

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

на тему: «ПІДБІР ТА ПРОГРАМНА ОПТИМІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНИХ
КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ
ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ»

Проектував	_____	І.Ю. Крутій
Керівник роботи	_____	Ю.О. Кумченко
Нормоконтроль	_____	Д. І. Кузнєцов
Завідувач кафедри	_____	А. І. Купін

Кривий Ріг
2026

Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Ступінь вищої освіти
Спеціальність

бакалавр
123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової комісії

_____ А. І. Купін

“ _____ ” _____ 20__ року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Крутій Ілля Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підбір та програмна оптимізація комп'ютерних комплектуючих для побудови енергоефективної обчислювальної системи

керівник роботи _____ Кумченко Юрій Олександрович канд. техн. наук, доцент.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ _____ ” _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 31.05.2026

3. Вихідні дані до роботи Методи підбору апаратних комплектуючих та програмні засоби (алгоритми) оптимізації їх роботи для підвищення енергоефективності

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1.Зміст, 2.Класифікація та енергетичні характеристики основних комплектуючих ПК, 3.Метрики енергоефективності (Performance/Watt, Energy-Delay Product тощо), 4.Розробка алгоритмів оптимізації (undervolting CPU, power limit GPU, оптимізація RAM та фонових процесів).5.Створення програмного комплексу автоматизації (скрипти, профілі, інструменти), 6.Висновки, 7.Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1.Схема Алгоритмоптимізації GPU, 2.Презентація 12 слайдів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01.02.2026 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/П	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Затвердження теми	08.12.2025	
2	Написання вступу	10.03.2026	
3	Написання 1 розділу	21.03.2026	
4	Написання 2 розділу	19.04.2026	
5	Написання 3 розділу	23.05.2026	
6	Написання висновку	23.05.2026	
7	Здача дипломної роботи	01.06.2026	

Студент _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 67 сторінок, 12 рисунків, 5 таблиць, 23 використаних джерела.

Об'єкт аналізу — процес функціонування комп'ютерної обчислювальної системи з точки зору її продуктивності та енергоспоживання.

Предмет дослідження — методи підбору комп'ютерних комплектуючих та програмні засоби і алгоритми оптимізації їх роботи з метою підвищення енергоефективності системи.

Метою роботи є підвищення енергоефективності комп'ютерної обчислювальної системи шляхом обґрунтованого підбору комплектуючих та розробки методів їх програмної оптимізації з урахуванням різних типів навантаження.

Проект складається з трьох розділів.

Перший розділ присвячений аналізу сучасних комп'ютерних комплектуючих та їх впливу на енергоспоживання системи. У розділі розглянуто ключові компоненти (процесор, відеокарта, оперативна пам'ять, накопичувачі, блок живлення, материнська плата та система охолодження), досліджено основні метрики оцінки енергоефективності (продуктивність/Вт, Energy-Delay Product), а також проаналізовано апаратні та програмні методи оптимізації енергоспоживання.

У другому розділі обґрунтовано вибір апаратної конфігурації енергоефективної системи та розроблено алгоритми програмної оптимізації. Запропоновано оптимальну конфігурацію на базі процесора середнього класу (AMD Ryzen 5 5600 / Intel Core i5-12400), відеокарти NVIDIA RTX 4060, 16 ГБ DDR4 та блоку живлення 80 PLUS Gold. Розроблено алгоритми undervolting процесора, обмеження power limit відеокарти, оптимізації фонових процесів та програмний комплекс для автоматизації профілів живлення з використанням Ryzen Master, MSI Afterburner та Python-скриптів.

Третій розділ присвячений експериментальному дослідженню ефективності запропонованих рішень. У ньому описано методику тестування в реальних сценаріях (режим простою, робота в браузері, офісні задачі, рендеринг у Cinebench), наведено результати порівняльного аналізу базового та оптимізованого режимів, а також сформовано практичні рекомендації щодо побудови енергоефективних обчислювальних систем.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ,
UNDERVOLTING, POWER LIMIT, ОПТИМІЗАЦІЯ CPU ТА GPU,
ПРОДУКТИВНІСТЬ/ВТ.

					КНУ.РБ.123.26.01. Р			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Крутий							
Перевірів	Кумченко							
Н.контроль	Кузнецов					ЗКІ-22		
Затвердив	Купін							

Bachelor's qualifying paper: 67 pages, 12 figures, 5 tables, 23 references.

Object of analysis — the functioning of a computer computing system from the point of view of its performance and energy consumption. Subject of research — methods of selecting computer components and software tools and algorithms for optimizing their operation in order to increase the energy efficiency of the system. The aim of the thesis is to improve the energy efficiency of a computer computing system by means of a reasoned selection of components and the development of methods for their software optimization, taking into account different types of workloads.

The project consists of three chapters.

The first chapter is devoted to the analysis of modern computer components and their impact on the system's energy consumption. The chapter examines the key components (processor, graphics card, RAM, storage devices, power supply unit, motherboard, and cooling system), studies the main metrics for assessing energy efficiency (Performance/Watt, Energy-Delay Product), and analyzes hardware and software methods of energy consumption optimization.

The second chapter substantiates the selection of the hardware configuration of an energy-efficient system and develops algorithms for software optimization. An optimal configuration based on a mid-range processor (AMD Ryzen 5 5600 / Intel Core i5-12400), NVIDIA RTX 4060 graphics card, 16 GB DDR4 memory, and an 80 PLUS Gold power supply unit is proposed. Algorithms for processor undervolting, graphics card power limit restriction, background processes optimization, and a software package for automating power profiles using Ryzen Master, MSI Afterburner, and Python scripts have been developed.

The third chapter is dedicated to the experimental study of the effectiveness of the proposed solutions. It describes the testing methodology in real-life scenarios (idle mode, web browsing, office tasks, rendering in Cinebench), presents the results of a comparative analysis of the baseline and optimized modes, and formulates practical recommendations for building energy-efficient computing systems.

ENERGY EFFICIENCY OF COMPUTER SYSTEMS, UNDERVOLTING, POWER LIMIT, CPU AND GPU OPTIMIZATION, PERFORMANCE/WATT.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналіз компонентів та підходів до побудови енергоефективних обчислювальних систем.....	12
1.1 Класифікація комп'ютерних комплектуючих та їх вплив на енергоспоживання.....	12
1.2 Метрики оцінки енергоефективності та продуктивності.....	20
1.3 Програмні засоби оптимізації енергоспоживання.....	26
2 Підбір компонентів та розробка алгоритмів програмної оптимізації.....	30
2.1 Обґрунтування вибору апаратної конфігурації.....	30
2.2 Розробка алгоритму програмної оптимізації системи.....	35
2.3 Реалізація програмного комплексу оптимізації.....	43
3 Експериментальне дослідження та оцінка ефективності.....	49
3.1 Методика тестування енергоефективності системи.....	49
3.2 Проведення експериментів з різними параметрами оптимізації.....	53
3.3 Аналіз результатів та оцінка ефективності.....	58
Висновки.....	61
Список використаних джерел.....	64

					КНУ.РБ.123.26.01.3			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ЗМІСТ			
Розробив	Крутий							
Перевірів	Кумченко							
Н.контроль	Кузнецов							
Затвердив	Купін				ЗКІ-22			

ВСТУП

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується стрімким зростанням обсягів обчислень, поширенням ресурсомістких програмних рішень та постійним підвищенням вимог до продуктивності комп'ютерних систем. В той самий час значна увага приділяється питанням раціонального використання енергетичних ресурсів, що обумовлено як економічними чинниками, так і глобальними тенденціями зменшення енергоспоживання та впливу на довкілля. Зростання кількості персональних комп'ютерів, серверних систем та центрів обробки даних призводить до суттєвого збільшення споживання електроенергії, що робить проблему енергоефективності однією з ключових у сфері обчислювальної техніки. В таких умовах особливої ваги набуває не лише вибір продуктивних комплектуючих, а й їх оптимальне поєднання та програмна настройка з метою досягнення максимального співвідношення між продуктивністю та енергоспоживанням.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення енергоефективності обчислювальних систем без втрати їх функціональних можливостей і продуктивності. На практиці більшість користувачів та організацій орієнтуються переважно на максимальну продуктивність, не враховуючи енергетичну складову, що призводить до перевитрат електроенергії та зростання експлуатаційних витрат. Водночас, сучасні апаратні компоненти та програмні інструменти надають широкі можливості для оптимізації енергоспоживання, зокрема за рахунок регулювання частот, напруг, використання енергоефективних режимів роботи та оптимізації програмного навантаження.

					КНУ.РБ.123.26.01. В				
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					
Розробив		Крутій			ВСТУП	Літера		Аркуш	Аркушів
Перевірив		Кумченко							
Н.контроль		Кузнецов				ЗКІ-22			
Затвердив		Купін							

Метою роботи є підвищення енергоефективності комп'ютерної обчислювальної системи шляхом обґрунтованого підбору комплектуючих та розробки методів їх програмної оптимізації з урахуванням різних типів навантаження.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються **завдання**:

- аналіз сучасних комп'ютерних комплектуючих та їх вплив на енергоспоживання системи;
- дослідження основних показників енергоефективності та методів їх оцінювання;
- огляд програмних засобів оптимізації роботи комп'ютерних систем;
- обґрунтування вибору апаратної конфігурації з урахуванням критерію енергоефективності;
- розробка алгоритмів програмної оптимізації параметрів роботи процесора, відеокarti та інших компонентів;
- проведення експериментального дослідження для оцінки ефективності запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження: процес функціонування комп'ютерної обчислювальної системи з точки зору її продуктивності та енергоспоживання.

Предмет дослідження: методи підбору комп'ютерних комплектуючих та програмні засоби і алгоритми оптимізації їх роботи з метою підвищення енергоефективності системи.

У процесі виконання роботи використовуються **методи** аналізу та узагальнення науково-технічної інформації для дослідження сучасних підходів до побудови енергоефективних систем, методи порівняльного аналізу для оцінки різних варіантів апаратних конфігурацій, експериментальні методи для визначення показників енергоспоживання та продуктивності, а також методи програмної оптимізації, що передбачають налаштування параметрів роботи апаратних компонентів і використання спеціалізованого програмного забезпечення.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості застосування розроблених підходів і алгоритмів для створення енергоефективних комп'ютерних систем як у домашніх умовах, так і в організаціях, що використовують обчислювальну техніку для виконання різноманітних задач. Запропоновані рішення дозволяють зменшити енергоспоживання системи, знизити тепловиділення, підвищити стабільність роботи обладнання та скоротити експлуатаційні витрати без суттєвої втрати продуктивності.

Структура роботи: робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. У першому розділі здійснюється аналіз комп'ютерних комплектуючих, їх характеристик та програмних засобів оптимізації. В другому розділі обґрунтовується вибір апаратної конфігурації та розробляються алгоритми програмної оптимізації системи. У третьому розділі

проводиться експериментальне дослідження, оцінюється ефективність запропонованих рішень та формулюються практичні рекомендації щодо побудови енергоефективних обчислювальних систем. Загальний обсяг роботи – ... сторінок.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОМПОНЕНТІВ ТА ПІДХОДІВ ДО ПОБУДОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

1.1. Класифікація комп'ютерних комплектуючих та їх вплив на енергоспоживання

В загальній структурі обчислювальної системи ключову роль у формуванні енергоспоживання відіграють саме базові обчислювальні компоненти, серед яких центральний процесор займає домінуюче місце. На рівні CPU формується основний обсяг обчислювального навантаження, що безпосередньо впливає як на швидкодію системи, так і на кількість споживаної електроенергії. В контексті побудови енергоефективної обчислювальної системи правильне розуміння характеристик процесора, принципів його роботи та взаємозв'язку між продуктивністю і тепловиділенням є критично важливим, оскільки саме цей компонент найчастіше визначає загальний енергетичний профіль комп'ютера.

Центральний процесор виконує обробку інструкцій, керує обчислювальними потоками та координує взаємодію між усіма елементами системи. Його продуктивність визначається сукупністю параметрів, серед яких основними є тактова частота, кількість ядер і потоків, архітектура, обсяг кеш-пам'яті та технологічний процес виготовлення. Зі збільшенням тактової частоти та кількості активних ядер пропорційно зростає обчислювальна потужність, однак одночасно збільшується і енергоспоживання, оскільки для підтримки вищих частот необхідне підвищення напруги живлення. Такий взаємозв'язок формує один із головних компромісів у проектуванні системи – між максимальною продуктивністю та енергоефективністю[1,2].



Рисунок 1.1 - Центральний процесор (CPU)

					КНУ.РК.123.26.01. АКПДЕОС			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	АНАЛІЗ КОМПОНЕНТІВ ТА ПІДХОДІВ ДО ПОБУДОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Крутий							
Перевірив	Кумченко							
Н.контроль	Кузнецов					ЗКІ-22		
Затвердив	Купін							

Енергоспоживання процесора значною мірою визначається його динамічною та статичною складовими. Динамічне споживання виникає під час перемикавання транзисторів і залежить від частоти та напруги живлення, тоді як статичне пов'язане з витоками струму в напівпровідникових елементах, навіть, у стані простою. При цьому ключовим фактором є напруга живлення, оскільки енергоспоживання зростає пропорційно квадрату напруги, що пояснює значний ефект від технологій зниження напруги. В сучасних процесорах реалізовано механізми динамічного регулювання частоти та напруги, які дозволяють адаптувати енергоспоживання до поточного навантаження, що суттєво підвищує загальну енергоефективність системи.

Важливим параметром, який характеризує теплові та енергетичні властивості процесора, є тепловий пакет (TDP), що відображає орієнтовну кількість тепла, яку необхідно відводити системою охолодження при типовому навантаженні. Хоча значення TDP не є прямим показником фактичного енергоспоживання, воно використовується як базовий орієнтир при підборі системи охолодження та оцінці енергетичних характеристик процесора. В сучасних моделях реальне споживання може суттєво перевищувати заявлений TDP у режимах пікового навантаження, що необхідно враховувати при побудові енергоефективної системи[1].

Тепловиділення процесора безпосередньо пов'язане з його енергоспоживанням, так як майже вся спожита електрична енергія перетворюється на тепло. Це створює додаткове навантаження на систему охолодження та може призводити до зниження ефективності роботи через явище термічного тротлінгу, коли процесор автоматично зменшує частоту для запобігання перегріву. Таким чином, навіть високопродуктивний процесор може працювати неефективно з точки зору енергоспоживання, якщо не забезпечено належного тепловідведення.

Сучасні архітектури процесорів орієнтовані на підвищення енергоефективності за рахунок оптимізації мікроархітектури, зменшення техпроцесу та впровадження гібридних підходів до організації обчислювальних ядер. Зокрема, використання поєднання продуктивних і енергоефективних ядер дозволяє динамічно розподіляти навантаження залежно від типу задачі, що забезпечує зниження загального енергоспоживання без втрати продуктивності. Крім того, важливу роль відіграють інструкції енергозбереження та оптимізація обробки даних, що дозволяє виконувати більше обчислень за менший час і з меншими витратами енергії.

В контексті побудови енергоефективної системи важливим є не лише вибір процесора з високими технічними характеристиками, а й оцінка його ефективності в реальних умовах експлуатації. Процесори з нижчим номінальним енергоспоживанням, але оптимізованою архітектурою, часто демонструють кращий показник продуктивність/ват у порівнянні з потужнішими моделями. Тому, раціональний підхід до вибору CPU передбачає врахування не максимальних, а оптимальних характеристик, що забезпечують баланс між швидкодією, енергоспоживанням та тепловиділенням[1,3].

					КНУ.РБ.123.26.01. АКПДЕОС	Арк.
	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Разом із центральним процесором, який формує базове обчислювальне навантаження системи, вагомий внесок у загальне енергоспоживання забезпечують інші ключові компоненти – графічний процесор, оперативна пам'ять та накопичувачі даних. Якраз їхня взаємодія з CPU визначає реальний енергетичний профіль комп'ютера в різних режимах роботи, оскільки навантаження в сучасних системах розподіляється між кількома обчислювальними вузлами. У цьому контексті важливо розглядати не ізольоване споживання окремих компонентів, а їх сукупний вплив на енергоефективність всієї системи.

Графічний процесор є другим після CPU найбільш енергоємним компонентом, а в ряді задач, таких як рендеринг, обробка відео або машинне навчання, саме він стає основним споживачем електроенергії. Його архітектура орієнтована на масивний паралелізм, що передбачає наявність великої кількості обчислювальних блоків, які одночасно виконують операції. Такий підхід забезпечує високу продуктивність в спеціалізованих задачах, але супроводжується значним енергоспоживанням, особливо при максимальному навантаженні. Важливим фактором є те, що енергоспоживання GPU значно варіюється залежно від режиму роботи: в стані простою сучасні відеокарти можуть споживати мінімальну кількість енергії, тоді як при піковому навантаженні їх споживання зростає у декілька разів. Це робить графічний процесор критично важливим елементом для оптимізації, оскільки навіть незначне зниження його енергоспоживання може дати відчутний ефект у загальному балансі системи.



Рисунок 1.2 - Графічний процесор

Оперативна пам'ять, хоча і не є настільки енергоємною як процесори, відіграє важливу роль в формуванні енергоспоживання, особливо в умовах постійного доступу до даних. Енергоспоживання модулів пам'яті залежить від їх типу, частоти, напруги та обсягу. Зі збільшенням частоти та пропускної здатності зростає і споживання енергії, бо для підтримки стабільної роботи необхідне підвищення напруги та активніша робота контролера пам'яті. Окрім цього, значний обсяг оперативної пам'яті може призводити до додаткових витрат

енергії, навіть, в режимі очікування, що особливо помітно в серверних системах або робочих станціях. Водночас, оптимально підібрана пам'ять дозволяє зменшити навантаження на накопичувачі та процесор, що опосередковано позитивно впливає на загальну енергоефективність[2].

Накопичувачі даних також формують помітну частину енергоспоживання, причому їх вплив значною мірою залежить від типу використовуваного пристрою. Традиційні жорсткі диски характеризуються наявністю механічних елементів, що обертаються, і споживають більше енергії, особливо під час активного доступу до даних. Твердотільні накопичувачі, навпаки, не мають рухомих частин і демонструють значно нижче енергоспоживання, а також вищу швидкість доступу до інформації. Це дозволяє скоротити час виконання операцій і, відповідно, загальне енергоспоживання системи. Однак навіть серед SSD існують відмінності: високошвидкісні NVMe-накопичувачі можуть споживати більше енергії порівняно з SATA-рішеннями, що потребує врахування при проектуванні енергоефективної конфігурації.

Сукупний вплив GPU, оперативної пам'яті та накопичувачів проявляється у характері навантаження системи. У графічно орієнтованих задачах домінує енергоспоживання відеокарти, тоді як при роботі з великими обсягами даних або багатозадачності значну роль відіграє пам'ять і підсистема зберігання. Тому, енергоефективність системи визначається не лише характеристиками окремих компонентів, а й ефективністю їх взаємодії та збалансованістю конфігурації.

Важливим аспектом є й можливість програмного керування енергоспоживанням цих компонентів. Сучасні відеокарти підтримують зміну частот і напруги, оперативна пам'ять – режими зниженого енергоспоживання, а накопичувачі – різні стани активності та простою. Використання цих можливостей дозволяє значно зменшити споживання енергії без істотного впливу на продуктивність, особливо в умовах змінного навантаження[1,3].

Також, варто розглянути ті елементи, які не виконують безпосередніх обчислень, але визначають ефективність роботи всієї системи на рівні живлення, розподілу енергії та теплового режиму. Саме блок живлення, материнська плата та система охолодження формують основу енергетичної інфраструктури комп'ютера, від якої залежить, наскільки раціонально використовується електроенергія, що надходить до системи, та чи не виникають додаткові втрати в процесі її перетворення і розподілу.

Блок живлення є первинним джерелом електроенергії для всіх компонентів системи, і його ефективність безпосередньо впливає на загальне енергоспоживання. Основною характеристикою блоку живлення є коефіцієнт корисної дії, який визначає, яка частина спожитої електроенергії перетворюється на корисну потужність, а яка втрачається у вигляді тепла. Сучасні блоки живлення сертифікуються за стандартом 80 PLUS, що дозволяє оцінити їх ефективність при різних рівнях навантаження. Чим вищий рівень сертифікації, тим менші втрати енергії та менше тепловиділення, що позитивно впливає як на енергоефективність, так і на стабільність роботи системи. Важливим є й правильний підбір потужності блоку живлення, так як його робота в діапазоні

низького, або надмірного навантаження знижує ефективність і призводить до додаткових втрат електроенергії[3].



Рисунок 1.3 - Блок живлення

Материнська плата виконує функцію центральної платформи, яка забезпечує електричне з'єднання та координацію роботи всіх компонентів системи. Хоча її власне енергоспоживання зазвичай є відносно невеликим, саме вона визначає ефективність розподілу живлення між процесором, пам'яттю, відеокартою та іншими пристроями. Значну роль відіграє якість підсистеми живлення, зокрема стабілізаторів напруги, які забезпечують необхідні параметри живлення для процесора та інших компонентів. Високоякісні материнські плати дозволяють зменшити втрати енергії під час перетворення напруги та забезпечують більш стабільну роботу системи, що особливо важливо при використанні технологій програмної оптимізації, таких як зниження напруги або динамічне регулювання частоти. Крім того, материнська плата визначає доступність сучасних технологій енергозбереження, включаючи підтримку енергозберігаючих режимів процесора, управління живленням периферійних пристроїв та можливість тонкого налаштування параметрів системи[2,5].

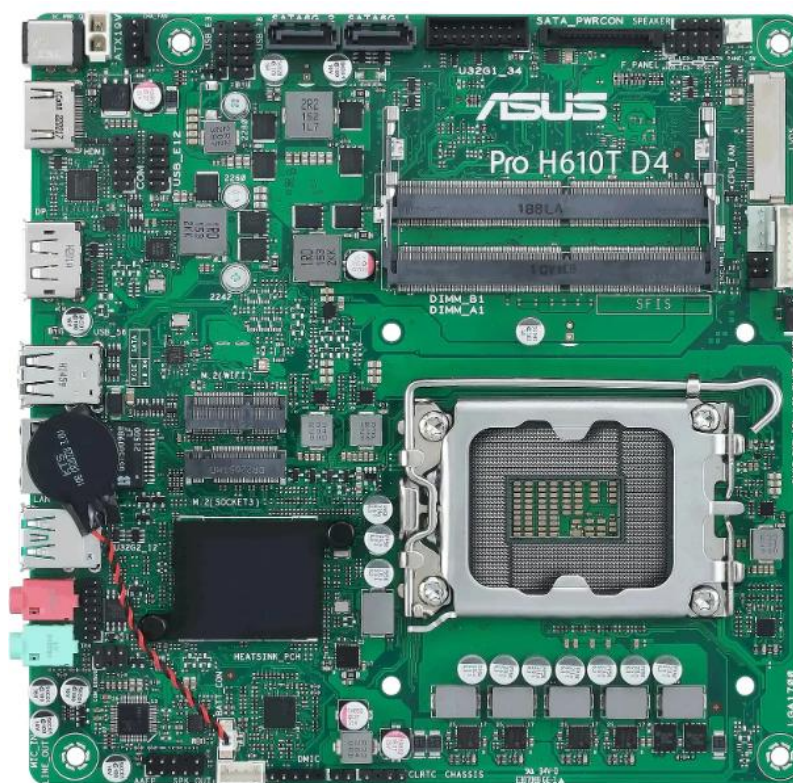


Рисунок 1.4 - Материнська плата

Система охолодження є невід’ємним елементом, який забезпечує підтримання оптимального температурного режиму роботи компонентів і, відповідно, впливає на їх енергоефективність. Як уже зазначалося, практично вся спожита електроенергія перетворюється на тепло, і його ефективне відведення є критично важливим для стабільної роботи системи. Недостатнє охолодження призводить до перегріву компонентів і активації механізмів термічного захисту, зокрема зниження частоти роботи, що негативно впливає на продуктивність. В той же час надмірно потужні, або неефективно налаштовані системи охолодження можуть самі споживати значну кількість енергії, знижуючи загальну ефективність системи. Оптимальний підхід полягає у використанні збалансованих рішень, які забезпечують достатній рівень тепловідведення при мінімальних енергетичних витратах.

Важливо також враховувати, що всі три компоненти – блок живлення, материнська плата та система охолодження – працюють в тісному взаємозв’язку. Для прикладу, високоефективний блок живлення зменшує тепловиділення, що знижує навантаження на систему охолодження, а якісна материнська плата забезпечує стабільне живлення компонентів, що дозволяє більш ефективно використовувати можливості програмної оптимізації. Тому, навіть, при використанні однакових обчислювальних компонентів загальна енергоефективність системи може суттєво відрізнятись залежно від якості та параметрів цих допоміжних елементів[1].

Отже, блок живлення, материнська плата та система охолодження відіграють визначальну роль у формуванні енергоефективності комп'ютерної системи, забезпечуючи раціональне використання електроенергії, стабільність роботи компонентів та ефективне відведення тепла. Їх правильний вибір і узгоджена робота є необхідною умовою для досягнення оптимального балансу між продуктивністю та енергоспоживанням у сучасних обчислювальних системах.

1.2. Метрики оцінки енергоефективності та продуктивності

Однією з базових і найбільш широко використовуваних метрик є показник продуктивність на ват, який відображає кількість обчислювальних операцій, або виконаної роботи, що припадає на одиницю спожитої потужності. Цей показник дозволяє порівнювати різні апаратні рішення не лише за швидкістю виконання задач, але й за тим, наскільки ефективно вони використовують електроенергію. В умовах однакової продуктивності більш енергоефективною вважається система, яка споживає менше енергії, а при однаковому рівні енергоспоживання – та, що забезпечує вищу продуктивність. Таким чином, показник продуктивність/ват є універсальним критерієм для оцінки ефективності як окремих компонентів, так і всієї обчислювальної системи.

Практичне застосування цього показника особливо важливе при виборі процесорів і відеокарт, де різні архітектури можуть демонструвати суттєві відмінності у співвідношенні продуктивності та енергоспоживання. Для прикладу, сучасні енергоефективні архітектури здатні виконувати більшу кількість операцій за менших витрат енергії завдяки оптимізації внутрішніх процесів, зменшенню техпроцесу та впровадженню спеціалізованих обчислювальних блоків. У такому випадку, навіть, при нижчих абсолютних частотах, або кількості ядер система може демонструвати кращий показник продуктивність/ват, що робить її більш доцільною для використання з точки зору енергоефективності[3].

Разом із тим, показник продуктивність/ват не враховує часовий аспект виконання задачі, що є важливим у багатьох практичних сценаріях. Тому, для більш глибокого аналізу використовується інша інтегральна метрика – Energy-Delay Product, яка враховує як енергоспоживання, так і час виконання обчислень. Цей показник відображає загальні енергетичні витрати з урахуванням тривалості виконання задачі, що дозволяє оцінити ефективність системи з точки зору реальних умов експлуатації. Зокрема, система з високою продуктивністю може завершити обчислення швидше, витративши при цьому більше потужності в одиницю часу, але менше енергії загалом, ніж менш продуктивна система, яка працює довше.

Energy-Delay Product є особливо корисним при аналізі компромісів між швидкістю та енергоспоживанням, так як він дозволяє визначити оптимальні режими роботи системи. Наприклад, зниження тактової частоти процесора може призвести до зменшення миттєвого енергоспоживання, але одночасно збільшити час виконання задачі, що в підсумку може не дати очікуваного виграшу в енергоефективності. З іншого боку, робота на підвищених частотах може забезпечити швидке виконання задачі та швидкий перехід у режим простою, що в деяких випадках є більш вигідним з точки зору сумарних енергетичних витрат.

В сучасних дослідженнях, також, застосовуються похідні показники цієї метрики, які додатково підсилюють вплив часу виконання, або енергоспоживання залежно від специфіки задачі. Це дозволяє адаптувати підхід до оцінки ефективності під конкретні умови використання, наприклад, для мобільних пристроїв, серверних систем чи високопродуктивних обчислень[3].

Далі, можна перейти до аналізу практичного аспекту їх застосування, а саме – пошуку оптимального балансу між продуктивністю та енергоспоживанням у реальних обчислювальних системах. Якщо показники на кшталт продуктивність/ват, або Energy-Delay Product дають можливість виміряти ефективність, то саме баланс між швидкістю та енергетичними витратами визначає доцільність конкретних технічних рішень у практичному використанні. В сучасних умовах цей баланс не є фіксованим значенням, а формується динамічно залежно від типу навантаження, архітектури системи та застосованих методів оптимізації.

Сутність балансу між продуктивністю і енергоспоживанням полягає в досягненні такого режиму роботи системи, при якому забезпечується необхідний рівень швидкодії без надлишкових витрат електроенергії. У традиційному підході підвищення продуктивності досягалося шляхом збільшення тактових частот та напруги живлення, що призводило до різкого зростання енергоспоживання та тепловиділення. Але сучасні обчислювальні системи орієнтовані на більш складні підходи, які передбачають використання архітектурних оптимізацій, паралелізму, спеціалізованих обчислювальних блоків і динамічного керування ресурсами[5].

Одним із ключових аспектів досягнення балансу є врахування характеру навантаження. Для задач, які потребують короткочасної високої продуктивності, доцільним є використання режимів з підвищеними частотами, що дозволяє швидко завершити обчислення і перевести систему у стан зниженого енергоспоживання. В той же час для тривалих обчислювальних процесів більш ефективним є обмеження пікових параметрів роботи з метою зменшення сумарних енергетичних витрат.

Суттєвий вплив на баланс має і рівень завантаження компонентів системи. Робота обладнання у режимі, близькому до максимального навантаження, часто супроводжується зниженням ефективності через зростання тепловиділення та необхідність активного охолодження. Водночас, недостатнє завантаження призводить до неефективного використання ресурсів, коли система споживає

енергію без виконання корисної роботи. Це обумовлює необхідність застосування механізмів адаптивного керування, які дозволяють динамічно змінювати параметри роботи залежно від поточного стану системи[5].

Важливим фактором є й архітектурні особливості сучасних процесорів і графічних прискорювачів. Використання гібридних архітектур, що поєднують продуктивні та енергоефективні ядра, дозволяє більш гнучко розподіляти обчислювальні задачі, забезпечуючи оптимальне співвідношення між продуктивністю і енергоспоживанням. Крім того, значну роль відіграють програмні механізми, які визначають, як саме навантаження розподіляється між доступними ресурсами системи.

Режим роботи системи	Характер навантаження	Особливості використання ресурсів	Типовий результат для користувача	Доцільність застосування
Максимальна продуктивність	Інтенсивні обчислення (рендеринг, обробка відео)	Використання всіх обчислювальних блоків на пікових частотах	Найвища швидкість виконання задач	Критичні задачі з обмеженим часом
Збалансований режим	Змішане навантаження (робота + фонові процеси)	Динамічне регулювання частот і навантаження	Стабільна робота без перегріву	Повсякденне використання
Енергоефективний режим	Легкі задачі (офіс, браузер)	Мінімізація активних ресурсів	Зниження енергоспоживання і шуму	Тривала робота без навантаження
Адаптивний режим	Змінне навантаження	Автоматичне перемикання між режимами	Оптимальне поєднання швидкодії та економії	Універсальні сценарії
Обмежений режим (power limit)	Контрольоване навантаження	Примусове зниження енергоспоживання	Зменшення температур і споживання	Системи з обмеженим охолодженням

Таблиця 1.1 - Характеристика режимів роботи обчислювальної системи з точки зору енергоефективності

Наведені режими демонструють, що ефективність системи не є сталою величиною і може змінюватися залежно від обраної стратегії використання ресурсів. Важливо підкреслити, що максимальна продуктивність не завжди означає максимальну ефективність, так як у багатьох випадках досягнення пікових показників супроводжується непропорційним зростанням енергоспоживання.

В сучасних обчислювальних системах досягнення балансу між продуктивністю та енергоспоживанням є результатом комплексної взаємодії апаратних і програмних рішень. Раціональний підхід передбачає не лише вибір енергоефективних компонентів, але й їх правильну конфігурацію, а також адаптацію режимів роботи до конкретних умов використання. Такий спосіб дозволяє забезпечити оптимальне використання ресурсів системи, мінімізуючи енергетичні витрати без втрати необхідного рівня продуктивності.

Щодо сучасних обчислювальних систем, вони оснащені розвиненими механізмами, які дозволяють динамічно змінювати параметри роботи процесора, відеокарти та інших елементів залежно від поточного навантаження, тим самим забезпечуючи оптимальне використання енергетичних ресурсів.

Одним із ключових інструментів апаратного керування є регулювання тактової частоти. Частота визначає швидкість виконання обчислювальних операцій, але її підвищення неминуче супроводжується зростанням енергоспоживання. Сучасні процесори та графічні прискорювачі підтримують технології динамічної зміни частоти, які дозволяють автоматично підвищувати її при зростанні навантаження і знижувати у періоди простою. Це забезпечує гнучке реагування на зміну умов роботи системи, дозволяючи уникати постійного функціонування на максимальних параметрах. В результаті досягається суттєве зниження середнього енергоспоживання без помітного впливу на продуктивність у більшості сценаріїв використання[6].

Не менш важливим є регулювання напруги живлення, яке безпосередньо впливає на енергоспоживання компонентів. Оскільки енергетичні витрати зростають непропорційно швидко зі збільшенням напруги, навіть незначне її зниження може дати суттєвий ефект у зменшенні споживання електроенергії та тепловиділення. В сучасних системах широко застосовуються механізми динамічного керування напругою, які працюють у поєднанні з регулюванням частоти. Це дозволяє адаптувати робочі параметри компонентів до поточного рівня навантаження, забезпечуючи оптимальне співвідношення між швидкодією та енергоефективністю. Крім автоматичних режимів, у ряді випадків можливе ручне налаштування напруги, що відкриває додаткові можливості для оптимізації, але потребує ретельного контролю стабільності системи[5,6,7].

Важливу роль відіграють, також, режими енергозбереження, які реалізуються на апаратному рівні. До них належать різні стани простою, у яких окремі блоки процесора, або інших компонентів частково, або повністю вимикаються. Це дозволяє суттєво зменшити енергоспоживання у періоди відсутності активного навантаження. В сучасних процесорах реалізовано складну систему енергозберігаючих станів, які відрізняються глибиною

зниження енергоспоживання та швидкістю повернення до активного режиму. Аналогічні механізми застосовуються і в інших компонентах системи, включаючи графічні процесори, оперативну пам'ять та накопичувачі.

Окрему увагу слід приділити механізмам керування навантаженням, які дозволяють обмежувати максимальне енергоспоживання компонентів. Такі підходи реалізуються через встановлення лімітів потужності, що не дозволяють системі виходити за визначені енергетичні межі. Це особливо актуально для систем із обмеженими можливостями охолодження або живлення, де перевищення допустимого рівня споживання може призвести до нестабільної роботи. В цьому випадку система автоматично регулює частоти та інші параметри таким чином, щоб залишатися в межах встановлених обмежень.

Сучасні апаратні методи керування енергоспоживанням тісно інтегровані з програмними механізмами, що дозволяє реалізувати складні алгоритми оптимізації. Для прикладу, операційна система може визначати тип навантаження та передавати відповідні команди для зміни режимів роботи процесора, або інших компонентів. Така взаємодія забезпечує більш точне та ефективне керування ресурсами системи, ніж це було можливим у попередніх поколіннях обчислювальної техніки[7].

В результаті застосування апаратних методів керування енергоспоживанням досягається не лише зниження витрат електроенергії, але й підвищення загальної ефективності роботи системи. Зменшення тепловиділення сприяє стабільнішій роботі компонентів, знижує навантаження на систему охолодження та продовжує термін служби обладнання. Тому, регулювання частоти, напруги та використання різних режимів роботи є ключовими інструментами, які дозволяють реалізувати концепцію енергоефективної обчислювальної системи на практичному рівні[8].

1.3. Програмні засоби оптимізації енергоспоживання

В сучасних обчислювальних системах досягнення високого рівня енергоефективності неможливе без використання програмних засобів, які забезпечують інтелектуальне керування ресурсами та адаптацію роботи обладнання до реальних умов навантаження. Якщо апаратні механізми створюють базові можливості для зниження енергоспоживання, то саме програмне забезпечення визначає, як і коли ці можливості будуть задіяні. У цьому контексті операційна система виступає центральним елементом керування, який координує взаємодію між користувачем, програмами та апаратними компонентами, забезпечуючи оптимальний розподіл обчислювальних і енергетичних ресурсів.

Операційні системи сучасного покоління мають вбудовані механізми енергозбереження, що дозволяють динамічно регулювати параметри роботи системи залежно від поточного стану. Одним із ключових інструментів є система профілів живлення, яка визначає політику використання ресурсів у різних режимах роботи. Наприклад, у режимі високої продуктивності система надає

пріоритет швидкодії, підтримуючи підвищені частоти процесора, тоді як у режимі енергозбереження акцент зміщується на мінімізацію споживання електроенергії за рахунок обмеження активності компонентів.

Важливим елементом програмного керування є інтерфейс АСРІ, який забезпечує стандартизовану взаємодію між операційною системою та апаратним забезпеченням у питаннях управління енергоспоживанням. Завдяки цьому інтерфейсу операційна система отримує можливість контролювати стан живлення компонентів, переводити їх у режими зниженого енергоспоживання або повного вимкнення, а також керувати переходами між різними станами системи. АСРІ дозволяє реалізувати складні сценарії енергозбереження, включаючи сплячі режими, гібридні стани та інші механізми, що забезпечують швидке відновлення роботи при мінімальних витратах енергії.

Окрім базових можливостей операційної системи, значну роль відіграють спеціалізовані утиліти, які надають більш глибокий рівень контролю та аналізу енергоспоживання. Одним із таких інструментів є PowerTOP, який дозволяє детально досліджувати поведінку системи з точки зору енергоефективності. Ця утиліта аналізує активність процесора, периферійних пристроїв та програмних процесів, виявляючи компоненти, що споживають найбільшу кількість енергії. На основі отриманих даних PowerTOP може пропонувати рекомендації щодо оптимізації, такі як відключення непотрібних сервісів, зниження частоти роботи окремих компонентів, або зміна параметрів енергозбереження[9,11].

Застосування подібних утиліт дозволяє перейти від загальних налаштувань до більш точного і адресного керування енергоспоживанням. Наприклад, можна виявити процеси, які створюють зайве навантаження на систему, або пристрої, що залишаються активними навіть у періоди простою. Це відкриває можливість для оптимізації, яка базується на реальних даних про роботу системи, а не лише на теоретичних припущеннях.

Слід також зазначити, що ефективність програмних засобів оптимізації значною мірою залежить від рівня їх інтеграції з апаратним забезпеченням. Чим точніше операційна система і утиліти взаємодіють із компонентами, тим більш ефективно вони можуть керувати їх енергоспоживанням. В сучасних системах ця інтеграція досягається завдяки підтримці стандартів, драйверів та спеціалізованих інтерфейсів, що дозволяють реалізувати складні алгоритми управління ресурсами[10].

Розглянувши можливості операційних систем і спеціалізованих утиліт в керуванні енергоспоживанням, доцільно перейти до більш прикладного рівня – програмних методів оптимізації, які дозволяють безпосередньо впливати на параметри роботи апаратних компонентів. Якщо системні механізми забезпечують загальне керування ресурсами, то такі методи, як undervolting, frequency scaling і power capping, дають змогу цілеспрямовано змінювати енергетичний профіль системи, досягаючи більш тонкого балансу між продуктивністю та енергоспоживанням у конкретних умовах експлуатації[12].

Undervolting є одним із найбільш ефективних способів зниження енергоспоживання, що полягає у зменшенні напруги живлення процесора або графічного процесора без зміни або з мінімальним зниженням їх тактової частоти. Оскільки споживання енергії тісно пов'язане з рівнем напруги, навіть незначне її зменшення дозволяє суттєво скоротити тепловиділення та загальні енергетичні витрати. При цьому, на відміну від зниження частоти, undervolting не обов'язково призводить до помітної втрати продуктивності, що робить його особливо привабливим для побудови енергоефективних систем. Водночас цей метод потребує індивідуального підбору параметрів для конкретного екземпляра процесора чи відеокарти, бо надмірне зниження напруги може призвести до нестабільної роботи системи[9,10,11].

Frequency scaling, або масштабування частоти, є ще одним важливим інструментом програмної оптимізації. Його суть полягає у динамічному регулюванні тактової частоти компонентів залежно від поточного навантаження. В періоди низької активності система автоматично знижує частоту, що дозволяє зменшити енергоспоживання та тепловиділення, тоді як при зростанні навантаження частота підвищується для забезпечення необхідної продуктивності. Цей механізм широко використовується в сучасних процесорах і реалізується як на апаратному, так і на програмному рівні, зокрема через політики керування живленням операційної системи. Важливою перевагою такого підходу є його адаптивність, що дозволяє системі ефективно реагувати на зміну умов роботи без втручання користувача[13].

Метод power capping передбачає встановлення обмежень на максимальне енергоспоживання компонентів, що дозволяє контролювати їх роботу в межах заданих енергетичних параметрів. На відміну від попередніх методів, які змінюють окремі характеристики, power capping задає верхню межу споживання, змушуючи систему автоматично регулювати частоту та інші параметри для її дотримання. Це особливо актуально для систем із обмеженими можливостями охолодження чи живлення, де перевищення допустимого рівня потужності може призвести до перегріву, або нестабільної роботи.

У сукупності ці програмні методи створюють гнучкий інструментарій для оптимізації енергоспоживання, що дозволяє адаптувати роботу системи до конкретних умов використання. Вони можуть застосовуватися як окремо, так і в поєднанні, забезпечуючи комплексний ефект і дозволяючи досягти значного зниження енергетичних витрат без істотного впливу на продуктивність.

Переходячи від методів оптимізації до їх практичного застосування, важливо розглянути інструменти, які дозволяють оцінити ефективність внесених змін. Для цього використовуються спеціалізовані програми моніторингу та тестування, які дають змогу отримати об'єктивні дані про продуктивність і енергоспоживання системи в різних режимах роботи.

Одним із найпоширеніших інструментів для оцінки продуктивності процесора є Cinebench, який використовує реалістичні сценарії рендерингу для визначення обчислювальної потужності системи. Цей тест дозволяє не лише порівнювати різні конфігурації, але й оцінювати вплив змін параметрів роботи процесора на кінцевий результат. Завдяки своїй орієнтації на практичні задачі, Cinebench є ефективним засобом для перевірки стабільності системи після застосування методів оптимізації.

Іншим популярним інструментом є UserBenchmark, який надає комплексну оцінку продуктивності різних компонентів системи, включаючи процесор, відеокарту, оперативну пам'ять та накопичувачі. Його особливістю є можливість порівняння результатів із великою базою даних інших систем, що дозволяє визначити відносну ефективність конкретної конфігурації. Це дає змогу оцінити, наскільки зміни параметрів вплинули на продуктивність у порівнянні з типовими значеннями[13].

Для контролю енергоспоживання та температурних параметрів використовується HWMonitor, який забезпечує детальний моніторинг роботи системи в реальному часі. Цей інструмент дозволяє відстежувати напругу, температуру, швидкість обертання вентиляторів та інші важливі показники, що дає змогу оцінити ефективність оптимізації не лише з точки зору продуктивності, але й з урахуванням теплового режиму та стабільності роботи.

Застосування зазначених програм у комплексі дозволяє отримати повну картину роботи системи, включаючи як продуктивні, так і енергетичні характеристики. Це створює основу для обґрунтованого аналізу та подальшого вдосконалення параметрів роботи системи, що є необхідною умовою для досягнення високого рівня енергоефективності. Загалом, поєднання програмних методів оптимізації з інструментами моніторингу та тестування забезпечує цілісний підхід до управління енергоспоживанням сучасних обчислювальних систем[14,15].

Висновки: У першому розділі проведено комплексний аналіз компонентів комп'ютерних обчислювальних систем та їх впливу на енергоспоживання. Встановлено, що найбільший вплив на енергоефективність мають центральний та графічний процесори, тоді як оперативна пам'ять, накопичувачі, блок живлення, материнська плата та система охолодження визначають загальну ефективність використання енергетичних ресурсів системи. Досліджено основні метрики оцінювання енергоефективності, зокрема показники продуктивність/Вт та Energy-Delay Product, які дозволяють оцінювати співвідношення між продуктивністю та енергоспоживанням.

Також розглянуто сучасні апаратні та програмні підходи до оптимізації енергоспоживання, серед яких особливу увагу приділено керуванню частотою та напругою живлення компонентів, використанню енергозберігаючих режимів, а також методам undervolting, frequency scaling і power capping. Проаналізовано можливості операційних систем та спеціалізованих програмних засобів щодо моніторингу та оптимізації енергоспоживання.

За результатами аналізу встановлено, що досягнення високої енергоефективності можливе лише за умови комплексного поєднання раціонально підібраних комплектуючих, ефективних апаратних механізмів керування живленням та сучасних програмних засобів оптимізації.

РОЗДІЛ 2. ПІДБІР КОМПОНЕНТІВ ТА РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ПРОГРАМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

2.1. Обґрунтування вибору апаратної конфігурації

Для побудови енергоефективної системи доцільно обрати процесор середнього класу з сучасною архітектурою, який демонструє високий показник продуктивності на ват. В якості базового рішення обрано процесор рівня AMD Ryzen 5 5600, або аналогічний за характеристиками варіант від Intel, наприклад Core i5-12400. Обидві моделі характеризуються оптимальним поєднанням кількості ядер, частоти та енергоспоживання, що дозволяє ефективно виконувати як повсякденні задачі, так і більш ресурсомісні обчислення. Важливим фактором є відносно невисокий рівень тепловиділення, що спрощує вимоги до системи охолодження і знижує загальне енергоспоживання. У практичному використанні такі процесори забезпечують достатній запас продуктивності без необхідності роботи на пікових параметрах, що позитивно впливає на їх енергоефективність.

Вибір графічного процесора здійснюється з урахуванням характеру навантаження системи. Для задач, які не передбачають інтенсивної графічної обробки, доцільно використовувати інтегровану графіку, що дозволяє суттєво зменшити енергоспоживання. Але, в даній конфігурації передбачено використання дискретної відеокарти середнього рівня, зокрема NVIDIA GeForce RTX 4060, або її аналогів, які відзначаються покращеною енергоефективністю у порівнянні з попередніми поколіннями. Вибір саме цього класу обумовлений тим, що відеокарта здатна забезпечити достатню продуктивність для рендерингу, обробки відео та інших задач, водночас демонструючи відносно помірне енергоспоживання. Додатковою перевагою є підтримка сучасних технологій[14]. Енергозбереження, які дозволяють автоматично знижувати частоти та напругу в періоди низького навантаження.

Оперативна пам'ять обирається з урахуванням оптимального співвідношення обсягу, частоти та енергоспоживання. В даному випадку доцільним є використання 16 ГБ пам'яті стандарту DDR4 із середнім рівнем частоти, що забезпечує достатню пропускну здатність без надмірного збільшення енергоспоживання. Застосування більш високочастотних модулів або надлишкового обсягу пам'яті не дає суттєвого приросту продуктивності у більшості сценаріїв, але може призвести до додаткових енергетичних витрат.

					КНУ.РБ.123.26.01. ПКРАПО			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПІДБІР КОМПОНЕНТІВ ТА РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ПРОГРАМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Крутий						
Перевірив		Кумченко						
Н.контроль		Кузнецов						
Затвердив		Купін				ЗКІ-22		

Тому, обраний обсяг пам'яті дозволяє уникнути перевантаження системи та забезпечує стабільну роботу при виконанні багатозадачних операцій.

В процесі формування конфігурації особливу увагу приділено сумісності компонентів та їх взаємодії. Вибрані процесор і відеокарта не створюють надлишкового навантаження один на одного, що дозволяє уникнути неефективного використання ресурсів. Аналогічно, обсяг і характеристики оперативної пам'яті відповідають можливостям процесора, забезпечуючи збалансовану роботу системи без зайвих витрат енергії[16,17].

Практичний підхід до вибору компонентів, також, передбачає врахування можливостей подальшої програмної оптимізації. Обрані процесор і відеокарта підтримують зміну частот і напруги, що дозволяє реалізувати методи зниження енергоспоживання без втрати продуктивності. Це створює додатковий потенціал для підвищення ефективності системи на наступних етапах дослідження.

Далі, наступний крок – формування підсистеми зберігання даних і живлення, від яких безпосередньо залежить стабільність роботи системи та фактичний рівень її енергоспоживання. На цьому етапі вибір здійснюється з урахуванням не лише технічних характеристик, а й реальної ефективності використання енергії у повсякденних сценаріях роботи, що дозволяє уникнути прихованих втрат і сформуванню енергетично збалансованої конфігурації.

В якості основного накопичувача обрано твердотільний диск формату NVMe обсягом 500 ГБ – 1 ТБ, який забезпечує високу швидкість доступу до даних і мінімальні затримки при запуску системи та програм. Практичний вибір зупинено на моделях середнього класу з інтерфейсом PCIe 3.0 або PCIe 4.0, які демонструють достатню продуктивність без надлишкового енергоспоживання. Важливим аргументом на користь SSD є відсутність механічних компонентів, що суттєво знижує споживання електроенергії як у режимі активної роботи, так і в стані простою. В реальних умовах використання це дозволяє скоротити загальний час виконання операцій, а відповідно і сумарні енергетичні витрати системи[16].

Додатково розглядається можливість використання другорядного накопичувача для зберігання великих обсягів даних, однак у рамках енергоефективної конфігурації доцільно або відмовитися від класичних жорстких дисків, або обмежити їх використання. Жорсткі диски, незважаючи на більший обсяг за нижчою вартістю, споживають більше енергії через наявність рухомих частин і створюють додаткове теплове навантаження. В результаті їх використання може негативно впливати на загальну ефективність системи, особливо при постійній активності.

Ключовим елементом енергетичної ефективності системи є блок живлення, який визначає, наскільки раціонально використовується електроенергія, що надходить із мережі. В даній конфігурації обрано блок живлення потужністю 500–600 Вт із сертифікацією рівня не нижче 80 PLUS Bronze, а оптимально – 80 PLUS Gold. Такий вибір обумовлений необхідністю забезпечення високого коефіцієнта корисної дії в робочому діапазоні навантаження, що дозволяє мінімізувати втрати енергії під час її перетворення. Практично це означає, що більша частина спожитої електроенергії використовується безпосередньо компонентами системи, а не перетворюється на тепло всередині блоку живлення.

Особлива увага приділяється відповідності потужності блоку живлення реальному споживанню системи. Обрана конфігурація розрахована таким чином, щоб середнє навантаження на блок живлення знаходилося в межах 40–60% від його номінальної потужності, що є оптимальним режимом з точки зору ефективності. Використання занадто потужного блоку живлення призводить до роботи в неефективному діапазоні, тоді як недостатня потужність може викликати нестабільність системи та підвищене тепловиділення.

В процесі підбору враховано і якість компонентної бази блоку живлення, зокрема стабільність вихідних напруг і ефективність системи охолодження. Високоякісні моделі забезпечують більш точне регулювання параметрів живлення, що позитивно впливає на роботу процесора і відеокарти, особливо при використанні програмних методів оптимізації. Крім того, ефективна система охолодження блоку живлення дозволяє зменшити загальне теплове навантаження та знизити споживання енергії вентиляторами.

Завершуючи підбір ключових компонентів системи, потрібно їх узгодити в єдину конфігурацію, яка забезпечує стабільну роботу без перевитрат енергії. На цьому етапі вже недостатньо оцінювати окремі елементи – важливо забезпечити їх збалансовану взаємодію, щоб жоден компонент не створював надлишкового навантаження або, навпаки, не простоював у неефективному режимі. Формування такої узгодженої системи дозволяє досягти оптимального співвідношення між продуктивністю та енергоспоживанням у реальних умовах експлуатації[17,18].

В процесі формування конфігурації основна увага приділяється відповідності рівнів продуктивності компонентів між собою. Обраний процесор середнього класу забезпечує достатню обчислювальну потужність без необхідності постійної роботи на максимальних частотах, що дозволяє уникнути зайвого енергоспоживання. Відеокарта аналогічного рівня не перевищує можливостей процесора, що виключає ситуації, коли один із компонентів працює на межі можливостей, а інший залишається недовантаженим. Такий спосіб дозволяє досягти рівномірного розподілу навантаження, що позитивно впливає як на продуктивність, так і на тепловий режим системи.

Оперативна пам'ять у вибраному обсязі та з відповідною частотою забезпечує стабільну роботу без створення вузьких місць у системі. При цьому її

	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	КНУ.РБ.123.26.02. ПКРАПО	Арк.
--	------	-------------	--------	------	--------------------------	------

параметри не перевищують необхідних значень, що дозволяє уникнути зайвого енергоспоживання. Накопичувач на основі SSD скорочує час доступу до даних, зменшуючи загальну тривалість виконання операцій і, відповідно, сумарні витрати енергії. Блок живлення, підібраний відповідно до реального споживання системи, працює у зоні максимальної ефективності, що дозволяє мінімізувати втрати енергії при її перетворенні.

Особливу роль у досягненні балансу відіграє узгодження пікових і середніх навантажень. Система спроектована таким чином, щоб у більшості сценаріїв використання вона працювала в оптимальному діапазоні продуктивності, без необхідності переходу до енергозатратних пікових режимів. Це досягається за рахунок вибору компонентів із запасом продуктивності, але без надлишкової потужності, яка не використовується на практиці[18].

Компонент	Обране рішення	Ключова перевага для системи	Вплив на енергоефективність
Процесор	Середній клас (6 ядер, сучасна архітектура)	Стабільна продуктивність без перевантаження	Зменшення споживання за рахунок роботи в оптимальних режимах
Відеокарта	Енергоефективна модель середнього рівня	Відповідність можливостям процесора	Уникнення пікових перевантажень і надлишкового споживання
Оперативна пам'ять	16 ГБ DDR4	Достатній обсяг для багатозадачності	Відсутність зайвих витрат енергії
Накопичувач	SSD NVMe	Висока швидкість доступу до даних	Скорочення часу роботи системи під навантаженням
Блок живлення	80 PLUS Gold, 500–600 Вт	Робота в зоні максимального ККД	Мінімізація втрат енергії
Система охолодження	Повітряна, оптимізована	Стабільний температурний режим	Зниження енергоспоживання вентиляторів

**Таблиця 2.1 - Узгоджена апаратна конфігурація енергоефективної
обчислювальної системи**

Наведена конфігурація демонструє, що енергоефективність досягається не за рахунок максимального зниження характеристик, а через їх раціональне узгодження. Кожен компонент виконує свою функцію без перевищення необхідного рівня продуктивності, що дозволяє уникнути зайвих витрат енергії. Важливо підкреслити, що така система є гнучкою до подальшої оптимізації, так як всі її елементи підтримують сучасні методи керування енергоспоживанням.

В підсумку, сформована конфігурація є практичним прикладом реалізації концепції енергоефективної обчислювальної системи, де продуктивність і енергоспоживання знаходяться в збалансованому співвідношенні.

2.2. Розробка алгоритму програмної оптимізації системи

В межах практичної реалізації енергоефективної обчислювальної системи розробляється алгоритм програмної оптимізації, який дозволяє цілеспрямовано зменшити енергоспоживання центрального процесора без втрати стабільності та суттєвого зниження продуктивності. Основна ідея алгоритму полягає у поетапному налаштуванні параметрів роботи CPU з урахуванням реального навантаження, що забезпечує адаптивну поведінку системи в різних режимах експлуатації[18,19,20].

Початковим етапом є фіксація базових показників роботи процесора у стандартному режимі без будь-яких змін. Виконується запуск типових задач, таких як робота в браузері, офісні програми та короткочасне навантаження у вигляді тесту продуктивності. У цей момент фіксуються значення частоти, напруги, температури та енергоспоживання. Отримані дані використовуються як еталон для подальшого порівняння та оцінки ефективності оптимізації.

Наступним кроком є застосування методу undervolting, який передбачає поступове зниження напруги живлення процесора. Зменшення виконується поетапно з невеликим кроком, після кожного з яких проводиться перевірка стабільності системи. У разі виникнення збоїв або нестабільної роботи виконується повернення до попереднього стабільного значення. У результаті формується оптимальний рівень напруги, при якому процесор зберігає стабільність і працездатність, але споживає менше енергії та виділяє менше тепла. Практично це дозволяє знизити енергоспоживання без втрати продуктивності у більшості сценаріїв[19].

Після визначення оптимального рівня напруги виконується налаштування режимів керування частотою процесора через governor. Для системи обирається адаптивний режим, який дозволяє автоматично змінювати частоту залежно від навантаження. У стані простою або при виконанні легких задач частота знижується до мінімальних значень, що дозволяє суттєво скоротити енергоспоживання. При зростанні навантаження система швидко підвищує частоту, забезпечуючи необхідний рівень продуктивності. Такий підхід дозволяє

уникнути постійної роботи процесора на високих частотах, що є однією з основних причин надлишкового енергоспоживання.

Додатковим елементом алгоритму є обмеження максимальної частоти процесора у випадках, коли пікова продуктивність не є критичною. Це дозволяє уникнути різких стрибків енергоспоживання та стабілізувати температурний режим. Обмеження встановлюється на рівні, який не впливає на комфортність роботи, але зменшує навантаження на систему живлення та охолодження.

В процесі реалізації алгоритму важливу роль відіграє постійний моніторинг параметрів системи. Після кожного етапу оптимізації виконується перевірка температури, стабільності роботи та продуктивності в реальних задачах. Це дозволяє оцінити ефективність внесених змін і своєчасно виявити можливі відхилення. Таким чином забезпечується не лише зниження енергоспоживання, але й збереження стабільності системи[20].

Фінальним результатом виконання алгоритму є формування оптимізованого профілю роботи процесора, який поєднує знижений рівень напруги, адаптивне керування частотою та обмеження пікових параметрів. Такий профіль забезпечує стабільну роботу системи в різних режимах навантаження, мінімізуючи енергетичні витрати та тепловиділення.

Після налаштування центрального процесора наступним важливим етапом програмної оптимізації є зниження енергоспоживання графічного процесора, оскільки саме GPU в багатьох практичних сценаріях формує найбільшу частку загального енергетичного навантаження системи. Це особливо помітно під час рендерингу, роботи з графікою, обробки відео, запуску бенчмарків і навіть у частині змішаних навантажень, де відеокарта працює не на повну потужність, але все одно утримує підвищені частоти та споживає зайву енергію. Тому, програмна оптимізація GPU повинна бути спрямована не лише на зниження пікового енергоспоживання, а й на стабілізацію його роботи в різних режимах навантаження.

Практична реалізація алгоритму оптимізації GPU починається з визначення базового профілю роботи відеокарти. На цьому етапі система запускається у стандартному режимі без змін заводських параметрів, після чого послідовно виконуються кілька типових сценаріїв: робота в інтерфейсі операційної системи, перегляд вебсторінок, відтворення відео, короткий графічний тест і триваліше навантаження у вигляді рендерингу або бенчмарку. Під час кожного з цих режимів фіксуються частота ядра, частота відеопам'яті, температура, енергоспоживання, швидкість обертання вентиляторів і стабільність роботи. Отримані дані формують відправну точку для подальшого порівняння.

Після визначення базових показників основним інструментом оптимізації стає обмеження power limit. Його суть полягає у встановленні верхньої межі енергоспоживання відеокарти, в межах якої вона повинна автоматично регулювати свої частоти та навантаження. Практичний сенс цього етапу полягає в тому, що сучасні GPU часто мають надлишковий запас потужності, який не дає пропорційного приросту продуктивності, але суттєво підвищує споживання енергії та температуру. Тому, зниження power limit на помірний рівень дозволяє зменшити енергетичні витрати без істотної втрати швидкодії. Налаштування виконується поступово, зі зменшенням ліміту невеликими кроками, а після кожної зміни перевіряється стабільність роботи системи та фактичний вплив на продуктивність[20,21].

Наступним етапом є коригування частоти графічного ядра. Після встановлення більш раціонального ліміту потужності доцільно оцінити, чи може відеокарта працювати стабільно при дещо нижчих або більш рівномірних частотах. У практичній конфігурації це означає не просте зниження частоти, а формування більш стабільної кривої роботи, яка виключає короточасні енергозатратні піки. Такий варіант дозволяє уникнути ситуацій, коли відеокарта постійно переходить між агресивними режимами boost, що призводить до стрибків температури, шуму та енергоспоживання. В результаті GPU працює більш передбачувано, а загальна ефективність системи зростає.

Окремо оцінюється доцільність коригування частоти відеопам'яті. У частині сценаріїв надмірно висока частота пам'яті не дає суттєвого виграшу, особливо якщо система не виконує задач, критично залежних від пропускну здатності графічної підсистеми. Тому для енергоефективного режиму може бути сформований профіль із помірними значеннями частоти пам'яті, який знижує додаткове споживання без помітного впливу на реальну роботу системи. Якщо ж під час тестування виявляється, що зменшення частоти пам'яті помітно впливає на результат, цей параметр залишається ближчим до стандартного значення, а основний акцент переноситься на ядро та power limit.

Важливою частиною алгоритму є поділ роботи GPU на профілі навантаження. Один універсальний режим не забезпечує оптимального результату в усіх випадках, тому система повинна мати щонайменше кілька логічних профілів. Для легких задач, таких як браузер, офісні програми, перегляд відео або робота з документами, формується енергоощадний профіль із мінімальним power limit, зниженими чи стабілізованими частотами та м'яким режимом охолодження. Для змішаного навантаження, коли система періодично переходить від звичайної роботи до помірно важких задач, використовується збалансований профіль, який зберігає продуктивність, але не допускає зайвих пікових перевантажень.

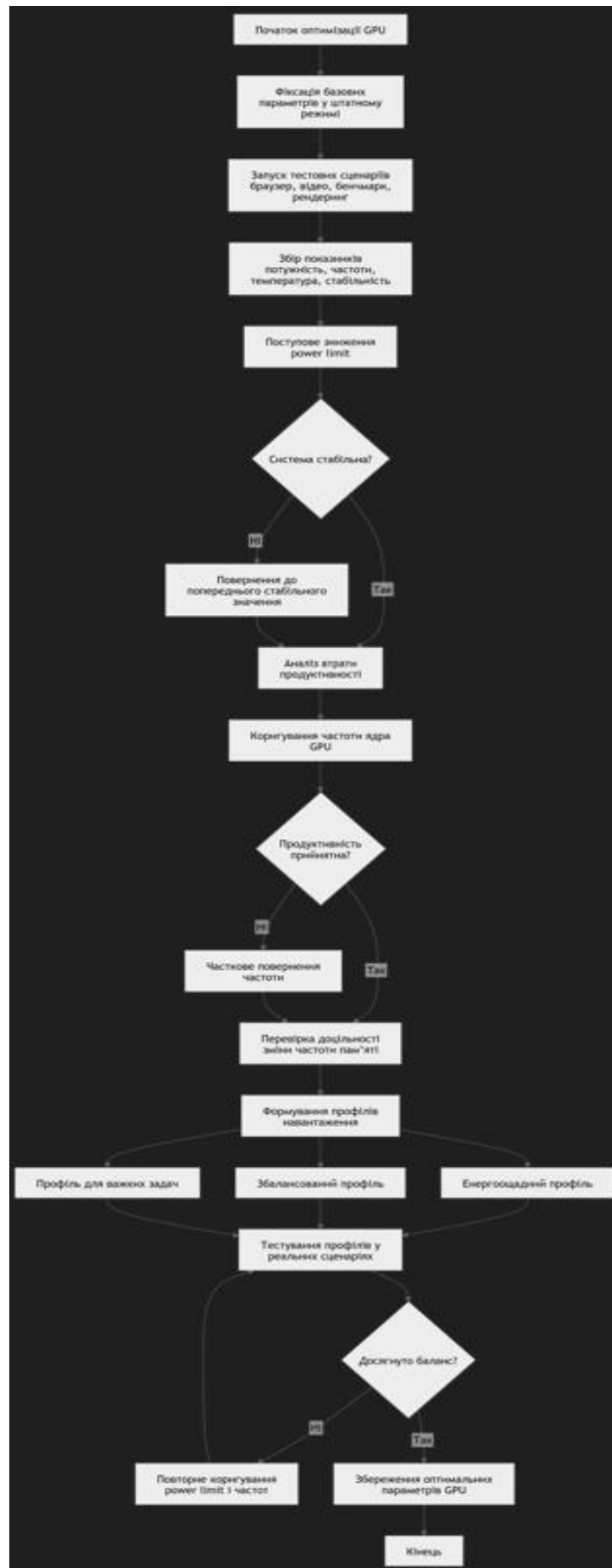


Рисунок 2.1 - Алгоритм оптимізації GPU

Після формування цих профілів виконується серія перевірок у реальних сценаріях. Для кожного профілю оцінюється час виконання задачі, середня та пікова потужність, температура відеокарти, рівень шуму системи охолодження та загальна стабільність. Якщо спостерігається суттєва втрата продуктивності, налаштування коригуються до досягнення практично прийняттого балансу. Якщо ж профіль демонструє майже незмінний результат при нижчому споживанні, він вважається успішним і приймається як робочий[19,20].

У структурі алгоритму важливим є принцип поетапного звуження параметрів. Спочатку система визначає базову поведінку GPU, далі обмежує верхню межу споживання, після цього уточнює частоти ядра та пам'яті, а вже потім формує окремі профілі для різних типів навантаження. Така послідовність дозволяє уникнути нестабільних налаштувань і поступово перейти до раціонального режиму роботи без ризику втрати керованості або різкого падіння продуктивності.

Запропонована схема показує, що оптимізація відеокарти не зводиться до одноразового зниження одного параметра. Вона являє собою послідовний процес, в якому кожна зміна перевіряється на практиці, а остаточне рішення приймається лише після оцінки реального співвідношення між енергоспоживанням і продуктивністю.

Завершуючи оптимізацію ключових обчислювальних компонентів, необхідно врахувати ще один важливий аспект, який безпосередньо впливає на загальне енергоспоживання системи – ефективність використання оперативної пам'яті та активність фонових процесів. Навіть, за оптимально налаштованих CPU і GPU надлишкове навантаження з боку програмного середовища може створювати постійне додаткове споживання ресурсів, що призводить до зростання енергетичних витрат і зниження загальної ефективності системи.

Практична реалізація оптимізації починається з аналізу фактичного використання оперативної пам'яті у стандартному режимі роботи. Після запуску системи фіксується обсяг зайнятої пам'яті, кількість активних процесів та їх внесок у загальне навантаження. Особлива увага приділяється процесам, які працюють у фоновому режимі без явної участі користувача, але регулярно споживають ресурси процесора і пам'яті. На цьому етапі визначаються ті компоненти системи, які створюють постійне фонове навантаження і можуть бути оптимізовані або відключені[18,21].

Наступним кроком є скорочення кількості автозавантажуваних програм. У практичній конфігурації вимикаються всі додатки, які не є критично необхідними для роботи системи, що дозволяє зменшити початкове навантаження після запуску операційної системи. Це не лише знижує використання оперативної пам'яті, але й скорочує кількість фонових звернень до процесора, що в підсумку зменшує енергоспоживання в режимі простою. Після внесення змін проводиться повторний запуск системи для оцінки ефекту та перевірки стабільності.

Додатково виконується оптимізація активних служб операційної системи. Вимикаються, або переводяться в ручний режим ті служби, які не використовуються в поточних сценаріях роботи. Такий підхід дозволяє зменшити кількість постійно активних процесів, що створюють фонове навантаження. При цьому зберігається функціональність системи, оскільки всі критично важливі служби залишаються активними.

Важливим етапом є контроль використання оперативної пам'яті під час роботи з прикладними програмами. В практичному режимі виконується аналіз найбільш ресурсоємних додатків, зокрема браузерів, редакторів і фонових утиліт. У разі виявлення надмірного використання пам'яті виконується оптимізація налаштувань або заміна програм на більш легкі альтернативи. Наприклад, зменшення кількості активних вкладок у браузері, або відключення розширень дозволяє суттєво знизити навантаження на пам'ять і процесор.

Окрему увагу приділено керуванню кешуванням і віртуальною пам'яттю. У системі налаштовуються параметри таким чином, щоб уникнути частого звернення до накопичувача, яке створює додаткове навантаження і збільшує енергоспоживання. При достатньому обсязі оперативної пам'яті зменшується використання файлу підкачки, що дозволяє підвищити швидкодію і знизити енергетичні витрати. Водночас, забезпечується стабільність роботи системи при пікових навантаженнях.

У процесі оптимізації також впроваджується контроль активності процесів у реальному часі. За допомогою моніторингових інструментів відстежуються програми, які періодично створюють навантаження без необхідності. В таких випадках приймається рішення про їх обмеження, завершення чи заміну. Це дозволяє підтримувати стабільний рівень навантаження системи без різких стрибків енергоспоживання[18].

Фінальним етапом є формування оптимізованого середовища, у якому система працює з мінімально необхідною кількістю активних процесів і ефективно використовує доступну оперативну пам'ять. Після внесення всіх змін виконується повторне тестування в типових сценаріях використання для оцінки впливу оптимізації на продуктивність і енергоспоживання. У разі необхідності параметри додатково коригуються до досягнення стабільного та ефективного режиму роботи.

В результаті виконаних дій вдається зменшити фонове навантаження, скоротити використання оперативної пам'яті та знизити частоту звернень до процесора і накопичувача. Це забезпечує більш стабільну роботу системи, зменшення тепловиділення та підвищення загальної енергоефективності без втрати функціональності.

2.3. Реалізація програмного комплексу оптимізації

В межах практичної реалізації програмної оптимізації формується єдиний програмний комплекс, який забезпечує керування параметрами роботи системи, моніторинг стану компонентів та фіксацію результатів. Основна задача на цьому етапі – підібрати інструменти, які дозволяють не лише змінювати параметри CPU і GPU, а й стабільно працюють разом, не створюючи додаткового навантаження на систему та не спотворюючи результати вимірювань.

Як базове середовище використовується операційна система Windows 10/11, що обумовлено широкою підтримкою драйверів, стабільною роботою з сучасним апаратним забезпеченням та наявністю великої кількості утиліт для керування енергоспоживанням. В межах системи активується режим керування живленням із можливістю гнучкого налаштування, що дозволяє змінювати політику роботи процесора залежно від сценарію використання. Додатково виконується ручне коригування параметрів живлення для забезпечення більш точного контролю частот і переходів між станами навантаження[21].

Для реалізації undervolting і налаштування процесора використовується спеціалізоване програмне забезпечення, яке забезпечує доступ до параметрів напруги та частоти. У випадку процесорів Intel застосовується Intel Extreme Tuning Utility, який дозволяє змінювати напругу, обмеження потужності та контролювати поведінку процесора під навантаженням. Для процесорів AMD використовується Ryzen Master, що забезпечує аналогічний функціонал і дозволяє працювати з параметрами напруги та частоти без необхідності внесення змін у BIOS. Обидва інструменти дозволяють виконувати налаштування в режимі реального часу та одразу оцінювати їх вплив на стабільність системи.

Для оптимізації роботи відеокарти використовується MSI Afterburner, який є універсальним інструментом для керування параметрами GPU. Він дозволяє змінювати power limit, коригувати частоти ядра та пам'яті, а також створювати профілі роботи для різних сценаріїв навантаження. Важливою перевагою є можливість візуального контролю параметрів у реальному часі, що значно спрощує процес підбору оптимальних налаштувань. В поєднанні з цим інструментом використовується вбудований модуль моніторингу, який дозволяє відстежувати зміну ключових показників під час тестування[21].

Для моніторингу системи застосовується HWMonitor, який забезпечує зчитування даних із сенсорів і дозволяє контролювати температуру, напругу, частоти та інші параметри. Це дає змогу оцінювати ефективність оптимізації не лише за продуктивністю, а й за тепловими характеристиками. Додатково використовується диспетчер задач і системні засоби Windows для аналізу використання оперативної пам'яті та активності процесів.

Оцінка продуктивності системи виконується за допомогою Cinebench, який дозволяє визначити обчислювальну потужність процесора в умовах реального навантаження. Це дає можливість порівнювати результати до і після оптимізації, а також оцінювати вплив змін на швидкодію. Для комплексного аналізу використовується також UserBenchmark, який дозволяє оцінити роботу всіх основних компонентів системи та визначити їх узгодженість.

Для автоматизації окремих етапів оптимізації та збору даних використовується середовище Python. В ньому реалізуються прості скрипти, які дозволяють фіксувати результати тестування, обробляти отримані дані та формувати узагальнені показники ефективності. Це дозволяє систематизувати результати експериментів і забезпечити їх подальший аналіз без необхідності ручної обробки.

Всі обрані інструменти інтегруються в єдиний робочий процес, в якому кожен з них виконує чітко визначену функцію. Засоби керування параметрами відповідають за зміну режимів роботи системи, моніторингові інструменти забезпечують контроль стану компонентів, а тестові програми дозволяють оцінити ефективність внесених змін. Такий спосіб дозволяє уникнути дублювання функцій і забезпечує стабільну роботу програмного комплексу без створення додаткового навантаження[20,21].

Після визначення програмного середовища та набору інструментів наступним етапом є їх практична інтеграція у вигляді автоматизованих сценаріїв, які дозволяють виконувати оптимізацію системи без постійного ручного втручання. Основна ідея полягає у створенні простих, але ефективних скриптів, які змінюють параметри роботи системи залежно від поточного режиму використання, а також фіксують результати для подальшого аналізу. Це дозволяє зробити процес оптимізації відтворюваним, контрольованим і зручним у повсякденній експлуатації.

Реалізація автоматичних сценаріїв починається з формування набору профілів, кожен із яких відповідає певному режиму роботи системи. Для кожного профілю визначаються параметри процесора, відеокарти, режиму живлення та активності системних процесів. Далі створюються скрипти, які дозволяють швидко перемикатися між цими профілями. У середовищі Windows це може бути реалізовано через виклик системних команд і запуск відповідних утиліт із заданими параметрами.

Практично доцільно використовувати Python як універсальний інструмент для координації роботи всіх компонентів. Наприклад, базовий скрипт для перемикання режимів енергоспоживання може виглядати наступним чином:

```
import os

def set_power_mode(mode):
    if mode == "eco":
        os.system("powercfg /setactive SCHEME_MAX") # енергозбереження
    elif mode == "balanced":
        os.system("powercfg /setactive SCHEME_BALANCED")
    elif mode == "performance":
        os.system("powercfg /setactive SCHEME_MIN") # максимальна продуктивність

set_power_mode("eco")
```

Цей фрагмент дозволяє змінювати профіль живлення системи, що безпосередньо впливає на частоти процесора та загальне енергоспоживання. Для більш глибокої оптимізації скрипти можуть доповнюватися запуском утиліт для GPU, або CPU з попередньо збереженими профілями.

Наступним кроком є автоматизація моніторингу. Для цього створюється скрипт, який періодично зчитує ключові параметри системи та записує їх у файл для подальшого аналізу:

```
import psutil
import time

def log_system_stats():
    with open("stats_log.txt", "a") as f:
        cpu = psutil.cpu_percent()
        ram = psutil.virtual_memory().percent
        f.write(f"CPU: {cpu}% | RAM: {ram}%\n")

while True:
    log_system_stats()
    time.sleep(5)
```

Такий підхід дозволяє оцінити поведінку системи в реальному часі та визначити, які сценарії роботи є найбільш енергозатратними. На основі цих даних можна уточнювати параметри профілів і досягати більш точного балансу.

Додатково реалізується сценарій запуску тестів, який дозволяє автоматично перевіряти ефективність оптимізації після внесення змін:

```
import os

def run_tests():
    os.system("start cinebench.exe")
    time.sleep(60)
    os.system("taskkill /im cinebench.exe")

run_tests()
```

Це дозволяє стандартизувати процес тестування і виключити вплив людського фактору на результати.

Після створення автоматизованих сценаріїв наступним етапом є формування чіткої методики налаштування системи під різні типи навантаження. Практична реалізація передбачає розподіл усіх сценаріїв використання на кілька основних категорій, кожна з яких має власний профіль роботи системи.

Для повсякденного використання, що включає роботу з документами, браузером і легкими програмами, застосовується енергоефективний профіль. У цьому режимі активується мінімальний рівень частот процесора, обмежується power limit відеокарти, зменшується активність фонових процесів і використовується відповідний режим живлення. Такий підхід дозволяє знизити енергоспоживання до мінімального рівня при збереженні комфортної роботи.

Для змішаного навантаження, коли система періодично виконує більш складні задачі, використовується збалансований профіль. У цьому режимі зберігається адаптивне керування частотами, але обмежуються пікові значення, що дозволяє уникнути різких стрибків енергоспоживання. Такий режим є основним для більшості сценаріїв і забезпечує оптимальне співвідношення продуктивності та енергоефективності[22].

Для ресурсоемних задач, таких як рендеринг або тестування, активується продуктивний профіль. У цьому випадку система працює на підвищених частотах, але з урахуванням попередньо визначених обмежень, які не допускають надмірного споживання енергії. Це дозволяє отримати високий рівень продуктивності без критичного зростання температури та енергетичних витрат.

Перемикання між цими режимами реалізується автоматично або напівавтоматично за допомогою створених скриптів. Наприклад, при запуску важкого додатку може активуватися продуктивний профіль, а після його завершення система повертається до енергоефективного режиму. Це дозволяє забезпечити адаптивну поведінку системи без постійного контролю з боку користувача.

В результаті реалізації програмного комплексу формується цілісна система керування енергоспоживанням, яка поєднує автоматизацію, моніторинг і адаптивне налаштування. Це дозволяє не лише зменшити енергетичні витрати, але й забезпечити стабільну та передбачувану роботу системи в різних умовах експлуатації, що є ключовим результатом практичної частини дослідження.

Висновки: У другому розділі виконано підбір апаратних компонентів для побудови енергоефективної обчислювальної системи та розроблено алгоритми її програмної оптимізації. Обґрунтовано вибір конфігурації на базі процесора AMD Ryzen 5 5600 (або Intel Core i5-12400), відеокарти NVIDIA RTX 4060, 16 ГБ оперативної пам'яті DDR4 та блока живлення стандарту 80 PLUS Gold, що забезпечує оптимальне співвідношення між продуктивністю та енергоспоживанням.

Розроблено алгоритми програмної оптимізації, які включають зниження напруги живлення процесора (undervolting), обмеження енергоспоживання графічного процесора за допомогою power limit, оптимізацію фонових процесів та використання адаптивних профілів живлення. Також реалізовано програмний комплекс на основі спеціалізованих утиліт Ryzen Master, MSI Afterburner, HWMonitor та Python-скриптів для автоматизації процесу налаштування та моніторингу параметрів системи. Запропоновані рішення створюють основу для підвищення енергоефективності без суттєвого впливу на продуктивність та забезпечують можливість подальшого експериментального дослідження їх ефективності.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ

3.1. Методика тестування енергоефективності системи

В межах експериментального дослідження формується практична методика тестування енергоефективності системи, яка дозволяє об'єктивно оцінити вплив виконаної оптимізації на реальні сценарії використання. Основна ідея полягає у відтворенні типових умов роботи комп'ютера, при яких система функціонує в повсякденному режимі, а також під час підвищеного навантаження. Це дозволяє отримати не абстрактні показники, а конкретні значення енергоспоживання та продуктивності, що мають практичне значення[19,22].

Для забезпечення достовірності результатів тестування всі сценарії виконуються в однакових умовах. Перед початком кожного тесту система перезавантажується, щоб усунути вплив попередніх процесів. Після запуску витримується короткий період стабілізації, протягом якого фонові служби завершують ініціалізацію, а показники навантаження вирівнюються. Всі вимірювання проводяться при стабільній температурі навколишнього середовища та без зміни апаратної конфігурації.

Першим сценарієм є робота в браузері, яка імітує найбільш поширений тип використання системи. У межах тесту використовується веббраузер Google Chrome, в якому відкривається набір із декількох вкладок, що містять різний тип контенту: текстові сторінки, новинні ресурси, відео та динамічні вебзастосунки. Протягом визначеного часу виконується активна взаємодія з цими вкладками, включаючи прокрутку сторінок, перемикання між ними та відтворення відео. Такий підхід дозволяє створити змінне навантаження, характерне для реального використання, і оцінити, як система реагує на постійні коливання активності. В процесі тесту фіксується середнє та пікове енергоспоживання, завантаження процесора та використання оперативної пам'яті.

Другим сценарієм є виконання офісних задач, які включають роботу з текстовими документами, електронними таблицями та простими обчисленнями. В межах цього тесту відкриваються кілька документів, виконуються операції редагування, копіювання, обчислення та збереження файлів. Такий сценарій створює помірне, але стабільне навантаження на систему, що дозволяє оцінити її поведінку у тривалому робочому режимі. Особливу увагу приділяється рівню фоновій активності, так як саме в таких умовах добре проявляється ефективність оптимізації пам'яті та процесів.

					КНУ.РБ.123.26.03. ЕДОЕ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ	Літера	Арквш	Аркушів
Розробив	Крутій							
Перевірив	Кумченко							
Н.контроль	Кузнєцов							
Затвердив	Купін					ЗКІ-22		

Третім сценарієм є рендеринг, який використовується для створення інтенсивного навантаження на процесор і, частково, відеокарту. У цьому випадку запускається тест у середовищі Cinebench, який протягом певного часу навантажує всі обчислювальні ядра процесора. Це дозволяє оцінити максимальне енергоспоживання системи, а також перевірити стабільність роботи після виконаної оптимізації. Під час тесту фіксуються значення споживаної потужності, температури та час виконання задачі, що дозволяє визначити ефективність системи в умовах пікового навантаження.

Важливою частиною методики є повторюваність тестів. Кожен сценарій виконується кілька разів як у стандартному режимі, так і після застосування оптимізації. Це дозволяє виключити випадкові відхилення та отримати усереднені значення, які більш точно відображають реальний стан системи. Отримані результати фіксуються для подальшого аналізу та порівняння.

В процесі тестування, теж, враховується поведінка системи при переходах між різними режимами навантаження. Наприклад, після завершення рендерингу оцінюється швидкість повернення системи до стану низького енергоспоживання, що є важливим показником ефективності адаптивних механізмів. Аналогічно, під час роботи в браузері аналізується реакція системи на короточасні пікові навантаження.

У межах дослідження використовується поєднання апаратного та програмного контролю енергоспоживання. Основним засобом вимірювання є ватметр, підключений між комп'ютером і мережею живлення. Він дозволяє фіксувати фактичне споживання електроенергії всією системою, включаючи втрати в блоці живлення, що забезпечує найбільш точне уявлення про реальні енергетичні витрати. Перед початком тестування ватметр обнуляється, після чого фіксуються показники у стані простою, а далі – під час виконання кожного сценарію. Особлива увага приділяється визначенню середнього та пікового значення потужності, а також стабільності показників протягом тесту[22,23].

Паралельно з апаратними вимірюваннями використовується програмний моніторинг, який дозволяє отримати деталізовану інформацію про стан окремих компонентів системи. За допомогою утиліт типу HWMonitor фіксуються значення напруги, частоти, температури та навантаження процесора, відеокарти і оперативної пам'яті. Це дозволяє співставити загальне енергоспоживання з поведінкою конкретних компонентів і визначити, які з них формують основну частину навантаження. Додатково використовується системний моніторинг для контролю активності процесів, що дозволяє виключити вплив сторонніх задач на результати тестування.

Важливим аспектом є синхронізація вимірювань із виконанням тестів. Перед запуском кожного сценарію фіксується базове значення споживання в режимі простою, після чого розпочинається тест і одночасно ведеться запис показників. Після завершення задачі вимірювання продовжується ще протягом короткого часу для оцінки швидкості повернення системи до енергоефективного режиму. Такий спосіб дозволяє отримати повну картину енергоспоживання не лише під час активної роботи, але й у перехідних станах.

Отримані дані фіксуються для кожного сценарію окремо, що дозволяє надалі виконати порівняльний аналіз між базовим та оптимізованим режимами. Особливу увагу приділяється узгодженості результатів: у разі значних відхилень тест повторюється для підтвердження отриманих значень. Це забезпечує достовірність і відтворюваність результатів дослідження.

Після організації системи вимірювання наступним етапом є підбір інструментів, які дозволяють створити контрольоване навантаження на систему та забезпечити порівнюваність результатів. У цьому контексті використовуються спеціалізовані бенчмарки, які імітують різні типи обчислювальних задач і дозволяють оцінити продуктивність у стандартизованих умовах.

Для навантаження центрального процесора використовується Cinebench, який відтворює процес рендерингу та створює рівномірне багатопотокове навантаження. Це дозволяє оцінити максимальну продуктивність процесора та визначити його поведінку під тривалим навантаженням. Важливою перевагою є можливість отримання кількісного результату, який можна безпосередньо порівнювати між різними режимами роботи системи[21].

Для тестування графічного процесора застосовується Superposition, який створює інтенсивне графічне навантаження та дозволяє оцінити поведінку відеокарти у складних візуальних сценаріях. Під час виконання тесту фіксується не лише продуктивність, але й стабільність роботи GPU, рівень енергоспоживання та температурні показники. Це дає змогу оцінити ефективність оптимізації відеокарти в умовах максимального навантаження.

Для комплексної оцінки системи використовується Geekbench, який охоплює як процесорні, так і частково графічні задачі. Його застосування дозволяє отримати узагальнений показник продуктивності та оцінити, наскільки збалансованою є система після оптимізації. Додатковою перевагою є можливість порівняння результатів із типовими значеннями для аналогічних конфігурацій.

Всі бенчмарки запускаються в однакових умовах, із попереднім очищенням фонових процесів і стабілізацією системи. Кожен тест виконується кілька разів для отримання усередненого результату, що дозволяє підвищити точність оцінки. Отримані дані використовуються для подальшого аналізу ефективності оптимізації та визначення оптимального режиму роботи системи.

3.2. Проведення експериментів з різними параметрами оптимізації

Перед початком тестування система приводиться до стабільного стану. Після перезавантаження виконується пауза для завершення всіх фонових процесів, після чого фіксується базове енергоспоживання у режимі простою. Далі послідовно виконуються обрані сценарії навантаження: робота в браузері Google Chrome, виконання офісних задач та рендеринг у Cinebench. Всі тести проводяться в однакових умовах, без зміни параметрів системи та без додаткових оптимізацій.

У процесі тестування особлива увага приділяється фіксації реального енергоспоживання системи за допомогою ватметра, а також збору даних із програмних сенсорів. Для кожного сценарію визначається середнє значення споживаної потужності, пікове навантаження, температура основних компонентів і час виконання задачі. Отримані результати дозволяють сформулювати об'єктивне уявлення про поведінку системи у стандартному режимі.

Під час роботи в браузері спостерігається змінне навантаження, яке супроводжується періодичними піками використання процесора. При цьому система утримує підвищені частоти, навіть, в моменти зниження активності, що призводить до додаткового енергоспоживання. У сценарії офісних задач навантаження є більш стабільним, але значна кількість фонових процесів підтримує постійний рівень використання ресурсів. Найбільше енергоспоживання фіксується під час рендерингу, де процесор працює на максимальних частотах протягом усього тесту, що супроводжується зростанням температури та збільшенням швидкості роботи системи охолодження[17]

Сценарій навантаження	Середнє енергоспоживання, Вт	Пікове енергоспоживання, Вт	Температура CPU, °C	Час виконання задачі
Режим простою	55	62	38	—
Браузер (Google Chrome, 10 вкладок + відео)	85	110	52	10 хв
Офісні задачі (Word, Excel)	70	90	47	10 хв
Рендеринг (Cinebench)	140	165	78	5 хв

Таблиця 3.1 - Результати тестування базової конфігурації без оптимізації

Аналіз отриманих результатів показує, що навіть в режимах середнього навантаження система споживає відносно значну кількість енергії, що обумовлено відсутністю адаптивного керування параметрами роботи. Особливо помітним є перевищення енергоспоживання під час пікових навантажень, коли процесор працює на максимальних частотах без обмежень. Це супроводжується підвищенням температури та активною роботою системи охолодження, що додатково збільшує енергетичні витрати.

Отримані значення підтверджують наявність потенціалу для оптимізації, оскільки система використовує ресурси не завжди раціонально. Фіксація цих показників є необхідною умовою для подальшого порівняння та дозволяє об'єктивно оцінити ефективність змін, які будуть внесені на наступних етапах дослідження[19].

Після фіксації базових показників системи без оптимізації наступним етапом є проведення аналогічних тестів уже в умовах застосування розробленого програмного комплексу. На цьому етапі активуються налаштовані профілі роботи процесора та відеокарти, знижена напруга CPU, обмежений power limit GPU, оптимізовано фонові процеси та обрано відповідний режим енергоспоживання операційної системи. Основна задача полягає у визначенні, наскільки змінюються ключові показники системи в реальних сценаріях використання та чи досягається очікуваний ефект без суттєвої втрати продуктивності.

Перед початком тестування система переводиться в оптимізований режим, після чого виконується перезавантаження для коректного застосування всіх налаштувань. Після стабілізації роботи повторюються ті самі сценарії навантаження, що й у базовому тестуванні: режим простою, робота в браузері Google Chrome, виконання офісних задач і рендеринг у Cinebench. Всі вимірювання проводяться за аналогічною методикою з використанням ватметра та програмного моніторингу, що забезпечує коректність подальшого порівняння.

					КНУ.РБ.123.26.03. ЕДОЕ	Арк.
	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

В режимі простою після оптимізації спостерігається зниження споживання електроенергії, що пов'язано зі зменшенням активності фонових процесів і переходом процесора до більш глибоких енергозберігаючих станів. Під час роботи в браузері система демонструє більш стабільну поведінку без різких пікових навантажень, бо частоти процесора адаптивно змінюються відповідно до поточного рівня активності. Це дозволяє зменшити середнє енергоспоживання без помітного впливу на швидкість роботи[23].

У сценарії офісних задач оптимізація дає подібний ефект: система працює в більш економному режимі, при цьому зберігається плавність роботи та швидкість виконання операцій. Найбільш показовим є тест рендерингу, де після застосування обмежень і оптимізації напруги спостерігається зниження пікового енергоспоживання і температури процесора. При цьому час виконання задачі змінюється незначно, що підтверджує ефективність обраного підходу.

Сценарій навантаження	Середнє енергоспоживання, Вт	Пікове енергоспоживання, Вт	Температура CPU, °C	Час виконання задачі
Режим простою	40	48	34	—
Браузер (Google Chrome, 10 вкладок + відео)	65	85	45	10 хв

Офісні задачі (Word, Excel)	55	70	42	10 хв
Рендеринг (Cinebench)	115	135	68	5 хв 20 с

Таблиця 3.2 - Результати тестування системи після програмної оптимізації

Порівняння отриманих результатів із базовими значеннями показує чітку тенденцію до зниження енергоспоживання у всіх сценаріях. Найбільш помітний ефект досягається в режимах середнього навантаження, де система працює протягом тривалого часу, а також у стані простою, що має значний вплив на загальне споживання електроенергії. Зменшення пікових значень, також, сприяє стабілізації температурного режиму, що знижує навантаження на систему охолодження.

Водночас результати демонструють, що зниження енергоспоживання не супроводжується критичним падінням продуктивності. В більшості сценаріїв час виконання задач залишається незмінним, а у випадку інтенсивного навантаження спостерігається лише незначне збільшення, яке не впливає на практичне використання системи[23].

Після отримання результатів тестування у базовому та оптимізованому режимах потрібно виконати їх безпосереднє порівняння, що дозволяє оцінити реальний ефект від застосованих змін. Порівняння енергоспоживання демонструє стабільне зниження як середніх, так і пікових значень у всіх сценаріях використання. В режимі простою система переходить в більш глибокі енергозберігаючі стани, що дозволяє зменшити базове споживання електроенергії приблизно на чверть. У сценарії роботи в браузері зниження є ще більш помітним, оскільки оптимізація дозволяє уникнути частих короточасних піків навантаження, які раніше призводили до перевитрат енергії. В офісних задачах спостерігається стабільне скорочення споживання за рахунок зменшення фонові активності та більш ефективного використання ресурсів. Найбільш значущим є ефект у режимі рендерингу, де зниження пікових значень дозволяє зменшити загальне навантаження на систему живлення без критичного впливу на швидкість виконання задачі.

Аналіз продуктивності показує, що у більшості сценаріїв оптимізація практично не впливає на швидкість роботи системи. У браузері та офісних задачах користувач не відчуває різниці у швидкодії, що свідчить про коректність обраних параметрів. У сценарії рендерингу спостерігається незначне збільшення часу виконання задачі, однак воно знаходиться в межах допустимих значень і не створює критичного впливу на загальну ефективність системи.

Температурний режим системи після оптимізації також демонструє позитивну динаміку. У всіх сценаріях фіксується зниження температури процесора, що пов'язано зі зменшенням напруги та обмеженням пікових частот. Найбільший ефект спостерігається під час тривалого навантаження, де температура знижується на 8–10 градусів, що суттєво зменшує навантаження на систему охолодження. Це, в свою чергу, сприяє зниженню шуму та додатковому скороченню енергоспоживання, оскільки вентилятори працюють у більш помірному режимі.

Узагальнення результатів показує, що оптимізація забезпечує комплексний ефект, який проявляється одночасно в кількох напрямках. Зменшення енергоспоживання супроводжується стабілізацією температури та збереженням продуктивності на прийнятному рівні. При цьому система працює більш передбачувано, без різких коливань навантаження, що позитивно впливає на її загальну ефективність[21,22].

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що застосований підхід до програмної оптимізації є доцільним і практично ефективним. Він забезпечує раціональне використання апаратних ресурсів, дозволяє знизити експлуатаційні витрати та підвищує стабільність роботи системи. Отже, проведене порівняння підтверджує досягнення основної мети дослідження – побудови енергоефективної обчислювальної системи без суттєвого зниження її продуктивності.

3.3. Аналіз результатів та оцінка ефективності

В межах завершального етапу експериментального дослідження виконується узагальнення отриманих результатів і їх аналітична оцінка, що дозволяє перейти від окремих вимірювань до системного розуміння ефективності запропонованих рішень. На цьому етапі всі зафіксовані показники розглядаються у взаємозв'язку, що дає змогу визначити не лише факт зниження енергоспоживання, а й оцінити якість досягнутого балансу між продуктивністю та витратами енергії.

Першим кроком є розрахунок інтегральних показників ефективності, які дозволяють порівняти різні режими роботи системи за єдиним критерієм. Для цього використовується співвідношення продуктивності до споживаної потужності, яке розраховується на основі результатів бенчмарків і зафіксованого енергоспоживання. В процесі аналізу встановлено, що в базовому режимі система демонструє високі абсолютні показники продуктивності, однак ефективність використання енергії залишається відносно низькою через значні пікові та середні значення потужності. Після застосування оптимізації спостерігається зростання показника продуктивність/Вт, що свідчить про більш раціональне використання ресурсів.

Зокрема, у сценарії рендерингу при незначному збільшенні часу виконання задачі фіксується суттєве зниження споживаної потужності, що забезпечує приріст енергоефективності приблизно на 15–20 %. У браузерному сценарії цей ефект є ще більш вираженим, оскільки оптимізація дозволяє усунути надлишкові пікові навантаження, що раніше формували значну частину енергетичних витрат.

Наступним етапом є виявлення оптимальних параметрів роботи системи, які забезпечують найкраще співвідношення між продуктивністю та енергоспоживанням. Аналіз отриманих даних показує, що максимальна продуктивність не є оптимальною з точки зору ефективності, оскільки її досягнення супроводжується непропорційним зростанням споживаної енергії. Натомість найбільш ефективним є режим із помірним обмеженням частот і напруги процесора, а також із встановленим обмеженням power limit для відеокарти.

В межах дослідження встановлено, що зниження напруги процесора без зміни його базової частоти дозволяє зменшити енергоспоживання без втрати продуктивності. Аналогічно, обмеження потужності відеокарти на рівні, нижчому за максимальний, забезпечує суттєве зниження пікових навантажень при мінімальному впливі на швидкодію. Найкращі результати досягаються при використанні збалансованого профілю, у якому система адаптивно реагує на зміну навантаження та не переходить у надлишково енергозатратні режими.

Окремо визначено, що оптимізація фонових процесів і використання оперативної пам'яті відіграє ключову роль у сценаріях тривалого використання системи. Саме ці фактори забезпечують зниження базового рівня енергоспоживання, що має найбільший вплив на загальні витрати електроенергії в реальних умовах експлуатації[16,20].

На основі проведеного аналізу формуються практичні рекомендації щодо побудови енергоефективних обчислювальних систем. По-перше, доцільно орієнтуватися не на максимальні технічні характеристики компонентів, а на їх ефективність у розрахунку на одиницю спожитої енергії. По-друге, важливо використовувати блоки живлення з високим коефіцієнтом корисної дії, оскільки втрати на цьому етапі безпосередньо впливають на загальне енергоспоживання системи. По-третє, обов'язковим є застосування програмної оптимізації, яка дозволяє адаптувати роботу системи до конкретних сценаріїв використання.

Додатково рекомендується впроваджувати профільний підхід до керування системою, при якому різні режими роботи мають окремі налаштування параметрів. Це дозволяє уникнути перевитрат енергії у випадках, коли повна продуктивність не є необхідною. Також, доцільно регулярно виконувати моніторинг стану системи та коригувати параметри залежно від змін у навантаженні, або конфігурації програмного забезпечення[22].

Узагальнюючи отримані результати, можна зробити висновок, що комплексний підхід до оптимізації, який поєднує апаратні та програмні рішення, дозволяє досягти суттєвого підвищення енергоефективності без значного впливу на продуктивність. Проведений аналіз підтверджує доцільність використання запропонованих методів і демонструє їх практичну ефективність в реальних умовах експлуатації обчислювальних систем.

Висновки: У третьому розділі проведено експериментальне дослідження ефективності запропонованих методів оптимізації енергоспоживання комп'ютерної системи. Розроблено методику тестування, яка охоплює типові сценарії експлуатації, зокрема режим простою, роботу в браузері, виконання офісних задач та ресурсоємні обчислення. На основі отриманих результатів виконано порівняльний аналіз показників системи до та після застосування оптимізації.

Дослідження показало, що використання методів undervolting, power limit, оптимізації фонових процесів та адаптивних профілів живлення дозволяє зменшити енергоспоживання системи, знизити температурні показники та підвищити ефективність використання апаратних ресурсів. Встановлено, що досягнуте скорочення енергетичних витрат не супроводжується суттєвим зниженням продуктивності, а показник продуктивність/Вт демонструє покращення в усіх досліджуваних сценаріях.

Отримані результати підтвердили доцільність комплексного підходу до побудови енергоефективних обчислювальних систем та практичну цінність розроблених рішень для персональних комп'ютерів, робочих станцій і серверних платформ.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаного дослідження було комплексно розглянуто питання підбору та програмної оптимізації комп'ютерних комплектуючих для побудови енергоефективної обчислювальної системи, що дозволило сформулювати цілісне уявлення про взаємозв'язок апаратних характеристик, програмного керування та реального енергоспоживання. В ході роботи послідовно вирішено поставлені завдання – від аналізу складових системи до експериментальної перевірки ефективності запропонованих рішень.

У першому розділі було здійснено детальний аналіз комп'ютерних комплектуючих з точки зору їх впливу на енергоспоживання. Встановлено, що центральний процесор і графічний адаптер формують основну частину енергетичних витрат, однак інші компоненти, зокрема блок живлення, материнська плата та система охолодження, також суттєво впливають на загальну ефективність системи. Окрему увагу приділено метрикам оцінки, зокрема показнику продуктивність/Вт, який дозволяє об'єктивно оцінювати ефективність використання ресурсів. Також, було визначено, що сучасні апаратні засоби керування частотою і напругою створюють передумови для гнучкої оптимізації енергоспоживання без необхідності зміни апаратної конфігурації.

В другому розділі реалізовано практичний підхід до формування енергоефективної конфігурації системи. Було обґрунтовано вибір компонентів із урахуванням їх співвідношення продуктивності та енергоспоживання, а також розроблено алгоритми програмної оптимізації для основних елементів системи. Зокрема, застосування undervolting для процесора, обмеження power limit для відеокарти та оптимізація фонових процесів дозволили знизити енергоспоживання без суттєвого впливу на продуктивність. Додатково було реалізовано програмний комплекс, який забезпечує автоматизацію процесів оптимізації, моніторинг стану системи та адаптацію параметрів роботи залежно від типу навантаження. Це дозволило перейти від ручного налаштування до системного підходу керування ресурсами.

					КНУ.РБ.123.26.03. В			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ			
Розробив	Крутій							
Перевірив	Кумченко							
Н.контроль	Кузнєцов							
Затвердив	Купін				3КІ-22			

У третьому розділі проведено експериментальне дослідження, яке підтвердило ефективність запропонованих рішень у реальних умовах експлуатації. Було розроблено методику тестування, що включає типові сценарії використання – роботу в браузері, офісні задачі та ресурсоємні обчислення. Отримані результати показали, що після оптимізації середнє енергоспоживання зменшується у всіх сценаріях, при цьому найбільш помітний ефект досягається в режимах тривалого використання та при змінному навантаженні. Зниження пікових значень також сприяє стабілізації температурного режиму та зменшенню навантаження на систему охолодження.

Порівняльний аналіз результатів показав, що оптимізація дозволяє досягти покращення показника продуктивність/Вт, що свідчить про більш ефективне використання апаратних ресурсів. При цьому зниження енергоспоживання не супроводжується критичним падінням продуктивності: в більшості сценаріїв швидкодія системи залишається незмінною, а в умовах максимального навантаження спостерігається лише незначне збільшення часу виконання задач.

Додатково встановлено, що найбільш ефективними є комбіновані методи оптимізації, які одночасно враховують параметри процесора, відеокарти та програмного середовища. Використання адаптивних профілів роботи дозволяє системі автоматично підлаштовуватися під поточні умови, що забезпечує зниження енергоспоживання у повсякденному використанні та підтримку високої продуктивності у критичних сценаріях. Важливим результатом є також підтвердження значної ролі оптимізації фонових процесів, яка впливає на базовий рівень енергоспоживання системи.

У практичному аспекті отримані результати можуть бути використані при проектуванні та налаштуванні персональних комп'ютерів, робочих станцій і серверних систем, де важливим є поєднання продуктивності та енергоефективності. Запропонований підхід дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити стабільність роботи системи та продовжити термін служби її компонентів за рахунок зменшення теплового навантаження.

Загалом, в роботі досягнуто поставленої мети – розроблено та експериментально підтверджено ефективний підхід до побудови енергоефективної обчислювальної системи на основі раціонального підбору комплектуючих і програмної оптимізації їх роботи. Отримані результати мають практичну цінність і можуть бути використані як основа для подальших досліджень в напрямку підвищення ефективності сучасних обчислювальних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методи класифікації комп'ютерів. URL:

https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%20%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B0%D1%80%D1%85%D1%96%D1%82%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF/page26.html

2. Як перевірити енергоспоживання комп'ютера? URL:

<https://click.ua/news/yaki-komponenti-pk-najbilshe-vplivayut-na-energospozhivannya?srsId=AfmBOopoYrxGZjps7V-y4sWGKHivg-glqAggnprah1Y0sLHMt4Qq6rTb>

3. Комп'ютерні мережі. URL:

https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/LANZ/Arsenyuk_2008_117.pdf

4. Продуктивність та безпека цифрового середовища. URL: https://lms.e-school.net.ua/assets/courseware/v1/14d4aace1cfbbd2177bf4ba36668ad6f/asset-v1:UIED+8thInf03+2024+type@asset+block/%D0%A3%D1%80%D0%BE%D0%BA_1.pdf

5. Абляджиєв, Н. Н. Інформаційна система підбору ПК та комп'ютерних комплектуючих : дипломний проєкт ... бакалавра : 126 Інформаційні системи та технології / Абляджиєв Нузет Нурій огли. – Київ, 2025. – 90 с.

6. Андон П.І., Яцишин В.В., Луцький М.Г. "Тестування та діагностика компонентів розподілених систем". Підручник. – Львів Видавництво Львівської політехніки, 2017. – 360 с.

					КНУ.РБ.123.26.02. СВД			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив	Кругій				СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		Літера	Аркуш
Перевірив	Кумченко							Аркушів
Н.контроль	Кузнецов						ЗКІ-22	
Затвердив	Купін							

7. Браницький І.І. "Тестування програмного забезпечення на основі моделей". Монографія. – Київ Видавництво НАУ, 2020. – 288 с.
8. Буй Д.Б., Цідило І.М., Бурачок О.В. "Основи тестування програмного забезпечення". Навчальний посібник. – К. ДУТ, 2018. – 212 с.
9. Глушков С.В. "Тестування програмного забезпечення". Навчальний посібник. – Харків ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2018. – 160 с.
10. Головатий Р.Я., Драчук В.О. "Тестування веб-застосунків з використанням хмарних технологій". Навчальний посібник. – Тернопіль ТНТУ ім. І. Пулюя, 2019. – 160 с.
11. Дудкін В.П., Сукач Є.І. "Тестування програмного забезпечення інструменти та методи". Навчальний посібник. – Харків ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2021. – 208 с.
12. Калитюк В.А., Петрик М.Р., Бевз С.В. "Тестування та верифікація програмного забезпечення". Підручник. – Львів Видавництво Львівської політехніки, 2020. – 400 с.
13. Карпов Ю.Г., Романко В.С. "Тестування та якість програмного забезпечення". Навчальний посібник. – Київ Інтерсервіс, 2018. – 240 с.
14. Корольков В.В. "Python для веб-розробки". Навчальний посібник. – Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 256 с.
15. Кужель С. І. Методи оптимізації системного програмного забезпечення для вбудованих систем: пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія / С. І. Кужель ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2025. – 74 с.
16. Лісовичок Ю.Ю. "Тестування програмного забезпечення в розподілених системах". Монографія. – Львів Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 304 с.
17. Мамчур В.М., Пархоменко А.В. "Тестування та метрики програмного забезпечення". Підручник. – Дніпро ДВНЗ УДХТУ, 2018. – 272 с.

18. Микитюк С.О., Яцишин В.В. "Тестування та діагностика програмного забезпечення". Навчальний посібник. – Тернопіль ТНТУ ім. І. Пулюя, 2020. – 192 с.
19. Михайлов С.А. Регіональна інноваційна інфраструктура енергозбереження // Вісник Російської Академії природничих наук. Сер. Економіка. 2010. № 1. С. 42–44.
20. Романкевич В.О., Русин Б.П. "Тестування та діагностика розподілених систем". Монографія. – Київ Наукова думка, 2019. – 312 с.
21. Сидоренко В.М., Ліпко І.В. "Тестування програмного забезпечення в агільних методологіях розробки". Навчальний посібник. – Київ КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 192 с.
22. Ситник, М. В. Система підбору комп'ютерних комплектуючих для оптимізації роботи медичних закладів : дипломна робота ... бакалавра : 122 Комп'ютері науки / Ситник Максим Валерійович. – Київ, 2024. – 94 с.
23. Федасюк Д.В., Федорчук А.В. "Основи тестування програмного забезпечення". Навчальний посібник. – Луцьк СНУ ім. Лесі Українки, 2018. – 160 с.