

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Навчально-науковий інститут новітніх освітніх технологій
Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління

ПУТЬКАЛО Микола Павлович

**Застосунок оцінювання комп'ютерної продуктивності для
дослідження інформаційних процесів візуалізації / Application for
Evaluating Computer Performance for Study of Visualization
Information Processes**

спеціальність: 122 - Комп'ютерні науки
освітньо-професійна програма - Комп'ютерні науки

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи КНз-41
М.П. Путькало

Науковий керівник
к.т.н., доцент М.З. Домбровський

Кваліфікаційну роботу допущено до
захисту

«_____» _____ 20____ р.

Завідувач кафедри

_____ **Н.В. Дзюбановська**

ТЕРНОПІЛЬ – 2026

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління
Освітній ступінь «бакалавр»
спеціальність: 122 – Комп'ютерні науки
освітньо-професійна програма – Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Н.В. Дзюбановська

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ПУТЬКАЛУ Миколі Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Застосунок оцінювання комп'ютерної продуктивності для дослідження інформаційних процесів візуалізації / Application for Evaluating Computer Performance for Study of Visualization Information Processes

керівник роботи к.т.н., доцент, М. З. Домбровський

затверджений наказом по університету від 01 грудня 2025 року №894

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи 25 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: завдання на кваліфікаційну роботу студента, низькорівневі бібліотеки та утиліти для збору телеметрії (MSI Afterburner/RTSS, TechPowerUp GPU-Z)

4. Основні питання, які потрібно розробити

– Дослідження методів оцінювання продуктивності систем та визначення критеріїв ефективності GPU.

– Визначення факторів, що викривляють або впливають на достовірність результатів бенчмаркінгу.

– Розгортання тестового середовища, формування програмно-апаратних стендів для експериментального дослідження.

– Комплексне тестування рендерингу, генеративного штучного інтелекту та інтерактивної графічної візуалізації.

– Оцінка отриманих результатів та визначення специфіки продуктивності різних комп'ютерних систем.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

– UML-діаграми факторів оцінки продуктивності і алгоритмів тестування.

– Графіки результатів продуктивності

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Огляд літературних джерел відповідно до предметної області та складання плану роботи	до 01.01.2026 р.	
2	Написання 1 розділу кваліфікаційної роботи	до 01.02.2026 р.	
3	Написання 2 розділу кваліфікаційної роботи	до 15.03.2026 р.	
4	Написання 3 розділу кваліфікаційної роботи	до 01.05.2026 р.	
5	Представлення попереднього варіанту кваліфікаційної роботи, перевірка та внесення змін керівником	до 15.05.2026 р.	
6	Опрацювання зауважень та представлення завершеного варіанту кваліфікаційної роботи. Підготовка супроводжуючих документів	до 25.05.2026 р.	
7	Перевірка кваліфікаційної роботи на оригінальність тексту	до 30.05.2026 р.	
8	Оформлення кваліфікаційної роботи та отримання допуску до захисту	до 10.06.2026 р.	
9	Подання кваліфікаційної роботи до захисту на засіданні атестаційної комісії	до 10.06.2026 р.	

Студент _____ М.П. Путькало
підпис

Керівник роботи _____ к.т.н., доцент М.З.Домбровський
підпис

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему «Застосунок оцінювання комп'ютерної продуктивності для дослідження інформаційних процесів візуалізації» на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» освітньої програми «Комп'ютерні науки» написана обсягом в 59 сторінок і містить 21 ілюстрацій, 1 таблиц., 2 додатки та 39 використаних джерел.

Метою роботи є проведення комплексного аналізу ефективності сучасних графічних прискорювачів у різних сценаріях обробки інформації, а також визначення впливу архітектурних особливостей, обсягу відеопам'яті, програмної оптимізації та спеціалізованих обчислювальних блоків на кінцеву продуктивність системи.

Методи дослідження включають експериментальний бенчмаркінг, порівняльний аналіз апаратних платформ, вимірювання часу виконання операцій, оцінювання стабільності графічного конвеєра за допомогою framerate-метрик, а також аналіз впливу архітектурних особливостей GPU на швидкодію.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для вибору оптимальних апаратних конфігурацій під конкретні типи навантаження, пов'язані з комп'ютерною графікою, цифровою обробкою інформації та задачами штучного інтелекту.

Результати дослідження можуть бути використані в науково-дослідних підрозділах, підприємствах із розробки програмного забезпечення, а також фахівцями в галузі 3D-візуалізації та штучного інтелекту для оптимізації і прогнозування ефективності програмно-апаратних комплексів.

Ключові слова: ГРАФІЧНИЙ ПРИСКОРЮВАЧ, БЕНЧМАРКІНГ, ЧАС КАДРУ, ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ, ГЕНЕРАТИВНИЙ ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ВІДЕОПАМ'ЯТЬ (VRAM).

ANNOTATION

The qualification work on the topic "Application for Evaluating Computer Performance for Study of Visualization Information Processes" for the bachelor's degree in specialty 122 "Computer Science", educational program "Computer Science", consists of 59 pages and contains 21 figures, 1 table, 2 annexes and 39 sources.

The objective of this study is to conduct a comprehensive analysis of the efficiency of modern graphics accelerators across various information processing scenarios, as well as to determine the impact of architectural features, video memory capacity, software optimization, and specialized computing blocks on the final system performance.

The research methods include experimental benchmarking, comparative analysis of hardware platforms, measurement of operation execution times, evaluation of graphics pipeline stability using frametime metrics, and analysis of the impact of GPU architectural features on performance.

The practical value of the work lies in the possibility of utilizing the obtained results to select optimal hardware configurations for specific workload types associated with computer graphics, digital information processing, and artificial intelligence tasks.

The research findings can be utilized by R&D departments, software development companies, as well as specialists in the fields of 3D visualization and artificial intelligence to optimize and predict the efficiency of hardware-software systems.

Keywords: GRAPHICS ACCELERATOR, BENCHMARKING, FRAMETIME, RAY TRACING, GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE, VIDEO MEMORY (VRAM).

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Теоретичні основи візуалізації та архітектури сучасних графічних процесорів	9
1.1 Предметна область оцінювання комп'ютерної продуктивності в задачах візуалізації	9
1.2 Огляд сучасних аналогів, що реалізують функції візуалізації	13
1.3 Постановка задачі оцінювання комп'ютерної продуктивності для дослідження інформаційних процесів візуалізації	17
2 Алгоритмічне та інформаційне забезпечення оцінювання комп'ютерної продуктивності	20
2.1 Критерії та метрики ефективності процесів візуалізації	20
2.2 Алгоритмічне забезпечення бенчмаркінгу інформаційних процесів візуалізації	23
2.3 Інформаційне забезпечення тестування продуктивності процесів візуалізації	28
3 Практичне дослідження та порівняльний аналіз результатів тестування	35
3.1 Оцінювання продуктивності у задачах 3D-візуалізації та рендерингу	35
3.2 Дослідження продуктивності у завданнях генеративного ШІ	39
3.3 Тестування комп'ютерної продуктивності у сучасних інформаційних процесах візуалізації	40
Висновки	45
Список використаних джерел	47
Додаток А Копія публікації	50
Додаток Б Доповнення до роботи	57

ВСТУП

Розвиток інформаційних технологій характеризується постійним ускладненням обчислювальних задач, зростанням обсягів даних та підвищенням вимог до швидкості їх обробки. Особливо актуальним цей напрям є у сферах тривимірної візуалізації, комп'ютерної графіки, генеративного штучного інтелекту, моделювання фізичних процесів та інтерактивних цифрових середовищ. Продуктивність виконання таких завдань безпосередньо залежить від взаємодії апаратних компонентів комп'ютерної системи, архітектури графічних прискорювачів, програмного забезпечення та методів оптимізації обчислювальних процесів.

У сучасних умовах оцінювання продуктивності комп'ютерних систем не може базуватися лише на одному узагальненому показнику. Різні типи навантажень створюють принципово відмінні умови роботи для центрального процесора, графічного адаптера, підсистеми пам'яті та спеціалізованих обчислювальних блоків. Саме тому виникає необхідність комплексного дослідження продуктивності обчислювальних систем із використанням сукупності практичних тестових сценаріїв, які дозволяють визначити реальні можливості апаратних платформ.

Об'єкт дослідження - процеси збору, представлення, обробки, зберігання, передачі та доступу до інформації в комп'ютерних системах.

Предметом дослідження є методи оцінювання продуктивності графічних процесорів та комп'ютерних систем під час виконання завдань тривимірного рендерингу, генеративного штучного інтелекту та інтерактивної графічної візуалізації.

Мета роботи - проведення комплексного аналізу ефективності сучасних графічних прискорювачів у різних сценаріях обробки інформації, а також визначення впливу архітектурних особливостей, обсягу відеопам'яті, програмної оптимізації та спеціалізованих обчислювальних блоків на кінцеву продуктивність системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- Проаналізувати сучасні підходи до оцінювання продуктивності комп'ютерних систем та визначити основні критерії ефективності графічних прискорювачів.
- Розглянути підхід системного бенчмаркінгу та визначити фактори, які можуть впливати на достовірність результатів тестування.
- Сформулювати апаратне та програмне середовище для проведення експериментального дослідження різних графічних адаптерів.
- Провести практичне тестування продуктивності у задачах тривимірного рендерингу, генеративного штучного інтелекту та сучасних відеоіграх.
- Виконати порівняльний аналіз отриманих результатів та визначити особливості ефективності різних архітектур графічних процесорів у сучасних обчислювальних сценаріях.

Методи дослідження включають експериментальний бенчмаркінг, порівняльний аналіз апаратних платформ, вимірювання часу виконання операцій, оцінювання стабільності графічного конвеєра за допомогою frametime-метрик, а також аналіз впливу архітектурних особливостей GPU на швидкодію.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для вибору оптимальних апаратних конфігурацій під конкретні типи навантаження, пов'язані з комп'ютерною графікою, цифровою обробкою інформації та задачами штучного інтелекту.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА АРХІТЕКТУРИ СУЧАСНИХ ГРАФІЧНИХ ПРОЦЕСОРІВ

1.1 Предметна область оцінювання комп'ютерної продуктивності в задачах візуалізації

Комп'ютерна візуалізація є одним із найважливіших напрямів розвитку сучасних інформаційних технологій. Вона використовується у відеоіграх, системах автоматизованого проектування, архітектурному моделюванні, наукових дослідженнях, медичній діагностиці, кіноіндустрії та системах штучного інтелекту. Розвиток методів візуалізації супроводжується постійним зростанням вимог до обчислювальних ресурсів комп'ютерних систем, що зумовлює необхідність оцінювання та аналізу їх продуктивності [1].

Історично комп'ютерна візуалізація розвивалася шляхом поступового ускладнення математичних моделей, які описують геометрію об'єктів та взаємодію світла з поверхнями. На сучасному етапі можна виділити три основні підходи до формування зображень: растеризацію, трасування променів та генеративну візуалізацію на основі штучного інтелекту.

Традиційна тривимірна растеризація залишається основною технологією формування зображень у більшості інтерактивних застосунків та відеоігор завдяки високій швидкості оброблення графічних сцен. Процес растеризації складається з послідовних етапів оброблення геометрії, трансформації координат, відсікання невидимих поверхонь, теселяції, растеризації полігонів та піксельного шейдингу. Основне навантаження при цьому припадає на графічний процесор, який виконує значну кількість паралельних операцій над вершинами та пікселями [2].

Для підвищення деталізації складних поверхонь широко використовується теселяція, яка передбачає автоматичне розбиття геометричних об'єктів на велику кількість дрібних полігонів. Такий підхід дозволяє відображати складні криволінійні поверхні без істотного збільшення обсягу вихідних моделей, однак потребує додаткових обчислювальних ресурсів.

Незважаючи на високу продуктивність, растеризація не забезпечує фізично коректного моделювання поширення світла. Для створення ефектів глобального освітлення, м'яких тіней, відбиттів та заломлення використовуються спеціальні алгоритми апроксимації, такі як Ambient Occlusion, Screen Space Reflections та Normal Mapping. Застосування таких технологій підвищує якість зображення, проте збільшує навантаження на апаратні ресурси системи.

Альтернативним підходом є трасування променів (Ray Tracing), яке моделює фізичні процеси поширення світла в тривимірному просторі. У цьому випадку для кожного пікселя генеруються віртуальні промені, що відстежують взаємодію світла з об'єктами сцени. Результатом є значно вищий рівень фотореалістичності порівняно з традиційною растеризацією [3].

Основною проблемою трасування променів є висока обчислювальна складність. Для прискорення пошуку перетинів між променями та об'єктами використовуються спеціальні структури просторового розбиття, зокрема ієрархії обмежувальних об'ємів (Bounding Volume Hierarchy, BVH). Сучасні графічні процесори містять спеціалізовані апаратні блоки, призначені для прискорення операцій трасування променів у режимі реального часу.

Останнім часом значного поширення набули генеративні методи створення зображень на основі штучного інтелекту. На відміну від класичних підходів, генеративні моделі не формують сцену з геометричних примітивів, а синтезують зображення на основі статистичних закономірностей, отриманих під час навчання нейронних мереж. Найбільшого поширення набули латентні дифузійні моделі, які здійснюють поступове перетворення випадкового шуму на змістовне зображення відповідно до текстового опису користувача.

З технічної точки зору генерація зображень засобами штучного інтелекту являє собою велику кількість паралельних матричних обчислень. Ефективність виконання таких задач визначається продуктивністю спеціалізованих обчислювальних блоків графічного процесора та обсягом доступної відеопам'яті.

Проведений аналіз показує, що кожен із розглянутих підходів до візуалізації формує принципово різний характер навантаження на апаратні ресурси комп'ютерної системи. Растеризація переважно використовує графічні конвеєри оброблення геометрії та пікселів, трасування променів активно навантажує спеціалізовані RT-блоки, а генеративний штучний інтелект використовує тензорні обчислювальні модулі та підсистему пам'яті [21]. У результаті виникає необхідність комплексного оцінювання продуктивності комп'ютерних систем у різних сценаріях візуалізації [4].

Предметною областю дослідження є процес оцінювання продуктивності комп'ютерних систем під час виконання задач комп'ютерної візуалізації. Об'єктом автоматизації виступає процес збору, накопичення, оброблення та аналізу показників продуктивності апаратних компонентів комп'ютера під час виконання тестових сценаріїв.

Основними показниками, які характеризують продуктивність системи в задачах візуалізації, є:

- завантаження центрального процесора;
- завантаження графічного процесора;
- використання оперативної пам'яті;
- використання відеопам'яті;
- температура апаратних компонентів;
- швидкість формування кадрів (FPS);
- час виконання тестових сценаріїв;
- показники енергоспоживання.

Функціональна структура процесу оцінювання продуктивності комп'ютерної системи включає такі основні функції:

1. Підготовка тестування:
 - вибір сценарію візуалізації;
 - налаштування параметрів тестування;
 - перевірка конфігурації комп'ютера.
2. Проведення тестування:

- запуск тестового сценарію;
 - моніторинг роботи центрального процесора;
 - моніторинг роботи графічного процесора;
 - моніторинг використання оперативної та відеопам'яті;
 - контроль температурних показників.
3. Збір та накопичення даних:
- реєстрація результатів вимірювань;
 - збереження даних;
 - формування історії тестувань.
4. Аналіз результатів:
- аналіз за часовими інтервалами;
 - аналіз за типами тестових сценаріїв;
 - аналіз за апаратними компонентами;
 - порівняння результатів тестувань.
5. Формування звітності:
- побудова таблиць;
 - побудова графіків;
 - експорт результатів.

У межах досліджуваної предметної області доцільно виділити транзакційну та аналітичну складові.

Транзакційна складова забезпечує збір, накопичення та оброблення первинних даних про стан комп'ютерної системи. До її функцій належать запуск тестів, зчитування телеметричних показників із програмних інтерфейсів операційної системи та апаратного забезпечення, реєстрація результатів вимірювань і збереження отриманих даних у базі даних. Основною метою транзакційної складової є забезпечення достовірного накопичення інформації про проведені тестування.

Аналітична складова призначена для дослідження накопичених показників продуктивності та підтримки прийняття рішень щодо оптимізації програмного і апаратного забезпечення. Вона забезпечує аналіз результатів у

різних розрізах: за часовими періодами, за типами задач візуалізації, за конфігураціями комп'ютерних систем та за окремими апаратними компонентами. Результатом функціонування аналітичної складової є формування звітів, графіків та порівняльних характеристик продуктивності.

Таким чином, сучасні методи комп'ютерної візуалізації характеризуються високими вимогами до апаратних ресурсів та формують різні типи навантаження на комп'ютерну систему. Це обумовлює необхідність створення спеціалізованого застосунку для оцінювання продуктивності, який забезпечуватиме автоматизований збір, зберігання та аналіз показників функціонування апаратного забезпечення під час виконання задач комп'ютерної візуалізації.

1.2 Огляд сучасних аналогів, що реалізують функції візуалізації

Для оцінювання продуктивності комп'ютерних систем та дослідження інформаційних процесів візуалізації використовується значна кількість програмних засобів, призначених для моніторингу апаратних ресурсів, проведення тестувань, аналізу телеметричних даних та вимірювання продуктивності графічних застосунків. Аналіз існуючих програмних продуктів дозволяє визначити їх функціональні можливості, переваги та недоліки, а також виявити рішення, які доцільно використати під час розроблення власного застосунку оцінювання комп'ютерної продуктивності.

Одним із найпоширеніших інструментів моніторингу та налаштування графічних адаптерів є програма MSI Afterburner. Вона забезпечує контроль основних параметрів роботи відеокарти та відображення статистики продуктивності в режимі реального часу.

Основними функціями програми є:

- моніторинг завантаження графічного процесора;
- контроль температури графічного процесора;
- відображення частот роботи ядра та пам'яті;

- моніторинг використання відеопам'яті;
- вимірювання частоти кадрів (FPS);
- ведення журналу показників продуктивності.

Перевагою MSI Afterburner є можливість відображення телеметричної інформації поверх запущених графічних застосунків, що дозволяє аналізувати продуктивність системи безпосередньо під час виконання задач візуалізації. Разом із тим програма не забезпечує накопичення результатів у централізованій базі даних та не містить розвинених засобів аналітичного опрацювання інформації [14].

Програма HWiNFO64 належить до класу професійних систем моніторингу апаратного забезпечення та забезпечує отримання детальної інформації про всі компоненти комп'ютерної системи.

До основних функцій програми належать:

- моніторинг параметрів центрального процесора;
- моніторинг параметрів графічного процесора;
- контроль використання оперативної пам'яті;
- моніторинг температурних показників;
- контроль енергоспоживання компонентів;
- збереження телеметричних даних у файли журналів.

Головною перевагою HWiNFO64 є великий обсяг доступної інформації про апаратне забезпечення. Водночас надмірна кількість технічних параметрів ускладнює швидкий аналіз продуктивності та робить програму менш зручною для користувачів без спеціальної підготовки.

Для дослідження характеристик графічних адаптерів широко використовується програма GPU-Z.

Функціональні можливості GPU-Z включають:

- визначення моделі графічного процесора;
- відображення характеристик відеопам'яті;
- моніторинг температури GPU;
- контроль рівня завантаження графічного процесора;

- відображення поточних частот роботи;
- моніторинг використання відеопам'яті.

Основною перевагою GPU-Z є компактність та простота використання. Програма забезпечує швидкий доступ до технічних характеристик відеокарти та її поточного стану. Разом із тим вона не підтримує проведення комплексного тестування та не містить засобів аналізу продуктивності в задачах візуалізації.

Програмний комплекс ОССТ призначений для проведення стрес-тестування та діагностики апаратних компонентів комп'ютерної системи. Інтерфейс програми ОССТ представлено на рисунку 1.4.

Основними функціями системи є:

- тестування центрального процесора;
- тестування графічного процесора;
- тестування оперативної пам'яті;
- моніторинг температурних показників;
- контроль енергоспоживання;
- формування звітів за результатами тестування.

Перевагою ОССТ є можливість створення контрольованого навантаження на апаратні компоненти для оцінювання їх стабільності. Недоліком є орієнтація переважно на діагностику обладнання, а не на аналіз продуктивності під час виконання реальних задач комп'ютерної візуалізації.

Для аналізу продуктивності графічних застосунків та відеоігор використовується програма CapFrameX.

Основні функції програми:

- вимірювання частоти кадрів;
- аналіз часу формування кадру;
- побудова графіків продуктивності;
- статистичне оброблення результатів;
- порівняння результатів різних тестувань;
- експорт отриманих даних.

Перевагою CapFrameX є наявність розвинених аналітичних інструментів

для дослідження продуктивності графічних застосунків. Водночас програма орієнтована переважно на ігрові сценарії та не забезпечує комплексного моніторингу всіх апаратних компонентів.

Для узагальнення результатів дослідження доцільно виконати порівняльний аналіз функціональних можливостей розглянутих програмних продуктів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння функціональних можливостей існуючих аналогів

Функція	MSI Afterburner	HWiNFO64	GPU-Z	OCCT	CapFrameX
Моніторинг CPU	Частково	Так	Ні	Так	Частково
Моніторинг GPU	Так	Так	Так	Так	Так
Аналіз FPS	Так	Ні	Ні	Ні	Так
Збереження телеметрії	Так	Так	Обмежено	Так	Так
Стрес-тестування	Ні	Ні	Ні	Так	Ні
Бенчмаркінг рендерингу	Ні	Ні	Ні	Ні	Ні
Аналітичне опрацювання результатів	Обмежено	Обмежено	Ні	Частково	Так
Комплексне оцінювання продуктивності	Ні	Ні	Ні	Ні	Ні

Проведений аналіз показав, що кожен із розглянутих програмних продуктів реалізує лише окремі функції, необхідні для дослідження продуктивності комп'ютерних систем. MSI Afterburner та HWiNFO64 забезпечують моніторинг апаратних ресурсів, GPU-Z спеціалізується на дослідженні характеристик графічних адаптерів, OCCT використовується для стрес-тестування обладнання, CapFrameX орієнтований на аналіз частоти кадрів і часу рендерингу кадрів. Разом із тим жоден із розглянутих програмних

продуктів не забезпечує комплексного поєднання функцій моніторингу апаратних ресурсів, проведення тестування, накопичення результатів у базі даних та їх багатовимірний аналіз для різних типів задач комп'ютерної візуалізації. Саме ця обставина визначає актуальність розроблення спеціалізованого застосунку оцінювання комп'ютерної продуктивності для дослідження інформаційних процесів візуалізації.

Проведене дослідження дозволяє використати позитивний досвід існуючих програмних продуктів під час проєктування власної системи. Зокрема, доцільно використати принципи відображення телеметрії в реальному часі, реалізовані в MSI Afterburner, механізми детального моніторингу обладнання з HWiNFO64, компактне подання технічних характеристик із GPU-Z, засоби тестування з OCCT та аналітичні можливості CapFrameX. Поєднання зазначених рішень у межах єдиного програмного продукту дозволить підвищити ефективність оцінювання продуктивності комп'ютерних систем під час виконання задач комп'ютерної візуалізації.

1.3 Постановка задачі оцінювання комп'ютерної продуктивності для дослідження інформаційних процесів візуалізації

При оцінюванні продуктивності комп'ютерних систем у задачах комп'ютерної візуалізації недостатньо враховувати лише технічні характеристики графічного процесора або кількість обчислювальних блоків. Реальна швидкість системи залежить від сукупності факторів, серед яких важливе місце займають форм-фактор пристрою, особливості системи охолодження, обмеження енергоспоживання та архітектура підсистеми пам'яті.

Сучасні графічні адаптери можуть мати однакову назву моделі або використовувати однаковий графічний чип, проте демонструвати суттєво різну продуктивність залежно від типу пристрою, у якому вони встановлені. Найбільш характерним прикладом є відмінність між настільними та мобільними версіями відеокарт. Дана різниця обумовлена не програмними

обмеженнями, а фізичними параметрами роботи напівпровідникових компонентів, тепловими характеристиками і можливостями системи живлення.

Одним із ключових факторів, який визначає продуктивність графічного процесора, є тепловий пакет (Thermal Design Power, TDP). Цей параметр визначає кількість теплової енергії, яку система охолодження повинна відводити під час тривалого навантаження.

Продуктивність графічного процесора безпосередньо залежить від робочої тактової частоти. Підвищення частоти потребує збільшення робочої напруги, що призводить до нелінійного зростання енергоспоживання та тепловиділення.

У настільних комп'ютерних системах графічні адаптери мають значний запас потужності завдяки використанню продуктивних блоків живлення та великих систем охолодження. Це дозволяє графічному процесору тривалий час працювати на максимальних частотах без суттєвого зниження продуктивності.

У мобільних системах, навпаки, виробники змушені обмежувати енергоспоживання через ємність акумулятора, компактність корпусу та можливості охолодження. Контролер живлення автоматично регулює співвідношення між напругою та частотою, динамічно змінюючи продуктивність залежно від поточного навантаження.

Таким чином, навіть за однакової архітектури графічного процесора мобільна версія пристрою може демонструвати суттєво нижчу продуктивність через обмеження енергоспоживання.

Під час тривалого виконання ресурсоємних задач візуалізації, таких як трасування променів, тривимірний рендеринг або генерація зображень на основі нейронних моделей, температура графічного процесора зростає.

Система керування продуктивністю постійно контролює температуру кристала. При досягненні критичних значень активується механізм температурного тротлінгу — автоматичного зниження робочої частоти та напруги для запобігання пошкодженню напівпровідникових структур. У компактних мобільних пристроях площа тепловідведення значно менша, ніж у

настільних системах. Використання тонких теплових трубок та малогабаритних вентиляторів обмежує максимальну здатність системи охолодження.

Внаслідок цього під час тривалих тестів продуктивності спостерігається нелінійна поведінка швидкодії: система може демонструвати високий рівень продуктивності на початковому етапі тестування, після чого через перегрів відбувається поступове зниження частот і стабілізація на нижчому рівні.

Для розроблюваного застосунку оцінювання продуктивності цей фактор є критично важливим, оскільки просте вимірювання максимальної швидкодії не відображає реальної поведінки системи під тривалим навантаженням.

Окремим фактором, що впливає на продуктивність задач комп'ютерної візуалізації, є обсяг та швидкість відеопам'яті (VRAM). Сучасні графічні застосунки працюють із великими обсягами даних: текстурами високої роздільної здатності, складною геометрією сцен, структурами трасування променів та параметрами моделей штучного інтелекту.

У мобільних пристроях через обмеження конструкції часто використовуються спрощені конфігурації відеопам'яті порівняно з настільними аналогами. Це може проявлятися у меншому обсязі VRAM або зниженій пропускній здатності пам'яті.

Якщо обсяг відеопам'яті стає недостатнім, графічний процесор змушений переміщувати частину даних до оперативної пам'яті комп'ютера через інтерфейс PCI Express. Оскільки швидкість такого обміну значно нижча порівняно з локальною пам'яттю GPU, виникає ефект «вузького місця», коли обчислювальні блоки графічного процесора простоюють у очікуванні необхідних даних. Отже, реальна продуктивність комп'ютерної системи у задачах візуалізації визначається не лише характеристиками окремих компонентів, а взаємодією апаратної архітектури, системи живлення, охолодження та підсистеми пам'яті.

2 АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНЮВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

2.1 Критерії та метрики ефективності процесів візуалізації

Оцінювання продуктивності сучасних комп'ютерних систем під час виконання задач складної візуалізації потребує використання комплексного підходу, оскільки один узагальнений показник не здатний повністю описати поведінку апаратного забезпечення. Особливо це актуально для сучасних графічних систем, де продуктивність залежить не лише від обчислювальної потужності GPU, а й від ефективності роботи центрального процесора, підсистеми пам'яті, температурного режиму та стабільності частот у процесі тривалого навантаження.

У межах розроблюваного застосунку оцінювання комп'ютерної продуктивності доцільно виділити декілька груп критеріїв:

- показники швидкодії рендерингу;
- показники стабільності роботи системи;
- показники використання апаратних ресурсів;
- показники ефективності виконання задач штучного інтелекту та генеративної візуалізації.

Такий підхід дозволяє перейти від простого вимірювання максимальної продуктивності до комплексного дослідження інформаційних процесів, які відбуваються під час формування графічного результату.

Одним із найбільш поширених показників оцінювання продуктивності інтерактивної комп'ютерної графіки є частота формування кадрів (Frames Per Second, FPS). Дана метрика визначає кількість зображень, які система здатна сформувати та передати на пристрій відображення за одну секунду. Математично значення FPS може бути визначене як

$$[FPS = \frac{N}{T}] \quad , \quad (1.1)$$

де N – кількість сформованих кадрів;

T – загальний час виконання тестового сценарію.

Високе значення FPS зазвичай свідчить про достатню продуктивність системи для інтерактивної роботи. Однак середня частота кадрів має суттєвий недолік: вона приховує нерівномірність формування окремих кадрів. Наприклад, система може демонструвати середнє значення 60 FPS, але при цьому окремі кадри можуть створюватися із значно більшою затримкою, що призводить до появи візуальних ривків.

Тому використання лише середнього FPS недостатнє для повноцінного оцінювання якості візуалізації. Більш точною характеристикою плавності роботи графічної системи є час формування одного кадру (Frametime). Даний параметр визначає проміжок часу, необхідний графічному процесору для завершення повного циклу побудови зображення. Залежність між FPS та Frametime визначається як

$$[FT=\frac{1000}{FPS}] \quad , \quad (1.2)$$

де FT – час формування кадру у мілісекундах;

FPS – частота кадрів за секунду.

Наприклад, при частоті оновлення екрана 60 Гц ідеальний час формування кадру становить приблизно $[FT=\frac{1000}{60}=16.67\text{ мс}]$

Рівномірний графік часу кадру без різких стрибків є показником стабільної роботи графічного конвеєра. Навпаки, різке збільшення Frametime свідчить про виникнення затримок, перевантаження окремих компонентів або проблеми синхронізації між CPU і GPU [19].

У розробленому застосунку дана метрика є однією з основних, оскільки дозволяє оцінювати не тільки швидкість, а й якість формування візуального результату.

Для більш детального аналізу стабільності продуктивності використовуються перцентильні показники, зокрема 1% Low FPS та 0,1% Low FPS. Дані показники характеризують продуктивність у найповільніших ділянках тестування та дозволяють виявити короточасні падіння швидкодії, які не відображаються у середньому FPS. 1% Low FPS визначається як середня

частота кадрів для найповільнішого одного відсотка всіх отриманих кадрів. 0,1% Low FPS характеризує найбільш критичні короточасні просадки продуктивності.

Використання цих показників дозволяє виявляти явища мікрозависань (stuttering), які суттєво впливають на якість взаємодії користувача з графічним середовищем.

Окрім безпосередньої оцінки швидкодії, важливо аналізувати стан апаратних компонентів під час виконання тестових сценаріїв.

До основних параметрів належать:

- завантаження GPU (%);
- завантаження CPU (%);
- використання відеопам'яті VRAM;
- використання оперативної пам'яті;
- температура компонентів;
- робочі частоти процесорів;
- рівень енергоспоживання.

Дані показники дозволяють визначити причину обмеження продуктивності. Наприклад, низький FPS при повністю завантаженому GPU може свідчити про обмеження графічної підсистеми, тоді як низьке використання GPU при високому завантаженні CPU може вказувати на процесорне обмеження. Для задач генерації зображень на основі нейронних моделей використовується інший підхід до оцінювання продуктивності. Оскільки такі алгоритми не формують інтерактивний відеопотік, основною характеристикою стає пропускна здатність обчислювальної системи [18].

Основними метриками є:

- кількість ітерацій оброблення за секунду (iterations per second, it/s);
- час генерації одного зображення;
- використання відеопам'яті;
- завантаження тензорних або спеціалізованих обчислювальних блоків.

Швидкість генерації залежить від продуктивності паралельних обчислень,

пропускної здатності пам'яті і ефективності оптимізацій графічного процесора.

Отже, система оцінювання продуктивності повинна базуватися не на одному показнику, а на комплексі взаємопов'язаних метрик. Саме поєднання FPS, Frametime, перцентильних характеристик, параметрів використання ресурсів та показників генеративної продуктивності забезпечує об'єктивне дослідження ефективності комп'ютерної системи під час виконання сучасних задач візуалізації.

2.2 Алгоритмічне забезпечення бенчмаркінгу інформаційних процесів візуалізації

Проектування системи оцінювання комп'ютерної продуктивності потребує використання комплексної методології тестування, оскільки сучасні графічні прискорювачі являють собою складні гетерогенні обчислювальні системи, у яких продуктивність визначається не одним параметром, а сукупністю архітектурних, програмних та експлуатаційних факторів.

У сучасних умовах неможливо забезпечити об'єктивне порівняння різних графічних адаптерів використанням лише однієї синтетичної метрики. Наприклад, максимальна обчислювальна потужність GPU у форматі FLOPS не завжди корелює з реальною швидкістю у задачах тривимірної візуалізації, трасування променів або генеративного штучного інтелекту. Причиною цього є різна спеціалізація архітектур сучасних графічних процесорів. Одні компоненти оптимізовані для класичної растеризації, інші — для трасування променів, а окремі блоки призначені для виконання матричних операцій у задачах машинного навчання.

Тому в межах розроблюваного застосунку оцінювання продуктивності використовується системний підхід, який передбачає виконання набору тестових сценаріїв із різними типами навантаження:

- професійна тривимірна візуалізація;
- інтерактивний рендеринг у реальному часі;

– трасування променів; – генерація зображень із використанням моделей штучного інтелекту;

– комплексне навантаження з контролем апаратних параметрів.

Структура запропонованого підходу наведена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Структура системного підходу до оцінювання продуктивності графічних прискорювачів

Першим етапом методології є оцінювання ефективності графічного процесора під час виконання задач професійної тривимірної графіки. У таких сценаріях основне навантаження припадає на:

- обробку геометричних моделей;
- виконання операцій освітлення;
- роботу з текстурами;
- розрахунок глобального освітлення;
- виконання трасування променів.

Для тестування можуть використовуватися спеціалізовані сцени та бенчмарки, які імітують реальні робочі процеси в системах комп'ютерного

моделювання та візуалізації. Особливістю таких задач є значна залежність продуктивності від пропускної здатності відеопам'яті, ефективності кешування та наявності спеціалізованих апаратних блоків.

У процесі тестування програмний модуль повинен фіксувати не лише кінцевий результат продуктивності, а й проміжні параметри:

- середню частоту кадрів;
- час формування кадру;
- використання GPU;
- використання VRAM;
- температуру графічного процесора.

Другим напрямом тестування є аналіз продуктивності графічних прискорювачів під час виконання алгоритмів машинного навчання та генеративної візуалізації. На відміну від інтерактивної графіки, такі задачі не потребують формування постійного відеопотоку. Основним критерієм ефективності стає швидкість виконання обчислень.

Основними показниками є:

- кількість ітерацій обробки за секунду (it/s);
- час генерації одного результату;
- використання відеопам'яті;
- ефективність роботи спеціалізованих обчислювальних блоків.

Генеративні моделі, зокрема дифузійні алгоритми, створюють значне навантаження на операції множення матриць та операції з числами з плаваючою комою зниженої точності. Тому під час тестування необхідно враховувати не тільки загальну продуктивність GPU, а й підтримку спеціалізованих архітектурних можливостей.

Третім напрямом системного бенчмаркінгу є аналіз продуктивності у режимі реального часу [16]. Даний тип тестування є найбільш комплексним, оскільки одночасно використовує:

- графічний конвеєр растеризації;
- обчислення шейдерів;

- роботу підсистеми пам'яті;
- алгоритми масштабування зображення;
- апаратне трасування променів.

При цьому особлива увага приділяється не тільки середньому значенню FPS, а стабільності формування кадрів. У процесі тестування аналізуються: Frametime; 1% Low FPS; 0.1% Low FPS; кількість пропусків кадрів; наявність короткочасних затримок.

Це дозволяє виявляти проблеми, які залишаються непомітними при використанні лише середніх показників продуктивності.

На основі визначених методологічних принципів розроблено узагальнений алгоритм оцінювання продуктивності (рисунок 2.2), який складається з наступних кроків:

1. Ініціалізація системи тестування.
2. Визначення конфігурації апаратного забезпечення.
3. Перевірка доступних ресурсів: модель гри; обсяг vram; частоти роботи; температурні показники.
4. Вибір тестового сценарію відповідно до типу задачі.
5. Запуск контрольного навантаження.
6. Збір телеметричних параметрів.
7. Обчислення інтегральних показників продуктивності.
8. Збереження результатів у базі даних.
9. Формування аналітичного звіту.

Отримання достовірних результатів бенчмаркінгу значною мірою залежить від правильності організації експерименту. Неправильна методика може призвести до отримання результатів, які не характеризують реальну продуктивність системи.

Однією з найбільш поширених проблем є ситуація, коли центральний процесор не встигає формувати необхідну кількість команд для графічного процесора. У такому випадку GPU працює не на повну потужність, а отриманий результат фактично характеризує продуктивність CPU, а не графічного

адаптера. Для виявлення цього явища необхідно одночасно контролювати: – завантаження CPU; – завантаження GPU; – час кадру.

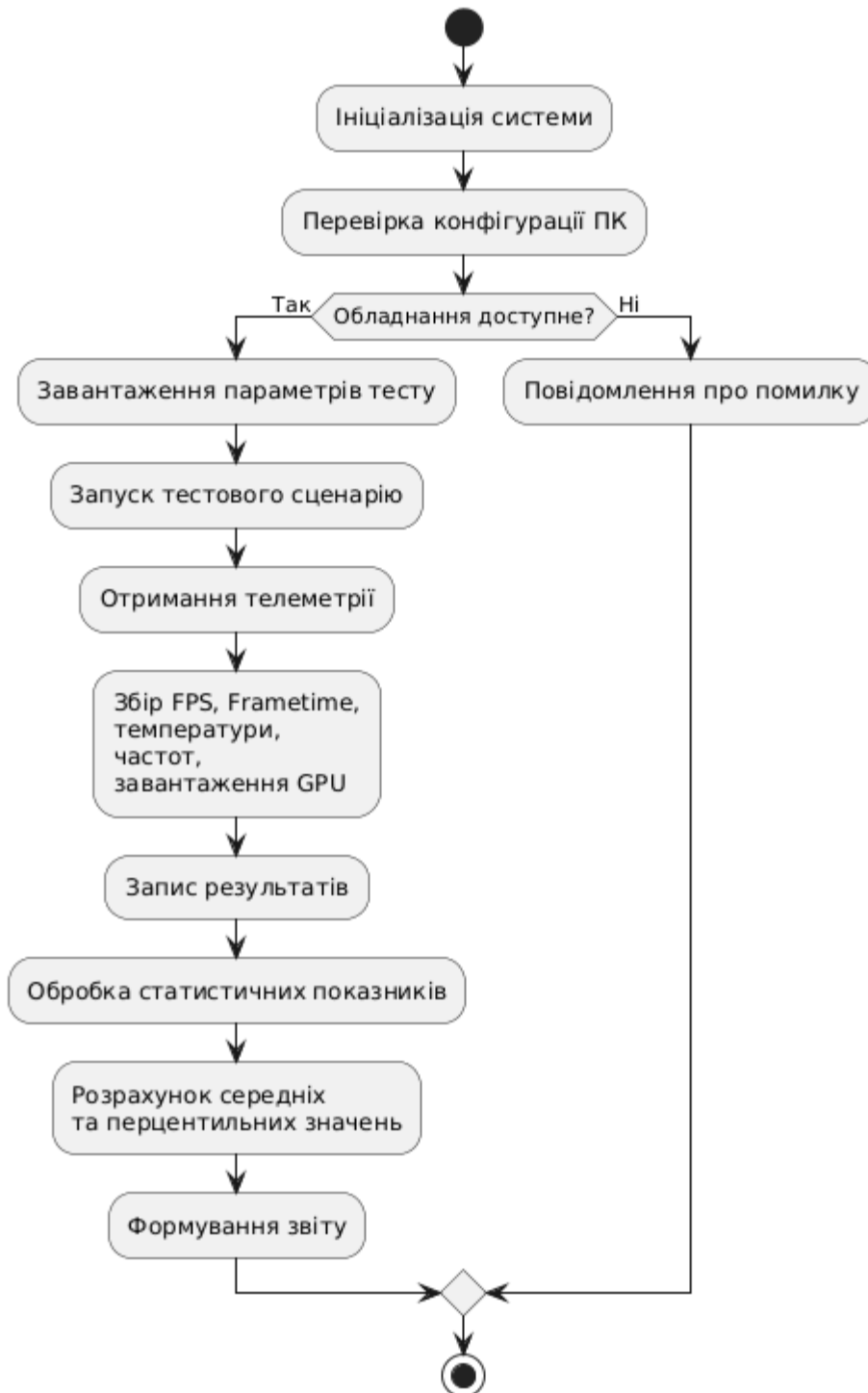


Рисунок 2.2 – Алгоритм функціонування модуля тестування продуктивності

Другим критичним фактором є недостатній обсяг VRAM. При перевищенні доступної відеопам'яті частина даних переноситься у системну

оперативну пам'ять через PCI Express. Оскільки швидкість такого обміну значно нижча за швидкість локальної пам'яті GPU, виникають значні затримки доступу до даних. Наслідком цього є: різке збільшення Frametime; падіння 1% Low FPS; поява мікрозависань.

Сучасні процесори використовують динамічне керування частотою залежно від температури та споживаної потужності. При перевищенні допустимих значень активується механізм тротлінгу, який знижує частоти роботи. Тестування без контролю температури може показати некоректні результати.

Окрім апаратних факторів, результати можуть спотворюватися через:

- фонові процеси операційної системи;
- активні служби синхронізації;
- оновлення програм;
- некоректні драйвери;
- стороннє програмне забезпечення моніторингу.

Для забезпечення повторюваності результатів тестове середовище повинно бути максимально стабільним та ізольованим.

Таким чином, запропонована методологія системного бенчмаркінгу дозволяє отримувати більш точні та достовірні результати оцінювання продуктивності комп'ютерних систем. Використання комплексного набору тестових сценаріїв, контроль апаратних параметрів та врахування можливих обмежень забезпечують об'єктивне дослідження ефективності графічних прискорювачів у сучасних задачах комп'ютерної візуалізації.

2.3 Інформаційне забезпечення тестування продуктивності процесів візуалізації

Для проведення комплексного експериментального дослідження продуктивності сучасних графічних прискорювачів було сформовано спеціалізоване тестове середовище, основною метою якого є отримання

достовірних та повторюваних результатів оцінювання обчислювальної ефективності GPU у різних сценаріях комп'ютерної візуалізації. Особливістю запропонованого підходу є не лише визначення абсолютних показників швидкодії, а й дослідження впливу архітектури графічного процесора, підсистеми пам'яті, теплових обмежень та форм-фактора пристрою на кінцеву продуктивність системи.

При формуванні тестових платформ було враховано необхідність мінімізації впливу сторонніх факторів, які можуть спотворити результати вимірювань. Зокрема, продуктивність центрального процесора, обсяг оперативної пам'яті, стабільність живлення та ефективність системи охолодження повинні забезпечувати повне розкриття потенціалу досліджуваних графічних адаптерів. Подібний підхід відповідає сучасним методикам апаратного бенчмаркінгу, де головним принципом є ізоляція досліджуваного компонента від можливих системних обмежень. У межах дослідження було сформовано два тестові комплекси: високопродуктивну настільну платформу та мобільну робочу станцію. Загальна структура експериментального середовища, що включає апаратні компоненти, програмні засоби моніторингу та модулі збору результатів, наведена на рисунку 2.3.

Основою настільного тестового стенда виступив 16-ядерний 32-потоковий процесор AMD Ryzen 9 5950X, який працює на базовій частоті 3,4 ГГц із можливістю автоматичного підвищення частоти до 4,9 ГГц у режимі Precision Boost. Центральний процесор встановлено на материнську плату MSI B550-A PRO, побудовану на базі системної логіки AMD B550.

Для забезпечення стабільності експериментів процесор працював у межах штатних параметрів виробника без використання ручного розгону. Оперативна пам'ять представлена комплектом DDR4 загальним обсягом 128 ГБ із частотою 3200 МГц та таймінгами CL16. Така конфігурація дозволила забезпечити достатній запас системної пам'яті для роботи із великими графічними сценами, текстурами високої роздільної здатності та моделями штучного інтелекту.

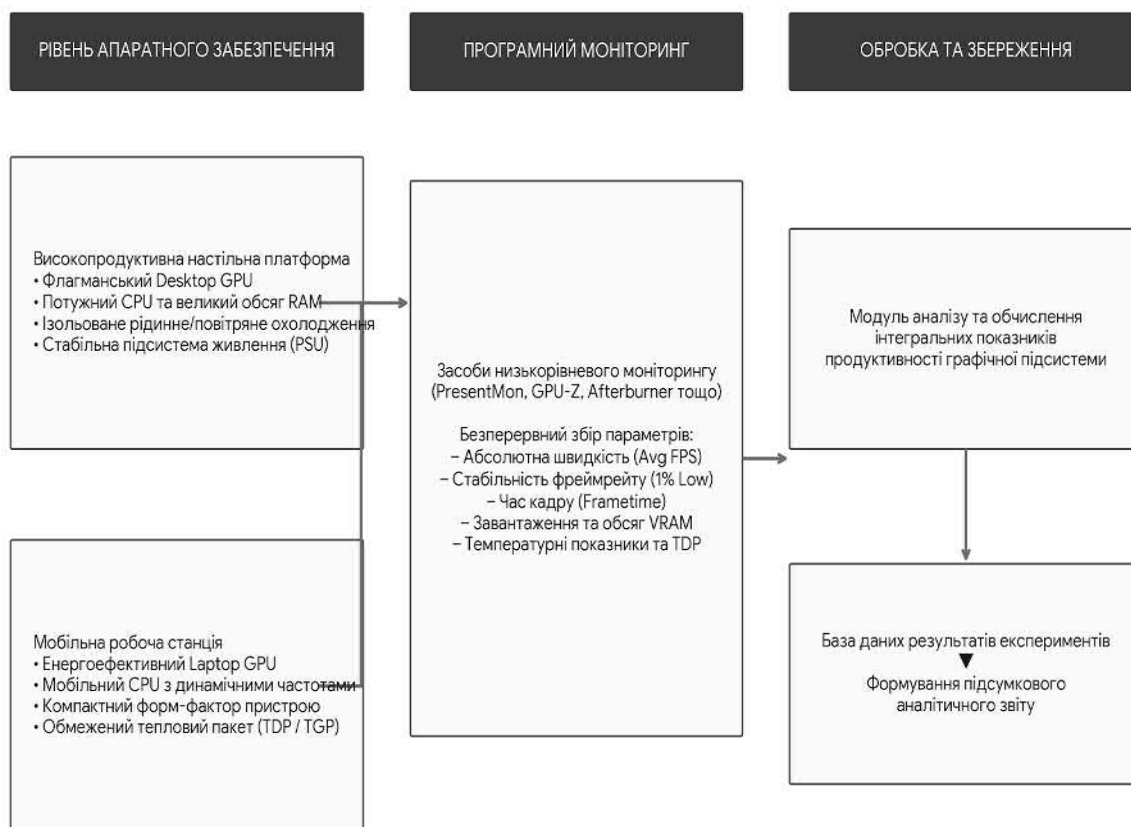


Рисунок 2.3 – Структурна схема апаратного тестового стенда та процесу збору експериментальних даних

Першим об’єктом дослідження настільної платформи став графічний адаптер AMD Radeon RX 6950 XT у виконанні Sapphire Toxic Limited Edition. Даний пристрій базується на архітектурі AMD RDNA 2 та оснащений 16 ГБ відеопам’яті GDDR6 [23]. Взаємодія із GPU здійснюється через 256-бітну шину пам’яті із пропускною здатністю до 575,5 ГБ/с [8]. Особливістю даної модифікації є використання заводської системи рідинного охолодження типу All-in-One, що дозволяє підтримувати стабільні робочі частоти під тривалим навантаженням. Енергоспоживання адаптера становить близько 420 Вт, тому для його роботи використовується розширена схема живлення через додаткові PCIe-конектори[6].

Другим досліджуваним графічним прискорювачем став AMD Radeon RX Vega 64, який представляє попереднє покоління архітектури AMD GCN 5.0. На відміну від сучасних GPU, даний адаптер використовує високошвидкісну

пам'ять HBM2 обсягом 8 ГБ із 2048-бітною шиною доступу [24]. Пікова пропускна здатність пам'яті становить 483,8 ГБ/с, що навіть за сучасними стандартами залишається високим показником[7]. Додатковою особливістю є підтримка технології High Bandwidth Cache Controller (HBCC), яка дозволяє оптимізувати роботу з великими масивами даних шляхом використання частини системної оперативної пам'яті як розширення адресного простору відеопам'яті [22].

Третім графічним адаптером настільної платформи став NVIDIA GeForce RTX 3060 у виконанні Gigabyte Eagle OC. Даний пристрій базується на архітектурі NVIDIA Ampere [3] та оснащений 12 ГБ пам'яті GDDR6 із 192-бітною шиною доступу. На відміну від попередніх поколінь, архітектура Ampere містить спеціалізовані апаратні блоки: CUDA-ядра для традиційних обчислень, RT-ядра для трасування променів та Tensor-ядра для операцій штучного інтелекту. Саме така структура дозволяє використовувати даний адаптер як універсальну платформу для дослідження різних типів інформаційних процесів візуалізації.

Окремим елементом експерименту стало порівняння настільної RTX 3060 із мобільною версією цього ж графічного процесора. Такий підхід дозволяє оцінити вплив теплових та енергетичних обмежень на реальну продуктивність однакової архітектури. Для мобільного тестового стенда було використано ноутбук Lenovo Legion 5 15ACH6H, оснащений процесором AMD Ryzen 7 5800H та графічним адаптером NVIDIA GeForce RTX 3060 Laptop. Обсяг оперативної пам'яті було збільшено до 32 ГБ DDR4-3200 у двоканальному режимі. Попри те, що мобільна версія RTX 3060 має більшу кількість CUDA-ядер та текстурних блоків порівняно із настільним варіантом, її продуктивність обмежується нижчим тепловим пакетом та жорсткішими параметрами енергоспоживання [9].

Для отримання об'єктивних результатів усі тестові процедури проводилися у стандартизованому програмному середовищі. На обох платформах використовувалася операційна система Windows 11 Enterprise LTSC

24H2, яка характеризується мінімальною кількістю фонових процесів [15]. Перевірка характеристик обладнання виконувалася за допомогою утиліти TechPowerUp GPU-Z, а моніторинг температур, частот, енергоспоживання та часу генерації кадру здійснювався через MSI Afterburner разом із RivaTuner Statistics Server. Для уникнення впливу залишкових компонентів драйверів перед кожною зміною графічного адаптера використовувалася утиліта Display Driver Uninstaller (DDU), що забезпечує повне очищення програмного середовища [13].

Загальна послідовність проведення одного циклу тестування включала підготовку системи, встановлення драйверів, запуск тестового сценарію, збір телеметрії та подальший статистичний аналіз отриманих показників. На рисунку 2.4 представлено взаємозв'язок модулів та компонентів, задіяних у тестуванні.

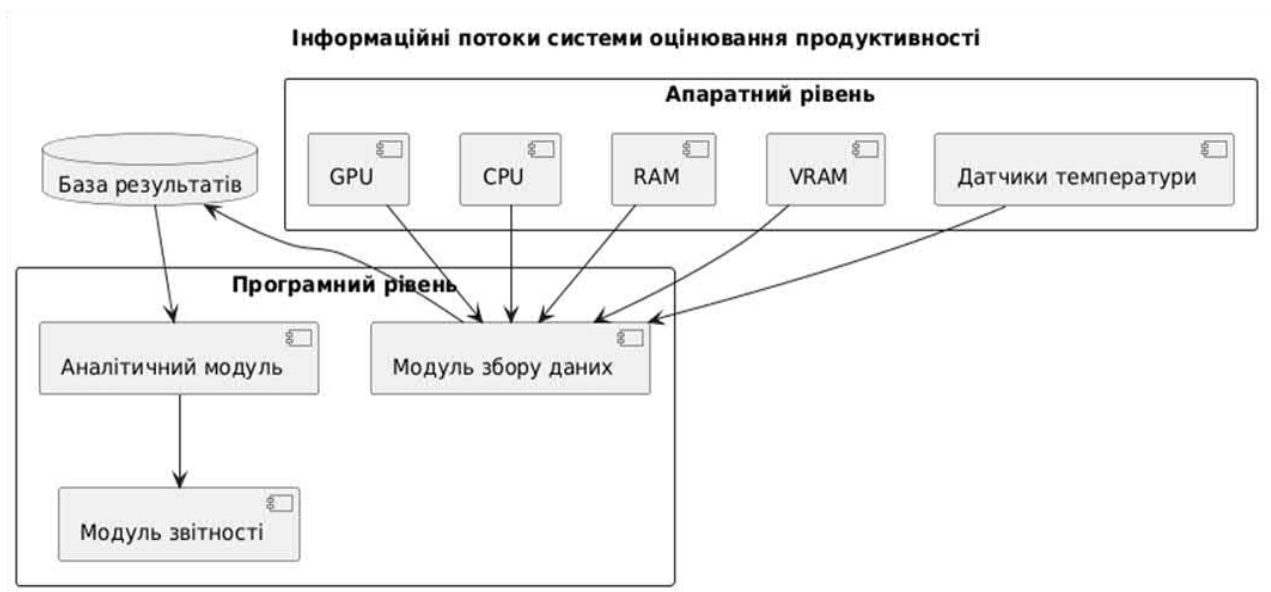


Рисунок 2.4 – Схема взаємозв'язку модулів та компонентів

Таким чином, сформоване тестове середовище забезпечує комплексне дослідження продуктивності графічних прискорювачів у різних інформаційних процесах візуалізації. Використання декількох архітектурних поколінь GPU дозволяє провести порівняльний аналіз не лише абсолютної швидкодії, а й

ефективності різних підходів до організації обчислень, роботи з пам'яттю та використання спеціалізованих апаратних блоків.

Для зберігання та подальшого аналізу результатів тестування розроблено глобальну даталогічну модель бази даних. Модель відображає взаємозв'язки між апаратною конфігурацією комп'ютерної системи, графічним адаптером, тестовими сценаріями та отриманими результатами вимірювання. Основною сутністю є виконання тесту (Test_Run), яка пов'язує інформацію про апаратне забезпечення, використаний бенчмарк та набір отриманих метричних показників. Структуру інформаційних потоків та логічні зв'язки ERD-моделі наведено на рисунку 2.5.

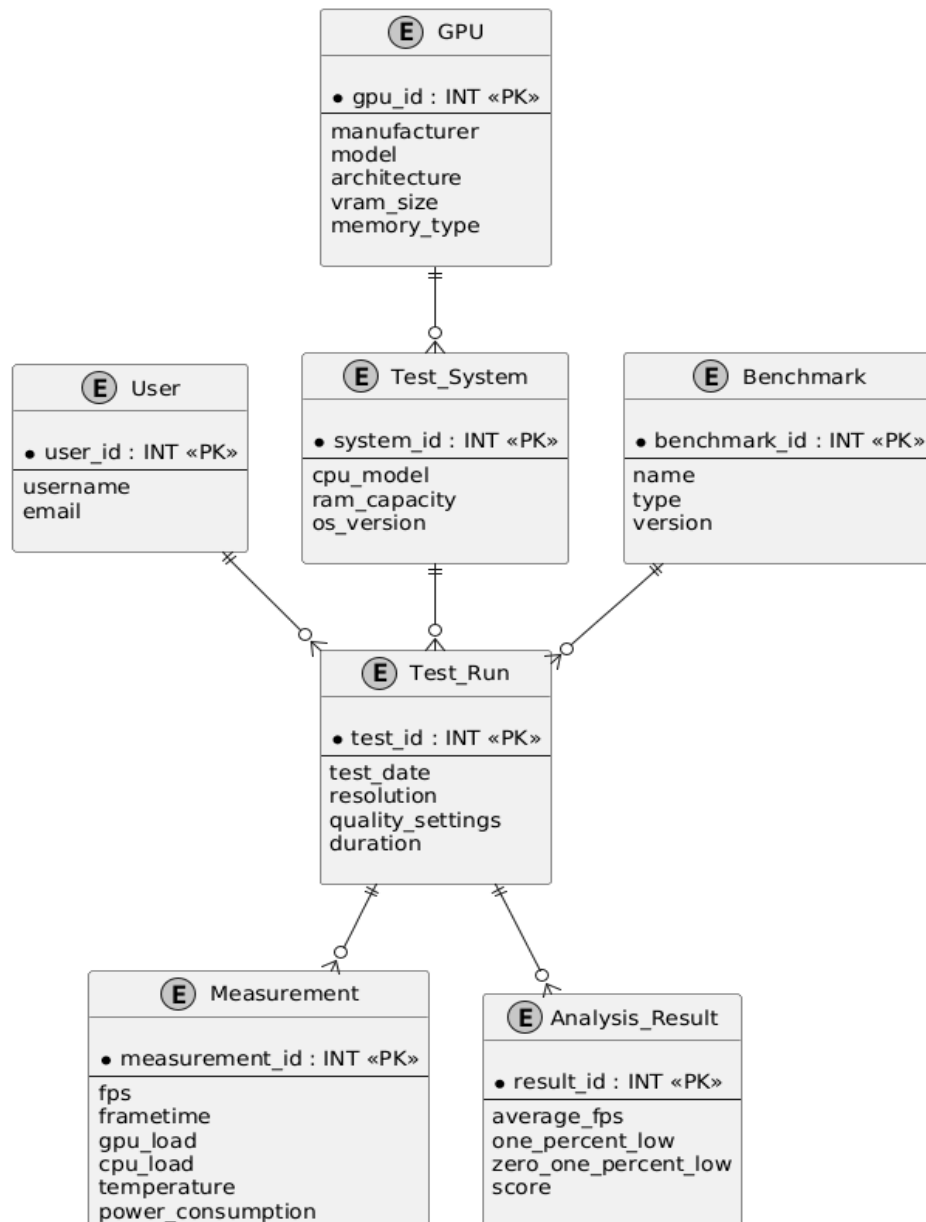


Рисунок 2.5 – Інформаційні потоки системи та даталогічна ERD-модель бази даних результатів

Представлена ERD-модель забезпечує можливість накопичення результатів різних експериментів, порівняння декількох графічних адаптерів та виконання багатофакторного аналізу продуктивності за часовими, апаратними та програмними параметрами.

Завдяки такій структуризації інформаційних потоків мінімізується ризик втрати або дублювання телеметричних даних під час тривалих ітераційних тестів. База даних дозволяє повністю автоматизувати процес агрегації ключових метрик (таких як frametime, темп рендерингу кадрів та енергоспоживання), забезпечуючи оперативний доступ до аналітичних зрізів. Це закладає теоретичну та практичну основу для подальшого статистичного опрацювання, кореляційного аналізу та візуалізації результатів, які детально розглядаються у наступних розділах роботи. У підсумку, інтеграція апаратних стендів із розробленою моделлю даних формує завершений інформаційний контур, готовий до проведення масштабного бенчмаркінгу у різноманітних сценаріях функціонування графічних систем [25].

3 ПРАКТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕСТУВАННЯ

3.1 Оцінювання продуктивності у задачах візуалізації та рендерингу

Одним із ключових напрямів дослідження в межах розробленого застосунку оцінювання комп'ютерної продуктивності є аналіз поведінки графічних прискорювачів у задачах тривимірної візуалізації та фінального рендерингу. Даний клас навантажень є одним із найбільш показових для визначення реальної обчислювальної ефективності GPU, оскільки передбачає одночасну роботу великої кількості паралельних потоків, активне використання відеопам'яті, виконання математичних операцій над геометричними структурами та розрахунок моделей освітлення.

На відміну від синтетичних тестів, професійні графічні пакети дозволяють оцінити не лише максимальну обчислювальну потужність апаратного забезпечення, а й ефективність програмно-апаратної взаємодії. Особливе значення має підтримка спеціалізованих API прискорення: CUDA та OptiX для графічних процесорів NVIDIA, а також HIP для адаптерів AMD. Використання різних обчислювальних платформ дозволяє визначити вплив архітектурних особливостей GPU на кінцеву швидкість виконання рендерингових задач [5].

Для первинного аналізу було використано програмний комплекс Blender, який є одним із найбільш поширених інструментів для створення та дослідження тривимірної графіки. У межах експерименту застосовувалися два різних графічних рушії:

Eevee — растровий рушій реального часу, орієнтований на швидке формування зображення;

Cycles — фізично коректний рушій трасування шляху (Path Tracing), який створює значно складніше навантаження на графічний процесор через розрахунок освітлення, відбиттів та глобальної взаємодії світла [10].

Сцена для тестування була сформована таким чином, щоб одночасно створити навантаження на геометричний конвеєр, текстурні блоки та обчислювальні ядра графічного процесора [11]. Для режиму Cycles було встановлено роздільну здатність зображення 2560×1440 пікселів та використано 150 семплів. Така конфігурація дозволяє створити достатньо тривале навантаження для стабілізації частотних характеристик GPU та виявлення можливого температурного або енергетичного тротлінгу.

Під час виконання рендерингу Cycles на графічних адаптерах AMD Radeon RX 6950 XT та Radeon RX Vega 64 використовувався обчислювальний інтерфейс HIP. Для графічних процесорів NVIDIA GeForce RTX 3060 та RTX 3060 Laptop застосовувалися технології CUDA та OptiX. Вибір відповідних API дозволив використати апаратні можливості кожної архітектури: RT-ядра та тензорні блоки NVIDIA, а також універсальні обчислювальні блоки AMD. Результати вимірювання часу завершення рендерингу Cycles наведено на рисунку 3.1.

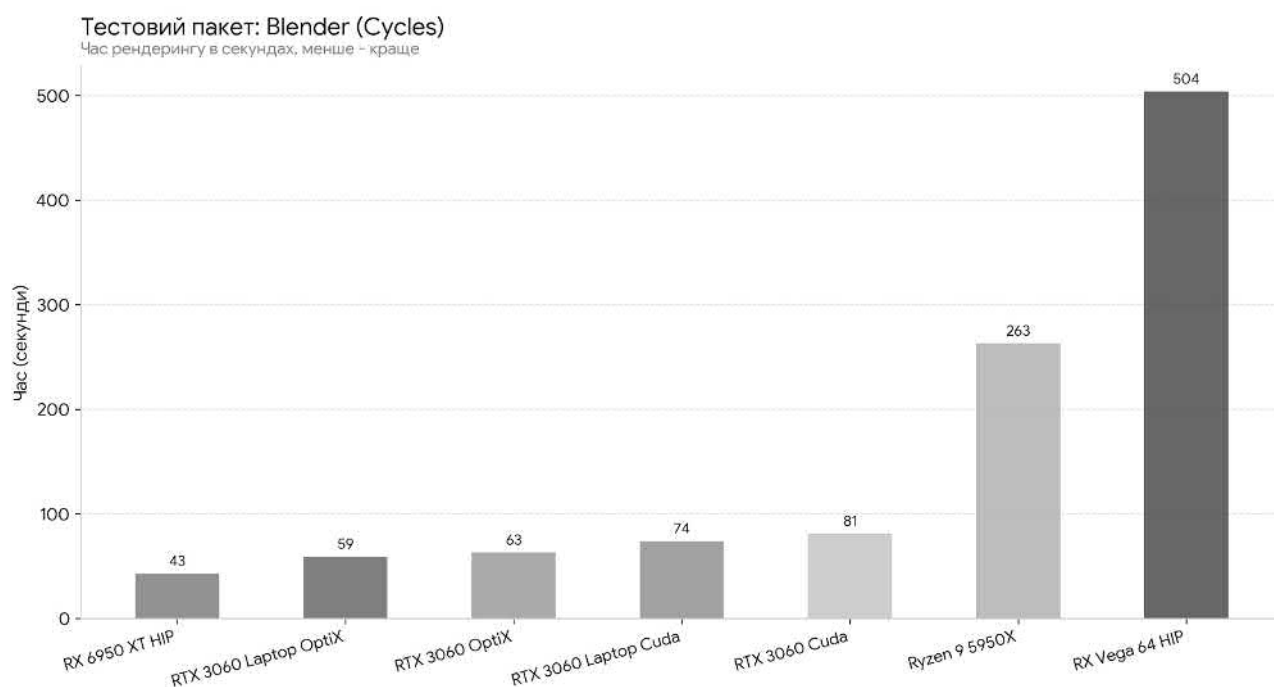


Рисунок 3.1 – Результати вимірювання часу рендерингу Cycles у Blender

Аналіз отриманих даних дозволяє оцінити ефективність архітектурних рішень різних поколінь графічних процесорів. Зокрема, порівняння RX Vega 64 та RX 6950 XT демонструє вплив переходу від архітектури GCN до RDNA 2, тоді як порівняння RTX 3060 настільної та мобільної версій дозволяє дослідити вплив теплових та енергетичних обмежень на однакову архітектурну платформу. Додатково було проведено тестування рушія Eevee, який використовує принципи класичної растеризації та характеризується значно вищою швидкістю формування кадрів у порівнянні з трасуванням променів. Для забезпечення коректності порівняння використовувалася аналогічна сцена та той самий кут огляду, що і в тесті Cycles. Кількість семплів була збільшена до 2048, що дозволило оцінити поведінку GPU при тривалому навантаженні.

Результати тестування Eevee наведено на рисунку 3.2.

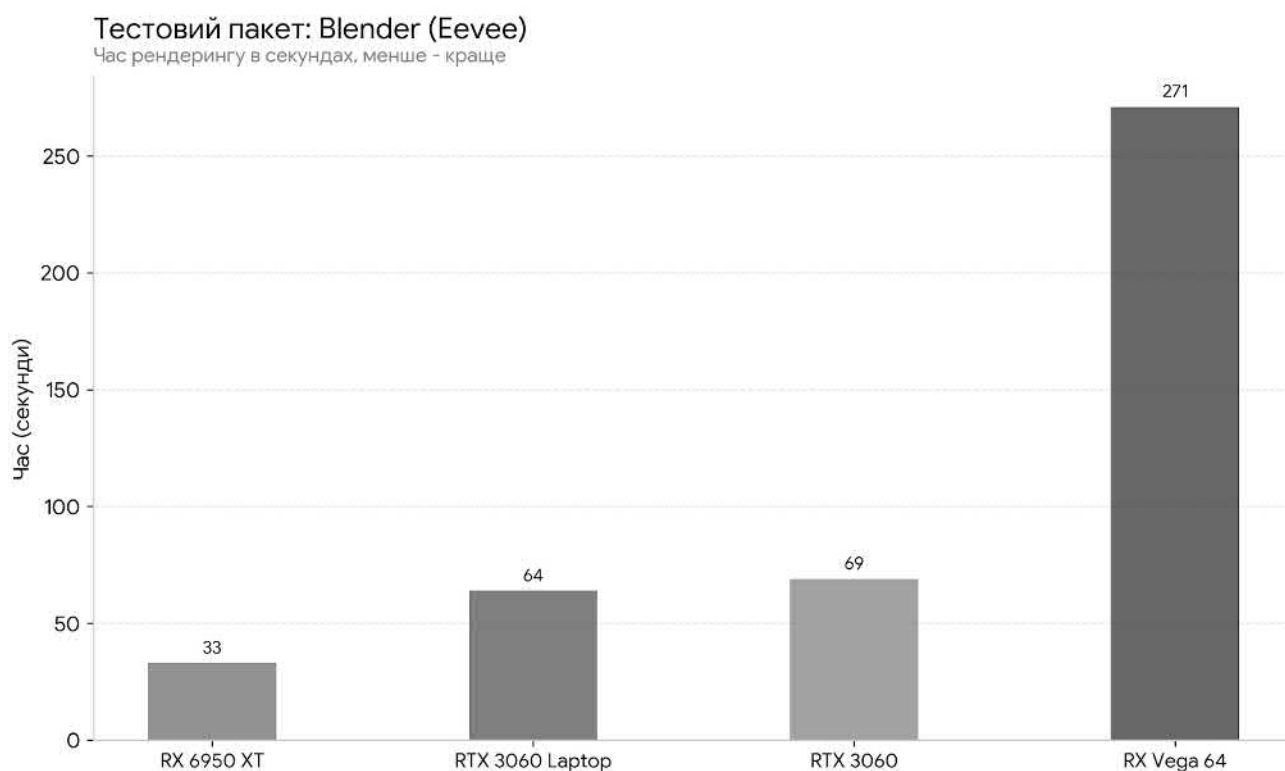


Рисунок 3.2 – Результати вимірювання продуктивності Eevee у Blender

Отримані результати демонструють різницю між двома основними підходами до формування зображення. У режимі Eevee перевагу отримують архітектури з високою швидкістю традиційних графічних операцій, тоді як у

Cycles значний вплив мають оптимізації трасування променів та ефективність роботи спеціалізованих блоків. Наступним етапом було проведено дослідження у Cinebench 2026 із використанням більш сучасних графічних адаптерів AMD Radeon RX 6950 XT та NVIDIA GeForce RTX 3060. Для RX 6950 XT застосовувався програмний інтерфейс HIP, а для RTX 3060 — CUDA [12]. Результати експерименту наведено на рисунку 3.3.

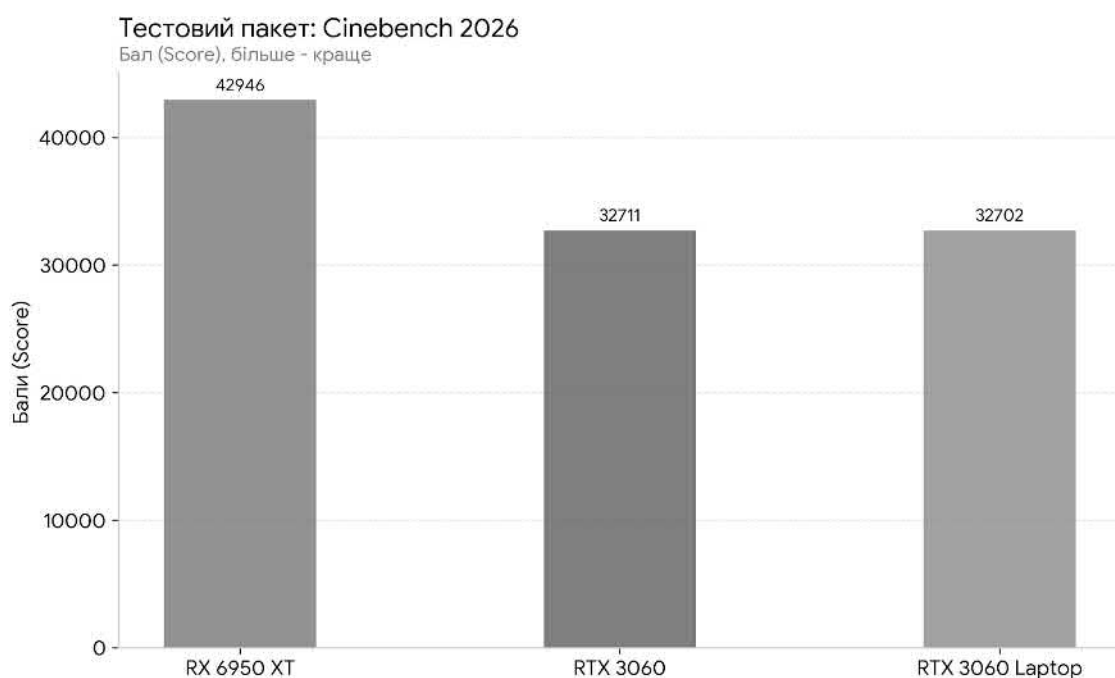


Рисунок 3.3 – Результати тестування рендерингу у Cinebench 2026

Проведені випробування дозволили сформувати набір практичних показників для подальшого аналізу продуктивності графічних адаптерів у різних сценаріях комп'ютерної візуалізації. Використання декількох типів рендерингових навантажень забезпечує більш об'єктивну оцінку, оскільки дозволяє визначити не лише максимальну швидкість обчислень, а й ефективність архітектурних особливостей GPU у різних режимах роботи.

Отримані результати використовуються як вхідні дані для модуля аналітичної обробки розробленого застосунку, що дозволяє проводити порівняння апаратних конфігурацій та визначати вплив архітектури графічного процесора на ефективність процесів візуалізації.

3.2 Дослідження продуктивності у завданнях генеративного ШІ

В межах розробки застосунку оцінювання комп'ютерної продуктивності для дослідження інформаційних процесів візуалізації було проведено експериментальне тестування підсистеми генеративного ШІ. Для обчислювального моделювання використано інструментарій Fooocus із неймережевою архітектурою «playground_v2.5» у режимі Quality для генерації зображень із роздільною здатністю 1024×1024 пікселів. З метою забезпечення повторюваності експерименту застосовано детермінований текстовий промт «forest and mountains horizon» та фіксований сід (seed), а також стилістичні пресети Fooocus V2 і MRE Heroic Fantasy за базових інших параметрів. Безпосередньо після генерації виконувалося двократне ШІ-масштабування (рис. 3.6). Під час цього комбінованого навантаження графічний прискорювач RX 6950 XT не зміг успішно завершити обчислювальний процес, на противагу іншим дослідженням відеокартам, які продемонстрували стабільність і успішно виконали фіналізацію візуалізації контенту (рисунок 3.4).

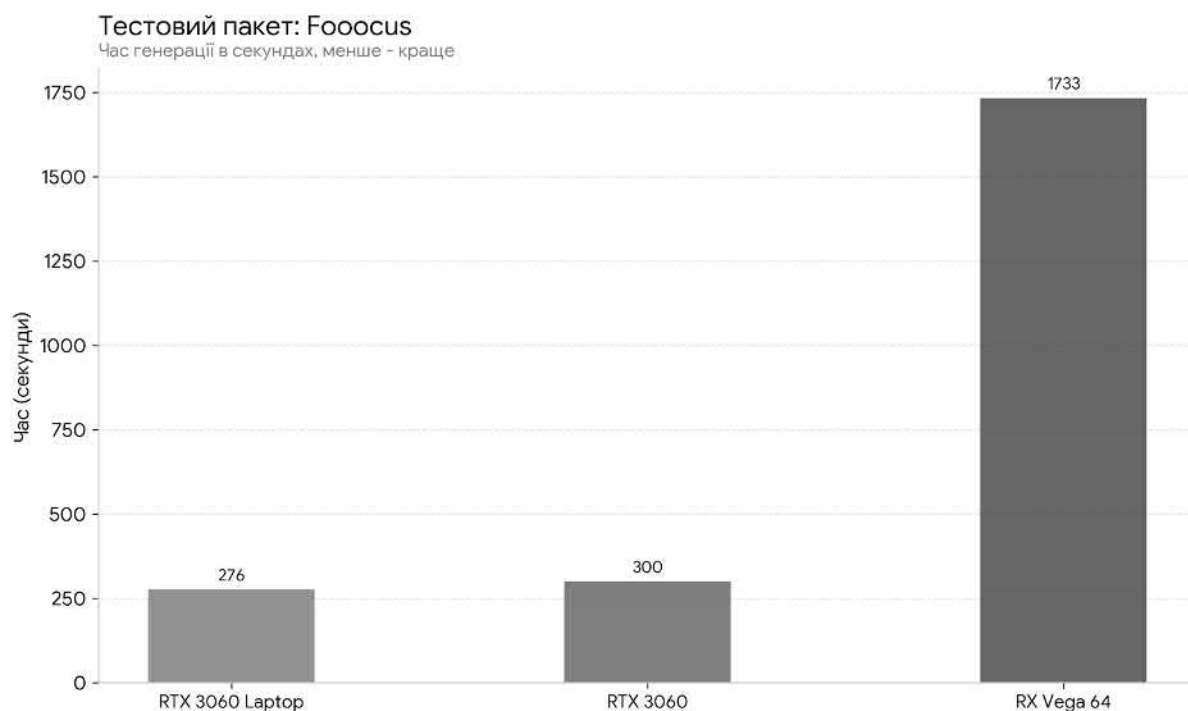


Рисунок 3.4 – Графік часу генерації у Fooocus

3.3 Тестування комп'ютерної продуктивності у сучасних інформаційних процесах візуалізації

Аналіз отриманих експериментальних даних структура який поданих на рисунку 3.5 дозволяє оцінити реальну ефективність досліджуваних графічних прискорювачів у різних типах обчислювальних сценаріїв. Проведене тестування охоплювало професійний рендеринг, задачі генеративного штучного інтелекту та інтерактивну тривимірну візуалізацію у сучасних ігрових рушіях. Отримані результати підтвердили, що номінальні характеристики графічних процесорів не завжди визначають кінцеву продуктивність, оскільки значний вплив мають архітектура, оптимізація програмного забезпечення, обсяг відеопам'яті та теплові обмеження конкретної платформи.

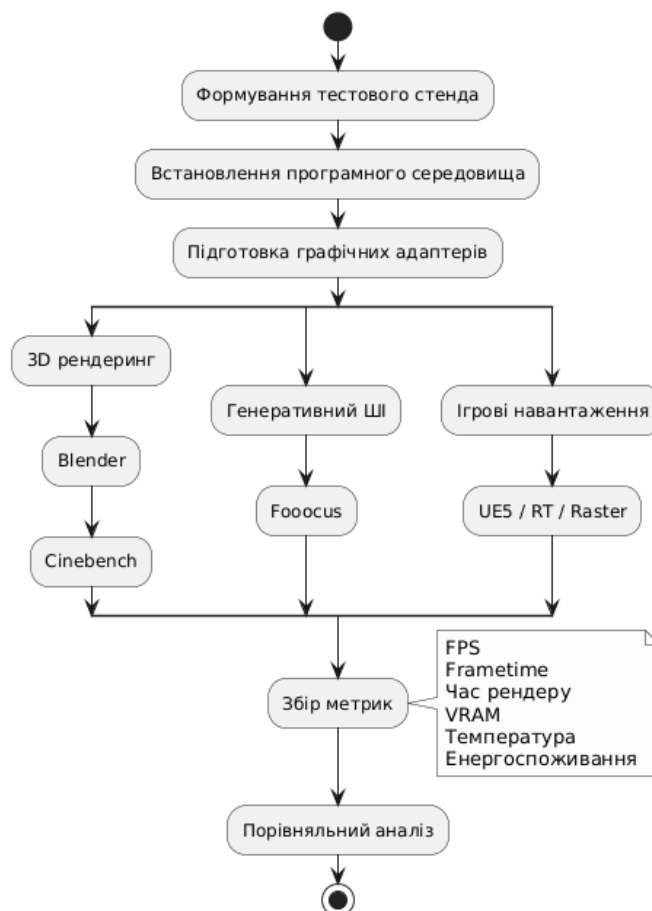


Рисунок 3.5 – Структура проведення експериментального тестування

У підрозділі 3.1 було оцінено продуктивність у середовищах Blender та Cinebench, які дозволяють перевірити ефективність графічних процесорів у

задачах растеризації та трасування променів як типової складової процесів візуалізації. Розроблена на основі тестування впливу архітектурних особливостей GPU на ефективність у різних сценаріях навантаження, зокрема рендеринг, генеративний ШІ узагальнена модель наведена на рисунку 3.6 [20].

У тесті Blender Eevee, де основне навантаження припадає на класичний графічний конвеєр, найбільшу продуктивність продемонстрував адаптер AMD Radeon RX 6950 XT. Його перевага пояснюється значно більшою кількістю обчислювальних блоків, високою пропускною здатністю відеопам'яті та відсутністю суттєвих енергетичних обмежень настільної платформи.

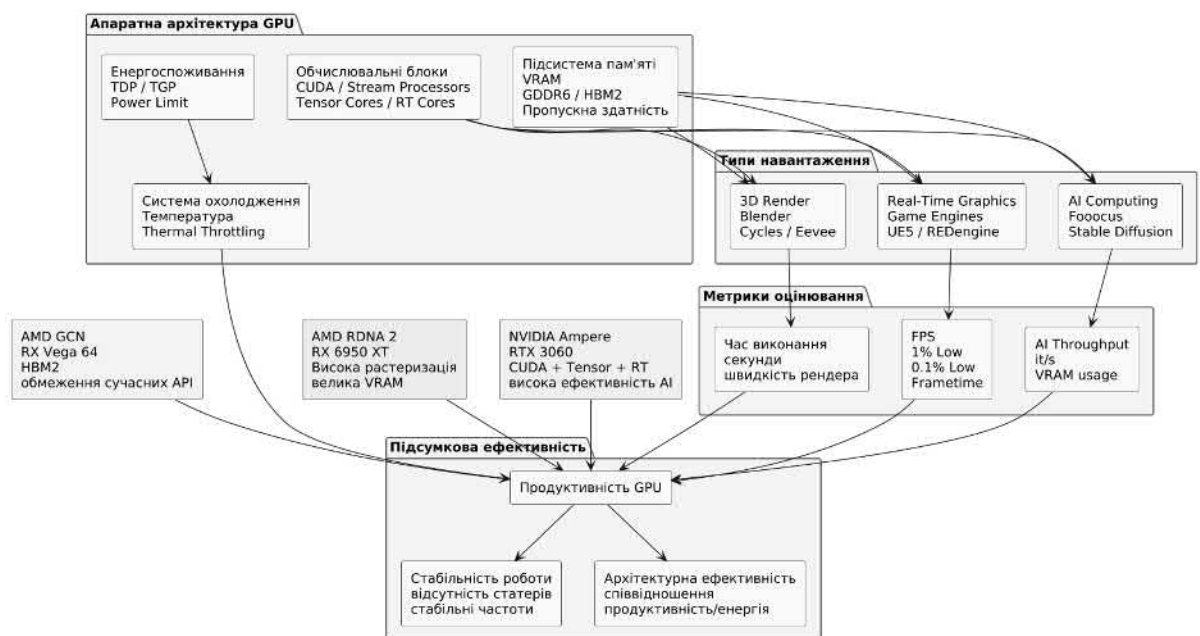


Рисунок 3.6 – Узагальнена модель впливу архітектурних особливостей GPU на ефективність у різних сценаріях навантаження

Графічні адаптери NVIDIA GeForce RTX 3060 продемонстрували нижчий результат, проте мобільна версія RTX 3060 Laptop у деяких сценаріях випередила настільний аналог. Це пояснюється більшою кількістю активних CUDA-ядер у мобільному варіанті кристала Ampere [3]. Однак перевага апаратної конфігурації не завжди трансформується у стабільне лідерство через нижчі частотні ліміти та обмеження теплового пакета ноутбука.

Архітектура AMD Vega 64, незважаючи на високі характеристики

підсистеми пам'яті HBM2, продемонструвала значне відставання. Основною причиною є застаріла архітектура GCN, яка має нижчу ефективність сучасних обчислювальних алгоритмів та слабшу програмну оптимізацію у нових версіях графічних пакетів.

При використанні Blender Cycles ситуація змінилася через використання різних апаратних інтерфейсів. Для AMD застосовувався HIP, тоді як для NVIDIA — CUDA та OptiX. Результати продемонстрували суттєву перевагу NVIDIA у задачах трасування променів завдяки наявності спеціалізованих RT-ядер та глибшої інтеграції апаратного прискорення у програмне забезпечення. RX 6950 XT залишилася продуктивнішою за RTX 3060, однак різниця скоротилася порівняно з класичною растеризацією. Це свідчить про те, що архітектура RDNA 2 ефективна у традиційних графічних операціях, але має менший коефіцієнт ефективності у специфічних RT-навантаженнях.

Результати Cinebench підтвердили загальні тенденції. RX 6950 XT показала найвищу продуктивність серед протестованих адаптерів, тоді як RTX 3060 продемонстрували близькі результати між настільною та мобільною версіями. Vega 64 виявила суттєве відставання через обмежену підтримку сучасних програмних середовищ та втрату актуальності архітектури GCN.

Тестування у середовищі Foocus показало принципово іншу картину порівняно з класичним рендерингом. У задачах генеративного ШІ ключовим фактором є не лише загальна кількість потокових процесорів, а наявність спеціалізованих блоків для матричних операцій та оптимізація програмного стеку.

Найкращий результат продемонструвала мобільна версія NVIDIA GeForce RTX 3060 Laptop. Незважаючи на обмеження енергоспоживання, вона отримала перевагу завдяки архітектурі Ampere та ефективній роботі CUDA-ядер і тензорних блоків.

Настільна RTX 3060 показала близький результат, проте поступилася мобільній версії через меншу кількість активних обчислювальних блоків. Це підтверджує, що у специфічних математичних навантаженнях ширша

конфігурація кристала може частково компенсувати нижчі частоти.

RX Vega 64 продемонструвала суттєве відставання через відсутність сучасних тензорних блоків та слабшу підтримку актуальних фреймворків машинного навчання.

RX 6950 XT не змогла завершити повний цикл генерації у тестовому середовищі. Основною причиною стала недостатня стабільність програмного стеку HIP/ROCm у даному сценарії, що демонструє важливість не лише апаратної потужності, а й рівня програмної підтримки.

Ігрові тести показали найбільшу залежність результатів від типу навантаження. У проектах із високою геометричною складністю та сучасними графічними технологіями перевага RX 6950 XT була найбільш вираженою.

У грі Remnant 2 на рушії Unreal Engine 5 флагманський адаптер AMD продемонстрував значну перевагу над RTX 3060 та Vega 64. Основним фактором стала більша обчислювальна потужність та більший запас відеопам'яті, що дозволило стабільніше працювати з Nanite-геометрією [17].

Найбільш показовими стали результати у Cyberpunk 2077 та Resident Evil Requiem із використанням трасування променів. Без RT технологій RX 6950 XT демонструвала значну перевагу завдяки високій растровій продуктивності. Проте після активації трасування променів перевага скоротилася, оскільки NVIDIA використовує спеціалізовані RT-ядра, які значно ефективніше виконують подібні операції. RTX 3060 у режимі Ray Tracing показала вищу ефективність відносно власної продуктивності, незважаючи на нижчу загальну потужність. Це підтверджує перевагу апаратної реалізації RT у поколінні Ampere. RX Vega 64 не брала участі у цих тестах через відсутність апаратної підтримки трасування променів, що демонструє суттєву різницю між поколіннями графічних архітектур.

Проведене дослідження підтвердило, що продуктивність сучасних засобів обробки візуальних даних визначається комплексом факторів: архітектурою GPU, оптимізацією драйверів, обсягом відеопам'яті, тепловими обмеженнями та специфікою програмного навантаження, які показані на рисунку 3.7.

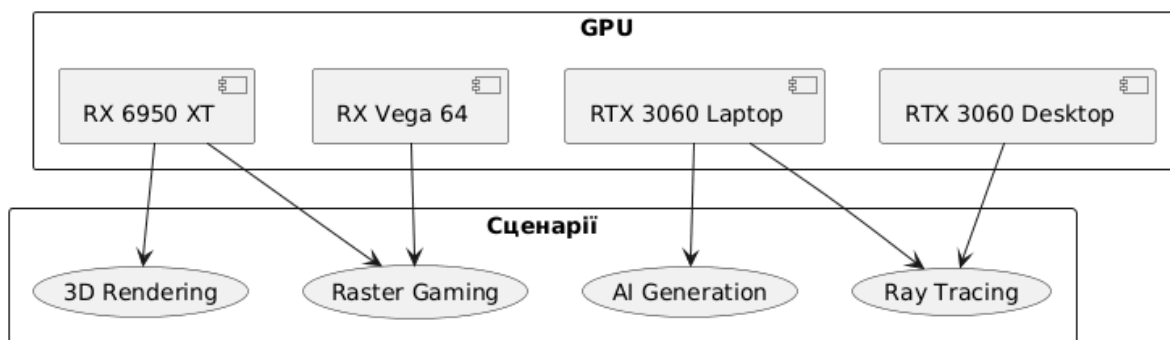


Рисунок 3.7 – Вплив факторів на продуктивність сучасних засобів обробки візуальних даних

AMD Radeon RX 6950 XT є найбільш продуктивним рішенням у класичних задачах рендерингу та растеризації, де використовується повний потенціал графічного процесора. Водночас NVIDIA GeForce RTX 3060 демонструє вищу ефективність у задачах, пов'язаних із трасуванням променів та генеративним штучним інтелектом завдяки спеціалізованим апаратним блокам і кращій програмній підтримці. Мобільна RTX 3060 Laptop показала, що оптимізація архітектури може частково компенсувати обмеження форм-фактора, однак тривале навантаження та менший обсяг VRAM залишаються ключовими факторами, які обмежують її продуктивність у важких сучасних сценаріях.

Отже, результати експерименту підтверджують, що оцінювання графічних систем повинно проводитися не за одним узагальненим показником, а через комплексне тестування у різних типах навантажень, які відображають реальні умови експлуатації.

ВИСНОВКИ

Реалізація експериментального дослідження дозволила здійснити комплексну апробацію розробленого застосунку оцінювання комп'ютерної продуктивності та верифікувати його відповідність поставленим меті та завданням роботи. Завдяки інтеграції запропонованого методу в контур аналізу інформаційних процесів візуалізації підтверджено його спроможність детектувати загальні системні закономірності взаємодії графічного програмного забезпечення та гетерогенних обчислювальних платформ у різних сценаріях обробки даних (3D-рендеринг, генеративний ШІ, інтерактивні середовища).

На основі визначених критеріїв ефективності емпірично доведено здатність розробленого інструментарію ідентифікувати та математично описувати деградацію обчислювальних процесів у застарілих архітектурних рішеннях. Алгоритми аналітичного модуля застосунку успішно зафіксували структурні розриви у швидкості обробки інформаційних потоків, що виникають внаслідок відсутності спеціалізованих конвеєрів апаратного прискорення та несумісності графічного процесора з сучасними низькорівневими API.

У межах сформованого тестового середовища верифіковано методологічні підходи до оцінки просторово-конструктивних факторів та термодинамічних обмежень на стабільність візуалізації. Розроблений інструментарій дозволив ізолювати чинники термального троттлінгу та енергетичних лімітів (TDP/TGP), підтвердивши, що точність профілювання мобільних та настільних систем безпосередньо залежить від здатності алгоритмів моніторингу зафіксувати динаміку робочих частот чипа під тривалим навантаженням.

Розроблений аналітичний модуль застосунку продемонстрував високу ефективність у задачах порівняльного аналізу та профілювання графічних архітектур відповідно до вектора обчислювального навантаження. Метод дозволив чітко розмежувати та формалізувати сфери питомої ефективності GPU: у доменах класичної растеризації (через паралелізм уніфікованих шейдерів) та в інформаційних процесах нейромережевого синтезу і

стохастичної візуалізації (завдяки використанню спеціалізованих тензорних та RT-матриць).

Застосування експериментальних методів вимірювання часу виконання операцій підтвердило релевантність алгоритмів аналізу стабільності графічного конвеєра за допомогою frametime-метрик. Інтегрований метод моніторингу дозволив точно локалізувати деструктивний вплив локального дефіциту відеопам'яті на волатильність часу кадру (frametime jitter), фіксуючи моменти вимушеного міжсистемного вивантаження даних у RAM через шини введення-виведення та виникаючі структурні затримки (stutters).

Результати проведеної апробації повністю обґрунтовують високу практичну цінність комплексного підходу, покладеного в основу створеного застосунку. Інтеграція багатовекторного аналізу параметрів обробки, представлення та зберігання інформації в єдину аналітичну систему дозволяє використовувати розроблений метод як надійний інструментарій прийняття рішень для оптимізації та вибору апаратних конфігурацій комп'ютерних систем під конкретні типи графічних та ШІ-навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Hennessy J. L., Patterson D. A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. 6th ed. Cambridge: Morgan Kaufmann, 2017. 936 p.
2. Kirk D. B., Hwu W. W. Programming Massively Parallel Processors: A Hands-on Approach. 4th ed. Cambridge: Morgan Kaufmann, 2022. 520 p.
3. NVIDIA Corporation. NVIDIA Ampere Architecture Whitepaper. Santa Clara: NVIDIA, 2020. 55 p.
4. NVIDIA Corporation. NVIDIA CUDA C Programming Guide. NVIDIA Developer Documentation. URL: <https://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/>
5. NVIDIA Corporation. NVIDIA OptiX Programming Guide. NVIDIA Developer Documentation. URL: <https://raytracing-docs.nvidia.com/optix7/guide/index.html>
6. AMD. AMD RDNA 2 Architecture: A New Gaming Architecture. Advanced Micro Devices, 2020. URL: <https://www.amd.com/en/technologies/rdna-2>
7. AMD. AMD ROCm Documentation. AMD Developer Resources. URL: <https://rocm.docs.amd.com/>
8. AMD. AMD Radeon RX 6950 XT Graphics Specifications. URL: <https://www.amd.com/en/products/graphics/desktops/radeon/6000-series/amd-radeon-rx-6950-xt>
9. TechPowerUp. GPU Database: Graphics Card Specifications and Performance Data. URL: <https://www.techpowerup.com/gpu-specs/>
10. Blender Foundation. Blender Manual: Rendering and Cycles Engine Documentation. URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/index.html>
11. Blender Foundation. Blender Open Data: Benchmark Platform. URL: <https://opendata.blender.org/>
12. Maxon Computer GmbH. Cinebench Documentation and Benchmark Information. URL:

<https://www.maxon.net/en/downloads/cinebench-2024-downloads>

13. Wagnardsoft. Display Driver Uninstaller (DDU) Official Documentation. URL: <https://www.wagnardsoft.com/>
14. MSI. MSI Afterburner User Guide and Hardware Monitoring Documentation. URL: <https://www.msi.com/Landing/afterburner/graphics-cards>
15. Microsoft. Windows 11 Enterprise Documentation. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/windows/>
16. Khronos Group. Vulkan Graphics API Specification. URL: <https://www.khronos.org/vulkan/>
17. Epic Games. Unreal Engine 5 Documentation: Nanite Virtualized Geometry and Rendering Features. URL: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/>
18. Microsoft. DirectX Raytracing (DXR) Documentation. URL: <https://learn.microsoft.com/directx/dxr/>
19. Ho A., Saharia C., Chan W. et al. High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2022. P. 10684–10695.
20. Rombach R., Blattmann A., Lorenz D. et al. High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models. arXiv:2112.10752, 2021.
21. Stable Diffusion. Stable Diffusion Documentation and Model Information. Stability AI. URL: <https://stability.ai/>
22. AMD. High Bandwidth Cache Controller (HBCC) Technology Overview. AMD Developer Documentation. URL: <https://www.amd.com/>
23. JEDEC Solid State Technology Association. JESD79-5: Graphics Double Data Rate 6 (GDDR6) SDRAM Standard. JEDEC, 2018.
24. JEDEC Solid State Technology Association. High Bandwidth Memory (HBM2) Standard Documentation. JEDEC, 2016.
25. Williams S., Waterman A., Patterson D. Roofline: An Insightful Visual Performance Model for Multicore Architectures. Communications of the ACM. 2009. Vol. 52(4). P. 65–76.

- 26.Путькало М.П., Домбровський М.З. Оцінювання продуктивності GPU у задачах візуалізації при AI- та EDGE-навантаженнях. ICSPM 2026: Інтелектуальні обчислювальні системи та управління проектами: зб. тез доповідей I міжнародної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених (21-22 травня 2026р. Тернопіль). 2026. С. 150-154.
- 27.Методичні рекомендації до виконання каліфікаційної роботи з освітньо-професійної програми “Комп’ютерні науки” спеціальності 122 “Комп’ютерні науки” за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти / Укл. Комар М.П., Саченко А.О., Васильків Н.М., Гладій Г.М., Коваль В.С, Ліп’яніна-Гончаренко Х.В. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. 52 с.

УДК 004.8:005.8](063)

Присвячено 60-річчю Західноукраїнського національного університету

ICSPM 2026: Інтелектуальні обчислювальні системи та управління проєктами : збірник тез доповідей І Міжнародної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених (Тернопіль, 21–22 травня 2026 року). – Тернопіль : ЗУНУ, 2026. – 190 с.

До збірника увійшли тези доповідей учасників І Міжнародної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених «ICSPM 2026: Intelligent Computing Systems and Project Management / Інтелектуальні обчислювальні системи та управління проєктами», що відбулася на базі кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління факультету комп'ютерних інформаційних технологій Західноукраїнського національного університету.

Матеріали відображають результати досліджень за такими напрямками:

1. Інтелектуальні обчислення та програмні системи.
2. Проєктно-орієнтоване управління та процеси прийняття рішень.
3. Штучний інтелект, аналітика даних і кібернетика.
4. Прикладні технології та інформаційно-комунікаційні системи.
5. Сучасні інформаційні технології в економіці, праві та освіті.

Рекомендовано до друку на засіданні кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету (протокол №12 від 26.05.2026 р.).

За зміст наукових праць, точність наведених цитувань, перекладу та достовірність фактологічних матеріалів відповідальність несуть автори публікацій. У збірнику збережено авторську стилістику, пунктуацію та орфографію.

© Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління ЗУНУ, 2026

© Західноукраїнський національний університет, 2026

Воїнський Ю.В., Коваль В.С.	
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОПОВІЩЕННЯМИ В ОСВІТНЬОМУ ЗАКЛАДІ	125
Ворожбит Р.О., Турченко І.В.	
КРОСПЛАТФОРМЕННИЙ МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ВИКОНАННЯ СПОРТИВНИХ ВПРАВ ТА САМОКОНТРОЛЮ	129
Гнатів С.В., Васильків Н.М.	
АЛГОРИТМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІоТ-СИСТЕМИ ОБЛІКУ РОБОЧОГО ЧАСУ З БАГАТОФАКТОРНОЮ АВТЕНТИФІКАЦІЄЮ	132
Заблоцький М.М., Хміль В.А., Васильків Н.М.	
ВПЛИВ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛУ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	136
Клюод Д.В., Васильків Н.М.	
ІНТЕРАКТИВНИЙ UI/UX МОДУЛЬ МОБІЛЬНОГО СЕРВІСУ ОНЛАЙН- ЗАМОВЛЕНЬ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ	139
Концограда С.М., Турченко І.В.	
ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАХОДІВ У РЕСТОРАННОМУ БІЗНЕСІ	142
Олізар М., Морохович В.	
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІБРИДНИХ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ	146
Путькало М.П., Домбровський М.З.	
ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ GPU У ЗАДАЧАХ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРИ AI- ТА EDGE-НАВАНТАЖЕННЯХ	150
Старостюк В.С., Турченко І.В.	
ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВЕТЕРИНАРНОЇ КЛІНІКИ	155
Телька М.І., Мимоход О.Б., Федорук М.Ю.	
ПРОЄКТУВАННЯ DASHBOARD-СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ МЕДИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ	159
Федіков В.О., Турченко І.В.	
ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЗАМОВЛЕНЬ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ	162

УДК 004.89:004.912
**ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ GPU У ЗАДАЧАХ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРИ
AI- ТА EDGE-НАВАНТАЖЕННЯХ**

Путькало Микола, студент,
putkalo2003@gmail.com
Домбровський Михайло,
к.т.н., доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем та управління,
Західноукраїнський національний університет
m.dombrovskyi@wunu.edu.ua,
ORCID: 0000-0002-5582-5793

Сучасні технології комп'ютерної візуалізації характеризуються стрімким зростанням обчислювальної складності, що зумовлено впровадженням трасування променів у реальному часі, нейронної реконструкції зображень та генеративних моделей штучного інтелекту. Це призводить до суттєвого підвищення вимог до графічних процесорів, які сьогодні дедалі частіше розглядаються як універсальні гетерогенні обчислювальні платформи, здатні виконувати не лише графічні задачі, але й AI-інференс, навчання нейронних мереж та обробку потокових даних у реальному часі [2, 3]. Така трансформація змінює класичну роль GPU від спеціалізованих графічних прискорювачів до універсальних вузлів паралельних обчислень.

Традиційні методи оцінювання продуктивності GPU, що базуються на синтетичних тестах, не відображають реальної поведінки сучасних графічних процесорів у змішаних навантаженнях [1]. У реальних сценаріях одночасно виконуються рендеринг, фізичне моделювання та AI-обчислення, що формує складні та нерівномірні профілі завантаження обчислювальних блоків. Це робить класичні метрики недостатніми для коректного аналізу продуктивності.

Архітектурна продуктивність сучасних GPU визначається не лише тактовою частотою, а й ступенем паралелізму, пропускнуою здатністю пам'яті та ефективністю спеціалізованих обчислювальних блоків, зокрема тензорних та RT-ядер [2, 3]. Додатковий вплив мають сучасні графічні технології апаратного прискорення трасування променів, які суттєво змінюють навантаження на GPU та збільшують роль архітектурної оптимізації.

Технології реконструкції зображення, такі як DLSS та FidelityFX Super Resolution, змінюють баланс між якістю візуалізації та обчислювальним навантаженням, фактично перетворюючи рендеринг на гібридний процес, що поєднує класичні графічні та AI-методи [5, 10]. Це додатково ускладнює оцінювання продуктивності, оскільки частина навантаження переноситься на нейронні та тензорні блоки GPU.

Окремим напрямом розвитку є edge-обчислення, де обробка даних виконується максимально близько до джерела їх генерації. У таких системах критичними стають

затримка виконання, енергоефективність та стабільність продуктивності під тривалим навантаженням. GPU у цьому контексті виступають ключовими прискорювачами, що забезпечують баланс між продуктивністю та енергоспоживанням у системах реального часу, IoT та автономних обчислювальних середовищах [8, 12].

Зростання ролі генеративних моделей штучного інтелекту, зокрема Stable Diffusion, формує новий клас обчислювальних навантажень, у яких основними обмеженнями є пропускна здатність пам'яті та ефективність тензорних блоків GPU [9]. Це призводить до того, що традиційні метрики, такі як середній FPS або синтетичні бали продуктивності, не відображають реальної ефективності системи.

У межах дослідження запропоновано багатокритеріальний підхід до оцінювання продуктивності GPU, який враховує графічні, AI та edge-навантаження. Експериментальна система включає модуль генерації навантаження, підсистему збору метрик та аналітичний блок обробки результатів, що дозволяє оцінювати як пікову продуктивність, так і стабільність виконання навантаження у часі. Загальна структура запропонованої системи оцінювання продуктивності GPU у сценаріях AI, графічних та edge-навантажень представлена на Рисунку 1.

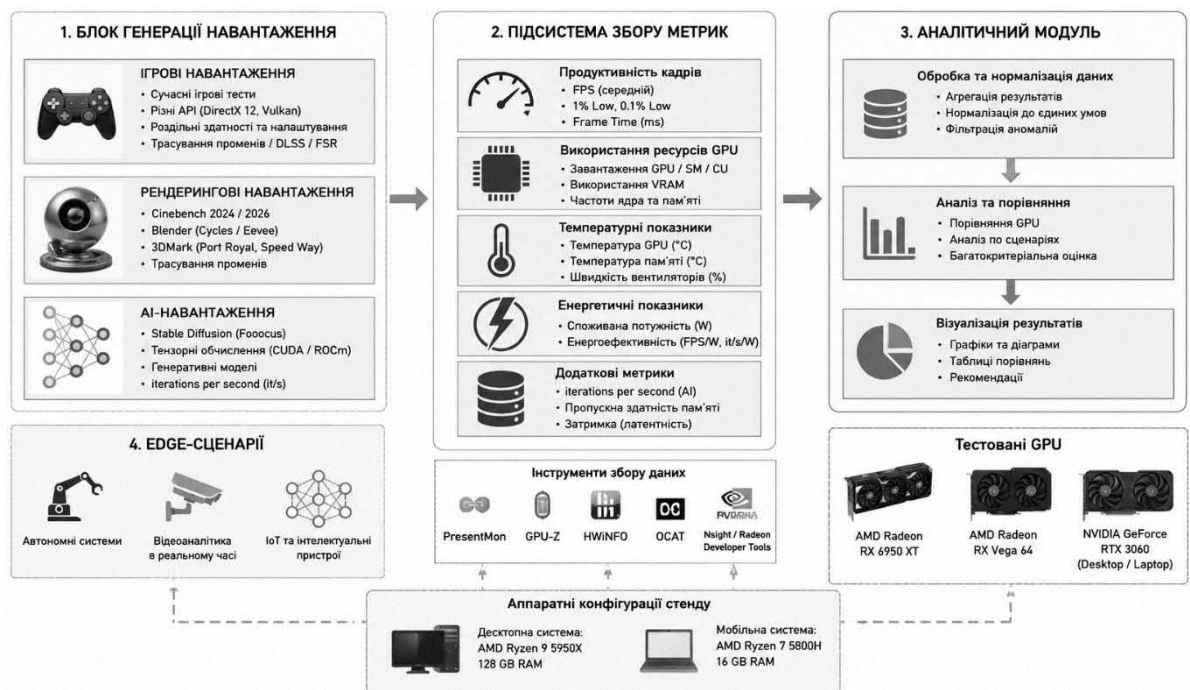


Рисунок 1 – Схема оцінювання продуктивності GPU

Експериментальні дослідження виконувалися на двох апаратних конфігураціях: настільній системі AMD Ryzen 9 5950X із 128 GB RAM та мобільній системі AMD Ryzen 7 5800H із 16 GB RAM. Це дозволило оцінити вплив класу платформи на поведінку GPU в умовах обмежених ресурсів та енергоспоживання.

У тестуванні використовувалися графічні адаптери AMD Radeon RX 6950 XT, AMD Radeon RX Vega 64 та NVIDIA GeForce RTX 3060 (desktop і laptop версії), що представляють різні архітектурні покоління GPU.

Результати синтетичного тестування продуктивності у Cinebench 2024 наведені на Рисунку 2, який демонструє залежність продуктивності від архітектури та програмної оптимізації.

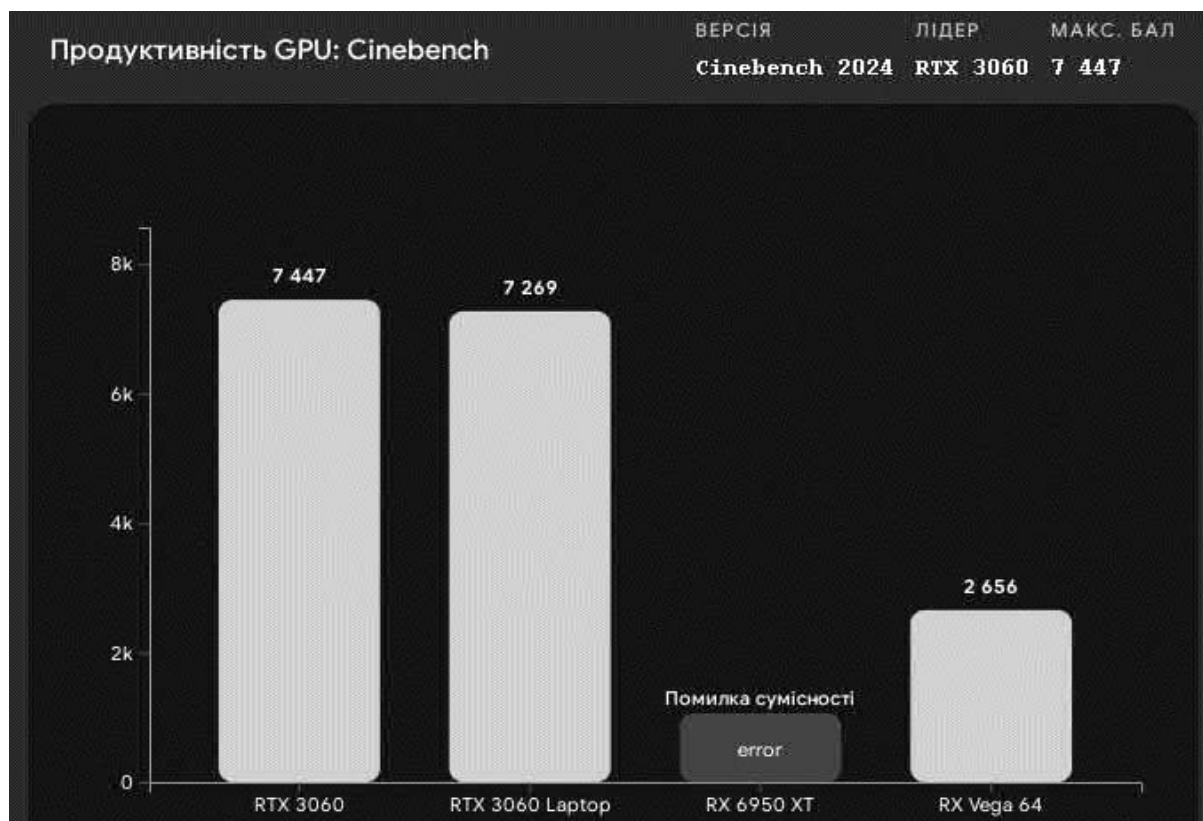


Рисунок 2 – Продуктивність GPU у Cinebench 2024

У тесті Cinebench 2024 найвищий результат продемонструвала NVIDIA GeForce RTX 3060 (7 447 балів), що корелює з архітектурною ефективністю Ampere у багатопотокових обчислювальних сценаріях та стабільною підтримкою сучасних графічних і обчислювальних API. AMD Radeon RX 6950 XT не завершила виконання тесту через драйверні обмеження та специфіку програмної реалізації навантаження, що підкреслює залежність синтетичних метрик від рівня програмно-апаратної сумісності. RX Vega 64 демонструє суттєво нижчі результати, зумовлені архітектурними обмеженнями GCN, зниженою ефективністю виконання сучасних SIMD-орієнтованих обчислювальних потоків та відсутністю апаратної підтримки нових інструкційних розширень, що визначає її низьку конкурентоспроможність у сучасних НПС-навантаженнях.

Результати тестування у Cinebench 2026 наведені на Рисунку 3 та відображають масштабованість продуктивності сучасних GPU-архітектур у розширених багатопотокових сценаріях, що наближаються до реальних НПС-навантажень і забезпечують більш коректну оцінку ефективності розподілу обчислювальних ресурсів між ядрами та підсистемою пам'яті.

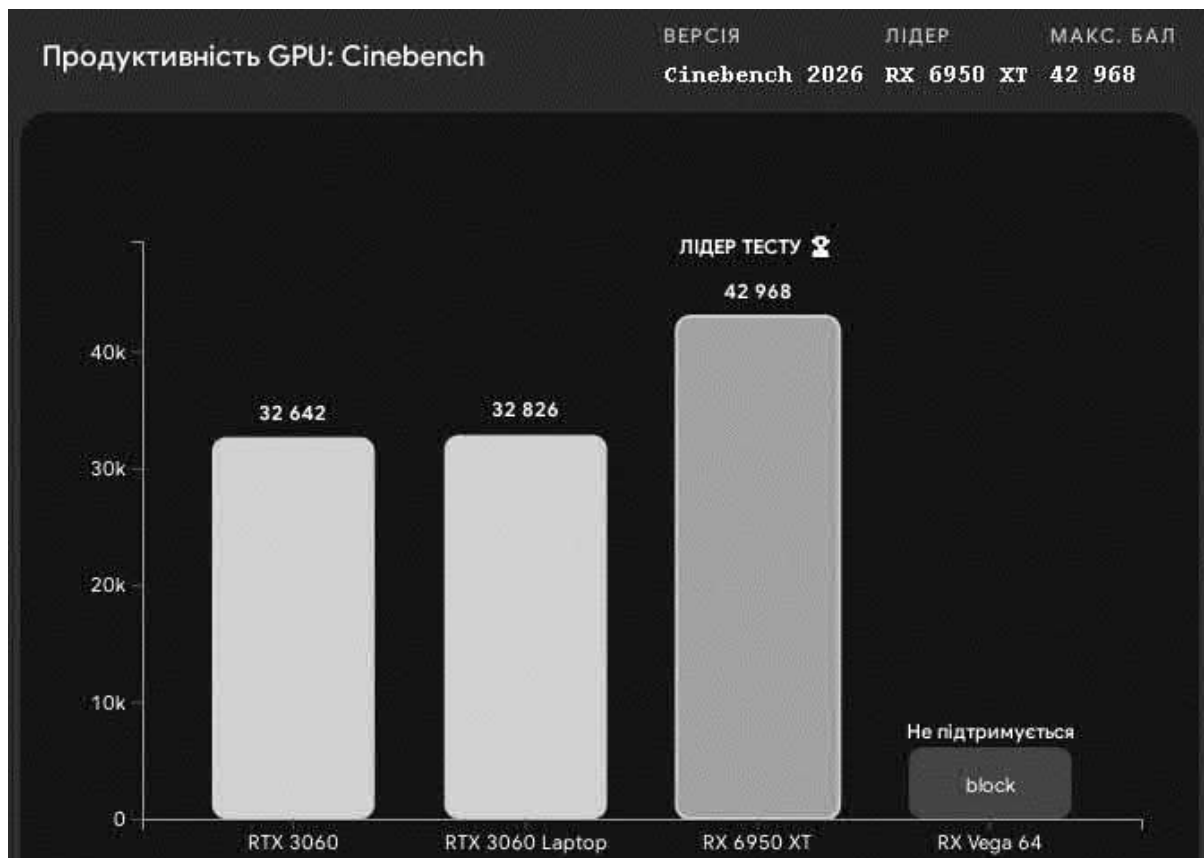


Рисунок 3 – Продуктивність GPU у Cinebench 2026

У Cinebench 2026 лідером стала AMD Radeon RX 6950 XT із результатом 42 968 балів. RTX 3060 та RTX 3060 Laptop продемонстрували близькі значення (~32 тис. балів), що свідчить про стабільність архітектури NVIDIA Ampere у різних форм-факторах, тоді як RX Vega 64 не підтримувала виконання тесту через обмеження сучасних графічних API та обчислювальних моделей.

Додатково проведено оцінювання продуктивності у задачах генеративного штучного інтелекту на базі Stable Diffusion у середовищі Fooocus. Основними метриками виступали швидкість генерації (iterations per second), час інференсу та стабільність використання відеопам'яті. Результати показали, що ключовими обмежувальними факторами є пропускна здатність пам'яті та ефективність тензорних обчислювальних блоків GPU.

Аналіз ігрових сценаріїв показав, що середній FPS не є достатнім показником продуктивності GPU, оскільки не відображає варіативність кадрів та мікростатери. Більш інформативними є метрики frame time, 1% low та 0.1% low, які дозволяють оцінити стабільність рендерингу та користувацький досвід у динамічних сценах.

Узагальнення результатів дослідження свідчить, що сучасні GPU функціонують як універсальні гетерогенні обчислювальні вузли, які інтегрують графічні, AI та RT-навантаження. Це наближає їх до концепції edge-обчислень, у яких критичними параметрами продуктивності є затримка виконання, пропускна здатність пам'яті та енергоефективність. У таких умовах традиційні синтетичні метрики не забезпечують повної оцінки реальної продуктивності системи.

Список використаних джерел

1. Кравченко О.В., Сидоренко І.М. Методи оцінювання продуктивності графічних процесорів у високопродуктивних обчислювальних системах // Вісник ХНУ ім. Каразіна. Серія “Комп’ютерні науки”. – 2024.
2. Maxon. Cinebench 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.maxon.net/> (дата звернення: 08.05.2026).
3. Hennessy J., Patterson D. Computer Architecture: A Quantitative Approach. 6th ed. – Morgan Kaufmann, 2019. – 1040 p.
4. Stallings W. Computer Organization and Architecture. 11th ed. – Pearson, 2021. – 816 p.
5. Akenine-Möller T., Haines E., Hoffman N. Real-Time Rendering. 4th ed. – CRC Press, 2018. – 1198 p.
6. NVIDIA. DLSS Technology Overview [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nvidia.com/> (дата звернення: 08.05.2026).
7. Intel. PresentMon Performance Tool [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.intel.com/> (дата звернення: 08.05.2026).
8. Pashchuk I., Dombrovsky M. Design and Application of Edge Computing Architecture for Real-Time Control in Smart Microgrids // 2025 IEEE 13th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). – IEEE, 2025. – P. 2770–2784.
9. Stability AI. Stable Diffusion Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stability.ai/> (дата звернення: 08.05.2026).
10. AMD. FidelityFX Super Resolution [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gpuopen.com/> (дата звернення: 08.05.2026).
11. Офіційний сайт програмних продуктів BAS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bas-soft.eu/> (дата звернення: 08.05.2026).
12. Kang P. Evaluation of GPU-Accelerated Edge Platforms for Stochastic Simulations and Energy Efficiency Analysis // Mathematics. – 2025. – Vol. 13(20), 3305.

ДОДАТОК Б

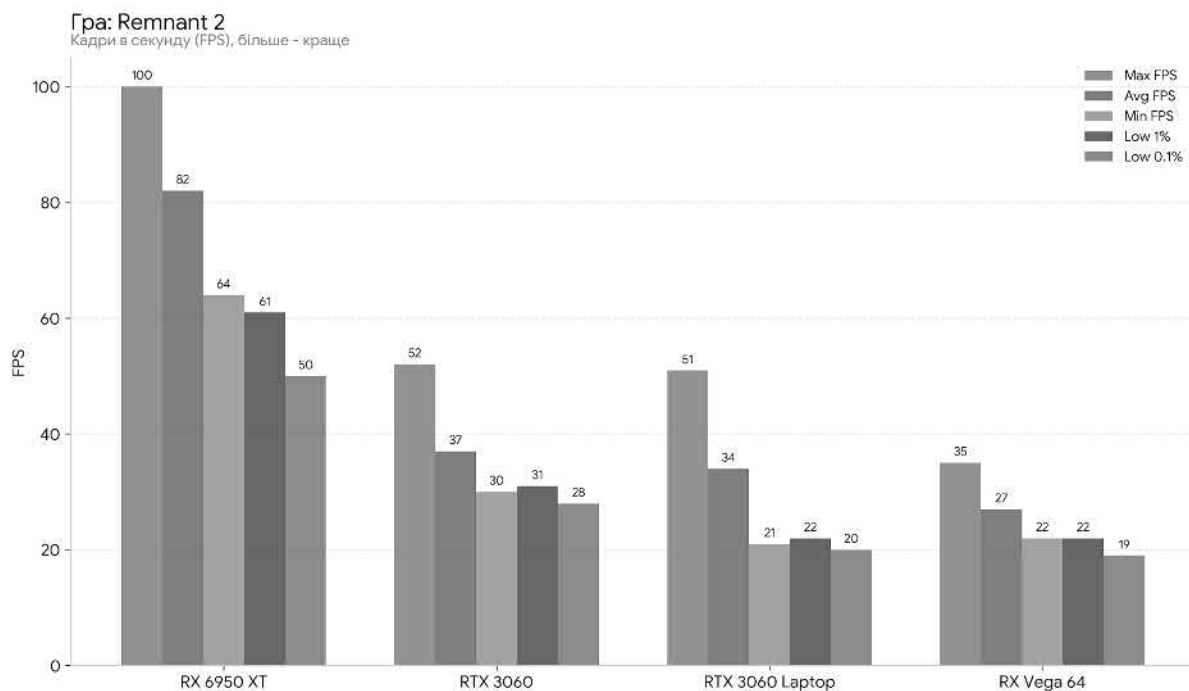


Рисунок 1 – Графік продуктивності відеокарт в грі Remnant 2

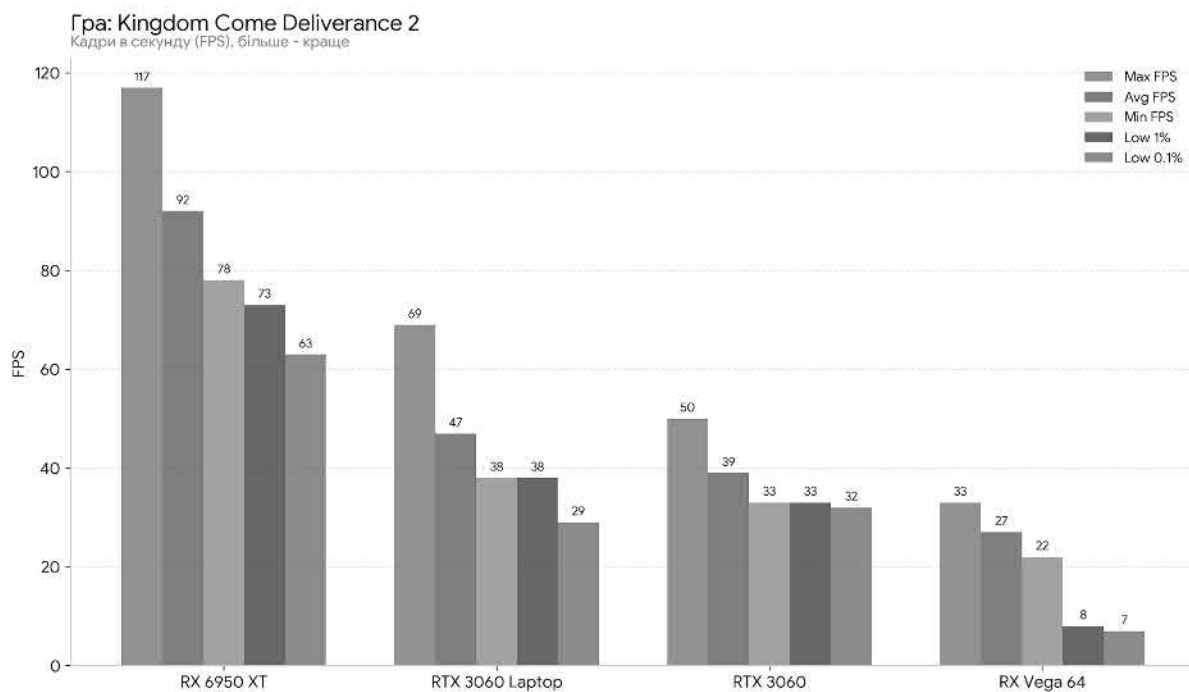


Рисунок 2 – Графік продуктивності відеокарт в грі Kingdom Come Deliverance 2

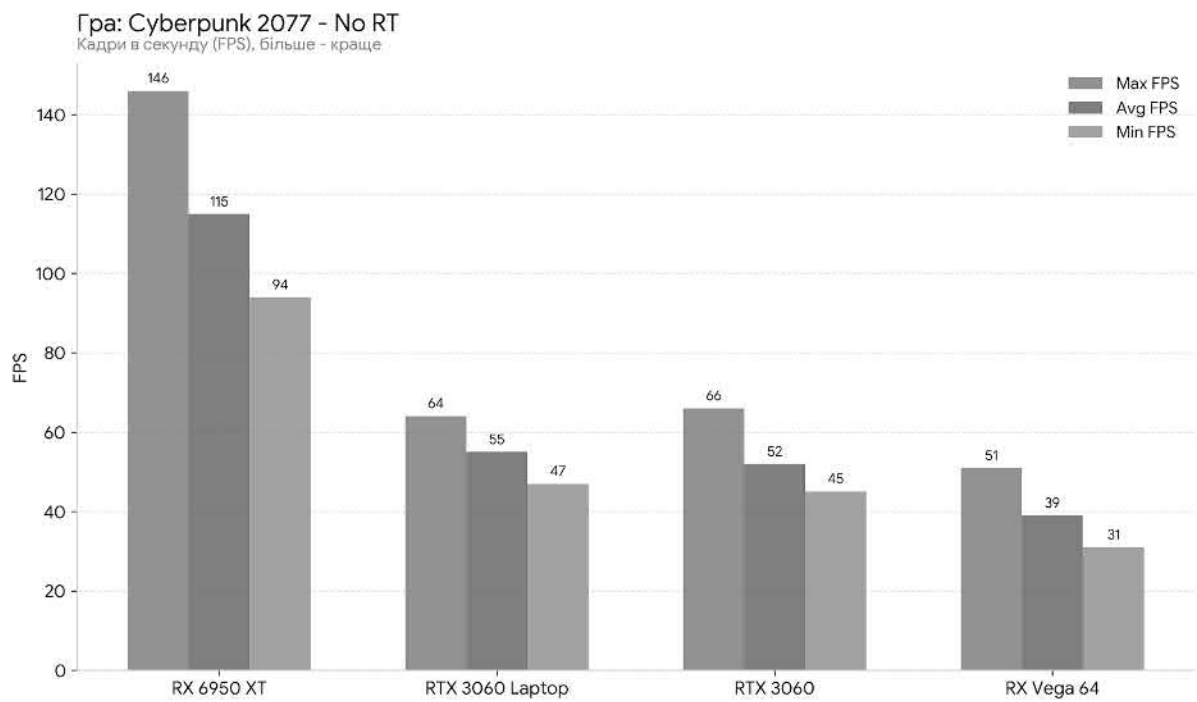


Рисунок 3 – Графік продуктивності відеокарт в грі Cyberpunk 2077 без RT

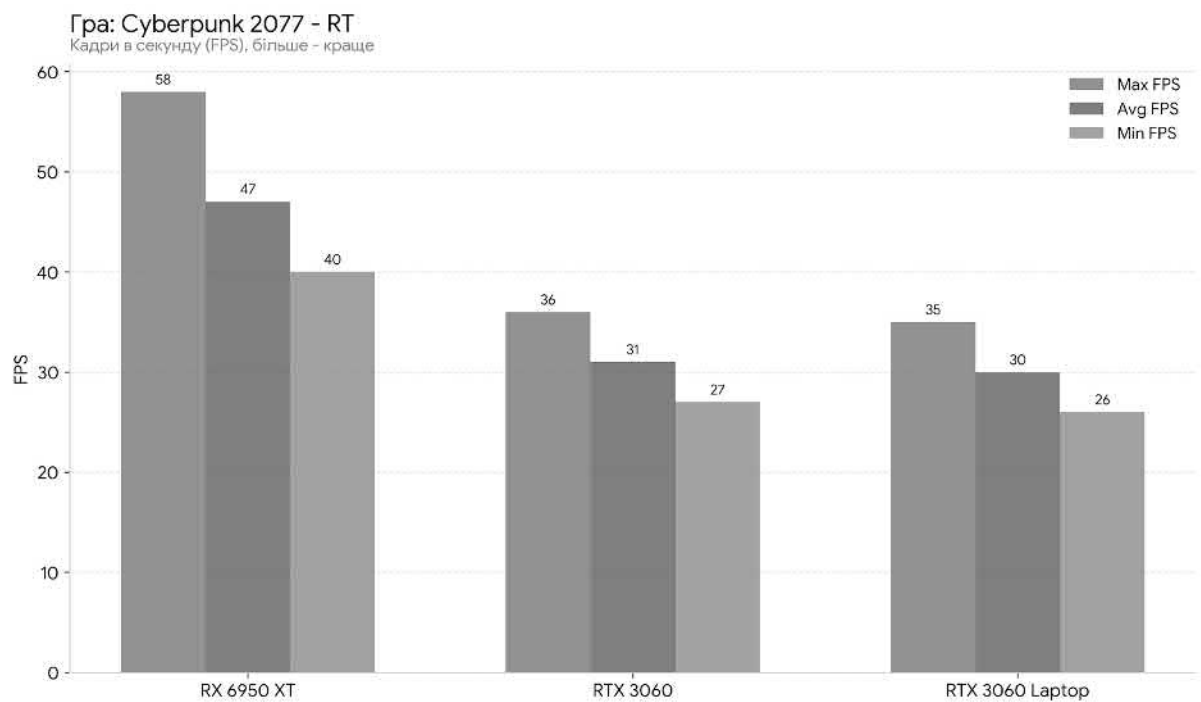


Рисунок 4 – Графік продуктивності відеокарт в грі Cyberpunk 2077 з RT

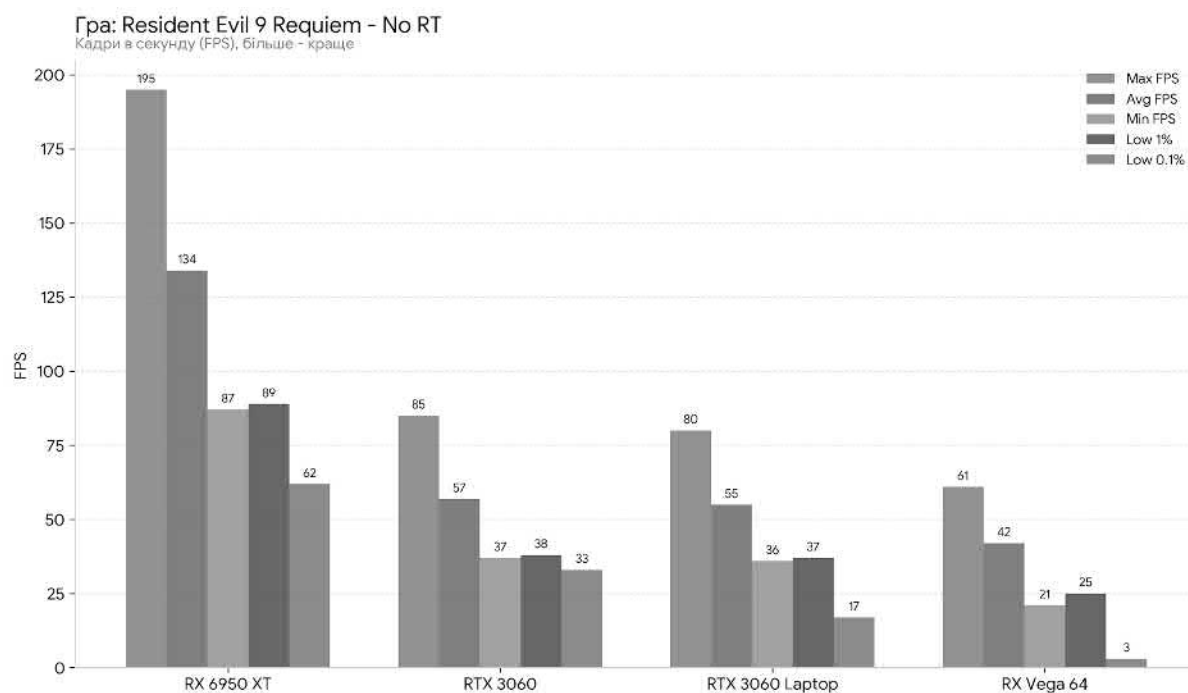


Рисунок 5 – Графік продуктивності відеокарт в грі Resident Evil 9 Requiem без RT

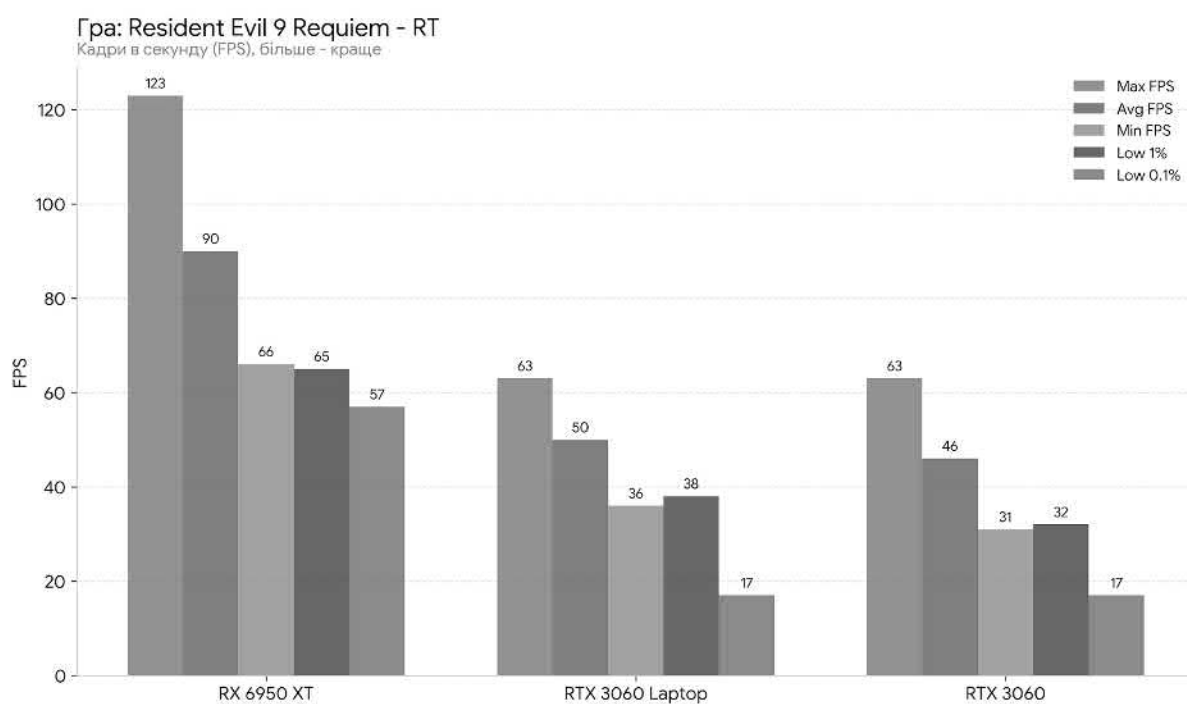


Рисунок 6 – Графік продуктивності відеокарт в грі Resident Evil 9 Requiem без RT