Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Кібербезпеки
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Аналіз проблеми затримки в онлайн іграх між клієнтом і сервером
(тема)

Виконав:
Здобувач четвертого року навчання,
групи ТРІМІ-22-1
Ян Борюшкин
(власне ім'я, прізвище)
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник *доц. Юлія Скорик*
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

В.о. завідувача кафедри _____ _____ *Дарія Чеботарьова*
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

2026

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Кібербезпеки

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
«2» 06 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Борюшкину Яну Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз проблеми затримки в онлайн іграх між клієнтом і сервером
затверджена наказом університету від 2 06 2026 р. № 466Ст
2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 19 06 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи *Процеси мережної взаємодії між клієнтом і сервером в онлайн-іграх. Аналіз показників мережної затримки (ping), jitter, packet loss та швидкості передачі пакетів. Дослідження впливу типу мережного підключення і мережного навантаження на якість з'єднання. Програмні засоби: VALORANT (вбудована система моніторингу мережних показників), Windows Device Manager.*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ
1. Основи мережної взаємодії в онлайн-іграх
2. Методи вимірювання, аналізу та оптимізації затримки
3. Експериментальне дослідження мережної затримки в онлайн-іграх
Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____
*Слайди у форматі Power Point (*назва кваліфікаційної роботи; актуальність дослідження; об'єкт, предмет та завдання дослідження; теоретична основа клієнт-серверної взаємодії та мережної затримки; інструмент вимірювання мережних показників у VALORANT; методика експерименту; результати вимірювань без фонового мережного навантаження; вплив активності ігрової сцени на затримку; вплив додаткового мережевого навантаження на якість з'єднання; методи зменшення затримки; висновки та результати роботи.*)*

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	доц. Скорик Ю.В.		10.07.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ	02.06-06.06.2026	виконано
2	Підбір літератури за темою роботи	07.06-19.06.2026	виконано
3	Виконання розділу 1	20.06-29.06.2026	виконано
4	Виконання розділу 2	30.06-03.07.2026	виконано
5	Виконання розділу 3	04.07-06.07.2026	виконано
6	Оформлення презентаційного матеріалу	07.07-09.07.2026	виконано
7	Підготовка до захисту у ЕК	10.07-12.07.2026	виконано

Дата видачі завдання __2___ _____06_____2026 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____ __*доц. Юлія Скорик*_____
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 69 стор. Формату А4, 10 рис., 1 табл., 10 посилань.

Об’єкт дослідження – процес мережної взаємодії між клієнтом та сервером в онлайн-іграх.

Мета роботи – аналіз проблеми затримки в онлайн-іграх між клієнтом і сервером, визначення основних факторів, що впливають на ping, packet loss та стабільність з’єднання, а також дослідження способів зменшення негативного впливу мережної затримки на ігровий процес.

У роботі розглянуто основи мережної взаємодії в онлайн-іграх, клієнт-серверну архітектуру, peer-to-peer модель, транспортні протоколи TCP та UDP, tick rate, поняття ping, jitter і packet loss. Також проаналізовано вплив затримки на ігровий процес, зокрема десинхронізацію, input lag, network latency та проблеми з hit registration. У практичній частині проведено дослідження мережних показників у грі VALORANT із використанням вбудованої системи моніторингу. Було проаналізовано вплив мереж Wi-Fi 2,4 ГГц та 5 ГГц, характеру ігрової сцени і додаткового мережного навантаження на якість з’єднання між клієнтом і сервером.

ОНЛАЙН-ІГРИ, КЛІЄНТ-СЕРВЕР, PING, LATENCY, JITTER, PACKET LOSS, TCP, UDP, TICK RATE, WI-FI, VALORANT, МЕРЕЖНА ЗАТРИМКА.

ABSTRACT

Explanatory note: 69 pp. format A4, 10 Fig., 1 tab., 10 reference.

The object of the research is the process of network interaction between the client and the server in online games.

The purpose of the work is to analyze the problem of latency in online games between the client and the server, determine the main factors affecting ping, packet loss and connection stability, as well as study ways to reduce the negative impact of network latency on the game process.

The work considers the basics of network interaction in online games, client-server architecture, peer-to-peer model, TCP and UDP transport protocols, tick rate, the concepts of ping, jitter and packet loss. The impact of latency on the game process is also analyzed, in particular desynchronization, input lag, network latency and problems with hit registration. In the practical part, a study of network performance in the VALORANT game was conducted using the built-in monitoring system. The impact of 2.4 GHz and 5 GHz Wi-Fi networks, the nature of the game scene and additional network load on the quality of the connection between the client and the server was analyzed.

ONLINE GAMES, CLIENT-SERVER, PING, LATENCY, JITTER, PACKET LOSS, TCP, UDP, TICK RATE, WI-FI, VALORANT, NETWORK LAG.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ..... 8
ВСТУП..... 10
1 ОСНОВИ МЕРЕЖНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В ОНЛАЙН-ІГРАХ..... 11
1.1 Архітектура клієнт-сервер..... 11
1.2 Peer-to-peer модель та її обмеження..... 12
1.3 Використання протоколів (TCP та UDP) 14
1.4 Tick rate та його значення..... 15
1.5 Поняття затримки (ping) та її складові..... 16
1.5.1 Що таке ping та методи його вимірювання..... 17
1.5.2 Компоненти які впливають на затримку..... 17
1.5.3 Jitter, packet loss та їх вплив..... 18
1.6 Причини виникнення затримок..... 18
1.6.1 Мережні фактори..... 19
1.6.2 Апаратні фактори..... 19
1.6.3 Програмні фактори..... 20
1.7 Вплив затримки на ігровий процес 21
1.7.1 Input lag та network latency 21
1.7.2 Десинхронізація (desync) 22
1.7.3 Hit registration проблеми 22
ВИСНОВКИ ДО РОЗІДУ 1.....24
2 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ, АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАТРИМКИ 25
2.1 Аналіз затримки за допомогою метрик у грі.....25
2.2 Обробка результатів вимірювань.....26
2.3 Методи зменшення затримки 27
2.3.1 Оптимізація на стороні користувача 28

2.3.2 Налаштування мережі 29
2.3.3 Оптимізація на стороні розробника 32
2.3.4 Інфраструктурні рішення 33
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....34
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖНОЇ ЗАТРИМКИ В ОНЛАЙН-ІГРАХ.....35
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....47
ВИСНОВКИ.....50
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....52
ДОДАТОК А. Слайди презентації.....53

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

B (Byte) – байт, одиниця вимірювання обсягу даних;

CPU (Central Processing Unit) – центральний процесор;

DNS (Domain Name System) – система доменних імен;

FPS (First-Person Shooter) – жанр комп’ютерних ігор від першої особи;

FPS (Frames Per Second) – кількість кадрів за секунду;

GHz (Gigahertz) – гігагерц, одиниця вимірювання частоти;

ICMP (Internet Control Message Protocol) – протокол міжмережних керуючих повідомлень;

IP (Internet Protocol) – міжмережний протокол;

ISP (Internet Service Provider) – інтернет-провайдер;

Jitter – коливання затримки під час передачі мережевих пакетів;

LAN (Local Area Network) – локальна комп’ютерна мережа;

LDPC (Low-Density Parity Check) – метод кодування для виявлення та виправлення помилок під час передачі даних;

MOBA (Multiplayer Online Battle Arena) – жанр багатокористувацьких онлайн-ігор;

Packet Loss – втрата пакетів під час передачі даних мережею;

P2P (Peer-to-Peer) – однорангова модель мережевої взаємодії;

Ping – показник часу проходження мережевого пакета від клієнта до сервера і назад;

QoS (Quality of Service) – механізм керування якістю мережевого обслуговування;

RTT (Round-Trip Time) – час проходження пакета від клієнта до сервера і назад;

STBC (Space-Time Block Coding) – технологія підвищення надійності передачі даних у бездротових мережах;

TCP (Transmission Control Protocol) – протокол керування передачею даних із гарантією доставки;

UDP (User Datagram Protocol) – протокол користувацьких датаграм без встановлення з'єднання;

VHT (Very High Throughput) – високошвидкісний режим передачі даних у бездротових мережах стандарту IEEE 802.11ac;

VoIP (Voice over IP) – технологія передачі голосу через протокол IP;

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – технологія бездротової передачі даних;

WLAN (Wireless Local Area Network) – бездротова локальна комп'ютерна мережа.

ВСТУП

Розвиток онлайн-ігор і кіберспорту помітно підвищив вимоги до якості мережного з’єднання та швидкості передачі даних. Для сучасних багатокористувацьких ігор стабільна мережна взаємодія стала одним із головних чинників, від яких залежить комфорт користувача та ефективність ігрового процесу. Однією з основних проблем у роботі онлайн-ігор залишається затримка передачі даних між клієнтом і сервером, яку зазвичай визначають показником ping. Високий ping, нестабільне з’єднання, packet loss і jitter можуть спричиняти десинхронізацію ігрового процесу, помилки під час реєстрації дій гравця та загальне погіршення користувацького досвіду. Найбільше це помітно у динамічних жанрах, зокрема FPS та MOBA, де навіть затримка в кілька десятків мілісекунд здатна вплинути на результат матчу. Тема роботи залишається актуальною через потребу дослідити причини виникнення затримок у мережах передачі даних, визначити фактори, що впливають на ping, а також знайти способи оптимізації мережної взаємодії між клієнтом і сервером в онлайн-іграх. Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно:

- розглянути основи мережної взаємодії в онлайн-іграх;
- дослідити поняття затримки та фактори, що впливають на її виникнення;
- проаналізувати вплив затримки на ігровий процес;
- розглянути методи вимірювання та аналізу мережних затримок;
- дослідити способи оптимізації та зменшення ping;
- провести практичне дослідження впливу мережного обладнання та умов з’єднання на величину затримки.

1 ОСНОВИ МЕРЕЖНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В ОНЛАЙН-ІГРАХ

1.1 Архітектура клієнт-сервер

Клієнт-серверна архітектура є базовою моделлю побудови більшості сучасних онлайн-ігор. У цій системі всі учасники поділяються на клієнтів і сервер. Клієнт – це пристрій користувача, який надсилає запити та отримує дані, тоді як сервер виконує обробку ігрової логіки, синхронізацію стану світу та управління взаємодією між гравцями [1]. Основний принцип роботи полягає в тому, що клієнт передає серверу інформацію про дії користувача – рух персонажа, атаки, використання ігрових механік. Сервер обробляє ці дані, перевіряє їх коректність і формує оновлений стан гри, який потім розповсюджується між усіма підключеними клієнтами. Така модель дозволяє забезпечити єдину «версію» ігрового світу для всіх гравців. Саме сервер визначає, що є правдою у грі, що особливо важливо для багатокористувацьких проєктів із високою динамікою. Однією з ключових переваг клієнт-серверної архітектури є централізований контроль. Уся критична логіка знаходиться на сервері, що дозволяє зменшити кількість помилок синхронізації та ускладнює використання читів або несанкціонованих змін клієнта. Крім того, така модель добре масштабується. Один сервер або кластер серверів може одночасно обслуговувати велику кількість гравців, що є критично важливим для сучасних онлайн-ігор з тисячами активних користувачів. Разом із перевагами клієнт-серверна модель має і недоліки. Основний із них - залежність від мережної затримки. Чим більша відстань між клієнтом і сервером, тим довше йдуть пакети даних, що напряму впливає на ping і відчуття «відставання» гри. Також важливим фактором є навантаження на серверну інфраструктуру. У моменти пікової активності сервер повинен обробляти велику кількість запитів у режимі реального часу. При

недостатній продуктивності це може призводити до збільшення затримок та втрати пакетів. Сьогодні клієнт-серверна архітектура (рис. 1.1) використовується практично у всіх сучасних онлайн-іграх, оскільки дозволяє забезпечити стабільність, контроль та передбачувану поведінку ігрового світу.



Рисунок 1.1 – Архітектура клієнт-сервер

1.2 Peer-to-peer модель та її обмеження

Peer-to-peer (P2P) – це модель мережної взаємодії, у якій кожен вузол може одночасно виконувати роль клієнта і сервера (рис. 1.2). У такій архітектурі відсутній центральний сервер, який керує передачею даних або контролює доступ до ресурсів. Усі учасники мережі напряму обмінюються даними між собою – це можуть бути файли, обчислювальні ресурси або мережний трафік. Завдяки цьому навантаження розподіляється між усіма вузлами, а не концентрується в одному місці. Головна особливість P2P полягає в її децентралізованій структурі. Вузли

можуть вільно приєднуватися до мережі або залишати її, не порушуючи загальної роботи системи. Саме тому такі мережі вважаються більш гнучкими у порівнянні з класичною клієнт-серверною архітектурою. Існують структуровані та неструктуровані P2P мережі. У структурованих вузли організовані за певною логікою, що спрощує пошук даних і розподіл навантаження. У неструктурованих зв'язки формуються випадково, що робить побудову мережі простішою, але менш ефективною з точки зору пошуку інформації [2]. Історично P2P набрала популярності наприкінці 1990-х років із появою сервісів обміну файлами, таких як Napster та BitTorrent. Вони дозволили користувачам напряму передавати файли без центрального сервера-посередника.



Рисунок 1.2 – Peer-to-peer модель

Сьогодні P2P використовується у різних сферах – від файлообміну до блокчейн-систем. У блокчейні кожен вузол зберігає копію даних і бере участь у перевірці транзакцій, що забезпечує прозорість і стійкість системи. Разом із

перевагами P2P має і суттєві недоліки. Відсутність централізованого контролю ускладнює забезпечення безпеки та захист від шахрайства. Крім того, стабільність роботи мережі напряму залежить від якості підключення кожного учасника. Також варто враховувати нестабільність такої архітектури. Якщо частина вузлів працює повільно або виходить із мережі, це може впливати на всіх інших учасників. Саме через це у сучасних онлайн-іграх P2P використовується значно рідше, ніж клієнт-серверна модель.

1.3 Використання протоколів (TCP та UDP)

Передача даних у сучасних онлайн-іграх здійснюється за допомогою транспортних протоколів TCP (Transmission Control Protocol) та UDP (User Datagram Protocol). Обидва вони працюють у межах моделі TCP/IP, але відрізняються принципами передачі даних і сферою застосування. TCP є протоколом із встановленням з’єднання. Перед передачею даних між клієнтом і сервером виконується процедура встановлення з’єднання, після чого починається контроль доставки пакетів, їх порядку та цілісності. У разі втрати пакета TCP виконує його повторну передачу, що забезпечує високу надійність обміну інформацією [3]. Такий підхід добре підходить для задач, де важлива точність даних: веб з'єднання, електронна пошта, передача файлів. Однак в онлайн-іграх це створює проблему. Додаткові перевірки та повторні передачі збільшують затримку, що негативно впливає на динамічний геймплей і реакцію гравця. UDP працює за іншим принципом. Він не встановлює постійного з’єднання і не контролює доставку пакетів. Дані надсилаються без підтвердження отримання, що значно зменшує затримку передачі інформації. Саме тому UDP використовується в системах, де критично важлива швидкість - відеостримінг, VoIP та онлайн-ігри [4].

Головна перевага UDP полягає в низькій затримці. Якщо пакет втрачається, протокол не намагається його повторно передати. Для ігрових систем це більш вигідно, оскільки актуальні дані важливіші за ідеальну цілісність. Наприклад, у шутерах координати гравців постійно оновлюються, тому повторна передача старих пакетів не має практичного сенсу. У документації Valve зазначається, що багатокористувацькі ігри на базі Source Engine працюють за клієнт-серверною моделлю та обмінюються невеликими пакетами даних із частотою приблизно 20-30 разів на секунду. Це дозволяє підтримувати стабільну синхронізацію стану гри між усіма гравцями [5]. Разом із перевагами UDP має і недоліки. Відсутність контролю порядку пакетів і механізмів повторної передачі може призводити до втрат даних, десинхронізації або нестабільної поведінки ігрового процесу. Для компенсації цих проблем у сучасних ігрових рушіях використовуються додаткові алгоритми, такі як interpolation, extrapolation та lag compensation. На практиці більшість онлайн-ігор використовують комбінацію обох протоколів. UDP відповідає за передачу критичних даних у реальному часі (рух, дії, бойові події), тоді як TCP застосовується для службових функцій – авторизації, чатів, оновлень і передачі додаткового контенту.

1.4 Tick rate та його значення

Tick rate - це частота, з якою сервер оновлює стан гри. По суті це кількість «оновлень» симуляції за секунду. Наприклад, 64 tick означає, що сервер обробляє стан світу 64 рази щосекунди. У клієнт-серверній моделі кожен такий цикл включає прийом даних від гравців, обробку подій, оновлення фізики та розсилку нового стану всім клієнтам. Вся логіка гри фактично «крутиться» у цих тиків, тому їх частота прямо впливає на відчуття гри. У документації Valve Corporation описується

підхід, де сервер працює у вигляді постійних оновлень, а клієнти синхронізуються з ним через регулярний обмін невеликими пакетами даних. Це дозволяє підтримувати узгоджений стан гри між усіма гравцями [5]. Різниця між tick rate добре відчувається в динамічних іграх. При низькому значенні оновлення відбуваються рідше, і реакція сервера на дії гравця стає менш точною. При високому tick rate ситуація ближча до реального часу – сервер швидше реагує на рухи, постріли та інші події. Як приклад: 64 tick означає оновлення приблизно кожні 15,6 мс, тоді як 128 tick - це вже близько 7,8 мс. На практиці це впливає на плавність руху і точність реєстрації дій у грі. Але є і зворотна сторона. Чим вищий tick rate, тим більше навантаження на сервер. Йому потрібно частіше обробляти фізику, перевіряти події та синхронізувати клієнтів. Це підвищує вимоги до інфраструктури і стабільності мережі. Через це tick rate завжди є балансом між точністю симуляції та ресурсами сервера.

1.5 Поняття затримки (ping) та її складові

Затримка в мережі – це час, який проходить між дією і відповіддю. У випадку онлайн-ігор це те, наскільки швидко сервер реагує на те, що робить гравець. Ping показує цю затримку у вигляді часу проходження пакета до сервера і назад. Це і є так званий round-trip time. Але ping – це не щось одне. Він складається з кількох етапів. Спочатку дані проходять фізичний шлях через інтернет – кабелі або бездротові канали. Потім вони проходять через маршрутизатори, які пересилають пакети далі по мережі. Далі є ще один важливий момент – обробка даних на стороні сервера і зворотна відповідь. Усе це додає мілісекунди до загального часу. Також маршрут може бути не прямим. Дані часто йдуть через кілька проміжних вузлів, і кожен із них трохи збільшує затримку. І ще одна причина нестабільного ping-черги в мережному обладнанні. Коли мережа перевантажена, пакети просто чекають своєї

черги, і це створює додаткові затримки. У результаті ping – це не одна проста величина, а сума всіх цих процесів у мережі.

1.5.1 Що таке ping та методи його вимірювання

Ping – це час, який проходить від моменту, коли пристрій відправляє дані, до моменту отримання відповіді назад. По суті це те, як швидко мережа реагує на запит. Найпростіший спосіб вимірювання – через ICMP-запити. Пристрій відправляє маленький пакет на сервер і чекає відповідь. Час між відправкою і поверненням і є ping. Але це не єдиний варіант. В іграх затримку можуть рахувати прямо всередині системи. Там враховується не тільки мережа, а й те, скільки часу займає обробка даних. У документації Valve Corporation описується підхід, де клієнт і сервер постійно обмінюються невеликими пакетами даних, щоб підтримувати синхронізацію стану гри [5]. На практиці ping не є стабільним значенням. Він може змінюватися через завантаженість мережі, маршрут до сервера або навіть загальний стан інтернет-інфраструктури. Тому зазвичай дивляться не одне число, а серію вимірювань, щоб зрозуміти реальну картину.

1.5.2 Компоненти які впливають на затримку

Затримка в мережі складається з кількох частин, і кожна з них додає свій внесок у фінальний ping, це – фізичний шлях сигналу, проміжні вузли, пропускна здатність каналу та відстань до сервера. Фізичний шлях сигналу, дані передаються через кабелі або бездротові мережі, і на це вже витрачається час. Проміжні вузли, пакети проходять через маршрутизатори та інше обладнання, і кожен такий крок трохи уповільнює передачу. Пропускна здатність каналу, якщо мережа перевантажена, пакети не йдуть одразу, а накопичуються в черзі. Відстань до

сервера, чим вона більша, тим довше сигнал іде туди і назад. І ще один момент – сервер теж витрачає час. Він має обробити дані і сформувати відповідь, перш ніж відправити її назад.

1.5.3 Jitter, packet loss та їх вплив

Jitter – це коли затримка нестабільна. Один пакет приходить швидше, інший повільніше. Через це навіть при нормальному ping гра може відчуватись “нерівною”. Packet loss – це вже втрата даних. Частина пакетів просто не доходить до сервера або назад до клієнта. У результаті гра може не отримати важливу інформацію. Jitter з’являється через навантаження на мережу, різні маршрути для пакетів і черги в обладнанні. Через це затримка постійно трохи змінюється. Packet loss зазвичай виникає, коли мережа перевантажена або з’єднання нестабільне. У грі це виглядає як ривки, затримки дій або “зникнення” подій. Разом ці два фактори сильно впливають на якість гри. Навіть якщо середній ping нормальний, нестабільність і втрати пакетів можуть повністю зіпсувати відчуття від гри [5].

1.6 Причини виникнення затримок

Затримка в онлайн-іграх з’являється не через одну проблему. На неї одночасно впливають мережа, обладнання і програмна частина системи. Одна з головних причин – сама інтернет-інфраструктура. Дані проходять через багато проміжних вузлів, і кожен із них додає трохи часу. Якщо маршрут невдалий або мережа перевантажена, ping починає рости. Велике значення має і домашнє з’єднання користувача. Слабкий Wi-Fi, завантаження мережі іншими пристроями або проблеми у провайдера можуть створювати нестабільну затримку. Не менш важливе обладнання. Маршрутизатор, мережна карта або сервер повинні швидко

обробляти пакети. Якщо пристрої перевантажені або слабкі, з’являються додаткові затримки. Є і програмний фактор. Фонові процеси, драйвери, антивірус або сама гра можуть впливати на швидкість обробки даних. Через це latency - це завжди результат роботи всієї системи, а не якоїсь однієї причини [5].

1.6.1 Мережні фактори

Мережні фактори – одна з головних причин високого ping в онлайн-іграх. Саме від якості з’єднання залежить, наскільки швидко і стабільно дані доходять до сервера. Перше, що впливає на затримку – це сам інтернет-канал. Якщо з’єднання слабке або нестабільне, ping починає рости, а пакети можуть втрачатися. Важливий і маршрут передачі даних. Пакети проходять через різні вузли та мережі провайдерів, і цей шлях не завжди є оптимальним. Якщо одна з ділянок перевантажена, затримка збільшується. Тип підключення теж має значення. Ethernet зазвичай працює стабільніше і дає менший ping, тоді як Wi-Fi сильніше реагує на перешкоди, відстань до роутера та навантаження мережі. Ще одна проблема – локальна мережа. Якщо одночасно хтось дивиться відео, завантажує файли або використовує хмарні сервіси, це створює додаткове навантаження і впливає на стабільність гри. Навіть невеликі проблеми мережі в онлайн-іграх швидко стають помітними: з’являються затримки, ривки або нестабільна синхронізація [5].

1.6.2 Апаратні фактори

На затримку в онлайн-іграх впливає не тільки інтернет, але й саме обладнання. Одна з головних речей – роутер. Якщо він слабкий або перевантажений, пакети починають оброблятися повільніше, через що ping стає

нестабільним. Важлива і мережна карта комп’ютера. Старі або дешеві адаптери можуть гірше працювати під навантаженням і створювати додаткові затримки. Впливає навіть загальна продуктивність системи. Якщо процесор сильно завантажений або не вистачає оперативної пам’яті, комп’ютер повільніше обробляє як саму гру, так і мережНі дані. Не менш важливий і сервер. Коли серверне обладнання перевантажене, час обробки запитів збільшується для всіх гравців одночасно. Через це якість онлайн-гри залежить не тільки від швидкості інтернету, а й від того, наскільки стабільно працює все обладнання в мережному ланцюгу [5].

1.6.3 Програмні фактори

На затримку впливає не тільки мережа або обладнання – програмна частина теж може створювати проблеми. Одна з причин – навантаження системи. Якщо у фоновому режимі працює багато програм, комп’ютер витрачає ресурси не тільки на гру, але й на інші процеси. Важливі і драйвери мережних пристроїв. Старі або нестабільні драйвери можуть викликати проблеми з передачею пакетів і створювати додаткову затримку. Сама гра теж має значення. Те, як реалізований мережний код, як часто відбувається синхронізація і як обробляються пакети, напряму впливає на стабільність з’єднання. У документації Valve Corporation описується модель, де клієнт і сервер постійно обмінюються невеликими пакетами даних для підтримки актуального стану гри [5]. Через це навіть невеликі затримки в обробці можуть бути помітними під час гри. Додаткові проблеми можуть створювати антивіруси, VPN або інші програми, які працюють із мережним трафіком і додають власну обробку пакетів [5].

1.7 Вплив затримки на ігровий процес

Затримка напряму впливає на те, як відчувається онлайн-гра. Якщо ping високий або нестабільний, між дією гравця і реакцією гри з’являється помітна пауза. У мережевих іграх сервер постійно отримує дані від усіх гравців, обробляє їх і відправляє оновлення назад. Коли затримка збільшується, інформація починає приходити із запізненням. Найсильніше це помітно у швидких іграх – наприклад, у шутерах або MOBA. Навіть невеликий ping може впливати на точність руху, стрільби або реакції на події. У документації Valve Corporation описуються системи синхронізації між клієнтом і сервером, які допомагають частково компенсувати вплив latency [5]. При нестабільному з’єднанні у грі можуть з’являтися ривки, затримки дій, проблеми з реєстрацією попадань або десинхронізація між гравцями.

1.7.1 Input lag та network latency

Input lag і network latency часто сприймаються як одне й те саме, але насправді це різні речі, які просто разом впливають на відчуття гри. Input lag – це затримка між твоєю дією і тим, як вона з’являється на екрані. Вона виникає ще до мережі: мишка або клавіатура передають сигнал, система його обробляє, гра формує кадр, відеокарта його рендерить, і тільки після цього ти бачиш результат. Network latency – це вже зовнішня частина. Це час, який потрібен, щоб інформація про твою дію дійшла до сервера і повернулась назад у гру. Тут вже працює інтернет, маршрутизатори і серверна обробка. У грі ці дві затримки накладаються одна на одну. Тому навіть якщо ping хороший, гра може відчуватись “важкою”, якщо input lag високий. І навпаки – швидкий монітор і система не допоможуть, якщо мережа повільна. У документації Valve Corporation описуються механізми компенсації затримок і синхронізації, які частково вирівнюють різницю між діями гравця і

реакцією сервера [5]. У результаті важливо дивитись не тільки на ping, а й на всю систему затримок загалом.

1.7.2 Десинхронізація (desync)

Десинхронізація – це ситуація, коли гра “роз’їжджається” між тим, що відбувається на сервері, і тим, що бачить гравець. Вона з’являється, коли дані приходять із затримкою або частково губляться. У результаті на екрані може бути одне, а на сервері вже зовсім інший стан гри. Головна причина – нестабільний ping. Якщо затримка постійно змінюється або пакети приходять нерівномірно, синхронізація починає ламатися. Ще одна причина – прогнозування на стороні клієнта. Гра намагається “вгадати”, як рухається персонаж, щоб зробити картинку плавнішою. Але якщо прогноз неправильний, з’являються розбіжності з сервером. У документації Valve Corporation описуються механізми client-side prediction і server reconciliation, які виправляють такі розбіжності після отримання актуальних даних від сервера [5]. Також на десинхронізацію сильно впливають jitter і packet loss, бо вони порушують стабільний потік даних.

1.7.3 Hit registration проблеми

Hit registration – це те, як гра вирішує, чи ти реально попав у противника. Проблема в тому, що сервер і твій клієнт не завжди бачать одну й ту саму картину одночасно. Через ping постріл доходить із затримкою, і через це виникають дивні ситуації: ти вже “попав” на своєму екрані, але сервер цього не зарахував. Є і зворотні випадки – коли здається, що промахнувся, але сервер все одно реєструє попадання. У документації Valve Corporation описується система lag compensation, яка намагається виправити це. Сервер фактично “відкочується назад у часі”, щоб

перевірити, чи був постріл у той момент, коли його зробив гравець [5]. Але навіть ця система не ідеальна. Якщо є jitter або packet loss, синхронізація порушується, і реєстрація попадань стає нестабільною.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У першому розділі розглянуто основи мережної взаємодії в онлайн-іграх. Встановлено, що клієнт-серверна архітектура є найбільш ефективною для сучасних онлайн-ігор, оскільки забезпечує централізований контроль і синхронізацію, тоді як peer-to-peer має обмеження через залежність від якості з’єднання та складність забезпечення безпеки.

Проаналізовано транспортні протоколи TCP і UDP. TCP гарантує надійну передачу даних, але збільшує затримку, тоді як UDP забезпечує швидший обмін даними, що робить його оптимальним для ігор у реальному часі. Також розглянуто вплив tick rate на плавність гри та навантаження на сервер.

Окрему увагу приділено показникам ping, jitter і packet loss. Встановлено, що якість мережної взаємодії залежить не лише від ping, а й від стабільності затримки та втрати пакетів, які можуть спричиняти десинхронізацію й затримки дій. Проаналізовано мережні, апаратні та програмні чинники, що впливають на затримку, а також її прояви у вигляді input lag, network latency і проблем із hit registration. Отже, сформовано теоретичну основу для подальшого дослідження мережної затримки та факторів, що визначають її вплив на ігровий процес.

2 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ, АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАТРИМКИ

2.1 Аналіз пакетів за допомогою метрик у грі

У межах дослідження для збору мережних даних використовуються вбудовані інструменти моніторингу гри VALORANT. На відміну від спеціалізованих мережних аналізаторів, вони дозволяють отримувати показники безпосередньо під час ігрового процесу та оцінювати реальний стан з’єднання між клієнтом і сервером. Система статистики гри відображає низку параметрів, серед яких ping, втрати пакетів, швидкість передачі даних та інші характеристики мережного трафіку. Саме ці показники найбільше впливають на якість мережної взаємодії та комфорт гри. Одним із найважливіших параметрів є packet loss. Якщо частина пакетів не доходить до сервера або клієнта, гра починає отримувати неповну інформацію про події, що може призводити до затримок оновлення стану гри та порушення синхронізації. Додатково аналізуються швидкість надсилання та отримання пакетів. Ці показники дають змогу оцінити інтенсивність обміну даними між клієнтом і сервером під час матчу. Під час збору даних використовуються показники, які відображає система статистики VALORANT. У процесі вимірювань було зафіксовано втрати пакетів до 13 %, втрати вхідних пакетів до 13 % та втрати вихідних пакетів до 10 %. Швидкість отримання пакетів у окремі моменти досягала 512 пакетів за секунду, а швидкість відправлення – 136 пакетів за секунду. Крім цього, аналізувався обсяг вихідного трафіку: максимальний розмір пакетів становив 707 В, а середній – 88 В. Надалі ці дані використовуються для аналізу стабільності з'єднання та оцінки впливу мережевого обладнання на якість взаємодії між клієнтом і сервером. Наведені значення є прикладом показників, отриманих під час тестового

сеансу гри VALORANT, і використовуються для демонстрації можливостей вбудованої системи моніторингу (рис. 2.1) [5].

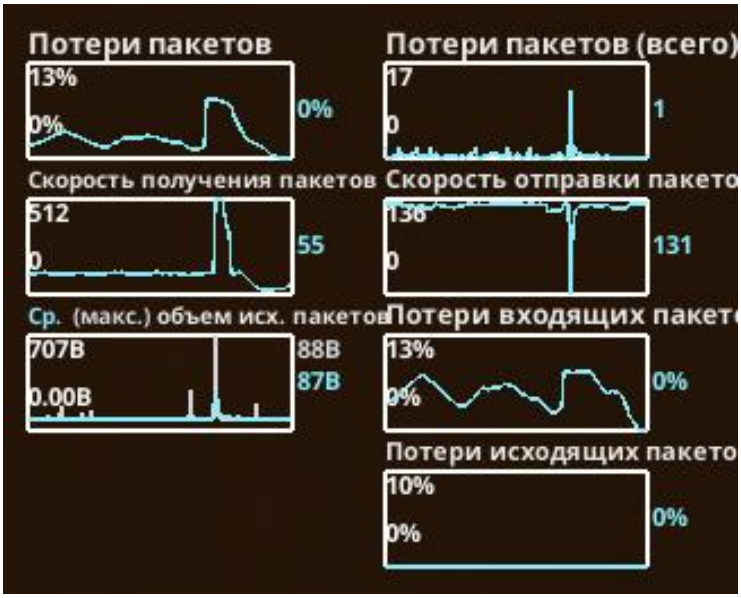


Рисунок 2.1 - Метрики затримки отримані з гри VALORANT

2.2 Обробка результатів вимірювань

Після збору даних необхідно не лише зафіксувати отримані значення, а й зрозуміти, що саме вони показують з точки зору роботи мережі. Для цього кожен параметр розглядається окремо, а потім оцінюється їх спільний вплив на якість з’єднання. Одним із ключових показників є packet loss. Він показує, яка частина пакетів була втрачена під час передачі між клієнтом і сервером. У ході тестування спостерігалися втрати до 13 %, що є досить високим значенням для онлайн-ігор. За таких умов гра може отримувати неповну інформацію про події, через що з’являються ривки, затримки оновлення або короткочасні порушення синхронізації. Додатково аналізуються втрати вхідних та вихідних пакетів. Перший показник характеризує передачу даних від сервера до клієнта, другий – від клієнта до сервера.

Під час вимірювань було зафіксовано до 13 % втрат вхідних пакетів і до 10 % втрат вихідних. Це свідчить про те, що проблеми можуть виникати в обох напрямках передачі даних. Не менш важливою є швидкість обміну пакетами. Зафіксоване значення швидкості отримання пакетів досягало 512 пакетів за секунду, тоді як швидкість відправлення становила до 136 пакетів за секунду. Така різниця є очікуваною, оскільки сервер надсилає клієнту значно більше інформації про стан гри, ніж отримує від нього. Під час аналізу також враховувався розмір пакетів. Максимальний обсяг вихідних пакетів становив 707 байтів, а середній - 88 байтів. Ці значення дозволяють оцінити інтенсивність передачі даних та навантаження на мережевий канал. Розгляд усіх отриманих показників у сукупності дозволяє оцінити якість мережевого з’єднання та створює основу для подальшого порівняння результатів, отриманих при використанні різних типів мережного обладнання [5].

2.3 Методи зменшення затримки

Повністю позбутися затримки в онлайн-іграх неможливо, але її можна суттєво зменшити. Для цього використовуються як технічні рішення на стороні користувача, так і спеціальні механізми, реалізовані розробниками ігрових систем. Одним із найпростіших способів покращити якість з'єднання є використання Ethernet замість Wi-Fi. Дротове підключення менше залежить від перешкод і зазвичай забезпечує стабільніший ping та меншу кількість втрат пакетів. На затримку також впливає вибір ігрового сервера. Чим ближче сервер розташований до користувача, тим менше часу потрібно для передачі даних. Саме тому більшість сучасних онлайн-ігор автоматично пропонують сервери з найменшим значенням ping. Ще один важливий фактор – навантаження на домашню мережу. Одночасне завантаження файлів, перегляд відео у високій якості або синхронізація даних із хмарними сервісами можуть погіршувати якість з'єднання під час гри. У багатьох

сучасних маршрутизаторах доступна функція QoS (Quality of Service), яка дозволяє пріоритезувати ігровий трафік. Завдяки цьому мережеві пакети гри отримують перевагу перед іншими типами даних. Частина проблем із затримкою вирішується на рівні самої гри. Для цього використовуються механізми прогнозування дій гравця, інтерполяція рухів об'єктів та компенсація затримки. Вони не зменшують реальний ping, але допомагають зробити його менш помітним для користувача. Велику роль відіграє і серверна інфраструктура. Розміщення серверів ближче до гравців та оптимізація мережних маршрутів дозволяють скоротити час передачі даних і підвищити стабільність з'єднання [5].

2.3.1 Оптимізація на стороні користувача

Найбільше можливостей для зменшення затримки має сам користувач. Багато проблем із мережним з'єднанням можна усунути без заміни провайдера або зміни серверів гри. Перш за все рекомендується використовувати Ethernet-підключення. Провідне з'єднання зазвичай працює стабільніше за Wi-Fi, оскільки не залежить від рівня сигналу, перешкод від інших пристроїв або відстані до роутера. Помітний вплив має і якість мережного обладнання. Сучасні роутери та мережні адаптери краще справляються з обробкою трафіку та забезпечують стабільнішу роботу мережі під навантаженням. Під час гри бажано мінімізувати використання інтернету іншими програмами. Завантаження файлів, автоматичні оновлення або перегляд відео можуть створювати додаткове навантаження на канал зв'язку та збільшувати затримку. Не варто забувати і про програмну частину. Актуальні драйвери мережного адаптера та оновлена прошивка маршрутизатора допомагають уникнути багатьох проблем зі стабільністю мережі [5]. У більшості випадків навіть прості зміни налаштувань дозволяють помітно покращити якість з'єднання та зменшити вплив затримки під час гри. Також не малу роль грає розташування

приймача, якщо мова йде про безпровідне з'єднання, більш докладно про це буде у розділі 3.

2.3.2 Налаштування мережі

Навіть хороше обладнання не завжди гарантує низький ping. Значну роль відіграє те, як саме налаштована домашня мережа. Одним із корисних інструментів є функція QoS. Вона дозволяє роутеру визначати пріоритет для різних типів трафіку. Якщо для ігрових пакетів встановлено вищий пріоритет, вони передаються швидше навіть тоді, коли мережею одночасно користуються інші пристрої. Для користувачів Wi-Fi важливим є вибір діапазону. У більшості випадків мережа 5 ГГц забезпечує кращі результати для онлайн-ігор, оскільки менше піддається впливу перешкод від побутових пристроїв та сусідніх мереж. Водночас при великій відстані до роутера стабільнішим може виявитися діапазон 2.4 ГГц. На якість бездротового з'єднання впливає і вибір каналу. Якщо поруч працює багато мереж Wi-Fi, окремі канали можуть бути перевантаженими, що призводить до зростання затримки та появи втрат пакетів. Окрему увагу варто приділяти фоновому трафіку. Завантаження ігор, оновлення програм, резервне копіювання файлів у хмару або перегляд відео високої якості можуть суттєво впливати на стабільність з'єднання. Корисною практикою є також періодичне оновлення прошивки маршрутизатора. Виробники регулярно випускають оновлення, які покращують стабільність роботи пристрою та усувають виявлені недоліки. Правильне налаштування мережі не здатне повністю усунути затримку, але дозволяє зробити з'єднання значно стабільнішим і передбачуванішим під час гри. Як приклад нижче наведено налаштування адаптеру TP-LINK ARCHER T4U AC1300 (рис. 2.2). Налаштування властивостей роботи адаптера TP-LINK ARCHER T4U AC1300 представлені к табл. 2.1 [5].

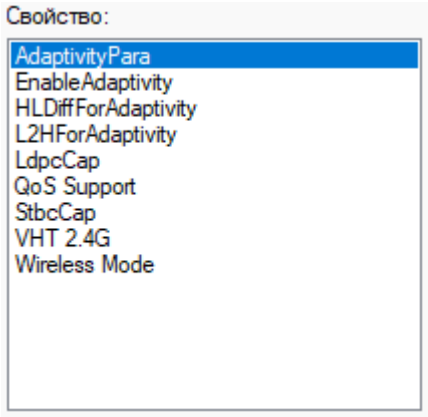


Рисунок 2.2 – Властивості для налаштування адаптеру TP-LINK ARCHER T4U AC1300

Таблиця 2.1 – Налаштування властивостей роботи адаптера TP-LINK ARCHER T4U AC1300

Назва властивості	Доступні параметри	Опис
AdaptivityPara	0/1	Значення 0 вимикає використання додаткових параметрів адаптивності, тоді як 1 активує їх. Може впливати на стабільність роботи адаптера в умовах нестабільного сигналу.
EnableAdaptivity	Auto/Enable/Disable	Auto дозволяє драйверу самостійно визначати необхідність адаптивного режиму. Enable примусово вмикає адаптивність, Disable повністю її вимикає. Від цього може залежати стабільність з'єднання в умовах завад.
HLDiffForAdaptivity	7/9	Визначає рівень чутливості алгоритму адаптації. Більше значення робить адаптер менш чутливим до короткочасних змін сигналу.

Продовження таблиці 2.1.

L2HForAdaptivity	Auto/E8/EB/ED/EF/F1/F3/F5	Задає порогове значення рівня сигналу для роботи механізму адаптивності. Режим Auto дозволяє драйверу обирати параметр автоматично, інші значення задають фіксований поріг.
LdpcCap	HT/VHT LDPC RX HT/VHT LDPC TX LDPC Disable VHT LDPC TX/RX VHT LDPC TX/RX & HT LDPC TX/RX	Налаштовує використання LDPC-кодування. LDPC Disable повністю вимикає виправлення помилок. Інші режими дозволяють використовувати LDPC для прийому, передачі або обох напрямків одночасно. Використання LDPC може зменшувати кількість помилок та втрат пакетів при слабкому сигналі.
QoS Support	QoS Support/Not Support QoS	Режим QoS Support вмикає підтримку пріоритезації трафіку, що може позитивно впливати на передачу ігрових пакетів. Not Support QoS вимикає дану функцію.
StbcCap	HT/VHT STBC RX HT/VHT STBC TX STBC Disable VHT STBC TX/RX VHT STBC TX/RX & HT LDPC TX/RX	Налаштовує використання технології STBC. Режими HT/VHT STBC RX та HT/VHT STBC TX використовують STBC лише для прийому або передачі. VHT STBC TX/RX та VHT STBC TX/RX & HT LDPC TX/RX активують технологію в обох напрямках. STBC Disable повністю вимикає її використання.
VHT 2.4G	Enable/Disable	Режим Enable дозволяє використання розширених можливостей стандарту VHT у діапазоні 2,4 ГГц, тоді як Disable використовує стандартні режими роботи.

Продовження таблиці 2.1.

Wireless Mode	IEEE 802.11a IEEE 802.11a/n IEEE 802.11a/n/ac IEEE 802.11ac IEEE 802.11b IEEE 802.11b/g IEEE 802.11b/g/n	Визначає стандарт Wi-Fi. IEEE 802.11b забезпечує найменшу швидкість передачі даних. IEEE 802.11g та 802.11n підтримують вищу швидкість і стабільність. IEEE 802.11ac забезпечує найвищу пропускну здатність серед доступних режимів. Режими 802.11a/n, 802.11a/n/ac, 802.11b/g та 802.11b/g/n дозволяють адаптеру автоматично використовувати декілька стандартів залежно від можливостей мережі.

2.3.3 Оптимізація на стороні розробника

Не всі проблеми із затримкою можна вирішити на стороні користувача. Значну частину роботи виконують самі розробники ігор, використовуючи спеціальні механізми, які допомагають приховати наслідки високого ping. Одним із таких рішень є client-side prediction. Коли гравець натискає клавішу руху або виконує іншу дію, гра не чекає відповіді від сервера, а одразу показує результат на екрані. Це створює відчуття миттєвої реакції навіть за наявності мережної затримки. Для плавного відображення руху інших гравців використовується інтерполяція. Замість того щоб показувати кожне окреме оновлення від сервера, клієнт створює проміжні стани між отриманими даними. Завдяки цьому рухи виглядають більш природними. Якщо пакети тимчасово не надходять, у роботу вступає екстраполяція. У цьому випадку гра намагається самостійно спрогнозувати подальший рух об'єкта до моменту отримання нових даних. Особливу роль відіграє lag compensation. Згідно з документацією Valve Corporation, сервер може враховувати затримку конкретного гравця під час перевірки його дій. Це особливо важливо для шутерів, де навіть кілька десятків мілісекунд можуть впливати на результат пострілу [5]. Ще

одним важливим механізмом є server reconciliation. Після отримання актуальної інформації від сервера гра порівнює її з локальним прогнозом і за потреби виправляє розбіжності. Саме завдяки цьому більшість сучасних онлайн-ігор залишаються комфортними навіть при нестабільному з'єднанні.

2.3.4 Інфраструктурні рішення

Навіть якщо користувач має якісне обладнання та правильно налаштовану мережу, рівень затримки багато в чому залежить від інфраструктури самої гри. Найпомітніше на ping впливає розташування серверів. Чим ближче сервер знаходиться до гравця, тим менше часу потрібно для передачі даних. Саме тому більшість сучасних онлайн-ігор використовують сервери в різних країнах і регіонах. Не менш важливими є канали зв'язку між дата-центрами та інтернет-провайдерами. Навіть невелика кількість додаткових вузлів на маршруті може збільшити затримку на кілька мілісекунд. Для скорочення часу передачі даних великі компанії використовують власні мережі та оптимізовані маршрути. Це дозволяє уникати перевантажених ділянок мережі та забезпечувати більш стабільне з'єднання. Окрему роль відіграє серверне обладнання. Якщо сервер перевантажений або не має достатньої продуктивності, час обробки запитів збільшується навіть за хорошого інтернет-з'єднання у користувача. Саме тому низький ping залежить не лише від домашньої мережі, а й від того, наскільки ефективно організована інфраструктура гри загалом [5].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У другому розділі розглянуто методи вимірювання, аналізу та оптимізації мережної затримки в онлайн-іграх на прикладі вбудованих метрик гри VALORANT. Проаналізовано показники ping, packet loss, швидкість обміну пакетами та встановлено, що для об’єктивної оцінки якості з’єднання необхідно враховувати їх у комплексі, оскільки низький ping не гарантує стабільної роботи мережі.

Також досліджено способи зменшення затримки на стороні користувача, зокрема використання Ethernet, оптимізацію налаштувань мережі та підключення до найближчого сервера. Розглянуто методи оптимізації на стороні розробника, такі як client-side prediction, interpolation, lag compensation і server reconciliation, а також роль серверної інфраструктури. Отже, встановлено, що ефективне зменшення затримки потребує комплексного підходу, який охоплює як налаштування користувача, так і програмні та інфраструктурні рішення.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖНОЇ ЗАТРИМКИ В ОНЛАЙН-ІГРАХ

Для дослідження факторів, які впливають на величину затримки між клієнтом і сервером в онлайн-іграх, було проведено серію експериментів у грі VALORANT. Дана гра була обрана через наявність вбудованої системи моніторингу мережних показників, яка дозволяє отримувати статистичну інформацію про стан мережевого з'єднання в режимі реального часу. Усі вимірювання проводилися на одному комп'ютері з використанням одного інтернет-провайдера та одного маршрутизатора. Для забезпечення коректності результатів під час проведення окремих тестів змінювався лише один досліджуваний параметр, тоді як інші умови залишалися незмінними. Підключення до гри здійснювалося через сервер Frankfurt, оскільки він забезпечує найменше значення затримки для регіону проведення дослідження. Вимірювання проводилися під час реальних ігрових сесій, що дозволило оцінити мережні показники в умовах фактичного навантаження. У ході дослідження аналізувалися такі параметри: Ping (час проходження даних між клієнтом і сервером та назад, вимірюється в мілісекундах); Packet Loss (загальний відсоток пакетів, втрачених під час передачі даних); Incoming Packet Loss (відсоток втрачених пакетів, що надходять від сервера до клієнта); Outgoing Packet Loss (відсоток втрачених пакетів, що передаються від клієнта до сервера); Packets Received Rate (кількість пакетів, отриманих від сервера за одиницю часу); Packets Sent Rate (кількість пакетів, що передаються клієнтом до сервера за одиницю часу); Average Outgoing Packet Size (середній розмір вихідних пакетів); Max Outgoing Packet Size (максимальний розмір вихідних пакетів). У рамках дослідження було проведено декілька експериментів. Перший експеримент присвячений дослідженню впливу типу підключення до мережі на рівень затримки. Для цього

порівнювалися результати, отримані при використанні підключення до бездротової мережі Wi-Fi 5 ГГц та Wi-Fi 2.4 ГГц. Другий експеримент передбачав дослідження впливу мережного навантаження на якість з'єднання. Для цього виконувалися вимірювання за відсутності додаткового трафіку та під час одночасного використання мережі іншими пристроями. Усі отримані результати були зафіксовані у вигляді таблиць та використані для подальшого аналізу факторів, які найбільше впливають на величину затримки між клієнтом і сервером в онлайн-іграх [5].

На рис. 3.1 зображено підключення до мережі 2.4 ГГц у нерухомому стані гравця.

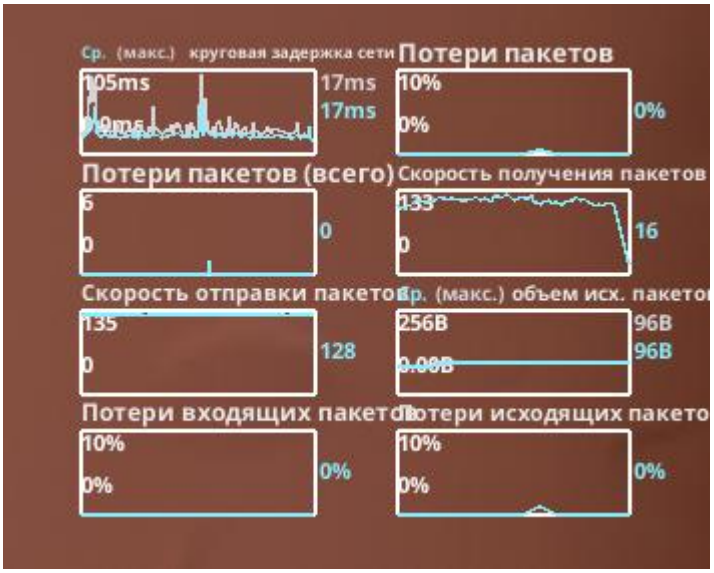


Рисунок 3.1 – Підключення до мережі 2.4 ГГц у нерухомому стані гравця

Під час проведення експерименту в режимі «2.4ГГц-спокійно» персонаж перебував у нерухомому стані, а кількість змін на екрані була мінімальною. Такий сценарій дозволяє оцінити мережні показники за умов найменшого навантаження на клієнтську та серверну частини гри. Середня мережна затримка становила

близько 17 мс, а максимальне зафіксоване значення у моменті досягало 105 мс. Отримані результати свідчать про досить стабільне з'єднання між клієнтом і сервером та відсутність суттєвих коливань затримки. Показники втрати пакетів протягом дослідження залишалися на рівні 0 %, що вказує на відсутність проблем під час передачі даних. Аналогічні результати були отримані для вхідних та вихідних пакетів, де також не спостерігалося втрат інформації. Швидкість отримання пакетів від сервера залишалася відносно стабільною та становила приблизно 133 пакети за секунду. Швидкість відправлення пакетів від клієнта до сервера знаходилася на рівні близько 135 пакетів за секунду. Близькі значення даних показників свідчать про рівномірний обмін інформацією між сторонами з'єднання. Особливий інтерес становить показник максимального обсягу вихідних пакетів, який у даному сценарії становив лише 96 байт. Це є найменшим значенням серед досліджуваних режимів та пояснюється відсутністю активних дій гравця й мінімальною кількістю змін у ігровому світі. Оскільки серверу не потрібно постійно отримувати оновлені координати, дані про постріли чи інші ігрові події, обсяг переданої інформації залишається незначним. Отримані результати можна розглядати як базові показники для мережі Wi-Fi 2.4 ГГц за відсутності додаткового навантаження та активних ігрових дій. Саме з ними доцільно порівнювати результати інших сценаріїв дослідження [6].

Під час проведення експерименту в режимі «2.4ГГц-рухомий стан» (рис. 3.2) виконувалося активне переміщення персонажа по ігровій карті із постійною зміною напрямку огляду. Такий сценарій створює значно більше мережеве навантаження порівняно зі станом спокою, оскільки клієнт і сервер повинні постійно обмінюватися інформацією про зміну координат, положення камери та інші ігрові події. Середня мережна затримка під час експерименту становила близько 141 мс, а максимальне значення досягало 331 мс. Порівняно з режимом спокою

спостерігається суттєве збільшення обох показників, що свідчить про зростання навантаження на мережний обмін під час активного ігрового процесу.

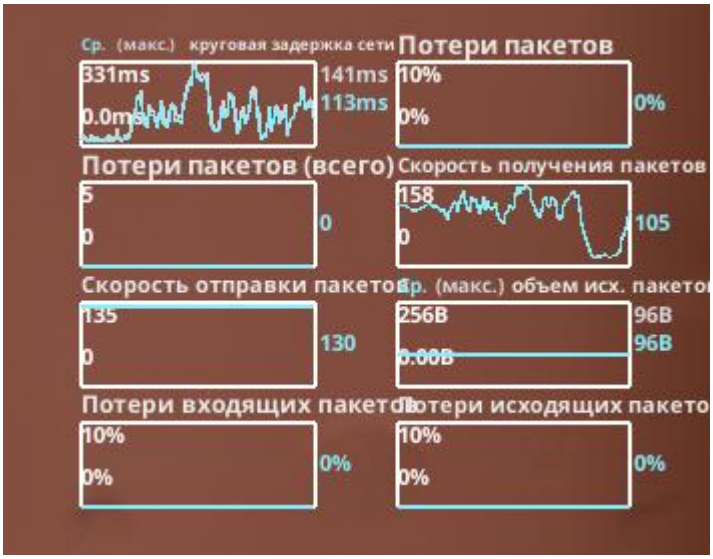


Рисунок 3.2 – Підключення до мережі 2.4 ГГц у рухомому стані гравця

Показники втрати пакетів протягом усього експерименту залишалися на рівні 0 %. Також не було зафіксовано втрат вхідних та вихідних пакетів. Отримані результати свідчать про те, що навіть за активної зміни ігрової сцени мережа забезпечувала коректну доставку даних між клієнтом і сервером. Швидкість отримання пакетів від сервера становила приблизно 158 пакетів за секунду. Даний показник виявився вищим, ніж під час попереднього тесту в режимі спокою, що пояснюється більшою кількістю подій, які необхідно передавати клієнту. Швидкість відправлення пакетів залишалася на рівні близько 135 пакетів за секунду. Особливий інтерес становить показник максимального обсягу вихідних пакетів, який у даному сценарії становив 96 байт. Незважаючи на активний рух персонажа та постійну зміну зображення, розмір окремих пакетів залишився на рівні, близькому до попереднього тесту. Це свідчить про те, що збільшення мережевого навантаження відбулося переважно за рахунок частоти передавання

пакетів, а не через збільшення обсягу інформації в кожному окремому пакеті. Отримані результати демонструють, що мережа Wi-Fi 2.4 ГГц здатна забезпечувати посередню передачу даних під час інтенсивних ігрових дій, так як затримка більша за 90-100 мс є не зовсім іграбельною тому для змагальних режимів неприпустима. Тому порівняно зі станом спокою спостерігається значне зростання затримки, що може впливати на комфорт гри в динамічних онлайн-режимах [7].

Під час проведення експерименту в режимі «5 ГГц-спокійно» (рис. 3.3) персонаж перебував у нерухомому стані, а кількість змін на екрані була мінімальною.

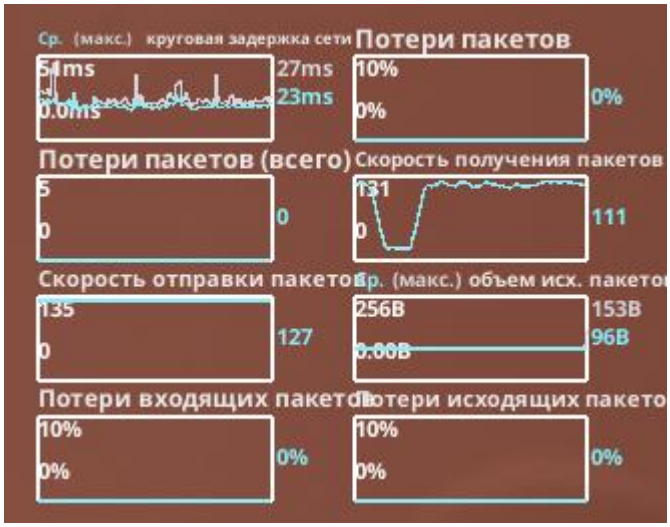


Рисунок 3.3 – Підключення до мережі 5 ГГц у нерухомому стані гравця

Даний сценарій використовувався для оцінки базових мережевих показників при роботі в діапазоні 5ГГц та подальшого порівняння з аналогічним тестом у мережі 2.4ГГц. Середня мережева затримка становила близько 27мс, а максимальне зафіксоване значення досягало 54мс. Отримані результати свідчать про стабільне з'єднання між клієнтом і сервером та відсутність значних коливань затримки під час гри. Показники втрати пакетів протягом дослідження залишалися на рівні 0 %.

Також не було зафіксовано втрат вхідних та вихідних пакетів. Це свідчить про коректну передачу даних між клієнтом і сервером та відсутність проблем із доставкою мережевих пакетів. Швидкість отримання пакетів від сервера становила приблизно 131 пакет за секунду. Швидкість відправлення пакетів від клієнта до сервера знаходилася на рівні близько 135 пакетів за секунду. Значення даних показників є близькими між собою та відповідають умовам мінімальної активності гравця. Особливий інтерес становить показник максимального обсягу вихідних пакетів, який у даному сценарії досягав 153 байтів. Порівняно з аналогічним тестом у мережі 2.4 ГГц, де максимальний обсяг вихідних пакетів становив 96 байтів, спостерігається збільшення розміру пакетів. Це може бути пов'язано з особливостями передачі даних під час конкретної ігрової сесії та роботою мережного стека гри. Отримані результати показують, що використання мережі Wi-Fi 5ГГц забезпечує стабільне з'єднання з відсутністю втрат пакетів та низьким рівнем затримки. За умов мінімальної ігрової активності різниця між мережами 2.4ГГц та 5ГГц за середнім значенням затримки є незначною, проте діапазон 5ГГц демонструє високу стабільність передачі даних та відсутність додаткових мережних проблем [7].

Під час проведення експерименту в режимі «5ГГц-рухомий стан» (рис. 3.4) виконувалося активне переміщення персонажа по ігровій карті з постійною зміною напрямку огляду. Такий сценарій створює підвищене навантаження на мережний обмін між клієнтом і сервером, оскільки потребує частого оновлення інформації про положення гравця та інші ігрові події. Середня мережева затримка під час експерименту становила близько 25 мс, а максимальне значення досягало 52мс. Порівняно з аналогічним тестом у мережі 2.4ГГц, де максимальна затримка досягала 331мс, мережа 5ГГц продемонструвала значно вищу стабільність та меншу схильність до різких стрибків затримки. Показники втрати пакетів протягом тестування залишалися на рівні 0 %. Також не було зафіксовано втрат вхідних та

вихідних пакетів. Це свідчить про стабільну передачу даних навіть за умов активного ігрового процесу. Швидкість отримання пакетів від сервера становила приблизно 133 пакети за секунду, а швидкість відправлення пакетів знаходилася на рівні близько 136 пакетів за секунду. Значення цих показників є близькими до результатів, отриманих під час попередніх тестів, що свідчить про стабільний характер мережного обміну [7].

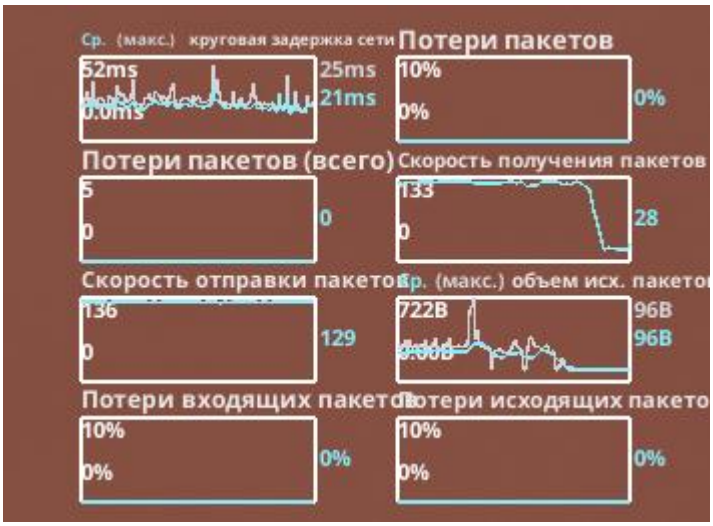


Рисунок 3.4 – Підключення до мережі 5 ГГц у рухомому стані гравця

Особливий інтерес становить показник максимального обсягу вихідних пакетів, який у даному сценарії досягав 722 байтів. Це найбільше значення серед усіх проведених тестів на даному етапі дослідження. Значне збільшення обсягу пакетів пояснюється великою кількістю змін в ігровій сцені та активною взаємодією між клієнтом і сервером. У процесі швидкого переміщення персонажа необхідно передавати більше інформації про зміни положення, напрямок огляду та інші параметри ігрового світу. Отримані результати демонструють, що мережа Wi-Fi 5ГГц забезпечує стабільну передачу даних навіть під час інтенсивних ігрових дій. Порівняно з аналогічним тестом у діапазоні 2.4ГГц спостерігаються значно менші

коливання затримки, що робить підключення 5ГГц більш придатним для динамічних онлайн-ігор [8].

Під час проведення експерименту в режимі «5ГГц-перегляд відео» гра VALORANT працювала паралельно з відтворенням відео на платформі YouTube у роздільній здатності 1080p (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Підключення до мережі 5 ГГц при при паралельному перегляді відео формату 1080p

Даний сценарій використовувався для оцінки впливу додаткового мережного навантаження на якість з'єднання між клієнтом і сервером. Середня мережна затримка під час експерименту становила близько 39 мс, а максимальне зафіксоване значення досягало 253 мс. Порівняно з попередніми тестами в мережі 5ГГц спостерігається збільшення середнього значення затримки. Це пояснюється тим, що частина пропускної здатності мережі використовувалася для безперервного завантаження відеоданих із сервісу YouTube. Показники втрати пакетів протягом експерименту залишалися на рівні 0 %. Також не було зафіксовано втрат вхідних та вихідних пакетів. Отримані результати свідчать про те, що мережа 5ГГц

забезпечувала достатню пропускну здатність для одночасної роботи гри та потокового відтворення відео без виникнення проблем із доставкою пакетів. Швидкість отримання пакетів від сервера становила приблизно 128 пакетів за секунду, а швидкість відправлення пакетів перебувала на рівні близько 137 пакетів за секунду. Значення даних показників залишилися близькими до результатів попередніх тестів, що свідчить про відсутність істотного впливу перегляду відео на інтенсивність обміну даними між клієнтом та сервером. Показник максимального обсягу вихідних пакетів становив 97 байтів. Таке значення є близьким до результатів, отриманих під час спокійного режиму роботи, що пояснюється відсутністю значної кількості ігрових подій та мінімальними змінами ігрової сцени під час вимірювань. Порівняно зі сценарієм швидкої зміни картинки, де максимальний обсяг вихідних пакетів досягав 722 байтів, спостерігається суттєве зменшення обсягу переданої інформації. Отримані результати демонструють, що перегляд відео у форматі 1080p на платформі YouTube не створює критичного впливу на якість мережевого з'єднання при використанні Wi-Fi мережі діапазону 5ГГц. Незважаючи на збільшення середнього значення затримки, передача даних залишалася стабільною, а втрати пакетів протягом усього експерименту були відсутні [9].

Під час проведення експерименту в режимі «5ГГц-скачування» гра VALORANT працювала одночасно із завантаженням гри через платформу Steam (рис. 3.5). Даний сценарій використовувався для оцінки впливу інтенсивного мережого навантаження на якість взаємодії між клієнтом та сервером під час онлайн-гри. Середня мережева затримка під час експерименту становила близько 70 мс, а максимальне зафіксоване значення досягало 156 мс. Незважаючи на значне навантаження на мережевий канал, середній ping залишався на прийнятному рівні для комфортної гри. Проте збільшення максимального значення затримки свідчить про появу короткочасних коливань під час передачі даних. На відміну від

попередніх сценаріїв, у даному випадку були зафіксовані втрати пакетів. Загальний показник Packet Loss досягав 21 %, а середнє значення становило близько 1 %.

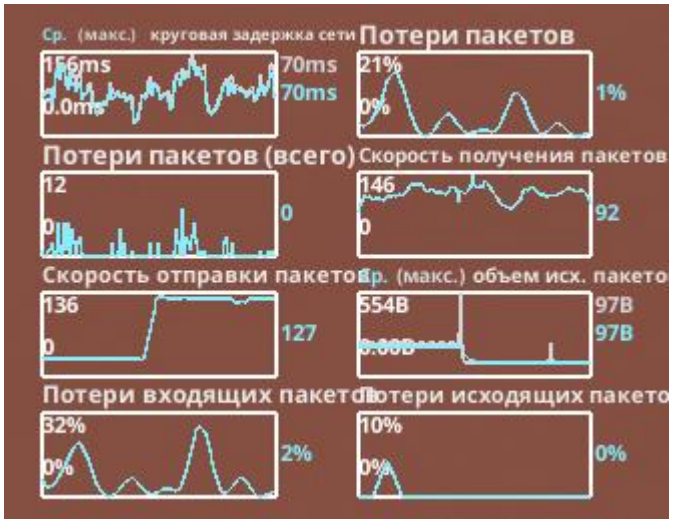


Рисунок 3.5 – Підключення до мережі 5 ГГц при при завантаженні файлів

Додатково спостерігалися втрати вхідних пакетів, максимальне значення яких досягало 32 %, а середнє становило близько 2 %. Водночас втрати вихідних пакетів залишалися на рівні 0 %, що свідчить про відсутність суттєвих проблем під час передачі даних від клієнта до сервера. Швидкість отримання пакетів від сервера становила приблизно 146 пакетів за секунду, а швидкість відправлення пакетів знаходилася на рівні близько 136 пакетів за секунду. Незважаючи на високе навантаження на мережу, обмін даними між клієнтом і сервером продовжувався без значного зниження інтенсивності. Показник максимального обсягу вихідних пакетів становив 554 байти. Дане значення значно перевищує результати, отримані під час спокійних сценаріїв, однак поступається показнику 722 байти, зафіксованому під час швидкої зміни ігрової сцени. Це пояснюється тим, що активне завантаження файлів створює додаткове навантаження на канал зв'язку, проте не збільшує кількість ігрових подій настільки суттєво, як активне

переміщення персонажа по карті. Отримані результати демонструють, що навіть при використанні мережі Wi-Fi 5ГГц одночасне завантаження великих файлів може негативно впливати на якість мережного з'єднання. Незважаючи на відносно невелике середнє значення затримки, поява значних втрат пакетів свідчить про погіршення стабільності передачі даних. Це може призводити до появи мікрозатримок, десинхронізації та інших мережних проблем під час онлайн-гри.

Під час проведення дослідження було встановлено, що використання мережі Wi-Fi 2.4ГГц за умов додаткового навантаження у вигляді одночасного перегляду відео або завантаження файлів не дозволяє забезпечити стабільне підключення до ігрового сервера. У процесі тестування значення затримки перевищувало 999 мс, після чого клієнт VALORANT автоматично розривав з'єднання із сервером. Така поведінка пов'язана із механізмами захисту гри від надмірної десинхронізації між клієнтом та сервером. Причиною виникнення даної ситуації стала обмежена пропускна здатність мережі Wi-Fi 2.4ГГц та висока завантаженість даного частотного діапазону. На відміну від мережі 5ГГц, діапазон 2.4ГГц має меншу доступну швидкість передачі даних та є більш чутливим до перешкод від інших бездротових мереж і побутових пристроїв. Під час одночасної роботи онлайн-гри та потокового відтворення відео або завантаження файлів значна частина пропускної здатності каналу використовувалася стороннім трафіком. У результаті ігрові пакети починали накопичуватися в черзі маршрутизатора, що призводило до різкого зростання затримки та втрати актуальності переданої інформації. У зв'язку з неможливістю отримання коректних статистичних даних за даних умов подальші вимірювання для мережі Wi-Fi 2.4 ГГц під час одночасного перегляду відео або завантаження файлів не проводилися. Отриманий результат свідчить про те, що використання даного діапазону частот при додатковому мережевому навантаженні є несприятливим для комфортної гри та не забезпечує прийнятний рівень затримки.

Під час аналізу отриманих результатів окрему увагу було приділено показнику

максимального обсягу вихідних пакетів (Max Outgoing Packet Size). Даний параметр дозволяє непрямо оцінити інтенсивність змін ігрової сцени. У випадках, коли на екрані відбувалося активне переміщення персонажа, швидка зміна ракурсу або велика кількість одночасних подій, максимальний обсяг вихідних пакетів збільшувався. Це пов'язано з необхідністю передавання більшої кількості інформації між клієнтом і сервером. Навпаки, під час перебування персонажа у стані спокою або при відображенні малозмінної сцени спостерігалися менші значення максимального обсягу вихідних пакетів. Таким чином, показник Max Outgoing Packet Size може використовуватися як додатковий індикатор інтенсивності ігрових подій та обсягу даних, що передаються між клієнтом і сервером [10].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У результаті проведеного дослідження було проаналізовано вплив різних умов роботи мережі на якість взаємодії між клієнтом і сервером в онлайн-грі VALORANT. Для цього виконувалися вимірювання мережевих показників у різних сценаріях використання бездротових мереж Wi-Fi 2.4ГГц та 5ГГц. Перші результати показали, що за відсутності додаткового навантаження обидва діапазони забезпечують стабільне з'єднання та відсутність втрат пакетів. У режимах спокою середні значення затримки залишалися низькими, а передача даних між клієнтом і сервером відбувалася без помітних проблем. Це свідчить про те, що за сприятливих умов навіть мережа Wi-Fi 2.4 ГГц здатна забезпечувати прийнятну якість з'єднання для онлайн-ігор. Під час переходу до сценаріїв із активною зміною ігрової сцени було встановлено, що інтенсивність ігрових подій безпосередньо впливає на обсяг мережного обміну. У режимі швидкого переміщення персонажа збільшувалася кількість пакетів, які передавалися між клієнтом і сервером, а також зростав максимальний обсяг вихідних пакетів. Особливо помітним це було в мережі 5ГГц, де максимальний розмір вихідного пакета досягав 722 байтів. Отримані результати підтверджують, що активні дії гравця потребують передачі більшого обсягу інформації порівняно зі станом спокою. Порівняння результатів для діапазонів 2.4ГГц та 5ГГц показало перевагу мережі 5 ГГц. Незважаючи на відсутність втрат пакетів у більшості сценаріїв для обох діапазонів, мережа 5ГГц демонструвала більш стабільні значення затримки та меншу кількість різких стрибків ping. Це пояснюється меншою завантаженістю даного частотного діапазону та вищою пропускною здатністю каналу. Окрему увагу було приділено впливу додаткового мережного навантаження. Під час одночасного перегляду відео у форматі 1080p та гри через мережу 5 ГГц спостерігалося збільшення середнього значення затримки,

однак втрати пакетів залишалися відсутніми. Це свідчить про достатній запас пропускної здатності мережі для одночасного виконання декількох мережних завдань. Найбільш несприятливі результати були отримані під час одночасного завантаження гри через платформу Steam та участі в онлайн-матчі. Незважаючи на відносно невисокий середній ping, було зафіксовано значні втрати пакетів, зокрема вхідних. Даний результат показує, що оцінювати якість мережного з'єднання лише за значенням затримки недостатньо. Навіть за невеликого ping суттєві втрати пакетів можуть призводити до десинхронізації, ривків зображення та інших проблем під час гри. Під час дослідження також було встановлено, що мережа Wi-Fi 2.4ГГц є значно більш чутливою до додаткового навантаження. При спробі одночасного перегляду відео або завантаження файлів значення затримки перевищувало 999 мс, після чого відбувалося автоматичне відключення від сервера. Через це подальші вимірювання в даних умовах стали неможливими. Отриманий результат свідчить про те, що використання мережі 2.4ГГц для онлайн-ігор під час інтенсивного використання мережі іншими програмами є небажаним. Аналіз показника максимального обсягу вихідних пакетів дозволив встановити його залежність від характеру ігрової сцени. Найменші значення спостерігалися під час перебування персонажа у стані спокою, тоді як під час активного переміщення та швидкої зміни ракурсу обсяг пакетів суттєво зростав. Це підтверджує зв'язок між кількістю ігрових подій та обсягом інформації, що передається між клієнтом і сервером. Таким чином, проведене дослідження показало, що на якість мережної взаємодії в онлайн-іграх впливають не лише характеристики мережі, а й інтенсивність ігрових подій, рівень додаткового навантаження на канал зв'язку та обраний частотний діапазон бездротової мережі. Найкращі результати були отримані при використанні мережі Wi-Fi 5ГГц без додаткового навантаження, тоді як найгірші - при використанні мережі Wi-Fi 2.4ГГц за умов одночасного завантаження або потокового відтворення даних.

Окремо слід зазначити переваги дротового підключення Ethernet, яке традиційно вважається найбільш стабільним варіантом для онлайн-ігор. На відміну від бездротових мереж, дротове з'єднання не піддається впливу радіоперешкод, завантаженості бездротового ефіру, відстані до маршрутизатора та особливостей поширення сигналу через стіни й інші перешкоди. Крім того, Ethernet забезпечує більш передбачуваний час передачі даних та менші коливання затримки. Саме тому професійні кіберспортсмени та організатори змагань використовують переважно дротове підключення, оскільки воно дозволяє мінімізувати ризик виникнення втрат пакетів, різких стрибків ping та інших мережевих проблем. Незважаючи на те, що сучасні мережі Wi-Fi 5ГГц демонструють високі показники швидкості та стабільності, дротове підключення залишається еталонним рішенням для забезпечення максимально якісної взаємодії між клієнтом і сервером.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було досліджено проблему виникнення затримок в онлайн-іграх між клієнтом і сервером, проаналізовано основні фактори, що впливають на величину ping, а також розглянуто сучасні методи вимірювання та зменшення мережних затримок. У теоретичній частині роботи було досліджено особливості клієнт-серверної архітектури, peer-to-peer моделі взаємодії, принципи роботи транспортних протоколів TCP та UDP, а також значення tick rate для забезпечення синхронізації між учасниками мережної гри. Встановлено, що більшість сучасних онлайн-ігор використовують клієнт-серверну архітектуру та протокол UDP, що дозволяє забезпечити мінімальну затримку передачі даних. Було розглянуто поняття мережної затримки, її основні складові та фактори, які впливають на якість мережної взаємодії. Визначено, що на величину затримки впливають мережні, апаратні та програмні фактори. Окрему увагу приділено таким показникам, як jitter та packet loss, які можуть суттєво впливати на стабільність ігрового процесу навіть за відносно низьких значень ping. У роботі також проаналізовано вплив затримки на ігровий процес. Встановлено, що високі значення latency можуть призводити до десинхронізації між клієнтом і сервером, некоректної реєстрації влучань та погіршення загального ігрового досвіду користувача. У практичній частині роботи проведено експериментальне дослідження в онлайн-грі VALORANT із використанням вбудованої системи моніторингу мережевих показників. Під час дослідження було проаналізовано вплив різних умов роботи бездротової мережі на затримку, втрати пакетів та інші параметри мережної взаємодії. Отримані результати показали, що мережа Wi-Fi 5ГГц забезпечує більш стабільне з'єднання порівняно з мережею Wi-Fi 2.4ГГц. За умов додаткового навантаження мережа 2.4ГГц продемонструвала суттєве

зростання затримки та втрату стабільності з'єднання, тоді як мережа 5ГГц зберігала працездатність навіть під час одночасного перегляду відео та завантаження файлів. У ході дослідження також було встановлено, що інтенсивність ігрових подій впливає на обсяг даних, які передаються між клієнтом і сервером. Під час активного переміщення персонажа та швидкої зміни ігрової сцени спостерігалося збільшення максимального обсягу вихідних пакетів порівняно зі сценаріями, у яких персонаж перебував у стані спокою. Дослідження підтвердило, що низьке значення ping не завжди є показником якісного мережного з’єднання. Під час завантаження файлів через платформу Steam були зафіксовані значні втрати пакетів навіть за відносно невеликих значень затримки. Це свідчить про необхідність комплексної оцінки мережного стану з використанням декількох показників одночасно. На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що для забезпечення стабільної взаємодії між клієнтом і сервером в онлайн-іграх доцільно використовувати дротове підключення Ethernet або мережі Wi-Fi діапазону 5ГГц, а також уникати додаткового мережного навантаження під час гри. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вивчення проблем мережних затримок та оптимізації мережних налаштувань у сучасних онлайн-іграх.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. IBM. Client-Server Model. – Режим доступу до ресурсу: https://www.ibm.com/docs/en/zos/2.5.0?topic=applications-clientserver-model
2. TechTarget. Peer-to-peer (P2P) network definition. – Режим доступу до ресурсу: https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/peer-to-peer
3. Cloudflare Learning Center. What is UDP (User Datagram Protocol)? – Режим доступу до ресурсу: https://www.cloudflare.com/learning/ddos/glossary/user-datagram-protocol-udp/
4. GeeksforGeeks. Difference between TCP and UDP. – Режим доступу до ресурсу: https://www.geeksforgeeks.org/differences-between-tcp-and-udp/
5. Valve Developer Community. Source Multiplayer Networking. – Режим доступу до ресурсу: https://developer.valvesoftware.com/wiki/Source_Multiplayer_Networking
6. Wireshark Foundation. User's Guide. – Режим доступу до ресурсу: https://www.wireshark.org/docs/wsug_html_chunked/
7. Valve Developer Community. Lag Compensation. – Режим доступу: https://developer.valvesoftware.com/wiki/Lag_Compensation
8. Riot Games. VALORANT's 128-Tick Servers. – Режим доступу: https://www.riotgames.com/en/news/valorants-128-tick-servers
9. Riot Games. Peeking into VALORANT's Netcode. – Режим доступу: https://www.riotgames.com/en/news/peeking-valorants-netcode
10. Intel. How to Fix Packet Loss. – Режим доступу: https://www.intel.com/content/www/us/en/gaming/resources/how-to-fix-packet-loss.html