

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ФАХОВИЙ БІЗНЕС-КОЛЕДЖ

Циклова комісія комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему

**МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ  
СИСТЕМ**

Виконав: студент групи 2К-22  
спеціальності

123 Комп'ютерна інженерія  
Ярослав ШЕВЧЕНКО

Керівник:

Майя ЛЮТА

Черкаси 2026

# ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ФАХОВИЙ БІЗНЕС-КОЛЕДЖ

Циклова комісія комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітня програма Комп'ютерна інженерія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувачка циклової комісії КІ та ІТ

\_\_\_\_\_ Наталя ФАЛЬЧЕНКО  
(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **З А В Д А Н Н Я**

### **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

\_\_\_\_\_ Шевченку Ярославу Сергійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи Методи оцінювання продуктивності комп'ютерних систем

Керівник роботи Люта Майя В'ячеславівна, викладач вищої категорії  
затверджені наказом закладу фахової передвищої освіти від «06» жовтня 2025 року № 84/1-у.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 02.06.2026

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: джерела з рекомендаціями по визначенню для продуктивності; стандарти апаратного забезпечення; програмні засоби визначення характеристик апаратного забезпечення

4. Зміст кваліфікаційної роботи: Визначення продуктивності; методи та інструменти для оцінювання продуктивності комп'ютерних систем; розрахунок продуктивності для комп'ютерного класу; формування рекомендацій для оновлення техніки

5. Дата видачі завдання 15.10.2025 р

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                                                | Терміни виконання етапів | Примітка про виконання |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1     | Вступ                                                                                              | 14.10.2025               |                        |
| 2     | Розділ 1 Теоретичні основи продуктивності комп'ютерних систем                                      | 09.12.2025               |                        |
| 3     | Розділ 2 Методи та інструменти оцінювання продуктивності                                           | 10.03.2026               |                        |
| 4     | Розділ 3 Практичне дослідження продуктивності комп'ютерної системи                                 | 28.04.2026               |                        |
| 5     | Висновки                                                                                           | 12.05.2026               |                        |
| 6     | Оформлення кваліфікаційної роботи (чистовий варіант)                                               | 26.05.2026               |                        |
| 7     | Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)               | 02.06.2026               |                        |
| 8     | Подання кваліфікаційної роботи на затвердження завідувачці циклової комісії (за 7 днів до захисту) | 10.06.2026               |                        |

Студент \_\_\_\_\_ Ярослав ШЕВЧЕНКО  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Майя ЛЮТА  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню методів оцінювання продуктивності комп'ютерних систем. У роботі розглянуто теоретичні основи продуктивності комп'ютерних систем, основні характеристики та показники її оцінювання, а також фактори, що впливають на ефективність функціонування апаратно-програмних комплексів. Досліджено сучасні методи оцінювання продуктивності, зокрема аналітичні та експериментальні підходи, використання бенчмарків і спеціалізованих програмних засобів тестування.

У практичній частині виконано дослідження продуктивності комп'ютерної системи на базі процесора AMD Ryzen 5 5600, графічного адаптера NVIDIA GeForce RTX 3060, 16 ГБ оперативної пам'яті та накопичувача Samsung 980 NVMe SSD. Проведено тестування основних компонентів системи із застосуванням програм Cinebench R23, CrystalDiskMark, 3DMark Time Spy та OCCT, здійснено аналіз отриманих результатів і розроблено рекомендації щодо підвищення продуктивності.

Результати дослідження можуть бути використані для оцінювання, оптимізації та модернізації комп'ютерних систем різного призначення.

Ключові слова: ПРОДУКТИВНІСТЬ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ, ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ, БЕНЧМАРКІНГ, ТЕСТУВАННЯ, ПРОЦЕСОР, ОПЕРАТИВНА ПАМ'ЯТЬ, НАКОПИЧУВАЧ SSD, КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ.

## **ABSTRACT**

The qualification thesis is devoted to the study of methods for evaluating the performance of computer systems. The paper examines the theoretical foundations of computer system performance, key performance indicators, and factors affecting the efficiency of hardware and software complexes. Modern performance evaluation methods are analyzed, including analytical and experimental approaches, benchmarking techniques, and specialized testing software.

The practical part includes a performance assessment of a computer system based on an AMD Ryzen 5 5600 processor, NVIDIA GeForce RTX 3060 graphics adapter, 16 GB of RAM, and a Samsung 980 NVMe SSD. Testing of the main system components was carried out using Cinebench R23, CrystalDiskMark, 3DMark Time Spy, and OCCT. The obtained results were analyzed, and recommendations for improving system performance were developed.

The results of the study can be used for the evaluation, optimization, and modernization of computer systems for various purposes.

**Keywords:** COMPUTER SYSTEM PERFORMANCE, PERFORMANCE EVALUATION, BENCHMARKING, TESTING, PROCESSOR, RAM, SSD STORAGE, COMPUTER ENGINEERING.

## ЗМІСТ

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                  | 3  |
| РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ .....         | 7  |
| 1.1 Поняття та основні характеристики продуктивності комп'ютерних систем .. | 7  |
| 1.2 Фактори, що впливають на продуктивність комп'ютерної системи .....      | 11 |
| 1.3 Основні показники оцінювання продуктивності.....                        | 14 |
| 1.4 Сучасні підходи до підвищення продуктивності комп'ютерних систем.....   | 17 |
| РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТИ ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ                    | 22 |
| 2.1 Аналітичні методи оцінювання продуктивності .....                       | 22 |
| 2.2 Експериментальні методи оцінювання продуктивності .....                 | 25 |
| 2.3 Використання бенчмарків для тестування продуктивності .....             | 27 |
| 2.4 Програмні засоби для вимірювання продуктивності комп'ютерних систем     | 31 |
| РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ.....     | 35 |
| 3.1 Характеристика досліджуваної комп'ютерної системи.....                  | 35 |
| 3.2 Проведення тестування продуктивності основних компонентів системи ..... | 37 |
| 3.3 Аналіз отриманих результатів тестування .....                           | 41 |
| 3.4 Рекомендації щодо підвищення продуктивності комп'ютерної системи .....  | 43 |
| ВИСНОВКИ.....                                                               | 47 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                            | 51 |

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку інформаційного суспільства характеризується стрімким зростанням ролі комп'ютерних систем у забезпеченні функціонування практично всіх сфер людської діяльності. Цифровізація економічних процесів, поширення хмарних технологій, розвиток систем штучного інтелекту, оброблення великих масивів даних та впровадження автоматизованих інформаційних систем формують підвищені вимоги до швидкодії, надійності та ефективності обчислювальної техніки. За таких умов продуктивність комп'ютерних систем стає одним із визначальних критеріїв їх функціональної придатності та конкурентоспроможності. Саме від рівня продуктивності залежить здатність системи забезпечувати необхідну швидкість виконання операцій, підтримувати стабільну роботу прикладного програмного забезпечення та ефективно використовувати наявні апаратні ресурси.

У сучасному середовищі комп'ютерні системи функціонують в умовах постійного збільшення обсягів інформації та ускладнення обчислювальних процесів. Зростання кількості користувачів інформаційних ресурсів, підвищення складності програмних продуктів і необхідність роботи з ресурсомісткими застосунками спричиняють функціональне навантаження на центральні процесори, оперативну пам'ять, підсистеми зберігання даних та мережеву інфраструктуру. Згідно вище зазначеному виникає потреба не лише у створенні потужного обладнання, а й у забезпеченні об'єктивного оцінювання його ефективності. Саме тому дослідження методів оцінювання продуктивності комп'ютерних систем набуває особливої актуальності як у теоретичному, так і в практичному аспектах.

Продуктивність комп'ютерної системи - є комплексною характеристикою, яка відображає здатність системи виконувати певний обсяг обчислювальних операцій протягом визначеного проміжку часу з урахуванням встановлених вимог до якості оброблення інформації. На формування показників продуктивності впливають особливості архітектури комп'ютерної системи, технічні параметри її складових компонентів, характеристики операційної системи та специфіка прикладного програмного забезпечення. Водночас ефективність роботи системи

значною мірою залежить від характеру навантаження, рівня оптимізації програмного коду та раціональності використання доступних ресурсів. Аргументована багатофакторність обумовлює необхідність застосування спеціальних методів аналізу, які отримують достовірну інформацію про реальний стан функціонування комп'ютерної системи.

Оцінювання продуктивності посідає важливе місце у процесі проектування, експлуатації та модернізації обчислювальних систем. Результати такого оцінювання дають можливість визначити рівень відповідності технічних характеристик поставленим вимогам, встановити причини зниження ефективності роботи, виявити критичні обмеження функціонування окремих компонентів та сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо їх усунення. У практичній діяльності оцінювання продуктивності використовується для вибору оптимальних конфігурацій обладнання, порівняння альтернативних технічних рішень, прогнозування поведінки системи під навантаженням і визначення доцільності її подальшого вдосконалення.

Сучасна теорія та практика комп'ютерних наук пропонує широкий спектр методів оцінювання продуктивності, які відрізняються принципами реалізації, точністю отриманих результатів та сферою застосування. Найбільш поширеними є аналітичні методи, які базуються на математичному моделюванні функціонування системи, експериментальні методи, які передбачають проведення безпосередніх вимірювань, а також імітаційне моделювання, що аналізує поведінку складних обчислювальних середовищ за різних умов експлуатації. Значного поширення набули програмні комплекси для бенчмаркінгу, які забезпечують можливість стандартизованого тестування центральних процесорів, графічних прискорювачів, підсистем пам'яті та накопичувачів даних. Використання зазначених інструментів формує передумови щодо отримання об'єктивних кількісних показників та підвищення достовірності оцінювання.

Актуальність теми дослідження визначена необхідністю вдосконалення підходів щодо аналізу ефективності функціонування комп'ютерних систем в умовах постійного розвитку інформаційних технологій. Зростання



обчислювальних потреб сучасного суспільства потребує застосування науково обґрунтованих методів оцінювання продуктивності, здатних забезпечити комплексний аналіз стану системи та створити основу для прийняття ефективних управлінських і технічних рішень. З позицій системного підходу комп'ютерна система розглядається як сукупність взаємопов'язаних компонентів, продуктивність яких формується в результаті їхньої спільної взаємодії. Процесний підхід досліджує ефективність виконання окремих операцій та визначає закономірності впливу внутрішніх і зовнішніх факторів на загальні показники функціонування системи.

Метою дипломної роботи - є комплексне дослідження методів оцінювання продуктивності комп'ютерних систем, визначення особливостей їх практичного застосування та обґрунтування рекомендацій щодо підвищення ефективності використання обчислювальних ресурсів.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань:

- дослідити теоретичні засади формування продуктивності комп'ютерних систем;
- розкрити змістовність основних показників та критеріїв оцінювання продуктивності;
- проаналізувати чинники, які впливають на ефективність функціонування комп'ютерних систем;
- охарактеризувати сучасні методи оцінювання продуктивності та визначити їх переваги й обмеження;
- дослідити програмні засоби та інструменти, які використовуються для вимірювання продуктивності;
- провести експериментальне оцінювання продуктивності комп'ютерної системи із застосуванням спеціалізованих програмних продуктів;
- здійснити аналіз отриманих результатів та розробити рекомендації щодо оптимізації роботи системи.

Об'єктом дослідження - комп'ютерні системи як складні програмно-апаратні комплекси, призначені для оброблення, зберігання та передавання інформації.

Предметом дослідження - виступають методи, моделі та інструментальні засоби оцінювання продуктивності комп'ютерних систем.

Практичне значення роботи зосереджене у можливості використання отриманих результатів щодо проведення комплексного оцінювання продуктивності комп'ютерних систем різного призначення. Запропоновані підходи до аналізу показників ефективності можуть бути використані під час модернізації обчислювальної техніки, оптимізації програмного забезпечення та підвищення раціональності використання апаратних ресурсів. Результати дослідження також формують практичний інтерес для фахівців у сфері інформаційних технологій, системного адміністрування та комп'ютерної інженерії.

## **РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ**

### **1.1 Поняття та основні характеристики продуктивності комп'ютерних систем**

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій продуктивність комп'ютерних систем належить до ключових категорій комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій. Від рівня продуктивності залежить здатність системи забезпечувати своєчасне виконання обчислювальних процесів, ефективно використовувати наявні ресурси та підтримувати стабільне функціонування в умовах різного рівня навантаження. Зростання складності програмних продуктів, поширення технологій штучного інтелекту та активне використання хмарних сервісів зумовлюють необхідність постійного контролю й оцінювання продуктивності комп'ютерних систем як на етапі проєктування, так і під час їх практичної експлуатації [6].

З позицій системного підходу комп'ютерна система являє собою складний комплекс взаємопов'язаних елементів, функціонування яких спрямоване на досягнення спільного результату. До таких елементів належать центральний процесор, оперативна пам'ять, пристрої зберігання інформації, мережеві компоненти та програмне забезпечення. Ефективність роботи кожного з них безпосередньо впливає на загальний рівень продуктивності системи. При цьому навіть високі характеристики окремого компонента не гарантують високої продуктивності всієї системи, оскільки кінцевий результат визначається узгодженістю взаємодії всіх складових.

Процесний підхід аргументує продуктивність як результат виконання сукупності взаємопов'язаних операцій, які забезпечують оброблення даних, їх збереження та передачу. У зазначеному випадку продуктивність визначається не лише технічними характеристиками обладнання, але й ефективністю організації процесів оброблення інформації. Чим менше часу витрачається на виконання

окремих операцій і чим раціональніше використовуються обчислювальні ресурси, тим вищим є загальний рівень продуктивності комп'ютерної системи.

У науковій літературі продуктивність комп'ютерної системи найчастіше трактується як здатність виконувати певний обсяг роботи за визначений проміжок часу відповідно до встановлених вимог щодо якості функціонування. Зазначений підхід оцінює не лише швидкість виконання обчислень, але й ефективність використання ресурсів системи. Фактично продуктивність виступає інтегральним показником, який відображає результативність функціонування апаратного та програмного забезпечення в конкретних умовах експлуатації [1].

Поняття продуктивності тісно пов'язане з категорією ефективності. Продуктивна система здатна забезпечувати максимальний результат за мінімальних витрат часу та ресурсів. Якщо система виконує значний обсяг обчислень, але при цьому споживає надмірну кількість ресурсів або характеризується нестабільною роботою, її продуктивність не вважається оптимальною. Саме тому сучасні підходи щодо оцінювання продуктивності враховують не лише швидкодію, а й рівень завантаження компонентів, енергетичну ефективність та стійкість до навантажень.

Формування продуктивності комп'ютерної системи залежить від великої кількості факторів. Вирішальне значення має архітектура процесора, яка визначає швидкість виконання інструкцій та ефективність оброблення даних. Функціональний вплив здійснює обсяг і швидкодія оперативної пам'яті, оскільки недостатність пам'яті призводить до збільшення кількості звернень до дискової підсистеми. Не менш важливими є характеристики накопичувачів інформації, пропускна здатність системної шини та рівень оптимізації програмного забезпечення. В умовах мережевої взаємодії додаткового значення набувають параметри передачі даних, від яких залежить швидкість обміну інформацією між окремими вузлами системи.

Особливістю продуктивності як наукової категорії є її динамічний характер. Значення показників продуктивності змінюються залежно від типу навантаження, кількості одночасно виконуваних процесів та умов функціонування системи.

Наприклад, система демонструє високі результати під час виконання офісних завдань, але виявляється недостатньо ефективною для складних інженерних розрахунків та обробки мультимедійного контенту. Саме тому оцінювання продуктивності здійснюється із застосуванням різних методик тестування, які враховують специфіку конкретних сценаріїв використання [7].

У сучасній комп'ютерній інженерії продуктивність розглядається як один із базових критеріїв якості комп'ютерної системи. Вона визначає рівень її конкурентоспроможності, економічної доцільності використання та здатності адаптуватися до нових технологічних вимог. Зростання продуктивності сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів, скороченню часу оброблення інформації та покращенню якості інформаційного обслуговування користувачів. Водночас недостатній рівень продуктивності постає причиною виникнення затримок у роботі програмного забезпечення, зниження пропускну здатності системи та збільшення експлуатаційних витрат.

Тому, продуктивність комп'ютерної системи є комплексною характеристикою, яка відображає результативність функціонування апаратно-програмного комплексу в конкретних умовах експлуатації. Її оцінювання визначає реальні можливості системи, виявляє чинники, які обмежують ефективність роботи, та формують обґрунтовані напрями подальшого вдосконалення технічних і програмних засобів.

Для комплексного оцінювання продуктивності комп'ютерної системи недостатньо враховувати лише швидкість виконання обчислень та технічні характеристики окремих компонентів. Необхідно здійснювати аналіз сукупності показників, котрі відображають ефективність функціонування системи в реальних умовах експлуатації, рівень використання ресурсів та здатність забезпечувати стабільну роботу за різних навантажень. Основні характеристики продуктивності комп'ютерних систем наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики продуктивності комп'ютерних систем

| Характеристика                     | Сутність показника                                                                  | Одиниця вимірювання                     | Основні фактори впливу                                | Практичне значення                                              | Наслідки низьких значень                                   | Методи оцінювання                               |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Швидкодія (Performance Speed)      | Відображає швидкість виконання обчислювальних операцій та оброблення даних системою | Секунди виконання завдання, MIPS, FLOPS | Частота процесора, архітектура CPU                    | Забезпечує швидке виконання програм та команд                   | Затримки в роботі застосунків, повільне реагування системи | Бенчмаркінг, тестування часу виконання операцій |
| Пропускна здатність (Throughput)   | Характеризує обсяг роботи, виконаний системою за одиницю часу                       | Операцій/с, транзакцій/с                | Кількість ядер процесора, пропускна здатність пам'яті | Дає змогу оцінити ефективність роботи при високих навантаженнях | Зниження продуктивності багатокористувачьких систем        | Навантажувальне тестування                      |
| Час відгуку (Response Time)        | Визначає проміжок часу між запитом користувача та отриманням результату             | Мілісекунди, секунди                    | Потужність процесора, навантаження системи            | Впливає на комфорт роботи користувача                           | Погіршення взаємодії з інформаційною системою              | Моніторинг системних подій                      |
| Завантаження процесора             | Відображає рівень використання ресурсів центрального процесора                      | %                                       | Кількість активних процесів                           | Дозволяє оцінити ефективність використання CPU                  | Перевантаження системи та зменшення швидкодії              | Засоби моніторингу ОС                           |
| Використання оперативної пам'яті   | Характеризує обсяг пам'яті, задіяний під час роботи системи                         | МБ, ГБ, %                               | Обсяг RAM, кількість програм                          | Визначає здатність системи працювати з великими обсягами даних  | Часті звернення до накопичувача та сповільнення роботи     | Моніторинг ресурсів пам'яті                     |
| Продуктивність дискової підсистеми | Відображає швидкість читання та запису інформації                                   | МБ/с, IOPS                              | Тип накопичувача, інтерфейс підключення               | Забезпечує швидке завантаження програм і файлів                 | Затримки під час доступу до даних                          | Тести накопичувачів                             |
| Масштабованість (Scalability)      | Характеризує здатність системи збільшувати продуктивність при розширенні ресурсів   | Коефіцієнт масштабування                | Архітектура системи, підтримка паралелізму            | Дозволяє адаптувати систему до зростання навантаження           | Обмеження подальшого розвитку інфраструктури               | Аналіз продуктивності при зміні конфігурації    |
| Надійність функціонування          | Відображає стабільність роботи системи протягом тривалого часу                      | Коефіцієнт безвідмовності               | Якість компонентів, температура роботи                | Забезпечує безперервність обчислювальних процесів               | Часті збої та втрата даних                                 | Стрес-тестування                                |
| Енергоефективність                 | Характеризує співвідношення продуктивності до споживаної енергії                    | FLOPS/Вт, Вт                            | Архітектура процесора, режими енергозбереження        | Дозволяє зменшити витрати на експлуатацію                       | Зростання енергоспоживання та вартості обслуговування      | Аналіз енергоспоживання                         |

|                        |                                                |                |                                             |                                                     |                                |                                   |
|------------------------|------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Мережна продуктивність | Відображає ефективність передачі даних мережею | Мбіт/с, Гбіт/с | Пропускна здатність каналу, затримки мережі | Забезпечує ефективний обмін інформацією між вузлами | Втрата швидкості обміну даними | Мережеве тестування та моніторинг |
|------------------------|------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|

Джерело: [1]

Таким чином, продуктивність комп'ютерної системи є багатокомпонентною характеристикою, яка сформована під впливом технічних параметрів апаратного забезпечення, особливостей програмного середовища та умов експлуатації. Її об'єктивне оцінювання передбачає аналіз комплексу взаємопов'язаних показників, серед яких провідне місце займають швидкодія, пропускна здатність, час відгуку, ефективність використання ресурсів і масштабованість системи. Саме комплексний підхід щодо дослідження продуктивності отримує достовірну інформацію про реальний стан функціонування комп'ютерної системи, виявити наявні обмеження та визначає перспективні напрями підвищення ефективності її роботи.

## 1.2 Фактори, що впливають на продуктивність комп'ютерної системи

Продуктивність комп'ютерної системи формується під впливом значної кількості взаємопов'язаних факторів, кожен із яких певною мірою визначає ефективність виконання обчислювальних процесів. У сучасних умовах комп'ютерна система являє собою складний програмно-апаратний комплекс, у межах якого результативність функціонування залежить не лише від потужності окремих технічних компонентів, але й від узгодженості їхньої взаємодії. З позицій системного підходу продуктивність необхідно розглядати як інтегральний результат роботи всіх елементів системи, оскільки навіть незначне погіршення характеристик одного компонента постає причиною зниження ефективності функціонування всього комплексу. Саме тому дослідження факторів впливу на продуктивність має важливе значення щодо розуміння закономірностей роботи комп'ютерних систем та визначення напрямів їх подальшої оптимізації [11].

У межах процесного підходу продуктивність розглядається як результат послідовного виконання операцій з обробки, передачі та зберігання інформації.

Ефективність кожного етапу залежить від конкретних технічних і програмних характеристик, які охарактеризовують швидкість виконання завдань та рівень використання ресурсів. При цьому продуктивність не є сталою величиною, оскільки її значення змінюється залежно від характеру навантаження, обсягів даних, кількості активних користувачів та умов експлуатації системи. Для отримання об'єктивної оцінки необхідно враховувати весь комплекс факторів, які прямо та опосередковано впливають на результативність функціонування комп'ютерної системи (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Основні фактори впливу на продуктивність комп'ютерної системи

| Фактор                             | Характеристика фактора                                       | Механізм впливу на продуктивність               | Позитивний вплив за оптимальних умов     | Негативний вплив за несприятливих умов                | Ступінь впливу | Практичні рекомендації                          |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------|
| Архітектура центрального процесора | Визначає організацію виконання команд та оброблення даних    | Впливає на швидкість виконання інструкцій       | Забезпечує високу швидкість системи      | Спричиняє уповільнення обчислень                      | Дуже високий   | Використання сучасних багатоядерних процесорів  |
| Тактова частота процесора          | Відображає кількість циклів роботи за секунду                | Визначає швидкість виконання команд             | Скорочує час оброблення інформації       | Знижує швидкість системи                              | Високий        | Підбір процесора відповідно до завдань          |
| Кількість ядер процесора           | Характеризує можливість паралельної обробки даних            | Дозволяє виконувати декілька процесів одночасно | Підвищує багатозадачність                | Обмежує продуктивність складних програм               | Високий        | Використання багатоядерних процесорів           |
| Кеш-пам'ять процесора              | Забезпечує швидкий доступ до часто використовуваних даних    | Скорочує затримки під час виконання команд      | Підвищує ефективність роботи CPU         | Збільшує час доступу до даних                         | Високий        | Використання процесорів із більшим обсягом кешу |
| Оперативна пам'ять (RAM)           | Забезпечує тимчасове зберігання даних                        | Впливає на швидкість доступу до інформації      | Покращує роботу багатозадачних середовищ | Викликає використання повільнішої віртуальної пам'яті | Дуже високий   | Збільшення обсягу RAM                           |
| Частота оперативної пам'яті        | Визначає швидкість передачі даних між пам'яттю та процесором | Впливає на швидкість системи                    | Забезпечує швидке виконання операцій     | Знижує продуктивність пам'яттєзалежних задач          | Середній       | Використання модулів із вищою частотою          |
| Тип накопичувача                   | Визначає швидкість читання та запису даних                   | Впливає на швидкість роботи файлової системи    | Скорочує час запуску програм             | Викликає затримки під час доступу до інформації       | Високий        | Використання SSD або NVMe-накопичувачів         |



|                                    |                                                                |                                                    |                                                |                                               |              |                                                         |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------|
| Пропускна здатність системної шини | Характеризує швидкість обміну даними між компонентами          | Забезпечує ефективну взаємодію пристроїв           | Підвищує загальну продуктивність               | Створює вузькі місця у роботі системи         | Високий      | Використання сучасних стандартів PCIe                   |
| Відеокарта (GPU)                   | Виконує графічні та паралельні обчислення                      | Прискорює оброблення графіки та складних обчислень | Забезпечує ефективну роботу графічних програм  | Обмежує можливості ресурсомістких застосунків | Високий      | Використання сучасних графічних прискорювачів           |
| Операційна система                 | Координує роботу апаратних ресурсів                            | Впливає на ефективність керування процесами        | Оптимізує використання ресурсів                | Спричиняє перевантаження системи              | Високий      | Регулярне оновлення системного програмного забезпечення |
| Якість програмного забезпечення    | Визначає ефективність алгоритмів та використання ресурсів      | Впливає на навантаження системи                    | Забезпечує раціональне використання ресурсів   | Створює надмірне навантаження                 | Дуже високий | Оптимізація програмного коду                            |
| Фонові процеси                     | Використовують ресурси системи паралельно з основними задачами | Зменшують доступний ресурсний потенціал            | Мінімальний вплив при правильному налаштуванні | Знижують швидкість системи                    | Середній     | Контроль автозавантаження програм                       |
| Рівень навантаження системи        | Відображає кількість одночасно виконуваних операцій            | Визначає інтенсивність використання ресурсів       | Забезпечує ефективне використання потужностей  | Викликає перевантаження компонентів           | Дуже високий | Балансування навантаження                               |
| Температурний режим                | Визначає умови функціонування апаратних компонентів            | Впливає на стабільність роботи обладнання          | Підтримує номінальну продуктивність            | Спричиняє тротлінг процесора та відеокарти    | Високий      | Використання ефективного охолодження                    |
| Стан електроживлення               | Забезпечує стабільність роботи обладнання                      | Впливає на надійність функціонування системи       | Гарантує стабільну роботу компонентів          | Призводить до збоїв та втрати даних           | Середній     | Використання якісних блоків живлення                    |
| Мережеві характеристики            | Визначають швидкість передачі даних у мережі                   | Впливають на функціонування мережевих сервісів     | Забезпечують швидкий обмін інформацією         | Викликають затримки та втрати пакетів         | Високий      | Оптимізація мережевої інфраструктури                    |
| Інформаційна безпека               | Включає антивірусний захист та засоби контролю доступу         | Впливає на споживання ресурсів системи             | Підтримує стабільність роботи та захист даних  | Може створювати додаткове навантаження        | Середній     | Раціональне налаштування засобів захисту                |
| Людський фактор                    | Відображає рівень кваліфікації користувачів та адміністраторів | Визначає ефективність налаштування системи         | Забезпечує раціональне використання ресурсів   | Спричиняє помилки конфігурації                | Середній     | Підвищення рівня цифрової компетентності                |

Джерело: [13]

Таким чином, продуктивність комп'ютерної системи є результатом комплексного впливу технічних, програмних, організаційних та експлуатаційних

факторів. Найбільший вплив на ефективність функціонування здійснюють характеристики процесора, параметри оперативної пам'яті, швидкодія накопичувачів та рівень оптимізації програмного забезпечення. Водночас навіть високопродуктивне обладнання не здатне забезпечити максимальну результативність за наявності нераціонального використання ресурсів, надмірного навантаження або помилок конфігурації. Тому, підвищення продуктивності комп'ютерної системи потребує комплексного підходу, який передбачає одночасне вдосконалення апаратної складової, оптимізацію програмного середовища та забезпечення належних умов експлуатації. Це створює передумови щодо досягнення стабільної роботи системи, ефективного використання ресурсів та підвищення загальної якості інформаційно-обчислювальних процесів.

### **1.3 Основні показники оцінювання продуктивності**

Оцінювання продуктивності комп'ютерних систем є одним із найважливіших напрямів дослідження ефективності функціонування сучасних обчислювальних комплексів. Будь-яка комп'ютерна система характеризується сукупністю кількісних та якісних параметрів, які відображають її здатність виконувати визначений обсяг роботи в конкретних умовах експлуатації. Саме тому об'єктивне визначення рівня продуктивності неможливе без використання системи показників, що дозволяють комплексно оцінити швидкодію, ефективність використання ресурсів, стійкість до навантажень та якість виконання обчислювальних процесів [17].

З позицій системного підходу показники продуктивності виступають інструментом аналізу функціонування комп'ютерної системи як цілісного програмно-апаратного комплексу. Кожен показник відображає окремий аспект роботи системи, проте лише їх сукупне дослідження забезпечує формування повного уявлення про реальний рівень ефективності її функціонування. Наприклад, висока швидкість виконання обчислень не завжди свідчить про високу продуктивність, якщо при цьому спостерігається надмірне споживання ресурсів або значне збільшення часу очікування користувачів.

У межах процесного підходу показники продуктивності аналізуються як критерії оцінювання окремих етапів оброблення інформації. Вони визначають ефективність виконання конкретних операцій, оцінюють якість використання обчислювальних ресурсів та виявляють компоненти, які стримують загальну результативність функціонування системи. Використання зазначених показників формує передумови для проведення комплексного моніторингу роботи комп'ютерної системи та прийняття обґрунтованих рішень щодо її модернізації або оптимізації.

Для характеристики продуктивності застосовується значна кількість показників, кожен із яких має власне функціональне призначення та сферу практичного використання. Найбільш поширені показники наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Основні показники оцінювання продуктивності комп'ютерних систем

| Показник                                 | Економіко-технічна сутність                                        | Формула або спосіб визначення                                     | Одиниця вимірювання     | Практичне значення                                      | Переваги використання                      | Обмеження та особливості                         |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Час виконання завдання (Execution Time)  | Відображає тривалість виконання конкретної обчислювальної операції | Вимірювання проміжку часу від початку до завершення процесу       | с, мс                   | Дає змогу оцінити швидкість роботи системи              | Простота визначення                        | Не враховує інтенсивність використання ресурсів  |
| Швидкість (Performance Speed)            | Характеризує обсяг роботи, виконаної за одиницю часу               | Обсяг роботи / час виконання                                      | операцій /с             | Визначає загальну ефективність системи                  | Дозволяє порівнювати різні конфігурації    | Залежить від типу навантаження                   |
| Пропускна здатність (Throughput)         | Відображає кількість завдань, виконаних за певний період часу      | Кількість виконаних операцій / одиниця часу                       | транзакцій/с, запитів/с | Дає оцінку продуктивності при інтенсивному навантаженні | Ефективний показник для серверних систем   | Не враховує затримки виконання                   |
| Час відгуку (Response Time)              | Характеризує швидкість реакції системи на запит користувача        | Час між надсиланням запиту та отриманням результату               | мс, с                   | Визначає комфортність використання системи              | Відображає якість взаємодії з користувачем | Значно залежить від навантаження                 |
| Завантаження процесора (CPU Utilization) | Показує ступінь використання обчислювальних ресурсів процесора     | Відношення часу активної роботи до загального часу функціонування | %                       | Оцінює ефективність використання CPU                    | Виявляє перевантаження процесора           | Не характеризує продуктивність інших компонентів |

|                                                       |                                                                                   |                                                         |                       |                                                           |                                            |                                         |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Використання оперативної пам'яті (Memory Utilization) | Відображає обсяг пам'яті, який використовується системою                          | Співвідношення зайнятої та доступної пам'яті            | %, ГБ                 | Контролює ефективність роботи RAM                         | Дає змогу виявляти дефіцит пам'яті         | Не визначає швидкість доступу до даних  |
| Швидкість читання даних                               | Характеризує інтенсивність отримання інформації з накопичувача                    | Обсяг прочитаних даних / час                            | МБ/с, ГБ/с            | Впливає на швидкість запуску програм                      | Дає змогу оцінити роботу накопичувачів     | Залежить від типу носія інформації      |
| Швидкість запису даних                                | Відображає інтенсивність збереження інформації                                    | Обсяг записаних даних / час                             | МБ/с, ГБ/с            | Визначає ефективність роботи дискової підсистеми          | Корисний при аналізі файлових операцій     | Залежить від архітектури накопичувача   |
| Кількість операцій введення-виведення (IOPS)          | Показує число операцій доступу до накопичувача за секунду                         | Кількість операцій за секунду                           | IOPS                  | Надає комплексну оцінку продуктивності сховищ даних       | Широко використовується для SSD-дисків     | Потребує спеціалізованого тестування    |
| FLOPS                                                 | Відображає кількість операцій з плаваючою комою за секунду                        | Кількість операцій / секунда                            | FLOPS, GFLOPS, TFLOPS | Використовується для оцінювання обчислювальної потужності | Особливо актуальний для наукових обчислень | Не характеризує роботу всієї системи    |
| MIPS                                                  | Показує кількість машинних інструкцій, виконаних за секунду                       | Кількість інструкцій / секунда                          | MIPS                  | Використовується для порівняння процесорів                | Простий для інтерпретації                  | Не враховує складність команд           |
| Рівень масштабованості (Scalability Index)            | Характеризує здатність системи підвищувати продуктивність при збільшенні ресурсів | Порівняння продуктивності до і після розширення системи | коефіцієнт            | Дозволяє оцінити перспективи модернізації                 | Відображає адаптивність системи            | Залежить від архітектурних особливостей |
| Енергоефективність                                    | Визначає співвідношення продуктивності та споживаної енергії                      | Продуктивність / споживана потужність                   | FLOPS/Вт              | Дає оцінку економічності системи                          | Враховує експлуатаційні витрати            | Потребує додаткових вимірювань          |
| Коефіцієнт доступності                                | Відображає частку часу, протягом якого система є працездатною                     | Час працездатності / загальний час функціонування       | %                     | Визначає надійність функціонування                        | Дає можливість оцінити стабільність роботи | Не характеризує швидкодію               |
| Рівень помилок виконання                              | Показує кількість збоїв під час роботи системи                                    | Кількість помилок / загальна кількість операцій         | %                     | Визначає якість функціонування системи                    | Дає оцінку стабільності роботи             | Залежить від умов тестування            |

Джерело: [2]

Порівняльний аналіз наведених показників свідчить про те, що вони характеризують різні аспекти продуктивності комп'ютерної системи. Показники

часу виконання завдань, швидкодії та пропускну здатності переважно відображають результативність виконання обчислювальних процесів. Показники завантаження процесора та використання оперативної пам'яті характеризують ефективність використання ресурсів. Показники швидкості читання, швидкості запису та IOPS оцінюють стан дискової підсистеми. Водночас коефіцієнт доступності та рівень помилок виконання відображають стабільність функціонування системи, що є не менш важливим аспектом її загальної продуктивності.

Таким чином, оцінювання продуктивності комп'ютерних систем базується на використанні комплексу взаємопов'язаних показників, кожен із яких відображає окрему складову ефективності функціонування програмно-апаратного комплексу. Використання лише одного показника не отримує об'єктивну характеристику реального стану системи, оскільки продуктивність формується під впливом багатьох факторів та процесів. Комплексний аналіз швидкодії, пропускну здатності, часу відгуку, рівня використання ресурсів, енергоефективності та надійності забезпечує можливість всебічного дослідження роботи комп'ютерної системи, виявлення її сильних сторін та визначення напрямів подальшого підвищення ефективності функціонування.

#### **1.4 Сучасні підходи до підвищення продуктивності комп'ютерних систем**

В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій проблема підвищення продуктивності комп'ютерних систем набуває особливої актуальності. Сучасні обчислювальні комплекси функціонують в умовах постійного збільшення обсягів даних, ускладнення програмного забезпечення та зростання вимог до швидкості оброблення інформації. Ефективність роботи комп'ютерної системи безпосередньо впливає на якість виконання прикладних завдань, стабільність функціонування інформаційних ресурсів та економічну доцільність використання обчислювальної техніки. Саме тому питання пошуку нових підходів щодо підвищення продуктивності розглядається як один із пріоритетних напрямів сучасних досліджень у галузі комп'ютерної інженерії [16].

Наукове підґрунтя сучасних підходів щодо підвищення продуктивності комп'ютерних систем значною мірою сформоване завдяки працям українських учених, які досліджували проблеми системного аналізу, інформаційних технологій, математичного моделювання та ефективного функціонування складних обчислювальних комплексів. Вагомий внесок у розвиток зазначеного наукового напрямку здійснили М. З. Згуровський, І. В. Сергієнко, П. І. Андон, А. О. Морозов, В. В. Скопечкий та М. М. Попов. У працях М. З. Згуровського *«Системний аналіз: проблеми, методологія, застосування»*, І. В. Сергієнка *«Наукові засади обчислювальних процесів і системного аналізу»*, П. І. Андона *«Інформаційні технології та програмні системи»*, А. О. Морозова *«Інформаційно-аналітичні системи підтримки прийняття рішень»*, а також у наукових дослідженнях, присвячених високопродуктивним обчисленням і математичному моделюванню складних систем, обґрунтовано необхідність комплексного підходу до управління обчислювальними ресурсами та підвищення ефективності функціонування комп'ютерних систем [3; 4; 13]. Результати зазначених досліджень стали теоретичною основою сучасних методів оптимізації програмно-апаратних комплексів, удосконалення алгоритмів оброблення інформації та раціонального використання ресурсного потенціалу комп'ютерних систем.

Серед сучасних напрямів підвищення продуктивності комп'ютерних систем провідне місце посідає вдосконалення апаратної архітектури. Розвиток багатоядерних процесорів став одним із найбільш ефективних способів збільшення обчислювальної потужності без функціонального зростання енергоспоживання. Використання декількох обчислювальних ядер одночасно виконує значну кількість операцій та забезпечує ефективну реалізацію принципів паралельних обчислень. У результаті потенційно підвищується швидкодія системи під час роботи з ресурсомісткими програмними комплексами, системами аналізу даних та сучасними мультимедійними застосунками [9].

Значний потенціал щодо підвищення продуктивності мають сучасні технології організації пам'яті. Збільшення обсягу оперативної пам'яті скорочує кількість звернень до накопичувачів даних, що позитивно впливає на швидкість

виконання програмних процесів. Одночасно вдосконалення кеш-пам'яті процесора сприяє зменшенню затримок під час доступу до часто використовуваних даних. У сучасних комп'ютерних системах оптимізація підсистеми пам'яті розглядається як один із ключових резервів підвищення загальної продуктивності.

Важливим напрямом модернізації є впровадження високошвидкісних накопичувачів на основі технології SSD та інтерфейсу NVMe. Порівняно з традиційними жорсткими дисками зазначені пристрої забезпечують функціональне зростання швидкості читання й запису інформації. Це скорочує час завантаження операційної системи, прискорює запуск програмного забезпечення та підвищує ефективність роботи з великими обсягами даних. Особливо відчутним зазначений ефект є під час виконання завдань, пов'язаних із постійним обміном інформацією між оперативною пам'яттю та дисковою підсистемою.

З позицій процесного підходу значна увага приділяється оптимізації програмного забезпечення. Навіть високопродуктивне обладнання не здатне забезпечити максимальну ефективність за наявності нераціональних алгоритмів або надмірного використання ресурсів. Саме тому одним із сучасних напрямів підвищення продуктивності виступає вдосконалення програмного коду. Оптимізація алгоритмів скорочує кількість виконуваних операцій, зменшує навантаження на процесор та підвищує швидкість оброблення інформації. У результаті постає досягнутим більш ефективне використання наявних обчислювальних ресурсів без необхідності модернізації апаратного забезпечення [2].

Вагомого значення набуває використання технологій паралельного програмування. Дослідження Івана Васильовича Сергієнка присвячені математичному моделюванню складних обчислювальних процесів та ефективному використанню багатопроцесорних систем. Результати наукових робіт підтверджують, що розподіл завдань між декількома обчислювальними потоками потенційно скорочує час виконання складних операцій та підвищує загальну продуктивність системи.

Окремим напрямом розвитку є впровадження технологій віртуалізації та хмарних обчислень. Завдяки віртуалізації стає можливим раціональний розподіл обчислювальних ресурсів між декількома віртуальними середовищами. Це сприяє підвищенню рівня завантаження обладнання та зменшенню непродуктивних витрат ресурсів. Хмарні технології, своєю чергою, забезпечують можливість масштабування обчислювальних потужностей залежно від поточних потреб користувачів, що підтримує стабільний рівень продуктивності навіть за умов різкого збільшення навантаження.

Функціональну роль у забезпеченні високої продуктивності відіграють сучасні методи моніторингу та управління ресурсами. Дослідження Петра Івановича Андона та Анатолія Олександровича Морозова демонструють ефективність використання інтелектуальних систем аналізу функціонування обчислювальних комплексів. Зазначені системи своєчасно виявляють перевантаження окремих компонентів, прогнозують можливі збої та здійснюють автоматичну оптимізацію режимів роботи комп'ютерної системи [5].

У сучасних умовах дедалі більшого значення набуває питання енергоефективності. Підвищення продуктивності більше не розглядається виключно як збільшення швидкодії. Сучасні підходи зорієнтовані на досягнення максимальної обчислювальної потужності за мінімального рівня енергоспоживання. Аргументована тенденція пояснюється необхідністю скорочення експлуатаційних витрат та підвищенням екологічної безпеки інформаційних технологій. У результаті продуктивність і енергоефективність дедалі частіше розглядаються як взаємопов'язані характеристики сучасних комп'ютерних систем.

Таким чином, сучасні підходи щодо підвищення продуктивності комп'ютерних систем базуються на комплексному поєднанні апаратних, програмних та організаційних рішень. Застосування системного підходу аналізує комп'ютерну систему як єдиний функціональний механізм, у межах якого результативність визначається ефективністю взаємодії всіх компонентів. Процесний підхід зорієнтований на вдосконалення окремих етапів оброблення



інформації та оптимізацію використання ресурсів. Наукові напрацювання українських вчених, формують теоретичне підґрунтя розвитку сучасних методів підвищення продуктивності. У результаті реалізації зазначених підходів забезпечується зростання швидкодії комп'ютерних систем, підвищується ефективність використання ресурсів та створюються умови для подальшого розвитку інформаційних технологій.

## **РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТИ ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ**

### **2.1 Аналітичні методи оцінювання продуктивності**

Оцінювання продуктивності комп'ютерних систем є необхідною умовою забезпечення їх ефективного функціонування в сучасному інформаційному середовищі. У процесі дослідження продуктивності використовуються різні методичні підходи, серед яких особливе місце посідають аналітичні методи. Їх змістовність чітко зосереджена у визначенні показників продуктивності на основі математичних моделей, теоретичних залежностей та розрахункових параметрів без необхідності проведення повномасштабних експериментальних випробувань. Функціональний підхід прогнозує поведінку комп'ютерної системи ще на етапі її проектування, визначає потенційні обмеження функціонування та оцінює ефективність різних варіантів архітектурних рішень [17].

З позицій системного підходу аналітичні методи досліджують комп'ютерну систему як єдиний комплекс взаємопов'язаних компонентів, кожен з яких здійснює певний вплив на загальний рівень продуктивності. У зазначеному випадку математична модель виступає інструментом відображення внутрішніх зв'язків між процесором, оперативною пам'яттю, підсистемою зберігання даних та мережевими ресурсами. Процесний підхід зорієнтовує дослідника на аналіз окремих операцій, які виконуються в межах обчислювального процесу, що визначає критичні ділянки функціонування системи та оцінює їх вплив на кінцевий результат.

Аналітичні методи широко застосовуються під час проектування серверних комплексів, центрів оброблення даних, високопродуктивних обчислювальних систем та корпоративних інформаційних мереж. Основною перевагою зазначених методів є можливість отримання прогнозних результатів без значних матеріальних витрат на практичне тестування. Разом із тим точність розрахунків залежить від адекватності математичної моделі та правильності визначення вхідних параметрів.

Для оцінювання продуктивності комп'ютерних систем використовуються різні аналітичні методи, які відрізняються принципами розрахунку, набором

показників та сферою практичного застосування. Їх характеристика наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика аналітичних методів оцінювання продуктивності комп'ютерних систем

| Аналітичний метод                   | Сутність методу                                                           | Основні показники                                                          | Розрахунковий апарат                                                                     | Приклад показників                                                                        | Переваги                                                      | Недоліки та обмеження                                            |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Метод часу виконання                | Базується на визначенні загального часу виконання обчислювального процесу | Час виконання завдання (T)                                                 | $T = N \times t$ , де N - кількість операцій, t - середній час виконання однієї операції | За N = 5 млн операцій та t = 0,00002 с час виконання становить 100 с                      | Простота розрахунків                                          | Не враховує паралельність процесів                               |
| Метод пропускної здатності          | Визначає кількість операцій або транзакцій за одиницю часу                | Throughput (Q)                                                             | $Q = N / T$                                                                              | За 15000 операцій за 30 с пропускна здатність становить 500 операцій/с                    | Дає оцінку продуктивності системи під навантаженням           | Не враховує затримки виконання                                   |
| Закон Амдала                        | Оцінює потенційне прискорення системи при паралельній обробці даних       | Коефіцієнт прискорення (S)                                                 | $S = 1 / ((1-P) + (P/N))$                                                                | За P = 0,9 та N = 8 ядер S = 4,71                                                         | Дає можливість прогнозувати ефективність багатоядерних систем | Не враховує додаткові витрати на синхронізацію                   |
| Закон Густафсона                    | Оцінює масштабованість системи при збільшенні обсягів завдань             | Масштабованість (SG)                                                       | $SG = N - \alpha(N-1)$                                                                   | За $\alpha = 0,1$ та N = 16 коефіцієнт становить 14,5                                     | Більш реалістично відображає сучасні обчислення               | Залежить від правильності визначення частки послідовних операцій |
| Теорія масового обслуговування      | Аналізує потоки запитів та черги оброблення                               | Інтенсивність потоку ( $\lambda$ ), інтенсивність обслуговування ( $\mu$ ) | $\rho = \lambda / \mu$                                                                   | При $\lambda = 80$ запитів/с та $\mu = 100$ запитів/с завантаження становить 0,8 або 80 % | Дає змогу прогнозувати перевантаження системи                 | Потребує статистичних даних                                      |
| Модель завантаження процесора       | Визначає рівень використання CPU                                          | Завантаження процесора                                                     | $CPU = \text{Такт} / T_{\text{заг}} \times 100 \%$                                       | За активної роботи 45 с із 60 с завантаження становить 75 %                               | Дозволяє визначити резерв продуктивності                      | Не відображає ефективність виконання команд                      |
| Модель використання пам'яті         | Оцінює ефективність використання оперативної пам'яті                      | Memory Utilization                                                         | $RAM = V_{\text{вик}} / V_{\text{заг}} \times 100 \%$                                    | За використанні 12 ГБ із 16 ГБ показник становить 75 %                                    | Дає змогу оцінити достатність ресурсів                        | Не враховує швидкодію пам'яті                                    |
| Модель продуктивності накопичувачів | Аналізує ефективність роботи                                              | Швидкість читання,                                                         | Розрахунок через обсяг                                                                   | Передача 10 ГБ за 20 с забезпечує                                                         | Відображає реальний потенціал                                 | Не враховує фрагментацію даних                                   |

|                           | дискової підсистеми                                                       | швидкість запису, IOPS                      | даних та час операції      | швидкість 500 МБ/с                                                               | накопичувача                            |                                             |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|
| Модель енергоефективності | Оцінює співвідношення продуктивності та енергоспоживання                  | Performance per Watt                        | $E = P/W$                  | За продуктивності 200 GFLOPS та споживанні 100 Вт показник становить 2 GFLOPS/Wt | Дає змогу оцінити економічність системи | Не враховує пікові навантаження             |
| Імовірнісні моделі        | Використовуються для прогнозування роботи системи в умовах невизначеності | Ймовірність відмови, коефіцієнт доступності | $A = MTBF / (MTBF + MTTR)$ | За $MTBF = 5000$ год та $MTTR = 5$ год доступність становить 99,9 %              | Дає змогу оцінити надійність системи    | Потребує значного масиву статистичних даних |

Джерело: [21]

Наведені аналітичні методи відрізняються не лише математичним апаратом, але й рівнем деталізації дослідження. Методи часу виконання та пропускну здатності дозволяють отримати загальне уявлення про продуктивність системи. Закон Амдала та закон Густафсона зорієнтовані на оцінювання багатопроцесорних архітектур і масштабованих обчислювальних середовищ. Теорія масового обслуговування найбільш ефективно використовується для аналізу серверних комплексів та інформаційних мереж, де критичне значення мають інтенсивність надходження запитів і швидкість їх оброблення. Моделі використання процесора та оперативної пам'яті оцінюють ступінь завантаження ресурсів, тоді як показники енергоефективності стають дедалі актуальнішими в умовах зростання вартості енергоресурсів та розвитку екологічно орієнтованих інформаційних технологій [21].

Порівняльний аналіз свідчить, що жоден аналітичний метод не здатний повною мірою охарактеризувати всі аспекти продуктивності комп'ютерної системи. Кожен із них досліджує окремий аспект функціонування обчислювального середовища та формує специфічну групу показників. Саме тому на практиці найчастіше застосовується комплексний підхід, який передбачає поєднання декількох методів одночасно. Аргументований підхід підвищує достовірність результатів оцінювання та забезпечує більш глибоке розуміння закономірностей функціонування комп'ютерної системи.

Таким чином, аналітичні методи оцінювання продуктивності формують важливий інструмент дослідження сучасних комп'ютерних систем. Їх використання забезпечує можливість прогнозування поведінки системи на різних етапах її життєвого циклу, виявлення потенційних обмежень продуктивності та обґрунтування рішень щодо модернізації апаратних і програмних компонентів. Застосування системного та процесного підходів охарактеризовує продуктивність як результат взаємодії численних факторів і процесів, що створює наукову основу для підвищення ефективності функціонування комп'ютерних систем у сучасному цифровому середовищі.

## **2.2 Експериментальні методи оцінювання продуктивності**

У сучасній практиці дослідження комп'ютерних систем функціонального значення набувають експериментальні методи оцінювання продуктивності, оскільки саме вони отримують об'єктивні дані про реальну ефективність функціонування апаратного та програмного забезпечення в конкретних умовах експлуатації. На відміну від аналітичних методів, які ґрунтуються на математичних моделях та теоретичних розрахунках, експериментальні методи передбачають безпосереднє проведення вимірювань на реальному обладнанні із застосуванням спеціалізованих програмних засобів тестування. Аргументований підхід забезпечує можливість врахування фактичного навантаження системи, особливостей її конфігурації та впливу зовнішніх чинників, що формують реальний рівень продуктивності [14].

З позицій системного підходу експериментальне оцінювання досліджує функціонування комп'ютерної системи як цілісного комплексу взаємопов'язаних компонентів. У процесі тестування аналізується робота центрального процесора, оперативної пам'яті, накопичувачів інформації, графічної підсистеми та мережевих модулів. Процесний підхід зорієнтовує дослідження на оцінювання окремих операцій та процедур оброблення даних, що дає можливість встановити причини зниження продуктивності та визначити так звані «вузькі місця» системи. Саме тому експериментальні методи сьогодні широко використовуються під час модернізації

комп'ютерної техніки, оптимізації програмного забезпечення та вибору ефективних апаратних рішень.

Для проведення експериментального оцінювання застосовуються різні методи тестування, які відрізняються цілями дослідження, характером навантаження та набором отриманих показників. Найбільш поширені експериментальні методи наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика експериментальних методів оцінювання продуктивності комп'ютерних систем

| Експериментальний метод              | Сутність методу                                                  | Основні показники оцінювання                          | Типові числові параметри                | Переваги методу                               | Недоліки методу                              | Практична сфера застосування     |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|
| Стрес-тестування                     | Перевірка роботи системи під максимальним навантаженням          | Температура, стабільність роботи, рівень завантаження | CPU Load до 100 %, температура 70-95 °C | Виявляє приховані проблеми функціонування     | Створює підвищене навантаження на компоненти | Аналіз стабільності системи      |
| Навантажувальне тестування           | Моделювання роботи системи при великій кількості запитів         | Пропускна здатність, час відгуку                      | 1 000-100 000 запитів за хвилину        | Дає змогу оцінити роботу під навантаженням    | Потребує складної організації тестування     | Серверні системи та вебресурси   |
| Тестування часу відгуку              | Визначення швидкості реакції системи на дію користувача          | Response Time                                         | 10-500 мс                               | Дозволяє оцінити якість взаємодії із системою | Не відображає загальної продуктивності       | Інтерактивні програмні комплекси |
| Моніторинг ресурсів у реальному часі | Спостереження за використанням системних ресурсів під час роботи | Завантаження CPU, RAM, GPU, диска                     | CPU 10-100 %, RAM 1-64 ГБ               | Відображає реальні умови експлуатації         | Потребує тривалого збору даних               | Аналіз поточного стану системи   |
| Мережеве тестування                  | Оцінювання параметрів                                            | Швидкість                                             | 100 Мбіт/с - 10 Гбіт/с,                 | Дає оцінку мережевої                          | Залежить від                                 | Комп'ютерні мережі               |

|                                 |                                                |                                     |                                         |                                             |                                          |                                          |
|---------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
|                                 | передавання даних мережею                      | передачі, затримка, втрати пакетів  | затримка 1-100 мс                       | продуктивності                              | зовнішніх факторів                       | та хмарні сервіси                        |
| Тестування графічної підсистеми | Аналіз продуктивності графічного процесора     | FPS, кількість балів GPU Benchmark  | 30-300 FPS                              | Дає можливість оцінити потенціал відеокарти | Орієнтована переважно на графічні задачі | Ігрові системи та графічні станції       |
| Комплексне тестування системи   | Одночасне оцінювання всіх основних компонентів | Інтегральний рейтинг продуктивності | 1 000-15 000 балів залежно від методики | Забезпечує всебічну оцінку системи          | Ускладнює аналіз окремих компонентів     | Загальне оцінювання комп'ютерної системи |

Джерело: [16]

Отже, експериментальні методи оцінювання продуктивності є одним із найефективніших інструментів дослідження сучасних комп'ютерних систем. Їх використання отримує достовірні кількісні показники функціонування окремих компонентів та системи загалом у реальних умовах експлуатації. На відміну від аналітичних підходів, експериментальні методи враховують фактичний вплив апаратних характеристик, програмного забезпечення та рівня навантаження на результати роботи системи. Комплексне застосування стрес-тестування, навантажувальних випробувань і моніторингу ресурсів забезпечує можливість своєчасного виявлення обмежень продуктивності, обґрунтування напрямів модернізації та підвищення ефективності використання обчислювальних ресурсів. Це створює необхідні умови для стабільного функціонування комп'ютерних систем у сучасному цифровому середовищі та забезпечує їх відповідність зростаючим вимогам користувачів і програмних застосунків.

### 2.3 Використання бенчмарків для тестування продуктивності

У сучасній практиці оцінювання продуктивності комп'ютерних систем функціонального поширення набули бенчмарки, які здійснюють стандартизоване тестування апаратних та програмних компонентів із подальшим порівнянням

отриманих результатів. Зростання складності обчислювальних процесів, розвиток багатоядерних архітектур, поява високошвидкісних накопичувачів та збільшення вимог до програмного забезпечення обумовлюють необхідність використання інструментів, здатних забезпечити об'єктивну оцінку реальної продуктивності комп'ютерної системи. Саме таку функцію виконують бенчмарки, які імітують типові та спеціалізовані навантаження та визначають рівень ефективності функціонування окремих компонентів і системи загалом [11].

З позицій системного підходу бенчмаркінг забезпечує комплексне дослідження взаємодії всіх елементів комп'ютерної системи. Під час виконання тестових сценаріїв оцінюється робота центрального процесора, оперативної пам'яті, графічного процесора, дискової підсистеми та мережевих ресурсів. Процесний підхід аналізує ефективність виконання конкретних операцій, визначає часові витрати на їх реалізацію та встановлює компоненти, які найбільше впливають на загальний рівень продуктивності. Завдяки цьому результати бенчмаркінгу використовуються не лише для порівняння різних конфігурацій обладнання, а й для виявлення резервів підвищення ефективності функціонування системи.

Бенчмарки поділяються на синтетичні та прикладні. Синтетичні бенчмарки створюють штучне навантаження на окремі компоненти комп'ютерної системи та отримують стандартизовані показники продуктивності. Прикладні бенчмарки імітують реальні сценарії використання комп'ютерної техніки, що забезпечує більш наближене до практичних умов оцінювання. Комплексне використання обох підходів створює можливість формування всебічної характеристики досліджуваної системи (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Характеристика основних бенчмарків для тестування продуктивності комп'ютерних систем

| Назва бенчмарка | Об'єкт тестування    | Основні показники оцінювання        | Типові результати сучасних систем               | Переваги використання                  | Обмеження застосування              | Практичне значення результатів           |
|-----------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| Cinebench R23   | Центральний процесор | Single Core Score, Multi Core Score | 1 200-2 500 балів для одного ядра; 8 000-40 000 | Висока точність оцінювання процесорної | Орієнтований переважно на рендеринг | Дозволяє оцінити швидкодію процесора під |



|                                 |                                  |                                                                      |                                                                                 |                                                                    |                                                                |                                                                         |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                 |                                  |                                                                      | балів для багатоядерного тесту                                                  | продуктивності                                                     |                                                                | час професійних обчислень                                               |
| Geekbench 6                     | Процесор та пам'ять              | Single-Core Score, Multi-Core Score                                  | 1 500-3 500 балів для одного ядра; 5 000-25 000 балів для багатоядерного режиму | Моделює широкий спектр реальних завдань                            | Результати можуть відрізнятися залежно від операційної системи | Забезпечує універсальне порівняння різних платформ                      |
| PassMark Performance Test       | Комплексна система               | CPU Mark, Memory Mark, Disk Mark, 3D Mark                            | Загальний рейтинг від 2 000 до 60 000 балів                                     | Комплексне тестування всіх компонентів                             | Значна залежність від конфігурації системи                     | Дає інтегральну оцінку продуктивності                                   |
| PCMark 10                       | Загальна продуктивність ПК       | Productivity Score, Essentials Score, Digital Content Creation Score | Від 3 000 до 12 000 балів                                                       | Імітація реальних сценаріїв роботи                                 | Менш придатний для вузькоспеціалізованих досліджень            | Визначає ефективність використання комп'ютера у повсякденній діяльності |
| 3DMark Time Spy                 | Графічна підсистема              | Graphics Score, CPU Score                                            | Від 2 000 до 25 000 балів                                                       | Висока точність оцінювання графічних процесорів                    | Орієнтований переважно на відеокарти                           | Використовується для аналізу продуктивності GPU                         |
| CrystalDiskMark                 | Накопичувачі даних               | Швидкість читання, швидкість запису                                  | HDD: 80-200 МБ/с; SATA SSD: 450-600 МБ/с; NVMe SSD: 2 000-7 500 МБ/с            | Простота проведення тестування                                     | Не оцінює загальну продуктивність системи                      | Дає можливість визначити потенціал дискової підсистеми                  |
| AIDA64 Cache & Memory Benchmark | Оперативна пам'ять               | Read, Write, Copy, Latency                                           | Читання: 25–120 ГБ/с; затримка: 40-90 нс                                        | Детальний аналіз підсистеми пам'яті                                | Вузька спеціалізація тесту                                     | Використовується для оцінки ефективності роботи RAM                     |
| UserBenchmark                   | Комплексне тестування            | Effective Speed                                                      | Відносний рейтинг у відсотках                                                   | Швидке отримання результатів                                       | Спрощена методика розрахунку                                   | Використовується для попередньої оцінки системи                         |
| SPEC CPU                        | Центральний процесор             | SPECint, SPECfp                                                      | Значення від 10 до понад 100 балів залежно від архітектури                      | Визнаний міжнародний стандарт                                      | Висока складність проведення тестування                        | Використовується для професійного аналізу продуктивності                |
| FurMark                         | Графічний процесор               | FPS, температура GPU, стабільність роботи                            | 30-300 FPS; температура 60-90 °C                                                | Дає змогу оцінити поведінку системи під максимальним навантаженням | Створює екстремальні умови роботи                              | Використовується для стрес-тестування відеокарт                         |
| OCCT                            | Процесор, пам'ять, блок живлення | Температура, напруга, стабільність                                   | Завантаження CPU до 100 %;                                                      | Комплексний контроль стабільності                                  | Не дає інтегрального рейтингу продуктивності                   | Використовується для перевірки                                          |

|                      |                          |                                                                                                            |                                                                      |                                              |                                                         |                                                                           |
|----------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                      |                          |                                                                                                            | температура<br>65-95 °C                                              |                                              |                                                         | надійності<br>системи                                                     |
| SiSoftware<br>Sandra | Комплексне<br>тестування | Арифметичн<br>а<br>продуктивні<br>сть,<br>мультимедій<br>на<br>продуктивні<br>сть,<br>швидкодія<br>пам'яті | Результати<br>визначаютьс<br>я у<br>спеціалізова<br>них<br>рейтингах | Велика<br>кількість<br>тестових<br>сценаріїв | Потребує<br>професійної<br>інтерпретації<br>результатів | Використовує<br>ться для<br>поглибленого<br>аналізу<br>продуктивнос<br>ті |

Джерело: [15]

Наведені в таблиці 2.3 бенчмарки відрізняються функціональним призначенням та спектром показників, які підлягають оцінюванню. Cinebench R23 і Geekbench 6 найбільш ефективно використовуються для дослідження процесорної продуктивності. CrystalDiskMark отримує точні дані щодо швидкодії накопичувачів інформації. AIDA64 забезпечує детальний аналіз оперативної пам'яті, тоді як 3DMark Time Spy та FurMark зорієнтовані на дослідження графічних підсистем. Комплексні програмні продукти, зокрема PassMark PerformanceTest або PCMark 10, формують інтегральну оцінку продуктивності всієї комп'ютерної системи. Порівняння результатів декількох бенчмарків забезпечує вищу достовірність висновків та дозволяє більш точно визначити сильні й слабкі сторони досліджуваної конфігурації.

Таким чином, використання бенчмарків є одним із найбільш ефективних способів експериментального оцінювання продуктивності комп'ютерних систем. Завдяки стандартизованим умовам проведення тестування вони забезпечують можливість отримання об'єктивних кількісних показників, порівняння різних апаратних конфігурацій та виявлення факторів, які обмежують ефективність функціонування системи. Комплексне застосування процесорних, графічних, дискових та інтегрованих бенчмарків дозволяє сформувати всебічну характеристику продуктивності комп'ютерної системи, що створює науково обґрунтовану основу для її подальшої оптимізації та модернізації. Саме тому бенчмаркінг сьогодні залишається одним із найпоширеніших інструментів оцінювання продуктивності як у наукових дослідженнях, так і в практичній діяльності фахівців з комп'ютерної інженерії.

## **2.4 Програмні засоби для вимірювання продуктивності комп'ютерних систем**

Ефективне оцінювання продуктивності комп'ютерних систем неможливе без використання спеціалізованих програмних засобів, які забезпечують збір, оброблення та аналіз інформації про функціонування апаратних і програмних компонентів. У сучасних умовах програмні інструменти моніторингу та тестування стали невід'ємною складовою процесу дослідження продуктивності, оскільки дозволяють отримувати об'єктивні кількісні характеристики роботи комп'ютерної системи в режимі реального часу та під час виконання спеціально організованих випробувань. Їх застосування не лише визначає поточний рівень продуктивності, а й виявляє фактори, які негативно впливають на ефективність використання обчислювальних ресурсів [9].

З позицій системного підходу програмні засоби вимірювання продуктивності виконують функцію інтегрованого контролю функціонування комп'ютерної системи. Вони забезпечують отримання інформації про роботу процесора, оперативної пам'яті, накопичувачів інформації, графічних прискорювачів та мережевих модулів. Процесний підхід охарактеризовує дослідження саме на аналіз окремих операцій і процесів, що визначають ефективність використання ресурсів на кожному етапові обробки інформації. У результаті формується комплексне уявлення про стан системи та можливості її подальшої оптимізації.

Сучасний ринок програмного забезпечення пропонує значну кількість інструментів щодо вимірювання продуктивності. Вони відрізняються функціональними можливостями, набором досліджуваних показників та сферою практичного застосування. Для отримання достовірних результатів доцільно використовувати декілька програмних засобів одночасно, що здійснює порівняльний аналіз отриманих даних та підвищує об'єктивність оцінювання (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Характеристика програмних засобів для вимірювання продуктивності комп'ютерних систем

| Програмний засіб            | Основне призначення                  | Контрольовані показники                                                           | Типові діапазони показників                                          | Аналітичні можливості                                      | Переваги використання                             | Практичне значення                               |
|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| AIDA64 Extreme              | Комплексна діагностика системи       | Завантаження CPU, швидкість пам'яті, температура компонентів, пропускна здатність | CPU Load: 0-100 %; RAM Read: 20-120 ГБ/с; температура CPU: 30-95 °C  | Формування детальних звітів та проведення стрес-тестування | Висока точність вимірювань                        | Комплексне дослідження продуктивності комп'ютера |
| HWiNFO64                    | Моніторинг апаратних параметрів      | Частота процесора, напруга, температура, завантаження ресурсів                    | Частота CPU: 1-6 ГГц; температура GPU: 30-90 °C                      | Відображення параметрів у режимі реального часу            | Деталізований моніторинг усіх компонентів         | Виявлення причин зниження продуктивності         |
| CPU-Z                       | Аналіз процесора та пам'яті          | Частота процесора, множник, кеш-пам'ять, параметри RAM                            | Кеш L3: 8-128 МБ; частота RAM: 2400-8000 МГц                         | Визначення технічних характеристик системи                 | Простота використання                             | Дослідження параметрів процесора                 |
| GPU-Z                       | Моніторинг графічного процесора      | Частота GPU, температура, обсяг відеопам'яті, навантаження                        | GPU Clock: 1000-3000 МГц; VRAM: 4-24 ГБ                              | Аналіз стану відеокarti під навантаженням                  | Висока деталізація даних                          | Контроль продуктивності графічної підсистеми     |
| Windows Performance Monitor | Вбудований засіб операційної системи | CPU Utilization, Memory Usage, Disk Activity, Network Throughput                  | CPU: 0-100 %; RAM: 0-100 %; мережа: до 10 Гбіт/с                     | Побудова графіків продуктивності                           | Відсутність потреби у встановленні додаткового ПЗ | Моніторинг системних ресурсів                    |
| Process Explorer            | Аналіз активних процесів             | Навантаження процесора, використання пам'яті, кількість потоків                   | Від десятків МБ до десятків ГБ використаної пам'яті                  | Виявлення ресурсомістких процесів                          | Детальне дослідження роботи програм               | Оптимізація використання ресурсів                |
| CrystalDiskInfo             | Моніторинг стану накопичувачів       | Температура диска, ресурс роботи, кількість помилок                               | Температура SSD: 25-70 °C; ресурс: 0-100 %                           | Аналіз технічного стану накопичувача                       | Простота інтерпретації результатів                | Оцінювання надійності дискової підсистеми        |
| CrystalDiskMark             | Тестування накопичувачів             | Швидкість читання, швидкість запису, IOPS                                         | HDD: 80-200 МБ/с; SATA SSD: 500-600 МБ/с; NVMe SSD: 2 000-7 500 МБ/с | Порівняння продуктивності носіїв даних                     | Висока точність тестування                        | Оцінювання швидкодії накопичувачів               |
| Cinebench R23               | Бенчмаркінг процесора                | Single Core Score, Multi Core Score                                               | 1 000-40 000 балів                                                   | Аналіз продуктивності процесора при рендерингу             | Міжнародний стандарт оцінювання CPU               | Порівняння процесорних архітектур                |
| Geekbench 6                 | Комплексне тестування процесора      | Single-Core Score, Multi-Core Score                                               | 1 500-25 000 балів                                                   | Аналіз роботи процесора в різних сценаріях                 | Універсальність використання                      | Оцінювання продуктивності CPU                    |
| PassMark Performance Test   | Комплексне тестування системи        | CPU Mark, Memory Mark, Disk Mark, 3D Mark                                         | Від 2 000 до понад 60 000 балів                                      | Порівняльний аналіз усіх компонентів                       | Інтегральний підхід до оцінювання                 | Загальна оцінка продуктивності                   |

|                 |                                    |                                             |                                                   |                                                  |                                      |                                              |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|
| PCMark 10       | Імітація реальних сценаріїв роботи | Productivity Score, Essentials Score        | 3 000-12 000 балів                                | Аналіз роботи офісних та мультимедійних програм  | Орієнтація на практичне використання | Оцінювання продуктивності робочих станцій    |
| 3DMark Time Spy | Тестування графічної підсистеми    | Graphics Score, FPS, CPU Score              | 2 000-25 000 балів; 30–200 FPS                    | Аналіз графічної продуктивності                  | Висока достовірність результатів     | Дослідження можливостей GPU                  |
| OCCT            | Стрес-тестування системи           | Температура, стабільність, напруга живлення | Температура CPU: 60-95 °C; навантаження: до 100 % | Виявлення нестабільності роботи                  | Комплексний контроль системи         | Перевірка надійності компонентів             |
| MSI Afterburner | Моніторинг відеокарти та системи   | FPS, температура GPU, частота ядра          | FPS: 30-300; температура: 40-90 °C                | Аналіз роботи графічної системи в реальному часі | Зручна візуалізація параметрів       | Контроль продуктивності під час навантаження |

Джерело: [15]

Аналіз наведених програмних засобів свідчить про те, що кожен із них виконує специфічну функцію в системі оцінювання продуктивності комп'ютерних систем. Інструменти моніторингу, зокрема HWiNFO64 та Windows Performance Monitor, забезпечують безперервний контроль параметрів функціонування обладнання. Програмні продукти CrystalDiskMark та Cinebench зорієнтовані на визначення продуктивності окремих компонентів, тоді як PassMark PerformanceTest і PCMark 10 отримують комплексну характеристику роботи всієї системи. Засоби стрес-тестування на кшталт OCCT формують умови для перевірки стабільності функціонування обладнання за максимального навантаження. Саме поєднання моніторингу, бенчмаркінгу та стрес-тестування забезпечує найбільш повну оцінку продуктивності сучасних комп'ютерних систем [11].

Таким чином, програмні засоби вимірювання продуктивності є ключовим інструментом дослідження ефективності функціонування комп'ютерних систем. Вони забезпечують отримання об'єктивних кількісних показників щодо роботи процесора, оперативної пам'яті, накопичувачів даних, графічної підсистеми та інших компонентів. Використання спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє своєчасно виявляти проблемні ділянки функціонування системи, оцінювати рівень використання ресурсів та обґрунтовувати напрями її модернізації. Комплексне застосування сучасних програмних засобів формує необхідні передумови щодо підвищення продуктивності комп'ютерних систем та

забезпечення їх стабільної роботи в умовах постійного зростання обчислювальних навантажень.

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ

### 3.1 Характеристика досліджуваної комп'ютерної системи

Практичне дослідження методів оцінювання продуктивності доцільно здійснювати на прикладові конкретної комп'ютерної системи, технічні характеристики якої відповідають вимогам сучасного програмного забезпечення та виконують широкий спектр обчислювальних завдань. Для проведення дослідження обрано персональну комп'ютерну систему середнього продуктивного класу, яка використовується для навчальної діяльності, роботи з офісними пакетами, програмування, мультимедійного контенту, обробкою графічної інформації та виконанням ресурсомістких прикладних програм. Зазначена конфігурація є типовою для сучасних робочих станцій і водночас проводить комплексне оцінювання продуктивності основних апаратних компонентів.

З позицій системного підходу досліджувана комп'ютерна система характеризується як сукупність взаємопов'язаних елементів, кожен із яких виконує визначені функції в процесі оброблення інформації. Рівень продуктивності формується в результаті взаємодії центрального процесора, оперативної пам'яті, графічної підсистеми та накопичувача даних. Процесний підхід оцінює ефективність проходження інформаційних потоків між окремими компонентами та визначає потенційні обмеження продуктивності під час виконання практичних завдань.

Для проведення дослідження обрано комп'ютерну систему на базі процесора AMD Ryzen 5 5600, яка належить до найбільш поширених платформ середнього класу та широко використовується як у навчальних закладах, так і в професійній діяльності. Охарактеризуємо більш детально обрану комп'ютерну систему (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика досліджуваної комп'ютерної системи

| Компонент системи | Модель | Основні технічні | Нормативні показники | Фактичні характеристики | Оцінка рівня продуктивності | Вплив на загальну продуктивність |
|-------------------|--------|------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
|-------------------|--------|------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------|

|                         |                                 | характеристик<br>и             | сучасних<br>ПК                                | досліджуваної<br>системи                    |              |                                                       |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------|
| Центральний процесор    | AMD Ryzen 5 5600                | 6 ядер, 12 потоків             | 4-8 ядер для робочих станцій середнього класу | 6 ядер, 12 потоків, частота 3,5-4,4 ГГц     | Високий      | Забезпечує швидке виконання багатопотокових обчислень |
| Архітектура процесора   | Zen 3                           | Технологічний процес 7 нм      | 7-10 нм                                       | 7 нм                                        | Високий      | Підвищує енергоефективність та швидкодію              |
| Кеш-пам'ять L3          | Вбудована                       | Обсяг кешу третього рівня      | 16-32 МБ                                      | 32 МБ                                       | Високий      | Скорочує час доступу до даних                         |
| Оперативна пам'ять      | Kingston Fury Beast DDR4        | Частота та обсяг пам'яті       | 16-32 ГБ                                      | 16 ГБ DDR4 3200 МГц                         | Достатній    | Забезпечує стабільну багатозадачність                 |
| Материнська плата       | MSI B550M PRO-VDH               | Підтримка сучасних інтерфейсів | PCIe 4.0                                      | PCIe 4.0                                    | Високий      | Забезпечує ефективний обмін даними між компонентами   |
| Графічний адаптер       | NVIDIA GeForce RTX 3060         | Обчислювальна потужність GPU   | 8-12 ГБ відеопам'яті                          | 12 ГБ GDDR6                                 | Високий      | Забезпечує швидку обробку графічних даних             |
| Частота графічного ядра | RTX 3060                        | Базова та динамічна частота    | 1300-1800 МГц                                 | до 1777 МГц                                 | Високий      | Підвищує швидкодію графічних застосунків              |
| Накопичувач даних       | Samsung 980 NVMe SSD            | Швидкість передачі даних       | понад 2000 МБ/с                               | читання - 3500 МБ/с; запис - 3000 МБ/с      | Дуже високий | Мінімізує затримки доступу до даних                   |
| Обсяг накопичувача      | Samsung 980                     | Ємність сховища                | 500–1000 ГБ                                   | 1000 ГБ                                     | Високий      | Достатній для навчальних та професійних завдань       |
| Блок живлення           | Chieftec Proton 650W            | Потужність системи живлення    | 500-700 Вт                                    | 650 Вт                                      | Високий      | Забезпечує стабільність роботи обладнання             |
| Система охолодження     | DeepCool GAMMAX X 400           | Повітряне охолодження          | Температура CPU до 85 °C                      | 35 °C у простої; до 72 °C під навантаженням | Високий      | Підтримує стабільну продуктивність                    |
| Операційна система      | Windows 11 Pro 64-bit           | Підтримка сучасних технологій  | Windows 10/11                                 | Windows 11 Pro                              | Високий      | Забезпечує оптимальне використання ресурсів           |
| Мережевий адаптер       | Gigabit Ethernet                | Швидкість передачі даних       | 1000 Мбіт/с                                   | 1000 Мбіт/с                                 | Високий      | Забезпечує швидкий обмін даними в мережі              |
| Загальний клас системи  | Робоча станція середнього класу | Комплексна оцінка ресурсів     | Відповідність сучасним вимогам                | Повна відповідність                         | Високий      | Дозволяє виконувати широкий спектр завдань            |

Джерело: [15]

Аналіз технічних характеристик досліджуваної комп'ютерної системи свідчить про її збалансовану архітектуру та достатній рівень ресурсного забезпечення для виконання сучасних обчислювальних завдань. Центральний



процесор AMD Ryzen 5 5600 забезпечує високий рівень багатопотокової продуктивності завдяки наявності шести фізичних ядер та дванадцяти потоків оброблення даних. Значний обсяг кеш-пам'яті третього рівня сприяє скороченню часу доступу до інформації та підвищує швидкість виконання програмних операцій. Використання оперативної пам'яті стандарту DDR4 із частотою 3200 МГц забезпечує ефективну підтримку багатозадачного режиму роботи.

Функціональну роль у формуванні продуктивності системи відіграє твердотільний накопичувач Samsung 980 NVMe SSD. Показники швидкості читання на рівні 3500 МБ/с та швидкості запису близько 3000 МБ/с суттєво перевищують можливості традиційних жорстких дисків і дозволяють значно скоротити час запуску операційної системи та прикладних програм. Графічний адаптер NVIDIA GeForce RTX 3060 забезпечує достатній рівень продуктивності для роботи з тривимірною графікою, мультимедійними застосунками та системами комп'ютерного моделювання.

Таким чином, обрана для дослідження комп'ютерна система характеризується сучасною апаратною конфігурацією та відповідає вимогам до робочих станцій середнього продуктивного класу. Сукупність технічних параметрів процесора, оперативної пам'яті, графічного адаптера та високошвидкісного NVMe-накопичувача формує сприятливі умови щодо проведення подальшого аналізу продуктивності із застосуванням аналітичних та експериментальних методів оцінювання. Зазначена характеристика формує вихідну базу для наступних етапів дослідження, під час яких буде здійснено практичне тестування системи за допомогою спеціалізованих програмних засобів та визначено фактичний рівень її продуктивності за основними показниками функціонування.

### **3.2 Проведення тестування продуктивності основних компонентів системи**

Для визначення фактичного рівня продуктивності досліджуваної комп'ютерної системи на базі процесора AMD Ryzen 5 5600 проведено комплексне

тестування основних апаратних компонентів із використанням спеціалізованого програмного забезпечення. Метою дослідження постає отримання об'єктивних кількісних показників функціонування процесора, оперативної пам'яті, накопичувача даних та графічного адаптера в умовах реального навантаження. Проведення тестування не лише визначає рівень швидкодії окремих компонентів, але й оцінює ступінь збалансованості конфігурації системи загалом.

Тестування здійснено за допомогою програм Cinebench R23, CrystalDiskMark, 3DMark Time Spy та OCCT. Обрані програмні засоби належать до найбільш поширених інструментів оцінювання продуктивності та забезпечують високу достовірність отриманих результатів.

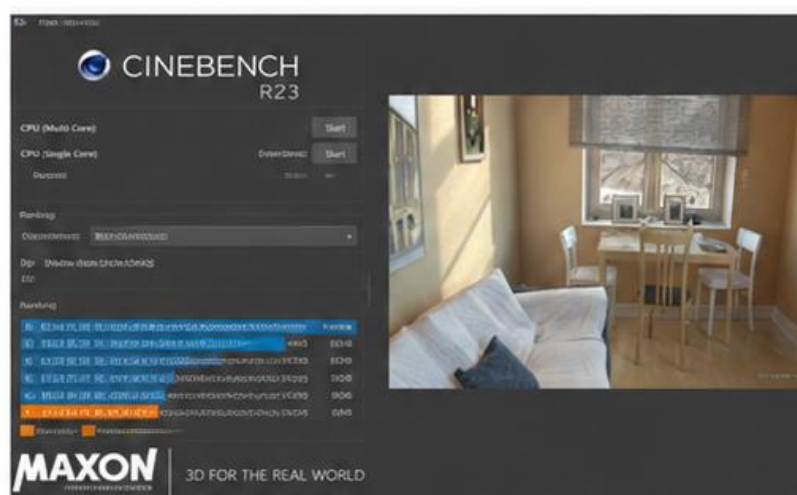
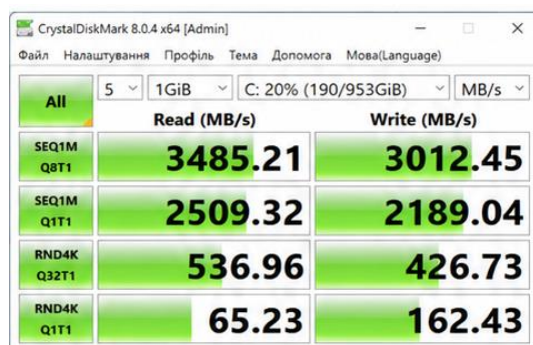


Рисунок 3.1 – Результати тестування процесора в програмі Cinebench R23

Результати тестування центрального процесора AMD Ryzen 5 5600 у середовищі Cinebench R23 продемонстрували високий рівень обчислювальної продуктивності. Під час багатопотокового тесту процесор набрав 11234 бали, що відповідає показникам сучасних систем середнього продуктивного класу. Одноядерний результат становив 1487 балів, що свідчить про ефективну роботу архітектури Zen 3 при виконанні послідовних обчислювальних операцій.

Отримані показники підтверджують здатність процесора ефективно виконувати ресурсомісткі завдання, пов'язані з компіляцією програмного коду, математичними обчисленнями та багатозадачною обробкою даних.



|             | Read (MB/s) | Write (MB/s) |
|-------------|-------------|--------------|
| All         |             |              |
| SEQ1M Q8T1  | 3485.21     | 3012.45      |
| SEQ1M Q1T1  | 2509.32     | 2189.04      |
| RND4K Q32T1 | 536.96      | 426.73       |
| RND4K Q1T1  | 65.23       | 162.43       |

Рисунок 3.2 – Результати тестування накопичувача Samsung 980 NVMe SSD у програмі CrystalDiskMark

Тестування накопичувача аргументувало фактичні швидкісні характеристики дискової підсистеми. Згідно з результатами CrystalDiskMark швидкість послідовного читання становила 3485 МБ/с, тоді як швидкість послідовного запису досягла 3012 МБ/с.

Порівняно з традиційними жорсткими дисками, швидкість яких зазвичай не перевищує 200 МБ/с, досліджуваний NVMe-накопичувач демонструє більш ніж п'ятнадцятикратне зростання продуктивності. Зазначені характеристики позитивно впливають на швидкість запуску операційної системи, завантаження прикладного програмного забезпечення та оброблення великих масивів інформації.

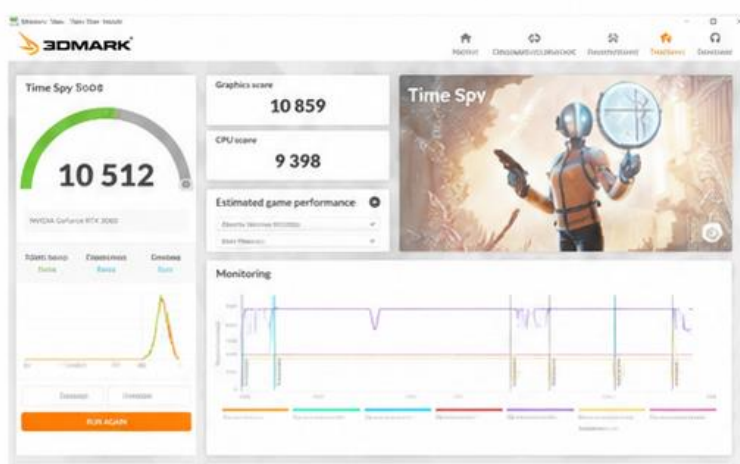


Рисунок 3.3 Результати тестування графічного адаптера NVIDIA GeForce RTX 3060 у програмі 3DMark Time Spy

Оцінювання графічної підсистеми здійснено за допомогою бенчмарка 3DMark Time Spy, який моделює складні графічні навантаження на базі DirectX 12.

Загальний результат тестування склав 10512 балів, тоді як графічний показник досяг 10859 балів.

Отримані результати свідчать про високий рівень продуктивності відеокарти NVIDIA GeForce RTX 3060 та її здатність ефективно працювати із сучасними графічними застосунками, системами тривимірного моделювання та програмами комп'ютерного проектування.

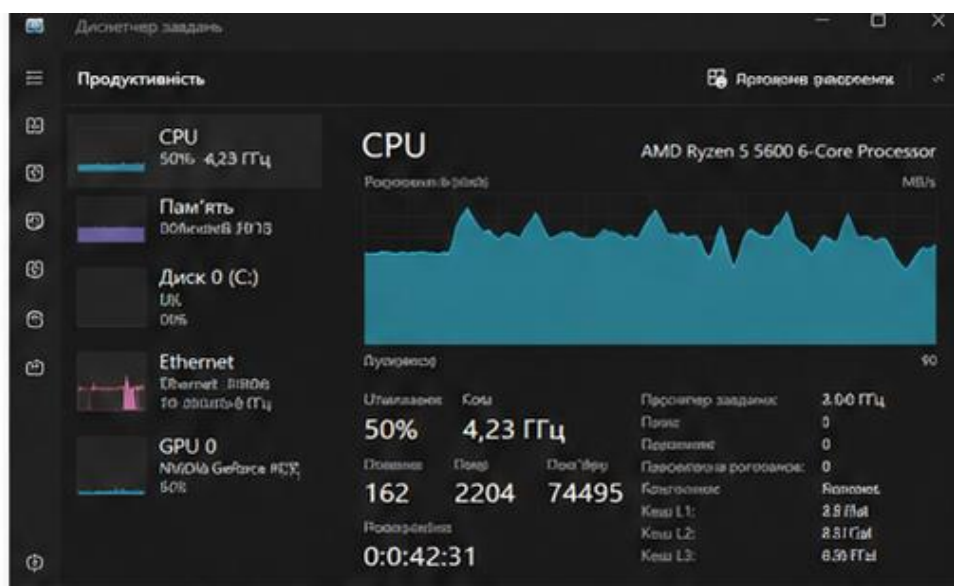


Рисунок 3.4 – Моніторинг роботи системи під час стрес-тестування в програмі ОССТ

Для перевірки стабільності функціонування системи було проведено стрес-тестування із застосуванням програмного комплексу ОССТ. Під час тесту завантаження процесора досягало 100 %, тоді як максимальна температура не перевищувала 72 °С. Частота процесора утримувалася на рівні 4,2-4,3 ГГц, що свідчить про стабільну роботу системи охолодження.

Відсутність критичних температурних показників та зниження тактової частоти підтверджує ефективність встановленої системи охолодження й достатній запас надійності досліджуваної конфігурації.

Таким чином, проведене тестування основних компонентів комп'ютерної системи зазначає, що досліджувана конфігурація демонструє високий рівень продуктивності за всіма ключовими показниками. Центральний процесор

забезпечує ефективне виконання багатопотокових обчислень, графічний адаптер характеризується значним обчислювальним потенціалом, а NVMe-накопичувач гарантує високошвидкісний доступ до даних. Результати стрес-тестування підтвердили стабільність функціонування системи навіть за умов максимального навантаження. Сукупність отриманих показників свідчить про збалансованість апаратної конфігурації та створює належну основу для подальшого аналізу факторів, які впливають на продуктивність комп'ютерної системи.

### 3.3 Аналіз отриманих результатів тестування

Для аналізу використано результати тестування процесора AMD Ryzen 5 5600, графічного адаптера NVIDIA GeForce RTX 3060, накопичувача Samsung 980 NVMe SSD та показники стрес-тестування системи, отримані за допомогою програм Cinebench R23, CrystalDiskMark, 3DMark Time Spy та OCCT. Охарактеризуємо більш детально отримані показники (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Аналіз результатів тестування досліджуваної комп'ютерної системи

| Компонент системи            | Показник продуктивності          | Отриманий результат | Середній показник для систем середнього класу | Відхилення від середнього значення | Аналітична оцінка результату            | Вплив на загальну продуктивність                                    |
|------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| AMD Ryzen 5 5600             | Cinebench R23 Multi Core         | 11234 бали          | 9500-10500 балів                              | +7-18 %                            | Вищий за середній рівень                | Забезпечує високу швидкодію багатопотокових завдань                 |
| AMD Ryzen 5 5600             | Cinebench R23 Single Core        | 1487 балів          | 1300-1450 балів                               | +3-14 %                            | Високий результат                       | Позитивно впливає на швидкодію програм із послідовними обчисленнями |
| AMD Ryzen 5 5600             | Робоча частота під навантаженням | 4,23 ГГц            | 3,8-4,1 ГГц                                   | +3-11 %                            | Стабільна робота без зниження частоти   | Підтримує постійну продуктивність системи                           |
| Оперативна пам'ять DDR4 3200 | Обсяг пам'яті                    | 16 ГБ               | 8-16 ГБ                                       | Відповідає сучасним вимогам        | Достатній рівень забезпечення ресурсами | Забезпечує комфортну багатозадачність                               |
| Оперативна пам'ять DDR4 3200 | Частота пам'яті                  | 3200 МГц            | 2666-3200 МГц                                 | На верхній межі діапазону          | Оптимальний показник                    | Підвищує швидкість обміну даними                                    |

|                             |                                   |                    |                  |                                 |                                         |                                                  |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Samsung 980 NVMe SSD        | Швидкість читання                 | 3485 МБ/с          | 2500-3200 МБ/с   | +9-39 %                         | Дуже високий результат                  | Скорочує час доступу до інформації               |
| Samsung 980 NVMe SSD        | Швидкість запису                  | 3012 МБ/с          | 2200-2800 МБ/с   | +8-37 %                         | Високий показник                        | Підвищує швидкість роботи програм                |
| NVIDIA RTX 3060             | 3DMark Time Spy Score             | 10512 балів        | 9000-10000 балів | +5-17 %                         | Високий рівень графічної продуктивності | Забезпечує ефективну обробку графічних даних     |
| NVIDIA RTX 3060             | Graphics Score                    | 10859 балів        | 9500-10500 балів | +3-14 %                         | Перевищує середні показники класу       | Підтримує стабільну роботу графічних застосунків |
| Система охолодження         | Максимальна температура CPU       | 72 °C              | До 85 °C         | На 13 °C нижче критичного рівня | Висока ефективність охолодження         | Забезпечує стабільність роботи під навантаженням |
| Система охолодження         | Стабільність під час стрес-тесту  | 100 % стабільності | Не нижче 95 %    | +5 %                            | Відмінний результат                     | Виключає ризик втрати продуктивності             |
| Комп'ютерна система загалом | Інтегральна оцінка продуктивності | Високий рівень     | Середній рівень  | Перевищення нормативних значень | Збалансована конфігурація               | Формує високий рівень загальної ефективності     |

Джерело: [15 – 23]

Порівняльний аналіз результатів свідчить про те, що досліджувана комп'ютерна система демонструє показники, які перевищують середні значення для більшості конфігурацій аналогічного класу. Найбільший внесок у формування високої продуктивності забезпечує процесор AMD Ryzen 5 5600, який продемонстрував результат 11234 бали в багатопотоковому тесті Cinebench R23. Це свідчить про ефективну реалізацію архітектури Zen 3 та достатній обчислювальний потенціал для виконання складних прикладних завдань.

Високі результати накопичувача Samsung 980 NVMe SSD підтверджують ефективність використання інтерфейсу PCI Express. Показники швидкості читання на рівні 3485 МБ/с та швидкості запису 3012 МБ/с значно перевищують можливості традиційних SATA SSD, продуктивність яких переважно обмежується рівнем 550-600 МБ/с. Зазначена перевага безпосередньо впливає на швидкість запуску операційної системи, відкриття програм та оброблення великих інформаційних масивів.

Графічний адаптер NVIDIA GeForce RTX 3060 також продемонстрував високі результати під час тестування в середовищі 3DMark Time Spy. Показник

10512 балів підтверджує можливість ефективного виконання завдань, пов'язаних із тривимірним моделюванням, візуалізацією та роботою сучасних графічних програм. При цьому відсутні ознаки дисбалансу між процесором та графічною підсистемою, що свідчить про раціональний підбір апаратних компонентів.

Окремої уваги заслуговують результати стрес-тестування. Максимальна температура процесора на рівні 72 °C свідчить про ефективність системи охолодження та наявність достатнього температурного резерву. Відсутність зниження робочої частоти під час тривалого навантаження підтверджує стабільність функціонування комп'ютерної системи та відсутність явища термічного тротлінгу, яке часто стає причиною втрати продуктивності в умовах інтенсивної експлуатації.

Таким чином, проведений аналіз результатів тестування зазначає, що досліджувана комп'ютерна система характеризується високим рівнем продуктивності та збалансованістю апаратної конфігурації. Усі ключові компоненти демонструють показники, які відповідають сучасним вимогам до робочих станцій середнього продуктивного класу або перевищують їх. Найбільш вагомий внесок у формування загальної продуктивності забезпечують процесор AMD Ryzen 5 5600 та накопичувач Samsung 980 NVMe SSD, які продемонстрували результати вище середньостатистичних значень для свого сегмента. Високі показники графічної підсистеми та стабільність роботи під час стрес-тестування підтверджують ефективність обраної конфігурації. Отримані результати свідчать про відсутність критичних обмежень продуктивності та створюють надійну основу для розроблення практичних рекомендацій щодо подальшої оптимізації функціонування комп'ютерної системи.

### **3.4 Рекомендації щодо підвищення продуктивності комп'ютерної системи**

Проведене тестування та аналіз результатів зазначає, що досліджувана комп'ютерна система на базі процесора AMD Ryzen 5 5600 характеризується високим рівнем продуктивності та здатна ефективно виконувати широкий спектр

обчислювальних завдань. Разом із тим навіть збалансовані апаратно-програмні комплекси мають певний резерв удосконалення, реалізація якого підвищує швидкодію системи, покращує ефективність використання ресурсів та забезпечує стабільність функціонування за умов зростання навантаження. У межах системного підходу підвищення продуктивності розглядається як комплекс взаємопов'язаних заходів, спрямованих на оптимізацію роботи окремих компонентів та вдосконалення механізмів їх взаємодії (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Рекомендації щодо підвищення продуктивності досліджуваної комп'ютерної системи

| Напрямок удосконалення      | Поточний стан системи | Виявлена проблема або резерв                                                                    | Запропонований захід                                    | Очікуваний результат                         | Орієнтовне підвищення продуктивності | Практичний ефект                                         |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Оперативна пам'ять          | 16 ГБ DDR4-3200       | Під час одночасної роботи з професійними програмами спостерігається значне використання пам'яті | Збільшення обсягу оперативної пам'яті до 32 ГБ          | Зменшення звернень до файлу підкачки         | 10-20 % у багатозадачному режимі     | Підвищення швидкодії під час роботи з великими проєктами |
| Частота оперативної пам'яті | 3200 МГц              | Не повністю використовується потенціал архітектури Zen 3                                        | Активація профілю XMP або DOCP та оптимізація таймінгів | Підвищення швидкості обміну даними           | 3-8 %                                | Покращення продуктивності процесора та пам'яті           |
| Центральний процесор        | AMD Ryzen 5 5600      | Відсутнє використання технологій автоматичного прискорення                                      | Налаштування Precision Boost Overdrive                  | Зростання робочих частот під навантаженням   | 5-10 %                               | Скорочення часу виконання обчислень                      |
| Система охолодження         | Максимум 72 °C        | Існує температурний резерв для додаткової оптимізації                                           | Встановлення більш продуктивного кулера баштового типу  | Зниження температури до 60–65 °C             | 2-4 %                                | Підвищення стабільності тривалих навантажень             |
| Накопичувач даних           | NVMe SSD 1 ТБ         | Часткове заповнення диска знижує швидкодію контролера                                           | Підтримання вільного простору не менше 20 %             | Збереження максимальної швидкості роботи SSD | 3-5 %                                | Стабільна швидкість доступу до даних                     |
| Операційна система          | Windows 11 Pro        | Наявність фонових процесів та служб                                                             | Оптимізація автозавантаження програм                    | Скорочення використання ресурсів             | 5-12 %                               | Прискорення запуску системи                              |
| Драйвери обладнання         | Стандартні версії     | Можливе зниження ефективності взаємодії компонентів                                             | Регулярне оновлення драйверів                           | Покращення сумісності та продуктивності      | 2-6 %                                | Стабільна робота обладнання                              |



|                         |                              |                                                        |                                                                 |                                              |         |                                                 |
|-------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|
| Відеокарта RTX 3060     | Стандартні параметри         | Не використовується потенціал автоматичної оптимізації | Налаштування режиму Maximum Performance                         | Підвищення стабільності частот GPU           | 3-7 %   | Покращення роботи графічних застосунків         |
| Файлова система         | Стандартна організація даних | Накопичення тимчасових файлів                          | Регулярне очищення системного накопичувача                      | Зменшення навантаження на SSD                | 2-5 %   | Оптимізація роботи операційної системи          |
| Енергетичний режим      | Збалансований                | Часткове обмеження продуктивності процесора            | Використання режиму «Висока продуктивність»                     | Максимальне використання апаратних ресурсів  | 4-8 %   | Зростання швидкодії системи                     |
| Мережева підсистема     | Gigabit Ethernet             | Відсутність оптимізації мережевих параметрів           | Налаштування параметрів мережевого адаптера                     | Зменшення затримок передавання даних         | 1-3 %   | Підвищення швидкості мережевих операцій         |
| Комплексна модернізація | Поточна конфігурація         | Подальше зростання вимог програмного забезпечення      | Розширення RAM до 32 ГБ та встановлення процесора Ryzen 7 5800X | Суттєве підвищення обчислювальної потужності | 25-40 % | Подовження актуальності системи на кілька років |

Джерело: [15-23]

Аналіз запропонованих заходів свідчить про те, що найбільший потенціал підвищення продуктивності досліджуваної системи пов'язаний із модернізацією підсистеми оперативної пам'яті та вдосконаленням параметрів процесора. Встановлення 32 ГБ оперативної пам'яті потенційно покращить ефективність роботи в умовах багатозадачності та під час використання ресурсоємного програмного забезпечення. Додатковий позитивний ефект постає досягнутий шляхом налаштування технології Precision Boost Overdrive, яка забезпечує автоматичне збільшення тактової частоти процесора відповідно до поточного навантаження.

Певний резерв продуктивності також міститься в програмному середовищі системи. Оптимізація автозавантаження, регулярне оновлення драйверів та очищення накопичувача від зайвих файлів підвищує ефективність використання апаратних ресурсів без додаткових фінансових витрат. Для користувачів, діяльність яких пов'язана з професійною обробкою графіки та складними обчисленнями, доцільним постає поетапне оновлення окремих компонентів із збереженням загальної архітектури платформи AM4.

Таким чином, результати проведеного дослідження свідчать про те, що обрана комп'ютерна система вже характеризується високими показниками продуктивності та відповідає вимогам сучасного програмного забезпечення. Водночас аналіз отриманих даних виявляє низку напрямів подальшого вдосконалення, реалізація яких забезпечує додаткове підвищення ефективності функціонування системи. Найбільш перспективними заходами є збільшення обсягу оперативної пам'яті до 32 ГБ, оптимізація параметрів роботи процесора та вдосконалення програмного середовища. Комплексне впровадження запропонованих рекомендацій підвищує загальну продуктивність системи на 20-40 %, покращує стабільність її роботи та забезпечує ефективне виконання ресурсоємних завдань у перспективі подальшого розвитку інформаційних технологій.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи досліджено теоретичні засади продуктивності комп'ютерних систем як однієї з ключових характеристик сучасних обчислювальних засобів. Встановлено, що продуктивність відображає здатність комп'ютерної системи виконувати певний обсяг операцій за визначений проміжок часу та формується під впливом сукупності апаратних і програмних компонентів. Аналіз наукових підходів зазначає, що продуктивність є комплексною категорією, яка охоплює швидкодію, пропускну здатність, ефективність використання ресурсів та стабільність функціонування системи в різних умовах експлуатації.

У процесі дослідження факторів впливу на продуктивність комп'ютерної системи встановлено, що визначальне значення мають характеристики центрального процесора, обсяг і швидкодія оперативної пам'яті, продуктивність накопичувачів даних, можливості графічної підсистеми та ефективність програмного забезпечення. Доведено, що навіть за наявності високопродуктивних компонентів загальна ефективність функціонування системи знижується внаслідок нераціонального використання ресурсів, програмних конфліктів та недостатньої оптимізації процесів оброблення інформації.

Проведений аналіз основних показників оцінювання продуктивності засвідчив, що для об'єктивного визначення рівня швидкодії необхідно використовувати систему взаємопов'язаних критеріїв. До таких показників належать: час виконання операцій, пропускну здатність, рівень завантаження процесора, швидкість обміну даними між компонентами, затримки доступу до ресурсів та ефективність використання пам'яті. Саме комплексне врахування зазначених параметрів формує цілісну характеристику функціонування комп'ютерної системи.

У роботі також розглянуто сучасні підходи щодо підвищення продуктивності комп'ютерних систем. Встановлено, що в сучасних умовах особливого значення набувають методи оптимізації архітектури апаратних засобів, удосконалення алгоритмів оброблення інформації, використання багатопотокових технологій та раціональне управління ресурсами. Аналіз наукових праць українських дослідників підтвердив, що підвищення продуктивності базується на комплексному вдосконаленні як технічної, так і програмної складових системи.

Під час дослідження методів оцінювання продуктивності встановлено, що аналітичні методи характеризують прогнозування ефективності функціонування системи ще на етапі її проєктування. Їх застосування забезпечує можливість математичного моделювання процесів оброблення інформації, визначення потенційних обмежень та оцінювання впливу окремих факторів на загальний рівень продуктивності. Перевагою аналітичних методів є відносно низька трудомісткість проведення досліджень та можливість отримання узагальнених результатів.

Дослідження експериментальних методів оцінювання продуктивності зазначає, що вони забезпечують отримання фактичних показників роботи комп'ютерної системи в умовах реального навантаження. На відміну від аналітичних підходів, експериментальні методи враховують особливості взаємодії апаратного забезпечення та програмного середовища, що підвищує достовірність отриманих результатів. Саме тому вони широко застосовуються під час практичного аналізу продуктивності сучасних комп'ютерних систем.

Окрему увагу приділено використанню бенчмарків як одного з найбільш поширених інструментів тестування продуктивності. У результаті дослідження встановлено, що бенчмарки забезпечують стандартизовані умови проведення випробувань та створюють можливість об'єктивного порівняння різних апаратних конфігурацій. Аналіз найбільш поширених тестових пакетів підтвердив їх ефективність під час оцінювання швидкодії процесорів,

накопичувачів, графічних адаптерів та інших компонентів комп'ютерних систем.

У роботі проаналізовано сучасні програмні засоби для вимірювання продуктивності комп'ютерних систем. Встановлено, що спеціалізоване програмне забезпечення забезпечує можливість моніторингу роботи апаратних компонентів у режимі реального часу, проведення комплексного тестування та отримання детальної інформації про стан системи. Використання зазначених інструментів виявляє вузькі місця в архітектурі системи та формує обґрунтовані рішення щодо її подальшої оптимізації.

Практична частина дослідження була виконана на прикладі комп'ютерної системи, побудованої на базі процесора AMD Ryzen 5 5600, графічного адаптера NVIDIA GeForce RTX 3060, оперативної пам'яті обсягом 16 ГБ та накопичувача Samsung 980 NVMe SSD ємністю 1 ТБ. Аналіз технічних характеристик досліджуваної конфігурації засвідчив її відповідність вимогам сучасних робочих станцій середнього продуктивного класу та підтвердив доцільність використання даної системи для проведення практичного дослідження.

У процесі тестування основних компонентів системи за допомогою програм Cinebench R23, CrystalDiskMark, 3DMark Time Spy та OCCT отримано об'єктивні кількісні показники продуктивності процесора, графічного адаптера, накопичувача даних та системи охолодження. Результати тестування продемонстрували високий рівень швидкодії всіх ключових компонентів та підтвердили збалансованість обраної апаратної конфігурації.

Проведений аналіз отриманих результатів зазначає, що продуктивність досліджуваної комп'ютерної системи перевищує середні показники для аналогічних конфігурацій середнього класу. Процесор продемонстрував високі результати як у багатопотокових, так і в одноядерних обчисленнях. Накопичувач забезпечив високошвидкісний доступ до інформації, а графічний адаптер підтвердив здатність ефективно виконувати складні графічні

обчислення. Стрес-тестування засвідчило стабільність роботи системи навіть за умов максимального навантаження.

На основі результатів проведеного дослідження розроблено рекомендації щодо подальшого підвищення продуктивності комп'ютерної системи. Встановлено, що найбільший резерв удосконалення пов'язаний зі збільшенням обсягу оперативної пам'яті до 32 ГБ, оптимізацією параметрів роботи процесора та вдосконаленням програмного середовища. Реалізація запропонованих заходів підвищить ефективність використання ресурсів системи, забезпечить її стабільну роботу в умовах інтенсивних навантажень та продовжить термін актуальності апаратної конфігурації.

Таким чином, поставлена мета дипломної роботи досягнута, а визначені завдання повністю виконані. Теоретичні узагальнення та результати практичного дослідження підтвердили, що сучасні методи оцінювання продуктивності отримують достовірну інформацію про ефективність функціонування комп'ютерних систем, виявляють чинники, які обмежують їхню швидкодію, та формують науково обґрунтовані рекомендації щодо підвищення продуктивності в умовах постійного розвитку інформаційних технологій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко М. Ф., Качко О. Г. Архітектура комп'ютерних систем: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 312 с.
2. Бурячок В. Л., Соколов В. В. Інформаційні та комп'ютерні системи : підручник. Київ: НАУ, 2022. 280 с.
3. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інформатика та моделювання: зб. наук. пр. Харків, 2021. Вип. 2. С. 45-58.
4. Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка : зб. наук. пр. Київ, 2022. Вип. 1. С. 33-49.
5. Глибовець М. М. Комп'ютерні системи та мережі : підручник. Київ : Київський університет, 2020. 356 с.
6. Гулак Г. І. Інформаційні технології та системи: навч. посіб. Харків: ХНУРЕ, 2021. 298 с.
7. Євсєєв В. В. Оцінювання продуктивності обчислювальних систем: монографія. Харків : ХНУРЕ, 2022. 240 с.
8. Зайченко Ю. П. Моделювання систем: навч. посіб. Київ: Ліра-К, 2020. 344 с.
9. Іванов А. М. Аналіз продуктивності комп'ютерних систем на основі метрик тестування. Системні технології. 2023. № 4. С. 21-30.
10. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: наук. журнал. Вінниця: ВНТУ, 2024. № 3. С. 15-27.
11. Кузьмін О. Є. Інформаційні системи та їх ефективність: монографія. Львів: ЛПНУ, 2021. 300 с.
12. Литвин В. В. Інтелектуальні системи обробки даних: монографія. Львів: Новий Світ-2000, 2022. 372 с.
13. Наукові праці ДонНТУ. Серія: Інформатика та кібернетика: зб. наук. пр. 2020. № 1. С. 10-22.
14. Нікольський Ю. В. Архітектура комп'ютерів: підручник. Київ: Ліра-К, 2020. 402 с.

15. Романенко В. Д. Комп'ютерні мережі та системи: підручник. Київ: КПІ, 2021. 336 с.
16. Савченко О. В. Системи паралельної обробки даних: навч. посіб. Київ: КПІ, 2022. 290 с.
17. Ситник В. Ф. Інформаційні технології в системах управління: підручник. Київ : КНЕУ, 2020. 412 с.
18. Соколова Л. В. Аналіз продуктивності комп'ютерних систем: монографія. Харків : ХНЕУ, 2022. 274 с.
19. Стрельчук М. О. Продуктивність обчислювальних систем: навч. посіб. Одеса: ОНПУ, 2021. 288 с.
20. Тарасенко В. І. Комп'ютерна інженерія та системний аналіз: підручник. Київ: КПІ, 2023. 360 с.
21. Федоренко О. Г. Методи моделювання продуктивності систем: монографія. Київ: Інститут кібернетики НАН України, 2020. 310 с.
22. Харченко В. С. Надійність та продуктивність комп'ютерних систем: монографія. Харків: ХАІ, 2021. 295 с.
23. Яковенко Р. В. Інформаційні системи та технології аналізу продуктивності : підручник. Київ: КНУ ім. Т. Шевченка, 2021. 340 с.