950 Розмір файлу: 454.74 KB ID файлу: 1016004945

13.8% Схожість

Найбільша схожість: 11.4% з Інтернет-джерелом (<https://c.coek.info/pdf-optimizing-energy-consumption-for-data-cente...>)

13.6% Джерела з Інтернету 946 Сторінка 98

1.08% Джерела з Бібліотеки 52 Сторінка 100

0.35% Цитат

Цитати 3 Сторінка 101

Не знайдено жодних посилань

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

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

Замінені символи 81

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 11%

ID: 125719 Назва: МКР Метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин Додано в БД: 2024-05-03 Автора: Карцан А.Р. Керівники: Лисенко С.М. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	112201	901	1604 (1%)	13 (1%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувач: Карцан Артур Русланович

Тема: Метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень —; кількість сторінок записки 83

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У роботі запропоновано апаратно-програмні засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Кваліфікаційна робота магістра відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі досліджено методи оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів.

У другому розділі представлено опис моделювання енергоспоживання дата-центрів.

У третьому розділі подано метод оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

У четвертому розділі описано практичну реалізацію методу оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин у вигляді системи-конфігуратора.

4. Позитивні сторони роботи: Запропонована система має практичну цінність у розроблених апаратно-програмних засобах оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин.

5. Негативні сторони роботи: В роботі присутній великий обсяг опису генетичного алгоритму

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: —

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному робота виконана на невисокому рівні.

8. Інші зауваження: —

9. Оцінка кваліфікаційної роботи:

Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої кваліфікаційної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «задовільно» 3.00 (E)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) д.т.н..
професор, Бармак О.В., завідувач кафедри комп'ютерних наук

“ 06 травня ” 2024р.



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

Карцан Артур Русланович

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2М-22-1

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, виключно 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.

22 квітня 2024 року



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

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

Назва: Метод та засоби оптимізації енергоспоживання інфраструктури дата-центрів із використанням віртуальних машин

Автор: Карцан Артур Русланович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Лисенко С.М., д.т.н, професор

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.	відповідає
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 дорацьована 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) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості Unichesk, складає 13.8% і адресується до 946 першоджерел; та системою Anti-Plagiarism складає 1%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС



С.М. Лисенко

О. С. Савенко

Т. О. Говорущенко