

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Кіберфізична система розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG
Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

Шифр КвРКІ 2301103.23.01.08 ПЗ

Виконав здобувач III курсу, група КІ2с-23-1


Підпис

Олександр ДВОРЯК
Ініціали, прізвище

Керівник

Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Олексій ІВАНОВ
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Сергій ЛИСЕНКО
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС
«01» червня 2026 р.


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КІІС


Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дворяк Олександр Богданович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG

Керівник проекту (роботи) Іванов Олексій Валентинович, к.т.н., доцент.

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

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Кіберфізична система розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG та постановка задачі щодо її удосконалення

Проектування системи обробки інформації у кіберфізичній системі розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи

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

Архітектура ПЗ проекту

Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи

Апаратне забезпечення проекту


6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

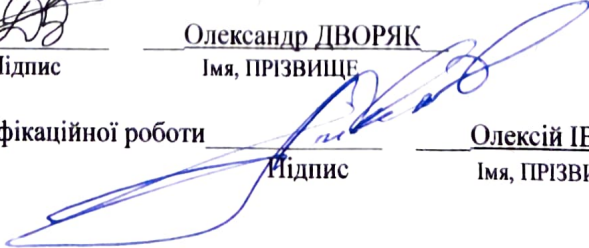
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проєктування системи розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – проєктування системи розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач  Олександр ДВОРЯК
Підпис Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи  Олексій ІВАНОВ
Підпис Імя, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG».

Автор роботи: Олександр ДВОРЯК.

Керівник роботи: Олексій ІВАНОВ.

Пояснювальна записка: 65 с., 14 рис., 3 дод., 55 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

АБОНЕНТ, БАЗА ДАНИХ, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, МЕРЕЖЕВИЙ МОНІТОРИНГ, MRTG, OLT, PON, ТРАФІК.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробленню та аналізу кіберфізичної системи розподілу абонентів у мережі PON на основі трафіку MRTG. Актуальність теми зумовлена зростанням навантаження на пасивні оптичні мережі, нерівномірним використанням ресурсів PON-сегментів і потребою в оперативному виявленні перевантажених портів OLT. У роботі розглянуто особливості функціонування PON-інфраструктури, роль абонентського трафіку під час оцінювання завантаження мережі та можливості застосування MRTG як джерела статистичних даних.

Метою роботи є проектування, реалізація та перевірка програмно-технічного засобу для аналізу MRTG-даних, визначення завантаженості PON-сегментів і формування рекомендацій щодо раціональнішого розподілу абонентів між портами. Для досягнення мети проаналізовано предметну область, сформовано архітектуру системи, розроблено модель збору та підготовки даних, реалізовано алгоритм оцінювання завантаження, спроектовано базу даних і створено інтерфейс адміністратора.



Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

ЗМІСТ

Вступ	3
1 Аналіз предметної області та постановка задачі	5
1.1 Особливості побудови та функціонування мереж PON.....	5
1.2 Аналіз трафіку абонентів як основа оцінювання завантаження мережі.....	7
1.3 Засоби моніторингу мережевого трафіку та можливості MRTG	11
1.4 Постановка задачі кваліфікаційної роботи.....	18
1.5 Висновки до першого розділу	20
2 Проєктування кіберфізичної системи розподілу абонентів у роп-мережі ...	22
2.1 Загальна архітектура кіберфізичної системи	22
2.2 Модель збору та підготовки MRTG-даних.....	26
2.3 Метод визначення завантаженості PON-сегментів	29
2.4 Алгоритм формування варіанта розподілу абонентів	33
2.5 Проєктування бази даних та інтерфейсу користувача	38
2.6 Висновки до другого розділу	43
3 Програмно-апаратна реалізація та тестування системи.....	45
3.1 Формування середовища реалізації програмного засобу	45
3.2 Реалізація модуля завантаження та обробки MRTG-даних.....	49
3.3 Реалізація алгоритму аналізу завантаження PON-сегментів	56
3.4 Реалізація інтерфейсу моніторингу та перегляду рекомендацій.....	60
3.5 Висновки до третього розділу	65
Висновки	66
Перелік джерел посилань	68
Додаток А Копія креслення «Архітектура ПЗ проєкту»	74
Додаток Б Копія креслення «Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи»	75
Додаток В Копія креслення «Апаратне забезпечення проєкту»	76

КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ								
Зм	Арк	№докум.	Підпис	Дата	Кіберфізична система розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG. Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Олександр ДВОРЯК		01.06		y		
Перевідр.		Олексій ІВАНОВ		01.06			2	65
Н.контр.		Сергій ЛИСЕНКО		01.06		ХНУ КІ2с-23-1		
Затвер.		Ольга ПАВЛЮВА		01.06				

ВСТУП

Сучасні мережі абонентського доступу постійно розвиваються під впливом зростання кількості користувачів, збільшення обсягів переданих даних і підвищення вимог до стабільності інтернет-з'єднання. Для більшості домашніх і корпоративних абонентів доступ до мережі вже не обмежується звичайним переглядом вебсторінок. Активно використовуються потокове відео, хмарні сервіси, відеоконференції, онлайн-ігри, системи відеоспостереження, резервне копіювання, віддалена робота та інші сервіси, які створюють значне й нерівномірне навантаження на мережеву інфраструктуру.

Однією з поширених технологій абонентського доступу є пасивна оптична мережа PON. Її перевагою є можливість підключення групи абонентів до одного порту OLT через пасивну оптичну розподільчу інфраструктуру. Такий підхід зменшує кількість активного обладнання на трасі, спрощує експлуатацію та дозволяє ефективно розгортати широкосмуговий доступ у житлових будинках, офісах і приватному секторі.

Проблема нерівномірного розподілу абонентів у PON-мережі виникає тоді, коли один сегмент має стабільно високе навантаження, а інший у той самий час використовується лише частково. На практиці така ситуація може виникати навіть тоді, коли кількість абонентів на портах приблизно однакова. Причиною є різний характер використання мережі: частина користувачів створює лише незначний трафік, а частина постійно працює з відео, хмарними сервісами або іншими ресурсомісткими застосунками. Якщо розподіл абонентів виконано без урахування фактичної трафікової активності, один PON-порт може працювати в напруженому режимі, тоді як інші мають достатній резерв.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності підвищення ефективності експлуатації PON-мереж за рахунок аналізу фактичного трафіку абонентів. Ручний перегляд MRTG-графіків потребує часу, не завжди дає змогу швидко порівняти багато портів і може призводити до

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

неточного висновку, особливо якщо навантаження змінюється протягом доби. Автоматизований аналіз дозволяє швидше визначити перевантажені сегменти, виявити резервні напрями та сформувати варіант можливого перерозподілу абонентського навантаження. Це робить тему важливою для сфери комп'ютерної інженерії, оскільки вона поєднує мережеву інфраструктуру, програмну обробку даних, зберігання статистики, аналітичні алгоритми та вебінтерфейс адміністратора.

Метою кваліфікаційної роботи є створення кіберфізичної системи розподілу абонентів у мережі PON, яка на основі аналізу MRTG-даних визначає завантаженість PON-сегментів, виявляє нерівномірність використання мережевих ресурсів і формує рекомендаційний варіант більш збалансованого розподілу абонентського навантаження.

Для досягнення поставленої мети виконано аналіз особливостей побудови та функціонування PON-мереж, розглянуто абонентський трафік як показник фактичного завантаження мережі, охарактеризовано засоби моніторингу мережевого трафіку та можливості MRTG, сформовано постановку задачі кваліфікаційної роботи, розроблено архітектуру кіберфізичної системи, визначено модель збору й підготовки MRTG-даних, сформовано метод оцінювання завантаженості PON-сегментів, розроблено алгоритм формування варіанта розподілу абонентів, спроектовано базу даних та інтерфейс користувача, реалізовано програмний засіб і перевірено його працездатність на підготовлених наборах даних.

Об'єктом кваліфікаційної роботи є процес функціонування абонентського доступу в пасивній оптичній мережі PON. Предметом кваліфікаційної роботи є програмно-технічні засоби аналізу MRTG-даних для оцінювання завантаженості PON-сегментів і формування рекомендацій щодо розподілу абонентів між ними.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Особливості побудови та функціонування мереж PON

Пасивні оптичні мережі PON належать до технологій широкосмугового абонентського доступу, у яких передавання даних між операторським вузлом і кінцевими користувачами організовано через оптичну розподільчу інфраструктуру. Основна ідея такої мережі полягає в тому, що один порт центрального обладнання обслуговує групу абонентів, а розгалуження оптичного сигналу виконується без активного проміжного обладнання. За рахунок цього мережа отримує простішу фізичну структуру, меншу кількість точок живлення на трасі та вищу стійкість до відмов, пов'язаних із проміжними електронними пристроями. Для операторів зв'язку така побудова є зручною, оскільки магістральна частина залишається відносно компактною, а підключення нових абонентів може виконуватися через наявну оптичну розподільчу мережу [17].

У типовій PON-мережі центральним елементом є OLT, тобто оптичний лінійний термінал, який розміщується на стороні провайдера або у вузлі доступу. Саме OLT виконує керування абонентськими пристроями, забезпечує передавання службових і користувацьких даних, контролює логічні канали, а також збирає статистику роботи портів. На стороні абонента встановлюється ONU або ONT, що приймає оптичний сигнал і перетворює його у доступні для користувача мережеві інтерфейси. Між цими двома рівнями розташована пасивна оптична розподільча мережа, до складу якої входять волоконно-оптичні лінії, муфти, кроси, патч-панелі та оптичні сплітери. У межах кваліфікаційної роботи така структура має важливе значення, оскільки саме розподіл абонентів між портами OLT і гілками PON впливає на фактичне навантаження мережі [6].

Однією з головних ознак PON є використання пасивного розгалуження сигналу. Оптичний сплітер не потребує електроживлення, не виконує обробку кадрів і не аналізує трафік, а лише фізично розподіляє оптичну потужність між

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

кількома напрямками. Наприклад, від одного порту OLT сигнал може подаватися на сплітер із коефіцієнтом розгалуження 1:8, 1:16, 1:32 або 1:64 залежно від технічної політики оператора, допустимого бюджету оптичної потужності та відстані до абонентів. Через це PON-мережа з одного боку виглядає простою, але з іншого боку потребує уважного планування, оскільки збільшення кількості абонентів на одній гілці впливає на доступну смугу пропускання для кожного користувача [28].

Для PON-мереж характерна наявність коефіцієнта перепідписки, коли сумарна заявлена швидкість тарифів абонентів перевищує фізичну пропускну здатність порту. Такий підхід широко використовується в операторських мережах, бо всі користувачі не споживають максимальну швидкість одночасно. Проблема виникає тоді, коли на одному PON-порті концентрується значна кількість активних або високонавантажених абонентів. У такому випадку навіть формально допустима кількість підключень може призвести до зростання затримок, зниження швидкості доступу в години пік і появи скарг з боку користувачів. Через це аналіз фактичної статистики трафіку стає важливою частиною експлуатації мережі [3].

У темі кваліфікаційної роботи особливе місце займає MRTG, оскільки цей засіб дозволяє накопичувати та візуалізувати статистику мережевого трафіку. Для PON-мережі MRTG може використовуватися як джерело даних про завантаження портів OLT, uplink-інтерфейсів або окремих логічних напрямів. Графіки MRTG зручні тим, що показують зміну трафіку за різні проміжки часу, а це допомагає відокремити випадкові короткі сплески від стабільної перевантаженості. У межах майбутньої системи такі дані не лише переглядаються адміністратором, а й обробляються програмним модулем для подальшого формування висновку щодо стану PON-сегментів [14].

Кіберфізичний характер запропонованої системи проявляється у зв'язку між реальною мережевою інфраструктурою та програмною логікою аналізу. Фізична частина представлена OLT, оптичними лініями, сплітерами та

					КВРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 6
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

абонентськими терміналами, а кібернетична частина охоплює збір показників, обробку MRTG-даних, оцінювання завантаження та формування варіанта розподілу абонентів. Такий підхід дозволяє перейти від ручного перегляду графіків до більш системного опрацювання інформації. Внаслідок цього адміністратор отримує не просто набір графіків, а підготовлену оцінку стану портів і можливий варіант зниження нерівномірності навантаження [37].

З погляду функціонування мережі найбільш важливими параметрами для аналізу є середнє завантаження порту, пікові значення трафіку, тривалість перебування порту в наближеному до граничного стані та різниця між навантаженням сусідніх або однотипних PON-сегментів. Саме ці параметри дозволяють виявити ситуації, коли один порт працює з високим навантаженням, а інший має значний резерв. Для оператора така інформація має практичне значення, оскільки перерозподіл абонентів не завжди потребує повної модернізації мережі. У багатьох випадках достатньо змінити схему підключення або перенести частину абонентів на менш завантажений напрям [8].

1.2 Аналіз трафіку абонентів як основа оцінювання завантаження мережі

Трафік абонентів у мережі PON виступає одним із головних показників фактичного стану абонентського доступу, оскільки саме за ним можна оцінити, наскільки активно використовується ресурс конкретного PON-порту або оптичного сегмента. На відміну від формальної кількості підключених користувачів, трафік показує реальне навантаження, яке створюється абонентами у певний момент часу або за певний проміжок. У межах кваліфікаційної роботи цей показник розглянуто як основа для прийняття рішення щодо розподілу абонентів між сегментами мережі, адже однакова кількість підключень не гарантує однакової інтенсивності використання каналу. Через це оцінювання PON-мережі лише за кількістю ONT є неповним, а аналіз

					КВРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

вхідного та вихідного трафіку дозволяє отримати більш наближену до реальної експлуатації картину [11].

Особливість абонентського трафіку полягає в його нерівномірності. У різні години доби користувачі по-різному навантажують мережу: у вечірній час частіше зростає перегляд потокового відео, онлайн-ігор і соціальних сервісів, у робочий час збільшується частка відеоконференцій, хмарних сховищ і корпоративних підключень, а вночі можуть активно працювати автоматичні оновлення, резервне копіювання або системи відеоспостереження. Через це порт, який удень виглядає майже вільним, увечері може наближатися до граничного завантаження. Для PON-мережі така нерівномірність має особливе значення, оскільки пропускна здатність одного порту розподіляється між групою абонентів, а не виділяється кожному користувачу окремо [24].

Для практичної оцінки операторських мереж часто використовується підхід, за якого враховується не лише абсолютний максимум, а й наближений до реальної картини показник тривалого високого навантаження. У такому контексті корисним є аналіз процентильних значень, зокрема умовного дев'яносто п'ятого процентиля, який показує рівень трафіку, нижче якого перебуває більшість вимірювань. Такий показник дозволяє не перебільшувати вплив коротких випадкових сплесків, але водночас не ігнорувати стабільно високі навантаження. Для розподілу абонентів у PON-мережі це має практичну користь, оскільки рішення приймається не за випадковим максимумом, а за більш стійкою характеристикою поведінки сегмента [33].

Важливим показником для цієї теми є нерівномірність завантаження між PON-портами. Якщо один порт стабільно має високе навантаження, а інший у той самий час використовується лише частково, це означає, що ресурси мережі розподілено нераціонально. При цьому фізично обидва порти можуть бути справними, а проблема виникає саме через склад абонентів на кожному сегменті. У такій ситуації аналіз трафіку дозволяє визначити не тільки сам факт перевантаження, а й можливий напрям корекції: частину активних абонентів

можна перенести на менш завантажений сегмент, якщо це допускається фізичною схемою підключення [16].

Абонентський трафік не завжди однаково впливає на мережу. Для звичайного домашнього користувача характерні періодичні піки під час перегляду відео або завантаження файлів, тоді як бізнес-клієнт, камера відеоспостереження або сервер резервного копіювання можуть створювати більш стабільний потік даних. Через це під час аналізу важливо враховувати не лише сумарне навантаження сегмента, а й типову поведінку окремих абонентів або груп підключень. Якщо в одному PON-сегменті зосереджено багато користувачів із постійним високим upstream-трафіком, то такий сегмент може стати проблемним навіть за невеликої загальної кількості абонентів [47].

Під час експлуатації PON-мережі поширеною є ситуація, коли формальна ємність порту ще не вичерпана, але якість послуги вже погіршується. Це може проявлятися через зменшення фактичної швидкості, нестабільність відеозв'язку, затримки під час роботи інтерактивних сервісів або скарги користувачів у години пікового навантаження. Аналіз трафіку дозволяє встановити, чи пов'язана така ситуація з перевантаженням конкретного сегмента, чи причина знаходиться на іншому рівні мережі. У межах кваліфікаційної роботи це важливо, оскільки система орієнтована саме на виявлення завантажених PON-напрямів, а не на загальне адміністрування всієї мережевої інфраструктури [9].

Для більш повного оцінювання стану мережі трафік варто розглядати у часовому контексті. Одне й те саме значення навантаження може мати різне значення залежно від періоду доби. Наприклад, короткочасне зростання вночі може бути пов'язане з автоматичними процесами, а стабільне високе навантаження ввечері частіше свідчить про типову поведінку домашніх абонентів. Якщо система накопичує дані за кілька днів або тижнів, вона може виявити повторювані закономірності, які не помітні під час одноразового перегляду графіка. Це дозволяє приймати рішення на основі сталої картини, а не випадкового фрагмента статистики [21].

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрему увагу приділено вхідним даним, які надходять із MRTG. Графіки та статистичні файли можуть містити значення швидкості передавання у вигляді усереднених інтервалів. Через це перед аналізом дані потрібно привести до єдиного формату: визначити часовий проміжок, відокремити downstream та upstream, перевірити пропуски, усунути некоректні значення і підготувати дані до порівняння між портами. Без такої підготовки результати можуть бути неточними, адже різні інтервали або неповні дані спотворюють картину завантаження. У програмній частині майбутньої системи цей етап виступає початковою ланкою обробки трафіку [40].

Після підготовки даних виконується порівняння PON-сегментів за однаковими часовими проміжками. Такий підхід важливий тому, що завантаження портів потрібно оцінювати в однакових умовах. Некоректно порівнювати один порт за вечірній пік, а інший за нічний період, оскільки це не відображатиме реального співвідношення навантажень. У системі логічно використано синхронне порівняння показників, коли для кожного порту беруться значення за однаковий день, годину або інший інтервал. Це дає змогу точніше визначити, який сегмент працює з перевищеним навантаженням відносно інших [2].

Аналіз трафіку має значення і для прогнозування подальшого стану мережі. Якщо протягом кількох тижнів спостерігається поступове зростання навантаження на окремому сегменті, система може показати, що порт наближається до критичного рівня. Така інформація дозволяє підготувати технічні дії заздалегідь, а не реагувати лише після появи скарг або помітного зниження якості послуги. У контексті кваліфікаційної роботи прогнозний аспект не є головною задачею, але накопичення MRTG-даних створює основу для подальшого розширення системи в цьому напрямі [13].

Для адміністратора мережі результати аналізу повинні бути зрозумілими та придатними до практичного використання. Самі значення трафіку в бітах за секунду або мегабітах за секунду не завжди швидко показують, який порт

потребує уваги. Тому в системі доцільно передбачено перетворення технічної статистики у більш зрозумілий стан: нормальне завантаження, підвищене завантаження, наближення до критичного рівня або перевантаження. Така подача дозволяє швидше оцінити ситуацію й перейти до перегляду конкретних сегментів, які потребують корекції [48].

1.3 Засоби моніторингу мережевого трафіку та можливості MRTG

Моніторинг мережевого трафіку посідає важливе місце в експлуатації операторських мереж, оскільки саме він дозволяє перейти від загального уявлення про роботу обладнання до фактичної оцінки його завантаження. Для мереж PON це особливо важливо, адже один порт OLT обслуговує групу абонентів, а спільний канал використовується нерівномірно протягом доби. Якщо адміністратор бачить лише кількість підключених абонентських терміналів, то реальний стан мережі залишається неповним. Натомість показники трафіку дозволяють оцінити, наскільки активно використовується конкретний порт, які проміжки часу є піковими та чи існує різниця між завантаженням кількох PON-сегментів. У межах кваліфікаційної роботи засоби моніторингу розглянуто як джерело даних для подальшого аналізу, а не лише як інструмент візуального перегляду графіків [34].

Засоби моніторингу мережевого трафіку зазвичай працюють із даними, які отримано з мережевого обладнання через службові протоколи, зокрема SNMP. Такий підхід дозволяє регулярно зчитувати лічильники інтерфейсів, кількість переданих і прийнятих байтів, стан портів, швидкість передавання, помилки, втрати та інші параметри. Для OLT це означає, що система моніторингу може відстежувати завантаження uplink-інтерфейсів, PON-портів або інших логічних елементів, які доступні через таблиці керування обладнанням. Саме така періодична статистика стала основою для побудови графіків і подальшого аналізу навантаження у запропонованій системі [19].

					КВРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У практиці адміністрування мереж застосовано різні підходи до моніторингу. Частина засобів орієнтована переважно на побудову графіків трафіку, інші системи поєднують моніторинг, оповіщення, інвентаризацію обладнання та контроль доступності сервісів. Для цієї кваліфікаційної роботи найважливішими є ті рішення, які дозволяють отримати історію зміни трафіку, зберегти її у придатному для обробки вигляді та використати для порівняння завантаження кількох сегментів. У такому контексті MRTG розглянуто як базовий інструмент, а інші системи проаналізовано як наявні аналоги, що демонструють різні підходи до подання мережевої статистики [41].

Одним із найвідоміших рішень для побудови графіків мережевого трафіку є MRTG. Цей засіб використано для регулярного опитування мережевих інтерфейсів і формування графіків, які показують зміну вхідного та вихідного трафіку в часі. Його особливість полягає в простій логіці роботи: система отримує значення лічильників, обчислює зміну трафіку за проміжок часу, зберігає результат і формує графічне подання. Для теми розподілу абонентів у PON-мережі це є зручним, оскільки адміністратор отримує історію завантаження портів, а програмний модуль може використати ці значення як вхідні дані для оцінювання нерівномірності навантаження [8].

На рисунку 1.1 подано приклад відображення завантаження мережевого інтерфейсу засобами MRTG, де вхідний і вихідний трафік показано у вигляді часових графіків із добовою, тижневою, місячною або річною деталізацією [27].

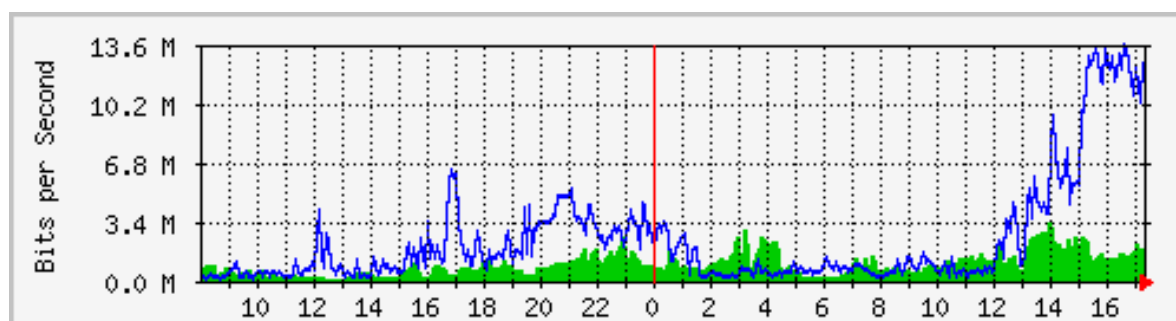


Рисунок 1.1 – Приклад графіка завантаження мережевого інтерфейсу в MRTG

Подання даних у MRTG є зручним для швидкого візуального контролю, оскільки графік одразу показує характер зміни трафіку. На ньому помітно, коли навантаження зростає, коли воно знижується, чи є повторювані піки та чи наближається інтерфейс до граничного стану. Водночас у стандартному вигляді MRTG переважно показує статистику, але не виконує повноцінного аналізу причин нерівномірного навантаження між кількома PON-портами. Через це в роботі MRTG використано як джерело первинної інформації, а додаткову обробку винесено в окремий програмний модуль кіберфізичної системи [13].

Для мережі PON важливо, що MRTG дозволяє порівнювати графіки кількох інтерфейсів між собою. Наприклад, якщо один PON-порт у вечірній період стабільно наближається до високого завантаження, а інший у той самий час має великий резерв, це свідчить про нерівномірність використання ресурсів. За ручного перегляду така різниця може бути помітною лише після аналізу багатьох сторінок або графіків. У запропонованому підході такі дані перетворено на формалізовані показники, що дозволяє системі оцінити стан сегмента не лише візуально, а й числово [46].

Іншим поширеним рішенням для моніторингу є Cacti, який орієнтовано на побудову графіків на основі часових рядів і може працювати з різними джерелами даних. У порівнянні з MRTG він має більш розширену веборієнтовану структуру, підтримує шаблони графіків, групування пристроїв і зручніше адміністрування великої кількості вузлів. Для операторської мережі це важливо, оскільки кількість інтерфейсів, які потрібно контролювати, може бути значною. Проте для поставленої задачі Cacti розглянуто передусім як приклад системи візуального моніторингу, а не як завершений механізм автоматизованого розподілу абонентів [22].

На рисунку 1.2 подано приклад використання Cacti для відображення мережеских графіків, де кілька інтерфейсів або пристроїв згруповано в межах одного вебінтерфейсу моніторингу [5].

					КВРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

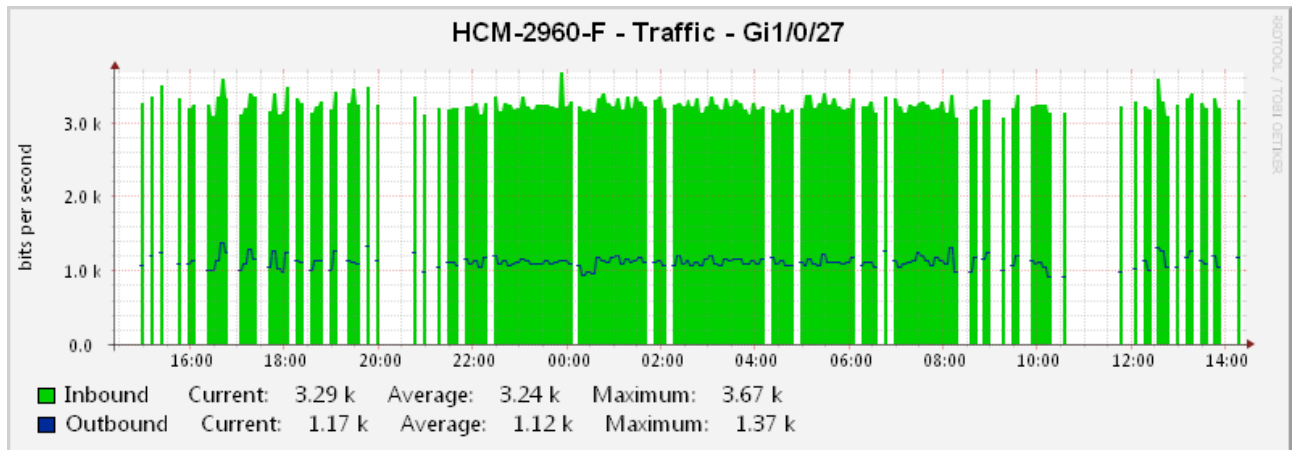


Рисунок 1.2 – Приклад відображення мережевого трафіку в системі Састі

Састі добре демонструє підхід, за якого адміністратор отримує централізований доступ до великої кількості графіків. Така система зручна для мереж, де потрібно контролювати не один пристрій, а багато комутаторів, маршрутизаторів, OLT або серверів. Водночас її основна цінність полягає в накопиченні та поданні статистики. Для задачі перерозподілу абонентів у PON-мережі цього недостатньо, оскільки потрібно не тільки переглянути графіки, а й визначити, який порт перевантажено, який має резерв і який варіант перенесення абонентів може покращити ситуацію [37].

Серед більш комплексних систем моніторингу окремо розглянуто Zabbix. Це рішення має ширший функціонал, ніж прості засоби побудови графіків, оскільки в ньому передбачено контроль доступності вузлів, збір метрик, формування тригерів, оповіщення про аварії та побудову панелей спостереження. У контексті PON-мережі Zabbix може використовуватися для контролю OLT, маршрутизаторів, серверів, каналів зв'язку та інших елементів інфраструктури. Його перевагою є комплексність, однак така система потребує детальнішого налаштування, а для вузької задачі аналізу MRTG-графіків може бути надмірною [2].

На рисунку 1.3 подано приклад панелі моніторингу Zabbix, у якій зібрано стан мережевих вузлів, графіки та службові повідомлення про події в інфраструктурі [31].

зручний інтерфейс і можуть швидко впроваджуватися в організаціях, де потрібен комплексний контроль інфраструктури. Проте для навчальної кваліфікаційної роботи та спеціалізованої задачі аналізу PON-навантаження комерційні системи не завжди є зручними, оскільки вони мають ширше призначення, можуть потребувати ліцензування та не надають готового механізму саме для розподілу абонентів за даними MRTG [10].

На рисунку 1.5 подано приклад комерційної панелі моніторингу, у якій зібрано графіки, карти та повідомлення про стан мережевих вузлів [25].

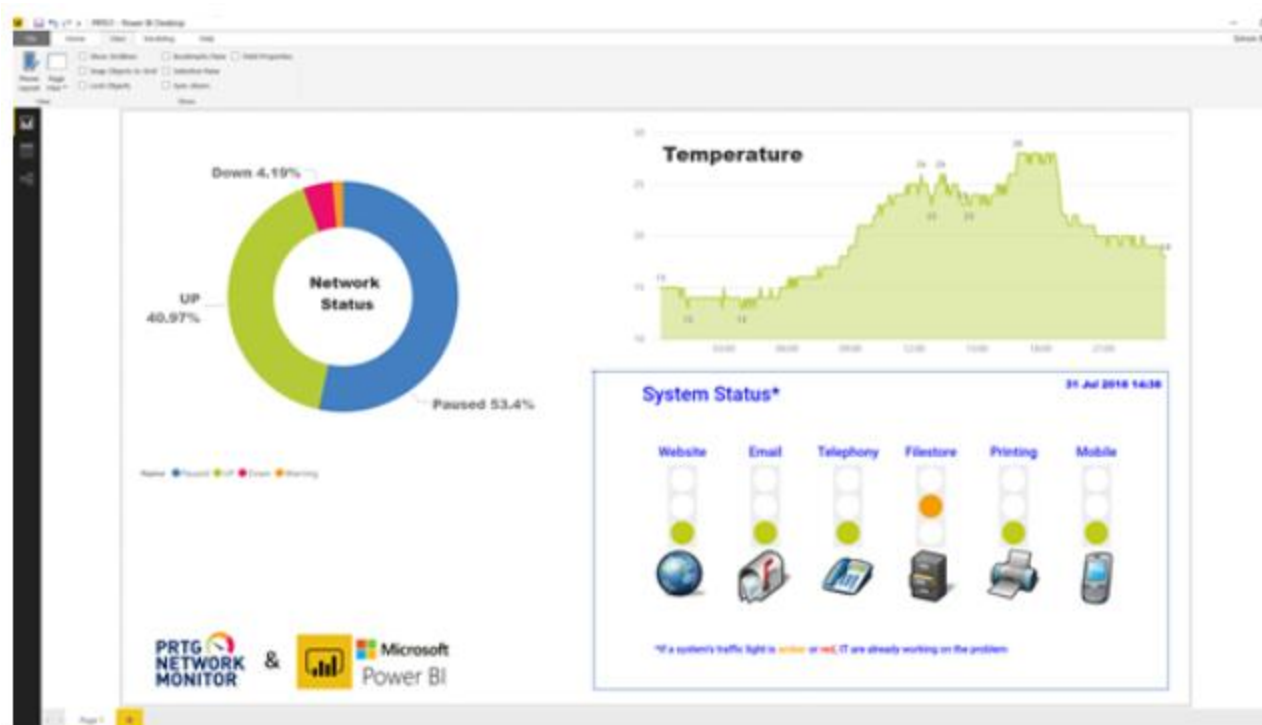


Рисунок 1.5 – Приклад комплексної панелі моніторингу мережі в PRTG Network Monitor

Комерційні платформи добре підходять для загального контролю мережі, але їх використання не завжди вирішує вузькі прикладні задачі оператора доступу. Для розподілу абонентів у PON потрібна прив'язка трафіку до конкретних портів, порівняння сегментів між собою, визначення перевантажених напрямів і формування варіанта корекції. У типовій системі

моніторингу такі дії залишаються на рівні ручного аналізу адміністратора. У розроблюваній системі саме цей етап автоматизовано, що дозволяє перетворити звичайні графіки завантаження на основу для прийняття технічного рішення [38].

Порівняно з універсальними платформами моніторингу, запропонована система має вузьку, але більш конкретну мету. Вона не намагається контролювати всі параметри мережі, не замінює аварійне оповіщення та не виконує повну інвентаризацію обладнання. Її призначенням є аналіз трафіку PON-сегментів і виявлення ситуацій, коли навантаження між ними розподілено нерівномірно. Така спеціалізація відповідає темі кваліфікаційної роботи, оскільки результатом виступає не загальна система адміністрування, а програмно-технічний засіб для підтримки рішення щодо оптимізації абонентського навантаження [32].

1.4 Постановка задачі кваліфікаційної роботи

Після розгляду особливостей побудови PON-мереж, аналізу абонентського трафіку та огляду засобів моніторингу сформовано прикладну задачу створення кіберфізичної системи, яка допомагає оцінювати завантаження сегментів пасивної оптичної мережі на основі даних MRTG. Потреба в такій системі пов'язана з тим, що в реальній операторській інфраструктурі навантаження між PON-портами часто розподіляється нерівномірно. Один порт може обслуговувати групу абонентів із високою мережевою активністю, тоді як інший порт у той самий період має значний резерв пропускної здатності. За відсутності окремого програмного аналізу така ситуація виявляється переважно вручну, через перегляд графіків і порівняння показників адміністратором, що збільшує витрати часу та підвищує ризик помилкового висновку [17].

У межах кваліфікаційної роботи поставлено задачу розроблення програмно-технічного засобу, який отримує дані про трафік із MRTG, обробляє

їх, визначає рівень завантаження PON-сегментів і формує основу для прийняття рішення щодо раціональнішого розподілу абонентів. На відміну від звичайного моніторингу, система не обмежується показом графіків, а виконує додаткову обробку значень трафіку. За рахунок цього адміністратор отримує не лише візуальну інформацію про стан інтерфейсів, а й узагальнену оцінку, яка показує, які сегменти працюють із підвищеним навантаженням, які мають резерв і де можливе вирівнювання навантаження [4].

Для досягнення поставленої мети визначено кілька взаємопов'язаних завдань. У роботі проаналізовано особливості побудови PON-мереж і роль спільного середовища передавання, розглянуто трафік абонентів як показник фактичного завантаження сегментів, вивчено можливості MRTG та інших засобів моніторингу, сформовано вимоги до майбутньої системи, спроектовано її структуру, визначено спосіб підготовки трафікових даних, розроблено алгоритм оцінювання завантаження PON-портів, передбачено інтерфейс перегляду результатів і підготовлено сценарії тестування працездатності

Нефункціональні вимоги пов'язані зі стабільністю, зрозумілістю, швидкістю обробки та можливістю подальшого розширення системи. Програмний засіб має працювати з кількома PON-портами, обробляти дані за вибраний проміжок часу, не втрачати коректність під час появи пропусків у статистиці та подавати результат у простій формі. Оскільки система орієнтована на прикладне використання, особливу увагу приділено читабельності інтерфейсу, логічному розміщенню показників, відокремленню критичних станів і можливості швидкого переходу від загальної оцінки до деталізованого перегляду конкретного сегмента [44].

Очікуваним результатом виконання кваліфікаційної роботи є працездатний програмно-технічний засіб, який демонструє повний цикл роботи з трафіковими даними: від отримання статистики до формування висновку щодо стану PON-сегментів. Результат роботи системи має бути подано через графіки завантаження, таблиці розрахованих показників, позначення перевантажених

портів і рекомендаційний варіант вирівнювання навантаження. За рахунок цього система показує не тільки факт наявності трафіку, а й практичну користь його аналізу для експлуатації абонентської мережі [19].

Перевірку працездатності системи передбачено виконати на підготовлених наборах даних, які відображають різні сценарії роботи PON-мережі. До таких сценаріїв належать рівномірне завантаження портів, перевантаження одного сегмента, короткочасний піковий сплеск, стабільне вечірнє зростання трафіку та наявність резервного порту з низьким навантаженням. Для кожного сценарію система має сформулювати очікуваний результат: підтвердити нормальний стан, виявити перевантаження або запропонувати можливий напрям перерозподілу. Це дозволяє оцінити не лише працездатність окремих модулів, а й правильність загальної логіки аналізу [27].

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто предметну область, пов'язану з побудовою та експлуатацією пасивних оптичних мереж PON. Показано, що така мережа має спільне середовище передавання для групи абонентів, а один порт OLT може обслуговувати значну кількість ONU або ONT через пасивну оптичну розподільчу інфраструктуру. За рахунок використання сплітерів, оптичних ліній і деревоподібної топології PON забезпечує зручне масштабування абонентського доступу, однак водночас створює залежність якості обслуговування від правильності розподілу користувачів між портами та гілками мережі. Через це для оцінювання стану такої інфраструктури недостатньо враховувати лише кількість підключених абонентів, оскільки реальне навантаження формується їхньою фактичною мережевою активністю.

Проаналізовано роль абонентського трафіку як основного показника завантаження PON-сегментів. Установлено, що трафік має нерівномірний характер і змінюється залежно від часу доби, типу користувачів, активності

онлайн-сервісів, роботи потокового відео, хмарних застосунків, відеоспостереження та інших мережевих процесів. Окрему увагу приділено різниці між низхідним і висхідним напрямками, оскільки для PON-мережі обидва напрями мають значення під час оцінювання якості роботи спільного каналу. Показано, що однакова кількість абонентів на різних портах не означає однакового навантаження, тому для виявлення проблемних ділянок потрібен аналіз часових показників трафіку, пікових значень, середнього завантаження та тривалості роботи порту в наближеному до критичного стані.

Розглянуто наявні засоби моніторингу мережевого трафіку, серед яких особливе місце займає MRTG. У межах розділу показано, що MRTG дає змогу отримувати та накопичувати статистику вхідного й вихідного трафіку, будувати графіки завантаження інтерфейсів і відстежувати зміну мережевої активності протягом різних часових проміжків. Разом із цим визначено, що стандартні засоби моніторингу переважно виконують збір і візуалізацію даних, але не формують готового рішення щодо розподілу абонентів у PON-мережі. Через це виникає потреба у спеціалізованій системі, яка використовує MRTG-дані не лише для перегляду графіків, а й для подальшої програмної обробки, порівняння сегментів і виявлення нерівномірного навантаження.

На основі виконаного аналізу сформовано постановку задачі кваліфікаційної роботи. Визначено, що майбутня кіберфізична система має поєднувати фізичну інфраструктуру PON із програмним модулем аналізу трафіку. До складу задачі включено отримання або імпорт MRTG-даних, їх підготовку до обробки, обчислення показників завантаження, порівняння PON-портів, визначення перевантажених і резервних сегментів, а також подання результатів у вигляді зрозумілої оцінки для адміністратора мережі. Очікуваним результатом є програмно-технічний засіб, який допомагає зменшити залежність від ручного перегляду графіків і створює основу для більш раціонального розподілу абонентів між PON-сегментами.

2 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ АБОНЕНТІВ У PON-МЕРЕЖІ

2.1 Загальна архітектура кіберфізичної системи

Сформовано проєктні рішення для кіберфізичної системи розподілу абонентів у мережі PON на основі аналізу трафіку MRTG. Після розгляду предметної області визначено, що майбутня система має поєднати фізичну частину операторської оптичної мережі з програмним середовищем збирання, підготовки та аналітичної обробки трафікових показників. Через це архітектуру побудовано не як звичайний застосунок для перегляду графіків, а як взаємопов'язаний програмно-технічний засіб, у якому реальні мережеві елементи передають статистику, а програмна частина перетворює її на зрозумілу оцінку стану PON-сегментів.

Загальну архітектуру системи сформовано з урахуванням того, що PON-мережа має спільне середовище передавання для групи абонентів. На фізичному рівні використано OLT, PON-порти, пасивні оптичні розгалужувачі, оптичні лінії та абонентські ONU або ONT. Ці компоненти безпосередньо забезпечують передавання даних між операторським вузлом і споживачами послуг доступу до мережі. Програмний рівень архітектури побудовано навколо сервера моніторингу, на якому отримано або збережено MRTG-дані про вхідний і вихідний трафік. Далі ці дані передано до модуля обробки, де виконано підготовку значень, розрахунок показників завантаження та формування висновку щодо стану кожного PON-сегмента.

Кіберфізичність запропонованої системи полягає в тому, що програмна частина не працює ізольовано від реальної інфраструктури. Вона отримує показники з фізичного мережевого середовища, аналізує їх і допомагає сформулювати рішення, яке може бути використано адміністратором під час зміни схеми підключення абонентів. У роботі не передбачено автоматичного перемикавання волокон або самостійної зміни конфігурації OLT без участі

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

людини, оскільки такі дії залежать від фізичної кабельної структури, доступності портів, оптичного бюджету та внутрішніх правил оператора.

Архітектуру системи поділено на кілька логічних рівнів. Нижній рівень утворює мережева інфраструктура PON, яка є джерелом фактичного трафіку. Середній рівень представлено сервером моніторингу, де накопичено MRTG-статистику за портами або інтерфейсами. Над ним розміщено рівень обробки даних, у якому передбачено імпорт, перевірку, очищення та нормалізацію вхідних значень. Наступний рівень відповідає за аналітику: у ньому розраховано середнє навантаження, пікові значення, частку часу з підвищеним використанням каналу та коефіцієнт нерівномірності між портами. Верхній рівень сформовано як інтерфейс адміністратора, через який відображено графіки, таблиці, статуси PON-сегментів і рекомендаційний варіант перерозподілу абонентів.

На рисунку 2.1 подано загальну архітектуру кіберфізичної системи, у якій показано взаємодію фізичних компонентів PON-мережі, сервера MRTG, модуля аналітичної обробки, бази даних і вебінтерфейсу адміністратора.



Рисунок 2.1 – Загальна архітектура кіберфізичної системи розподілу абонентів у мережі PON

У поданій архітектурі фізична частина починається з абонентських пристроїв ONU або ONT, які встановлено на стороні користувачів. Вони підключені до пасивної оптичної розподільчої мережі, де використано оптичні сплітери для розгалуження сигналу між кількома абонентами. Далі трафік потрапляє на PON-порти OLT, які виступають центральними точками керування доступом. Саме на цьому рівні сформовано основну проблему, що розглядається у кваліфікаційній роботі: кілька PON-портів можуть мати різне фактичне навантаження, навіть якщо кількість абонентів на них здається приблизно однаковою. Через це архітектура системи передбачає не тільки збирання технічних показників, а й їх порівняння між сегментами.

Сервер MRTG у цій архітектурі виконує роль джерела історичних даних про трафік. Через регулярне опитування мережевих інтерфейсів отримано значення вхідного та вихідного навантаження, після чого вони збережені у вигляді часових показників і графіків. Для розроблюваної системи важливо, що MRTG не змінює роботу мережі та не впливає на передавання даних, а лише фіксує статистику. Це робить його зручним джерелом інформації для аналітичного модуля, оскільки дані можна отримувати без втручання в абонентські підключення.

Окреме місце в архітектурі займає модуль формування рекомендацій. Його роботу побудовано на результатах аналітичного модуля та інформації про належність абонентів або умовних абонентських груп до певних PON-портів. Якщо виявлено, що один сегмент має стабільно високе навантаження, а інший у той самий період використовується неповністю, система формує варіант можливого перерозподілу. У межах кваліфікаційної роботи такий результат має рекомендаційний характер. Це означає, що система не виконує фізичне перепідключення, а подає адміністратору обґрунтовану інформацію для прийняття технічного рішення.

Вебінтерфейс адміністратора сформовано як верхній рівень взаємодії користувача із системою. Через нього показано загальний стан PON-портів,

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

графіки навантаження, таблиці розрахованих показників і підсумкові висновки. Інтерфейс має відображати не лише числові значення, а й зрозумілий стан сегмента: нормальне завантаження, підвищене завантаження або перевантаження. Така подача спрощує сприйняття результатів, оскільки адміністратору не потрібно самотійно переглядати велику кількість графіків і порівнювати їх вручну. Система вже виділяє найбільш важливі ділянки, які потребують уваги.

Загальна архітектура також передбачає можливість роботи з реальними або модельними даними. Реальні дані можуть бути отримані з MRTG-сервера оператора, якщо наявний доступ до статистики мережевих інтерфейсів. Модельні дані використано для тестування програмної логіки без підключення до реального обладнання. Такий підхід дозволяє перевірити роботу системи в різних сценаріях: рівномірне навантаження портів, перевантаження одного сегмента, наявність короткочасного піку, стабільне вечірнє зростання трафіку або ситуація, коли один порт має резерв для прийняття частини абонентського навантаження.

Взаємодію між компонентами побудовано послідовно. Спочатку PON-мережа генерує реальний абонентський трафік. Потім OLT накопичує статистику роботи портів, яка зчитується засобами моніторингу. Далі MRTG формує часові дані про вхідний і вихідний трафік. Після цього модуль імпорту передає ці значення до системи, база даних зберігає їх у структурованому вигляді, аналітичний модуль виконує розрахунки, а модуль рекомендацій формує результат. На завершальному етапі адміністратор переглядає підсумки через вебінтерфейс і може використати їх під час планування змін у PON-інфраструктурі.

Перевагою сформованої архітектури є її модульність. Кожен компонент виконує окрему функцію, а тому систему можна розширювати без повної перебудови. Наприклад, у майбутньому замість MRTG можна підключити інше джерело трафікових даних, якщо воно передає значення у сумісному форматі.

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Аналітичний модуль може бути доповнений прогнозуванням навантаження, а інтерфейс адміністратора може отримати додаткові фільтри за періодом, портом або типом трафіку. У межах поточної кваліфікаційної роботи реалізовано базову архітектуру, достатню для демонстрації головної ідеї: використання трафікових даних для оцінювання завантаження PON-сегментів.

2.2 Модель збору та підготовки MRTG-даних

Модель збору та підготовки MRTG-даних сформовано як окрему частину загальної архітектури кіберфізичної системи, оскільки саме від якості вхідної статистики залежить правильність подальшого аналізу завантаження PON-сегментів. У межах кваліфікаційної роботи MRTG-дані розглянуто не як звичайні графіки для ручного перегляду, а як технічне джерело часових показників, на основі яких система визначає фактичний стан мережевих портів. Через це модель охоплює кілька послідовних етапів: отримання статистики з мережевого обладнання, збереження значень засобами MRTG, імпорт даних у програмний засіб, очищення, нормалізацію, групування за PON-портами та підготовку до аналітичного опрацювання.

Початковою точкою моделі виступає OLT, на якому зосереджено PON-порти та мережеві інтерфейси, що обслуговують абонентські сегменти. У процесі роботи через ці порти проходить низхідний і висхідний трафік, який формується діями користувачів, роботою онлайн-сервісів, потокового відео, хмарних застосунків, камер відеоспостереження та інших мережевих процесів. OLT накопичує службову статистику щодо обсягу переданих і прийнятих даних, а сервер моніторингу періодично звертається до відповідних лічильників. У запропонованій моделі цей етап не змінює роботу мережі та не втручається в обслуговування абонентів, оскільки збір показників має пасивний характер і виконується тільки для контролю стану портів.

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

MRTG у цій моделі використано як проміжну ланку між фізичною PON-інфраструктурою та аналітичним модулем розробленої системи. Його робота полягає в регулярному опитуванні мережевих інтерфейсів, отриманні значень лічильників, обчисленні різниці між попереднім і поточним станом та поданні результату у вигляді часових графіків. Для оператора такі графіки зручні під час швидкого візуального перегляду, однак для автоматизованого розподілу абонентів потрібна додаткова підготовка даних. Саме тому в моделі передбачено окремий шар імпорту, який перетворює MRTG-статистику у внутрішній формат програмного засобу.

У ролі вхідних даних прийнято часові записи, що описують завантаження конкретного інтерфейсу або PON-порту. Кожен запис містить часову позначку, ідентифікатор порту, значення вхідного трафіку, значення вихідного трафіку та службову інформацію, потрібну для перевірки коректності. Для зручності подальшого аналізу всі значення приведено до єдиних одиниць вимірювання, наприклад до Мбіт/с.

Це усуває неоднозначність під час порівняння портів і дозволяє однаково оцінювати як низько завантажені, так і перевантажені сегменти. Якщо частина даних надходить із модельного набору, структура записів збережена такою самою, щоб логіка програмного засобу не залежала від джерела статистики.

На рисунку 2.2 подано модель збору та підготовки MRTG-даних, у якій показано шлях проходження інформації від OLT і PON-портів до внутрішнього сховища системи та аналітичного модуля.

Подана модель побудована так, щоб відокремити сирі дані моніторингу від підготовленої статистики, яка вже придатна для розрахунків. На першому рівні знаходяться фізичні джерела трафіку: абонентські ONT, пасивна оптична мережа та PON-порти OLT.

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.2 – Модель збору та підготовки MRTG-даних для аналізу завантаження PON-сегментів

На другому рівні розміщено сервер MRTG, який виконує періодичне опитування обладнання та формує історію значень. Третій рівень утворює модуль імпорту, де дані зчитуються з підготовлених файлів або таблиць. Далі розташовано блок очищення й нормалізації, після якого інформація надходить до внутрішньої бази даних. Завершальним етапом є передавання підготовлених показників до аналітичного модуля, де вже виконується оцінювання стану PON-сегментів.

Важливою частиною моделі є синхронізація часових проміжків. Порівняння PON-портів має сенс лише тоді, коли вони аналізуються за однаковий період. Якщо один сегмент оцінити за годину пікового вечірнього навантаження, а інший за нічний період, результат буде некоректним. Тому перед аналітичним етапом система визначає спільний часовий інтервал для всіх портів, які беруть участь у порівнянні. Якщо для певного порту бракує даних у межах цього інтервалу, система або виключає його з порівняння, або позначає результат як неповний. Це робить підсумкову оцінку більш чесною та технічно обґрунтованою.

Модель також враховує потребу в роботі з різними сценаріями вхідної статистики. У першому сценарії дані надходять із реального MRTG-сервера, де

вже налаштовано опитування OLT. У другому сценарії використовується експортований файл, який адміністратор завантажує вручну. У третьому сценарії застосовано модельний набір даних, створений для перевірки програмної логіки. Усі три варіанти приведено до одного внутрішнього формату, тому аналітичний модуль працює однаково незалежно від способу отримання інформації. Це підвищує гнучкість системи та дозволяє перевірити її роботу навіть за відсутності прямого доступу до реального обладнання.

Окремо враховано, що MRTG-графік сам по собі не завжди містить всю інформацію, потрібну для розподілу абонентів. Він показує навантаження інтерфейсу, але не пояснює, які саме абоненти або групи створили це навантаження. Тому модель підготовки даних доповнена зв'язком із абонентською інформацією. У спрощеному варіанті система працює з умовними групами абонентів, прикріпленими до конкретних PON-портів.

Під час підготовки даних також передбачено формування службових статусів. Для кожного набору статистики система може позначити стан як коректний, неповний, такий, що містить пропуски, або такий, що потребує повторного імпорту. Це полегшує роботу адміністратора та допомагає не сприймати сумнівні дані як повноцінну основу для рішення. Наприклад, якщо порт виглядає ненавантаженим лише через відсутність статистики, система не повинна пропонувати його як резервний напрям. Саме тому контроль якості даних є не допоміжним, а одним із ключових елементів моделі.

2.3 Метод визначення завантаженості PON-сегментів

Метод визначення завантаженості PON-сегментів сформовано як центральну аналітичну частину кіберфізичної системи, оскільки саме він перетворює підготовлені MRTG-дані на оцінку фактичного стану мережі. У попередньому підрозділі подано модель збору та попередньої підготовки трафікових показників, а в цьому підрозділі розкрито логіку їх подальшого

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

використання. Основне завдання методу полягає не тільки у фіксації високого трафіку на окремому порту, а й у встановленні того, чи є таке навантаження стабільним, порівняно більшим за навантаження інших сегментів і достатнім для висновку про можливий дисбаланс у розподілі абонентів.

У межах кваліфікаційної роботи PON-сегмент розглянуто як логічну частину пасивної оптичної мережі, що відповідає одному PON-порту OLT або окремій гілці, до якої підключено групу абонентських терміналів ONU або ONT. Для кожного такого сегмента система отримує часову послідовність значень вхідного та вихідного трафіку. Ці значення не сприймаються як окремі випадкові числа, а розглядаються як поведінка сегмента впродовж певного періоду. Завдяки цьому метод дозволяє виявити не лише миттєві піки, а й повторювану перевантаженість, яка найбільше впливає на якість доступу абонентів до мережевих сервісів.

Вихідною інформацією для методу є підготовлений набір MRTG-даних, у якому для кожного PON-сегмента збережено часову позначку, значення downstream-трафіку, значення upstream-трафіку та технічну пропускну здатність відповідного напрямку. Якщо для сегмента використано модельні дані, їх структура збережена такою самою, щоб алгоритм працював однаково для тестового й реального середовища. На цьому етапі особливо важливо, що дані вже очищено від грубих помилок, приведено до спільних одиниць вимірювання та згруповано за портами. Це дозволяє перейти до розрахунків без додаткового виправлення структури вхідного набору.

Для кожного PON-сегмента розраховано середнє завантаження за вибраний період. Цей показник характеризує типовий рівень використання порту та дає змогу побачити, наскільки активно сегмент працює в цілому. Проте середнє значення не відображає всіх проблем, оскільки воно згладжує короточасні піки. Саме тому метод доповнено розрахунком максимального завантаження, яке показує найвищий зафіксований рівень трафіку. Поєднання середнього та максимального значень дозволяє відокремити стабільно

навантажений сегмент від сегмента, у якому спостерігаються лише короткі сплески активності.

Окремо визначено частку часу, протягом якого сегмент перебуває в зоні підвищеного або критичного завантаження. Для цього в методі задано порогові рівні, наприклад нормальний стан, підвищене завантаження та перевантаження. Якщо значення відносного використання каналу перевищує встановлений поріг у багатьох часових точках, система робить висновок, що проблема має не випадковий, а повторюваний характер. Такий підхід є важливим для операторської мережі, оскільки рішення щодо перерозподілу абонентів не повинне ґрунтуватися на одному короткому піку, який міг виникнути через разове завантаження великого файлу.

На рисунку 2.3 подано метод визначення завантаженості PON-сегментів, у якому показано послідовність переходу від підготовлених MRTG-даних до статусу сегмента та висновку про наявність або відсутність нерівномірного навантаження.



Рисунок 2.3 – Метод визначення завантаженості PON-сегментів на основі MRTG-даних

Подана на рисунку логіка починається з вибору періоду аналізу. Адміністратор або система задає часовий проміжок, за який потрібно оцінити роботу PON-мережі. Це може бути доба, тиждень або інший період, що містить достатню кількість вимірювань. Далі система вибирає всі PON-сегменти, які мають повні або достатньо повні дані в межах цього періоду. Якщо для певного порту даних бракує, він не використовується для загального порівняння або позначається як такий, що потребує повторного збору статистики. Це запобігає помилковому визначенню резервного порту лише через відсутність трафікових значень.

Після вибору періоду система розраховує відносне завантаження для кожного напрямку. Для кожної часової точки визначено, яку частину пропускну здатності займає поточний трафік. Далі ці значення узагальнюються за періодом. У результаті для кожного PON-сегмента формується набір показників: середнє downstream-завантаження, середнє upstream-завантаження, максимальне downstream-завантаження, максимальне upstream-завантаження, кількість інтервалів із перевищенням порогу та частка часу в зоні високого навантаження. Саме цей набір використано як основа для подальшої класифікації.

У методі також враховано різницю між короткочасним піком і тривалим перевантаженням. Якщо сегмент один раз досягає високого значення, але більшу частину часу працює в нормальному режимі, система не формує жорсткий висновок про необхідність перерозподілу. Натомість якщо порт протягом кількох годин щодня працює з високим завантаженням, такий стан позначається як стабільна проблема. Це має практичне значення, оскільки фізичне перенесення абонентів або зміна схеми підключення потребують часу, а отже мають виконуватися на основі достатньо переконливої картини.

Результатом роботи методу є не лише числовий набір показників, а й статус кожного PON-сегмента. Для адміністратора формується таблиця, у якій кожен порт має значення середнього навантаження, максимального навантаження, частки часу з перевищенням порогу, статус і короткий висновок.

Наприклад, сегмент може бути позначений як нормальний, резервний, навантажений або перевантажений. Така подача робить результат придатним для використання в інтерфейсі системи, оскільки адміністратору не потрібно самостійно обробляти всі числові ряди. Система вже подає узагальнену оцінку та виділяє ті порти, які потребують уваги.

Визначення резервних сегментів виконується за зворотною логікою. Якщо порт має стабільно низьке або помірне завантаження, не демонструє повторюваних піків і має достатній запас пропускну здатності, він може бути позначений як потенційний напрям для прийняття частини абонентського навантаження. Проте такий висновок формується лише за умови повноти даних. Якщо низьке завантаження пояснюється пропусками в MRTG-статистиці або недоступністю порту в частині періоду, система не повинна вважати його резервним. Це дозволяє зменшити ризик помилкових рекомендацій.

Окремою перевагою методу є його відносна простота для реалізації. Він не потребує складних математичних моделей, але дає достатньо зрозумілий і технічно обґрунтований результат. Для кваліфікаційної роботи це важливо, оскільки система має бути не тільки описана, а й реалізована у вигляді працездатного програмно-технічного засобу. Розрахунок середніх, максимальних і порогових значень легко реалізується програмно, а результати можна наочно перевірити за графіками MRTG. Це дозволяє зіставити автоматичний висновок системи з візуальною картиною навантаження.

2.4 Алгоритм формування варіанта розподілу абонентів

Алгоритм формування варіанта розподілу абонентів розроблено як наступний етап після визначення завантаженості PON-сегментів. Якщо у попередньому підрозділі основну увагу приділено розрахунку показників трафіку та встановленню стану кожного порту, то в цьому підрозділі сформовано логіку, яка перетворює отримані аналітичні значення на практичний варіант

перерозподілу абонентського навантаження. Основна ідея алгоритму полягає в тому, що система не просто визначає перевантажений PON-порт, а також знаходить сегмент із резервом, оцінює можливість перенесення частини абонентів і формує зрозумілий для адміністратора результат.

У межах кваліфікаційної роботи алгоритм має рекомендаційний характер. Це означає, що система не виконує автоматичного фізичного перемикавання абонентів, не змінює оптичну схему підключення та не вносить конфігураційні зміни в OLT без участі адміністратора. Такий підхід обрано через те, що реальне перепідключення в PON-мережі залежить не лише від трафіку, а й від оптичного бюджету, наявності вільних портів, схеми сплітерів, фактичного розташування кабельних ліній і монтажних можливостей. Програмний засіб бере на себе саме аналітичну частину, де є потреба швидко порівняти багато значень і зменшити вплив ручної помилки.

Вхідними даними для алгоритму є результати роботи методу визначення завантаженості PON-сегментів. До них належать статус кожного порту, середнє та пікове навантаження, частка часу з підвищеним використанням каналу, коефіцієнт нерівномірності, а також дані про умовні абонентські групи. Під умовною абонентською групою в роботі розуміється набір абонентів або окремий абонентський вузол, який пов'язаний із певним PON-портом і має орієнтовний внесок у загальне навантаження. У спрощеній моделі такі групи можуть мати назву, поточний порт підключення, середній обсяг трафіку та ознаку можливості перенесення.

На першому етапі алгоритму система перевіряє готовність даних до формування варіанта розподілу. Якщо статистика за вибраний період є неповною, містить значні пропуски або не дозволяє коректно порівняти PON-порти між собою, алгоритм не формує рекомендацію, а позначає результат як такий, що потребує уточнення вхідних даних. Це важливо, оскільки помилкова рекомендація може виникнути не через реальну нерівномірність, а через відсутність частини MRTG-статистики. Наприклад, якщо один порт виглядає

майже вільним лише тому, що його дані не зібрано за половину періоду, система не повинна пропонувати його як резервний сегмент.

Після перевірки якості даних алгоритм визначає перевантажені PON-сегменти. Для цього використано статуси, сформовані аналітичним модулем. Порт потрапляє до групи проблемних, якщо він має стабільно підвищене або критичне завантаження, повторювані пікові значення та помітне перевищення середнього рівня навантаження серед інших сегментів. При цьому короточасний одиничний сплеск не розглядається як достатня причина для перерозподілу. Система враховує саме сталість проблеми, оскільки фізичні зміни в PON-інфраструктурі мають виконуватися лише тоді, коли перевантаження підтверджено часовою статистикою.

Наступним етапом визначено пошук резервних сегментів. Резервним вважається PON-порт, який має достатній запас пропускну здатності, стабільно нижче середнє завантаження та не демонструє повторюваних піків у той самий період, коли інший порт перевантажений. Для цього алгоритм порівнює проблемний сегмент не з будь-яким доступним портом, а з тими портами, які мають коректну статистику та підтверджений резерв. Якщо резервних портів немає, система формує висновок про неможливість простого перерозподілу на основі поточного набору даних. У такому випадку результатом може бути лише фіксація перевантаження та потреба в додатковому аналізі інфраструктури.

Після визначення проблемного й резервного сегментів алгоритм переходить до оцінювання абонентських груп. У цьому етапі система аналізує, які групи належать до перевантаженого PON-порту та який орієнтовний внесок вони створюють у загальне навантаження. Найпростішим варіантом є вибір групи з помірним трафіком, перенесення якої може зменшити перевантаження, але не створить нової проблеми на резервному порті. Алгоритм не обирає автоматично найбільш активну групу, оскільки її перенесення може перевантажити інший сегмент. Через це підбір виконується поступово, із перевіркою очікуваного стану обох портів після умовного перенесення.

На рисунку 2.4 подано алгоритм формування варіанта розподілу абонентів, у якому показано послідовність перевірки MRTG-даних, визначення перевантажених і резервних PON-сегментів, вибору абонентської групи та формування рекомендаційного результату.

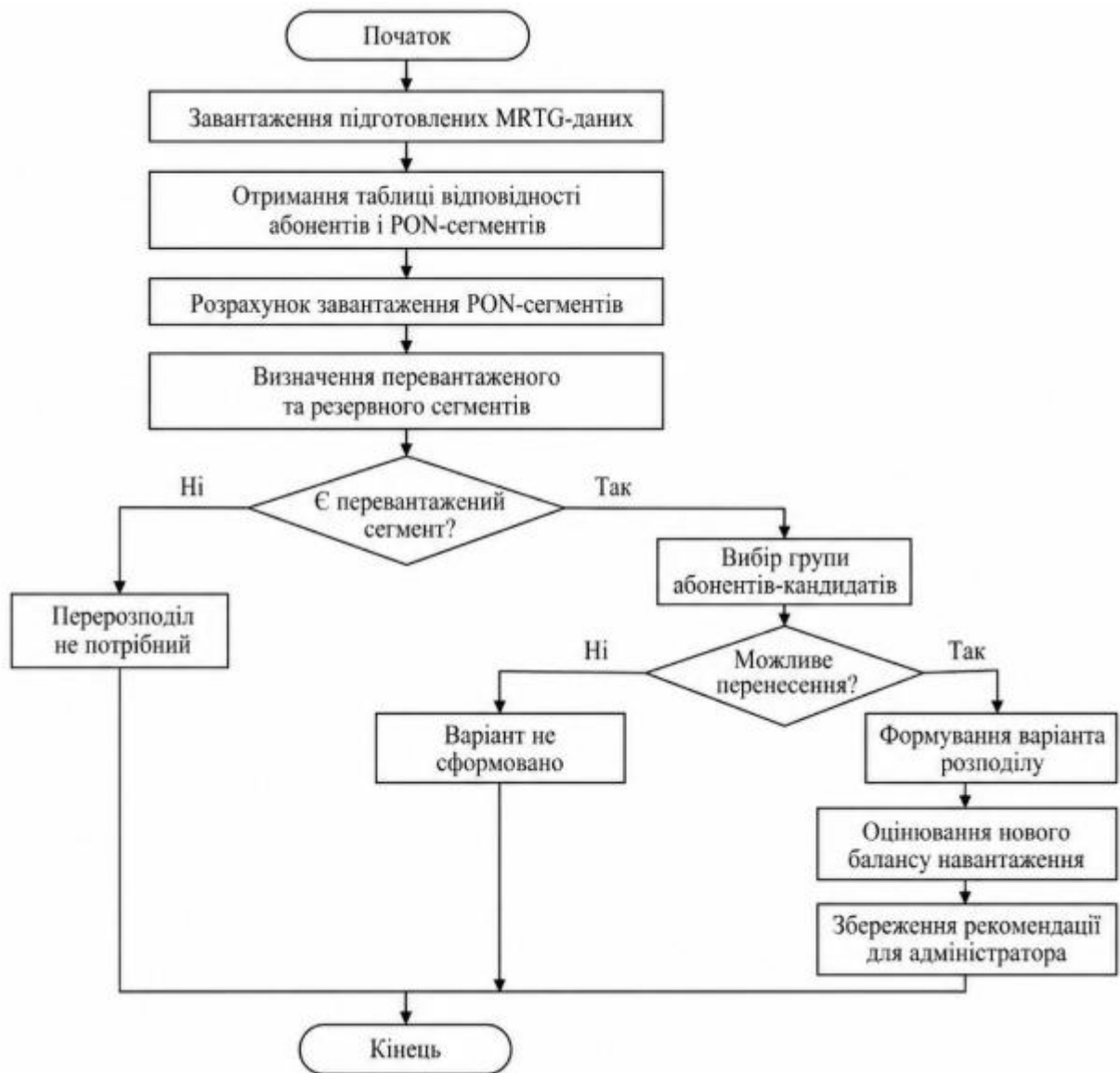


Рисунок 2.4 – Алгоритм формування варіанта розподілу абонентів між PON-сегментами

Поданий алгоритм починається з отримання підготовлених результатів аналізу завантаження. На цьому вході система вже має не сирі значення трафіку, а впорядковані показники по кожному PON-порту. Далі виконується перевірка

повноти даних. Якщо дані неповні, процес завершується повідомленням про неможливість формування коректної рекомендації. Якщо дані достатні, система переходить до пошуку перевантаженого сегмента. За наявності кількох таких портів пріоритет отримує той, у якого найбільша тривалість перебування в зоні високого навантаження та найбільше відхилення від середнього рівня по мережі.

Після вибору перевантаженого порту система шукає сегмент із резервом. Для цього оцінюється не тільки поточне низьке завантаження, а й стабільність такого стану в межах вибраного періоду. Резервний порт повинен мати достатній запас для прийняття частини навантаження. Якщо резервний сегмент має низьке середнє завантаження, але періодично демонструє власні піки, алгоритм може знизити його пріоритет або не використовувати його для перенесення. Це дозволяє уникнути ситуації, коли система знімає проблему з одного порту, але створює нову проблему на іншому.

Далі виконується умовне моделювання перенесення абонентської групи. Алгоритм бере одну або кілька груп із перевантаженого сегмента та оцінює, як зміниться навантаження після їх перенесення. Для цього від поточного навантаження проблемного порту віднімається орієнтовний внесок вибраної групи, а до резервного порту додається цей самий обсяг. Після цього система повторно перевіряє порогові значення для обох портів. Варіант вважається прийнятним лише тоді, коли перевантажений порт переходить у менш напружений стан, а резервний порт не стає перевантаженим після умовного додавання нового трафіку.

Для зручності використання результат алгоритму подано у вигляді таблиці та короткого висновку в інтерфейсі адміністратора. У таблиці відображено назву перевантаженого порту, назву резервного порту, поточне завантаження, очікуване завантаження після перенесення, вибрану абонентську групу та статус рекомендації. Короткий висновок пояснює, чому саме цей варіант запропоновано. Наприклад, система може вказати, що сегмент PON-1 має стабільне підвищене навантаження у вечірній період, тоді як сегмент PON-3 має

достатній резерв, тому перенесення групи абонентів із помірним трафіком зменшує дисбаланс між портами.

Перевагою сформованого алгоритму є його зрозумілість і можливість перевірки. Кожен етап має логічне пояснення: спочатку перевіряється якість даних, далі визначається перевантаження, потім шукається резерв, після цього оцінюється вплив перенесення, і лише після позитивної перевірки формується рекомендація. Така структура добре підходить для програмної реалізації та тестування, оскільки для кожного блоку можна підготувати окремі сценарії перевірки. Наприклад, окремо перевіряється ситуація з відсутністю резервного порту, ситуація з одним перевантаженим сегментом, ситуація з кількома можливими групами та ситуація, коли перенесення створює нове перевантаження.

2.5 Проєктування бази даних та інтерфейсу користувача

Проєктування бази даних та інтерфейсу користувача виконано як завершальний етап формування проєктної частини кіберфізичної системи розподілу абонентів у мережі PON. Після визначення загальної архітектури, моделі підготовки MRTG-даних, методу оцінювання завантаженості сегментів та алгоритму формування варіанта розподілу виникла потреба у створенні логічної структури, яка зберігає всі необхідні дані та подає результати адміністратору у зручному вигляді. База даних у цій системі не виступає другорядним сховищем, а забезпечує зв'язок між фізичною мережею, трафіковими показниками, аналітичними розрахунками та підсумковими рекомендаціями щодо перерозподілу абонентського навантаження.

Під час проєктування бази даних враховано, що система працює з кількома типами інформації. До першої групи належать довідкові дані про PON-порти, їхні назви, технічну пропускну здатність, опис і поточний стан. До другої групи віднесено трафікові записи, отримані з MRTG або модельного набору, де для

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кожного порту збережено часову позначку, downstream-навантаження та upstream-навантаження. Третя група охоплює результати аналітичної обробки, серед яких середнє завантаження, пікові значення, частка часу з підвищеним навантаженням і статус сегмента. Окремо передбачено дані про абонентські групи, оскільки саме вони використовуються під час формування варіанта перенесення навантаження з перевантаженого порту на резервний.

Логічну модель бази даних побудовано навколо сутності PON-порту. Це пояснюється тим, що саме порт OLT у межах роботи виступає основною одиницею аналізу. До нього прив'язано трафікові вимірювання, розраховані показники, абонентські групи та рекомендації. Такий підхід дозволяє зручно переглядати історію роботи кожного сегмента, порівнювати його з іншими портами та відстежувати, як змінюється стан після умовного перерозподілу. Якщо в майбутньому система буде доповнена новими джерелами даних, структура все одно залишиться придатною, оскільки основний зв'язок зберігається через ідентифікатор PON-сегмента.

Таблицю абонентських груп спроектовано для того, щоб система мала зв'язок між навантаженням порту та умовними групами користувачів. У цій таблиці передбачено назву групи, поточний PON-порт, орієнтовний середній внесок у трафік, напрям переважного навантаження та ознаку можливості перенесення. У реальній мережі такою групою може бути набір абонентів, підключених через один розподільчий вузол, окремих будинок, під'їзд, бізнес-клієнт або інша логічна група. У межах кваліфікаційної роботи така сутність використана для демонстрації принципу формування рекомендацій, коли система оцінює, яке перенесення може зменшити перевантаження без створення нової проблеми на іншому порту.

Для збереження сформованих варіантів розподілу передбачено таблицю рекомендацій. Вона містить дані про перевантажений порт, резервний порт, вибрану абонентську групу, очікуване навантаження до та після умовного перенесення, статус рекомендації і коротке пояснення. Це дозволяє не втрачати

результати роботи алгоритму та переглядати їх повторно. Також така таблиця потрібна для тестування, оскільки можна порівняти, які рішення система сформувала для різних наборів даних і чи відповідають вони очікуваній логіці. У подальшому на основі цих записів можна формувати звіти для адміністратора або технічного відділу.

На рисунку 2.5 подано спроектовану схему взаємозв'язку бази даних та інтерфейсу користувача, у якій показано основні таблиці, потік підготовлених MRTG-даних, аналітичні результати та екранні блоки, через які адміністратор переглядає стан PON-сегментів.

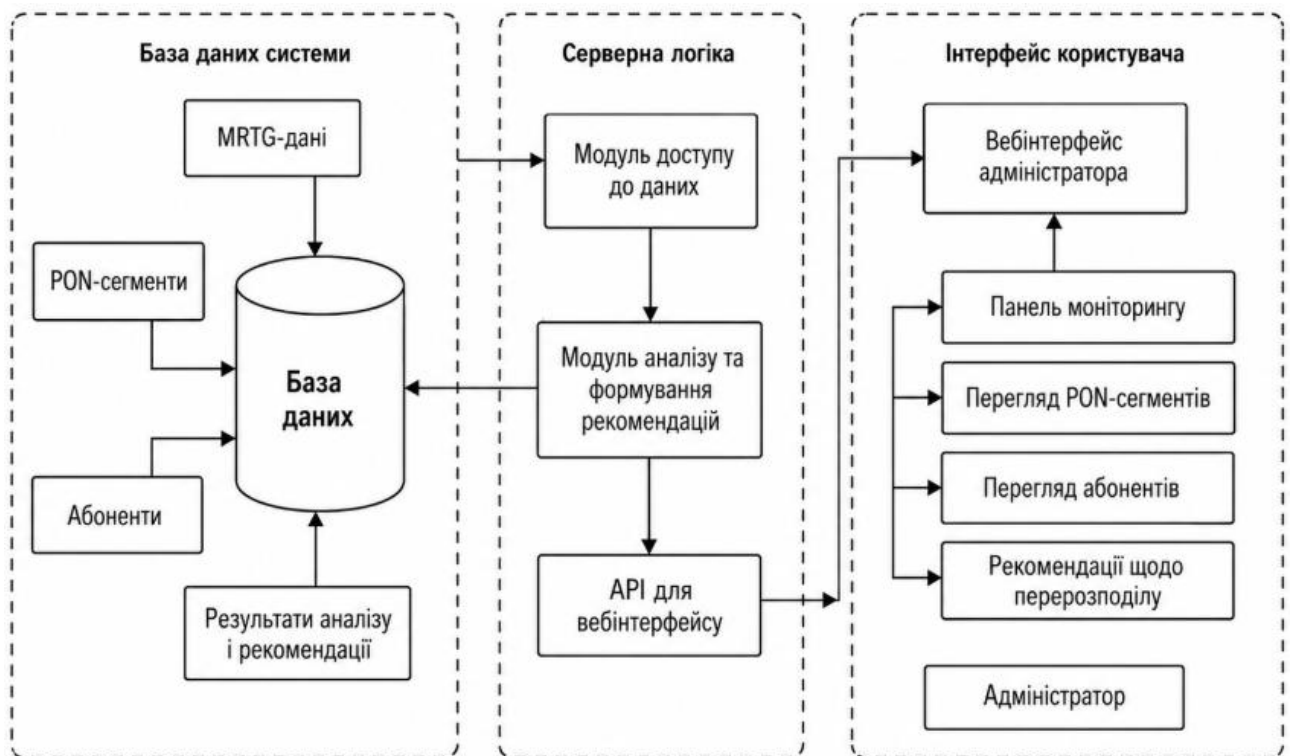


Рисунок 2.5 – Схема взаємозв'язку бази даних та інтерфейсу користувача кіберфізичної системи

У поданій схемі центральним елементом бази даних виступає таблиця PON-портів. Вона пов'язана з таблицею трафікових вимірювань відношенням «один до багатьох», оскільки один порт має багато значень трафіку за різні моменти часу. Так само один порт може мати багато результатів аналізу за різні

періоди та кілька пов'язаних абонентських груп. Таблиця рекомендацій об'єднує результати аналітики та абонентські групи, оскільки в ній фіксується, з якого порту запропоновано перенести навантаження, на який порт його можна перенести та яка група для цього вибрана. Така структура забезпечує достатню цілісність даних і не перевантажує систему зайвими зв'язками.

Під час проєктування інтерфейсу користувача враховано, що основним користувачем системи є адміністратор або технічний працівник, який відповідає за контроль стану PON-мережі. Тому інтерфейс не повинен виглядати як складна аналітична система з надмірною кількістю технічних параметрів на одному екрані. Його структуру побудовано так, щоб спочатку показати загальну картину, а потім надати можливість перейти до деталей конкретного порту. Такий принцип дозволяє швидко виявити проблемний сегмент, не переглядаючи вручну всі MRTG-графіки.

Головний екран інтерфейсу спроектовано як панель стану PON-мережі. На ньому відображено список портів, їхній поточний або розрахований статус, середнє завантаження за вибраний період, пікове значення та коротка оцінка. Для зручності сегменти поділено за станом: нормальні, навантажені, перевантажені та резервні. Такий поділ допомагає одразу побачити, які порти потребують уваги, а які можуть бути використані як потенційний резерв. У межах інтерфейсу передбачено фільтр за періодом аналізу, оскільки оцінка за добу, тиждень або окремих вечірній проміжок може давати різні результати.

Другий екран передбачено для детального перегляду конкретного PON-порту. На ньому відображено графік downstream- і upstream-навантаження, таблицю основних розрахованих показників, кількість інтервалів із перевищенням порогу та пов'язані абонентські групи. Такий екран дозволяє перевірити, чому система позначила порт як навантажений або перевантажений. Якщо адміністратор бачить, що високі значення повторюються в один і той самий час, він може сприймати висновок системи як більш обґрунтований. Якщо ж високий показник виник лише один раз, це також буде помітно на графіку.

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Окремий екран спроектовано для перегляду рекомендацій щодо розподілу абонентів. У ньому показано вихідний перевантажений порт, резервний порт, вибрану групу для умовного перенесення, очікуване навантаження до та після зміни, а також пояснення результату. Такий екран має особливе значення, оскільки саме він перетворює результати аналізу на практичну інформацію. Адміністратор бачить не тільки факт перевантаження, а й можливий варіант дії. При цьому результат подано як рекомендацію, а не як автоматичну команду, що відповідає обмеженням реальної PON-інфраструктури.

Для зручності роботи з даними передбачено екран імпорту MRTG-статистики. На ньому адміністратор може завантажити підготовлений файл, вибрати період, перевірити кількість знайдених портів і побачити повідомлення про помилки або пропущені значення. Такий елемент інтерфейсу потрібен тому, що якість вхідних даних безпосередньо впливає на результат аналізу. Якщо система виявляє неповну статистику, вона має повідомити про це ще до формування висновків, а не приховувати проблему на наступних етапах.

Візуальну структуру інтерфейсу спроектовано з акцентом на просте сприйняття. Основні показники подано у вигляді карток, таблиць і графіків. Картки використовуються для швидкого відображення кількості нормальних, навантажених і перевантажених портів. Таблиці застосовано для порівняння сегментів, оскільки вони дозволяють бачити значення поруч. Графіки потрібні для часової динаміки, адже саме вони показують, чи є перевантаження повторюваним. Така комбінація елементів робить інтерфейс придатним як для швидкого огляду, так і для детальнішої перевірки.

У межах базової версії системи інтерфейс не перевантажено функціями, які не стосуються поставленої задачі. У ньому не передбачено керування всім мережевим обладнанням, зміну конфігурації OLT або повну інвентаризацію інфраструктури. Основний акцент зроблено на імпорті даних, перегляді стану PON-сегментів, аналізі завантаження та формуванні рекомендацій. Така спеціалізація дозволяє зберегти просту логіку роботи й уникнути перетворення

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

системи на універсальну платформу моніторингу, яка виходила б за межі теми кваліфікаційної роботи.

Зв'язок між інтерфейсом і базою даних побудовано через прикладний серверний модуль. Інтерфейс не звертається безпосередньо до таблиць, а отримує підготовлені дані через запити до серверної частини. Це дозволяє відокремити логіку відображення від логіки обробки. Наприклад, коли адміністратор відкриває сторінку стану портів, сервер вибирає останні результати аналізу з бази даних, формує відповідь і передає її в інтерфейс. Коли запускається новий аналіз, сервер зчитує трафікові записи, виконує розрахунки, зберігає результат і лише після цього оновлює екран.

Під час проєктування передбачено, що інтерфейс має підтримувати роботу з тестовими й реальними даними. Для тестового режиму використано модельні записи, які імітують роботу кількох PON-портів. Для реального режиму передбачено імпорт статистики, отриманої із MRTG-сервера. Оскільки обидва типи даних зводяться до однакової структури в базі даних, інтерфейс відображає їх однаково. Це спрощує тестування та дозволяє перевірити систему навіть до підключення до реальної операторської інфраструктури.

2.6 Висновки до другого розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи сформовано проєктну основу кіберфізичної системи розподілу абонентів у мережі PON на базі аналізу трафіку MRTG. Після встановлення проблеми нерівномірного завантаження PON-сегментів у першому розділі подальшу увагу зосереджено на тому, як саме має працювати майбутній програмно-технічний засіб, які компоненти входять до його складу, яким чином трафікові дані надходять до системи, як вони підготовлюються до опрацювання та за якою логікою перетворюються на прикладний висновок для адміністратора мережі. Це дозволило перейти від

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

загального опису предметної області до конкретної структури рішення, придатного для програмно-апаратної реалізації в наступному розділі.

У межах розділу сформовано загальну архітектуру кіберфізичної системи. У ній поєднано фізичну частину PON-мережі, до якої належать OLT, PON-порти, пасивні оптичні розгалужувачі, оптичні лінії та абонентські ONU або ONT, а також програмну частину, що охоплює сервер MRTG, модуль імпорту даних, базу даних, аналітичний модуль, модуль формування рекомендацій та інтерфейс адміністратора. Така архітектура показує, що розроблювана система не є звичайним засобом перегляду графіків.

На основі отриманих показників сформовано алгоритм розподілу абонентів між PON-сегментами. У ньому передбачено перевірку повноти даних, пошук перевантаженого порту, визначення резервного сегмента, аналіз умовних абонентських груп, моделювання очікуваного стану після перенесення та формування рекомендаційного результату. Важливо, що алгоритм не виконує автоматичного фізичного перепідключення абонентів і не змінює конфігурацію OLT без участі адміністратора. Його результатом є обґрунтована пропозиція, яка показує, з якого сегмента можна зняти частину навантаження, на який сегмент її доцільно перенести та як зміниться стан мережі після такого умовного перерозподілу.

Також спроектовано базу даних та інтерфейс користувача. База даних містить логічні сутності для збереження PON-портів, трафікових вимірювань, результатів аналітичної обробки, абонентських груп і сформованих рекомендацій. Це забезпечує зв'язок між фізичними елементами мережі, історичними MRTG-даними та підсумковими рішеннями системи. Інтерфейс користувача побудовано як панель адміністратора, у якій передбачено перегляд загального стану PON-мережі, деталізацію окремого порту, імпорт MRTG-статистики та сторінку рекомендацій. Така структура дозволяє подавати складні трафікові дані у зрозумілому вигляді та скорочує потребу в ручному порівнянні великої кількості графіків.

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

3.1 Формування середовища реалізації програмного засобу

Практичну реалізацію кіберфізичної системи розподілу абонентів у мережі PON сформовано у вигляді програмного засобу, який поєднує модуль приймання MRTG-даних, серверну логіку їх опрацювання, базу даних, аналітичний модуль і вебінтерфейс адміністратора. На етапі формування середовища реалізації основну увагу зосереджено на тому, щоб програмний засіб міг працювати з підготовленими файлами трафіку, виконувати попередню перевірку значень, зберігати дані у структурованому вигляді та відображати результати аналізу через зрозумілу панель керування. Такий підхід дав змогу не обмежувати практичну частину лише описом алгоритму, а підготувати повноцінне середовище для подальшої реалізації модулів системи.

Середовище реалізації побудовано як локальний вебзастосунок, який може працювати на робочій станції адміністратора або на окремому сервері моніторингу. Такий варіант є зручним для поставленої задачі, оскільки адміністратор отримує доступ до системи через браузер, а основна обробка даних виконується на серверній частині. У межах практичної реалізації використано поділ на backend-рівень, frontend-рівень і рівень зберігання даних. Backend відповідає за імпорт MRTG-статистики, перевірку даних, запуск розрахунків і передавання результатів в інтерфейс. Frontend забезпечує відображення стану PON-сегментів, графіків, таблиць і рекомендацій. База даних зберігає довідкову інформацію про порти, трафікові вимірювання, результати аналізу та сформовані варіанти перерозподілу абонентів.

Для серверної частини обрано Python, оскільки ця мова добре підходить для роботи з файлами, табличними даними, часовими рядами та швидкої реалізації аналітичної логіки. У серверному модулі використано FastAPI, що дозволило створити набір прикладних маршрутів для завантаження даних,

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

отримання списку PON-портів, перегляду результатів аналізу та формування рекомендацій. Такий вибір є вдалим для цієї системи, бо FastAPI має просту структуру, підтримує роботу з JSON-даними та зручно поєднується з вебінтерфейсом. Для запуску серверної частини використано Uvicorn, який забезпечує локальне розгортання API під час тестування програмного засобу.

Для зберігання даних використано SQLite. Такий варіант не потребує окремого серверного встановлення, працює через один файл бази даних і добре підходить для навчальної кваліфікаційної роботи, де потрібно показати логіку збереження та опрацювання інформації без надмірного ускладнення інфраструктури. У базі даних сформовано таблиці для PON-портів, трафікових вимірювань, результатів аналізу, абонентських груп і рекомендацій. Це забезпечило достатню основу для роботи системи з модельними та підготовленими MRTG-даними. У разі подальшого розвитку програмний засіб може бути перенесений на PostgreSQL або іншу серверну систему керування базами даних без зміни загальної логіки роботи.

Frontend-частину реалізовано як вебінтерфейс адміністратора. Для цього використано сучасну структуру клієнтського застосунку з поділом на окремі сторінки та компоненти. Головний екран відображає загальний стан PON-сегментів, екран імпорту відповідає за завантаження файлів зі статистикою, сторінка конкретного порту показує деталізований графік навантаження, а сторінка рекомендацій подає результат роботи алгоритму розподілу абонентів. Візуальна частина побудована так, щоб адміністратор міг швидко побачити проблемний порт, порівняти його з резервними сегментами та переглянути пояснення сформованої рекомендації. Для побудови графіків використано засоби відображення часових рядів, які дозволяють показати downstream- і upstream-навантаження окремо.

Структуру проекту організовано за модульним принципом. У серверній частині відокремлено модуль роботи з файлами, модуль бази даних, модуль аналізу трафіку, модуль формування рекомендацій і модуль API. Це дало

можливість не змішувати в одному файлі різні частини логіки та спростило подальше тестування. У клієнтській частині окремо сформовано компоненти панелі стану, таблиці портів, графіка навантаження, форми імпорту та блоку рекомендацій. Така структура відповідає логіці попереднього проєктування, де система вже поділена на джерело даних, підготовку, аналітику, рекомендаційний модуль і користувацький інтерфейс.

На рисунку 3.1 подано структуру сформованого середовища реалізації програмного засобу, у якій показано основні технологічні компоненти, зв'язок між серверною частиною, базою даних, модулем аналітики та вебінтерфейсом адміністратора.



Рисунок 3.1 – Структура середовища реалізації програмного засобу

У поданій структурі робота системи починається з підготовленого MRTG-файлу або модельного набору трафікових даних. Цей файл надходить до модуля імпорту, де виконано перевірку структури записів, наявності часових позначок, ідентифікаторів PON-портів і значень downstream- та upstream-трафіку. Після цього коректні дані передаються до серверної частини, яка зберігає їх у базі

даних і запускає подальшу обробку. Якщо файл містить пропуски або некоректні значення, система не приховує цю проблему, а формує службове повідомлення для користувача. Це забезпечує контроль якості даних ще до етапу аналітичних розрахунків.

У серверному середовищі реалізовано логіку підготовки статистики до аналізу. Значення трафіку приведено до єдиного формату, записи згруповано за PON-портами, а часові проміжки синхронізовано для коректного порівняння сегментів. Після цього аналітичний модуль розраховує середнє навантаження, пікові значення, частку часу з високим використанням каналу та узагальнений статус сегмента. Така обробка дозволяє перейти від сирих MRTG-значень до підготовлених показників, які вже мають практичний зміст для адміністратора мережі.

Модуль рекомендацій у сформованому середовищі працює після завершення аналітичного етапу. Він отримує інформацію про перевантажені й резервні PON-порти, а також дані про умовні абонентські групи. На основі цих даних модуль перевіряє можливість перенесення частини навантаження з проблемного сегмента на менш завантажений. У результаті формується рекомендаційний запис, у якому зазначено вихідний порт, резервний порт, очікувану зміну навантаження та пояснення запропонованого варіанта. Такий результат зберігається в базі даних і стає доступним для перегляду через вебінтерфейс.

Під час формування середовища реалізації передбачено роботу з модельними даними. Це важливо через те, що доступ до реального OLT або робочого MRTG-сервера не завжди можливий під час виконання кваліфікаційної роботи. Модельний набір даних імітує кілька PON-портів із різним характером навантаження: нормальним, підвищеним, перевантаженим і резервним. Завдяки цьому перевірено не тільки технічний запуск системи, а й здатність аналітичного модуля правильно реагувати на різні сценарії. У разі підключення реальних

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

MRTG-файлів програмний засіб використовує ту саму логіку імпорту та обробки.

Важливим елементом середовища стала підготовка структури каталогів проєкту. У каталозі backend розміщено серверні файли, модулі обробки, моделі даних і маршрути API. У каталозі frontend розміщено компоненти інтерфейсу, сторінки, стилі та засоби побудови графіків. Окремий каталог data призначено для модельних MRTG-файлів і тимчасових імпортованих наборів. Каталог database містить файл SQLite-бази, а каталог reports може використовуватися для збереження результатів аналізу або тестових звітів. Така організація забезпечила зрозумілу структуру програмного засобу та полегшила подальше розширення системи.

Для контролю працездатності середовища виконано початкову перевірку запуску основних компонентів. Серверна частина успішно приймає тестовий файл, база даних створює потрібні таблиці, аналітичний модуль виконує розрахунок показників, а інтерфейс відображає отримані результати. Це підтверджує, що сформоване середовище є придатним для подальшої реалізації функціональних модулів. Початкове тестування не замінює повну перевірку системи, але дозволяє переконатися, що технологічна основа працює правильно та готова до наповнення прикладною логікою.

3.2 Реалізація модуля завантаження та обробки MRTG-даних

Модуль завантаження та обробки MRTG-даних реалізовано як одну з ключових частин програмного засобу, оскільки саме він забезпечує перехід від зовнішньої статистики моніторингу до внутрішнього набору даних, придатного для подальшого аналізу завантаження PON-сегментів. У попередньому підрозділі сформовано середовище реалізації, а в цьому підрозділі показано практичну логіку роботи з файлами трафіку, перевіркою структури записів, очищенням помилкових значень, збереженням результатів у базі даних та

підготовкою показників для аналітичного модуля. Основний акцент зроблено на тому, щоб система могла працювати як із даними, отриманими з MRTG, так і з модельними наборами, які імітують роботу кількох PON-портів.

Реалізацію модуля побудовано з урахуванням того, що MRTG-статистика може надходити у вигляді підготовленого файлу з часовими значеннями трафіку. У межах програмного засобу використано табличний формат, у якому кожен рядок відповідає одному вимірюванню для конкретного PON-порту. Такий формат обрано через простоту перевірки та зручність подальшого опрацювання. У файлі передбачено поля для часової позначки, назви або ідентифікатора порту, значення downstream-трафіку, значення upstream-трафіку та службового параметра, який вказує на джерело запису. Завдяки цьому модуль не залежить від конкретного вигляду MRTG-графіка, а працює з числовими даними, які можна отримати після експорту або попередньої підготовки статистики.

На першому етапі реалізовано приймання файлу через інтерфейс користувача. Адміністратор відкриває сторінку імпорту, вибирає підготовлений файл і запускає його завантаження. Після цього frontend передає файл до серверної частини через API-запит. На стороні backend сформовано окремий маршрут, який приймає файл, перевіряє його тип, зчитує вміст і передає дані до модуля первинної обробки.

У серверній частині реалізовано перевірку структури вхідного набору. Модуль встановлює, чи присутні обов'язкові поля, чи коректно вказано часові позначки, чи можна перетворити значення трафіку в числовий формат, а також чи всі записи мають прив'язку до певного PON-порту. Якщо хоча б одне з обов'язкових полів відсутнє, файл не передається на наступний етап, а система формує повідомлення про некоректну структуру. Це запобігає ситуації, коли неповний або випадково пошкоджений файл потрапляє до аналітичного модуля та спотворює результати оцінювання завантаження.

Після перевірки структури виконано очищення значень. У реальних MRTG-даних можуть траплятися пропуски, повторні часові записи, нульові

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

значення після недоступності обладнання, а також різкі стрибки, що виникають через перезапуск лічильника або неправильне зчитування статистики. У модулі передбачено відокремлення таких записів від основного масиву. Некоректні значення не видаляються безслідно, а позначаються службовим статусом, щоб адміністратор міг побачити, що в певному періоді статистика була неповною або сумнівною. Такий підхід підвищує прозорість роботи системи та дає змогу не сприймати відсутність даних як реальне зниження навантаження.

Окремо реалізовано приведення значень трафіку до єдиних одиниць вимірювання. Оскільки статистика може подаватися в бітах за секунду, кілобітах за секунду або мегабітах за секунду, модуль перетворює всі показники до Мбіт/с. Це зроблено для того, щоб подальші розрахунки середнього, максимального та відносного завантаження виконувалися в єдиній шкалі. Без такого перетворення система могла б некоректно порівняти порти між собою, особливо якщо частина значень надходить із різних джерел або підготовлена вручну для тестування. Після нормалізації всі записи мають однакову структуру та можуть бути передані до бази даних.

У процесі обробки також виконано групування записів за PON-портами. Для кожного порту формується власний часовий ряд downstream- і upstream-навантаження. Це важливо, оскільки подальший аналіз виконується не для всієї мережі одним загальним показником, а для кожного сегмента окремо. Якщо дані не згрупувати, система не зможе визначити, який саме порт перевантажено, а який має резерв. У реалізованому модулі кожен запис отримує зв'язок із відповідним портом у базі даних. Якщо порт ще не створено, система додає його до довідника або позначає як новий сегмент, який потребує підтвердження адміністратором.

На рисунку 3.2 подано послідовність роботи модуля завантаження та обробки MRTG-даних, у якій показано шлях проходження файлу від інтерфейсу імпорту до бази даних і аналітичного модуля.

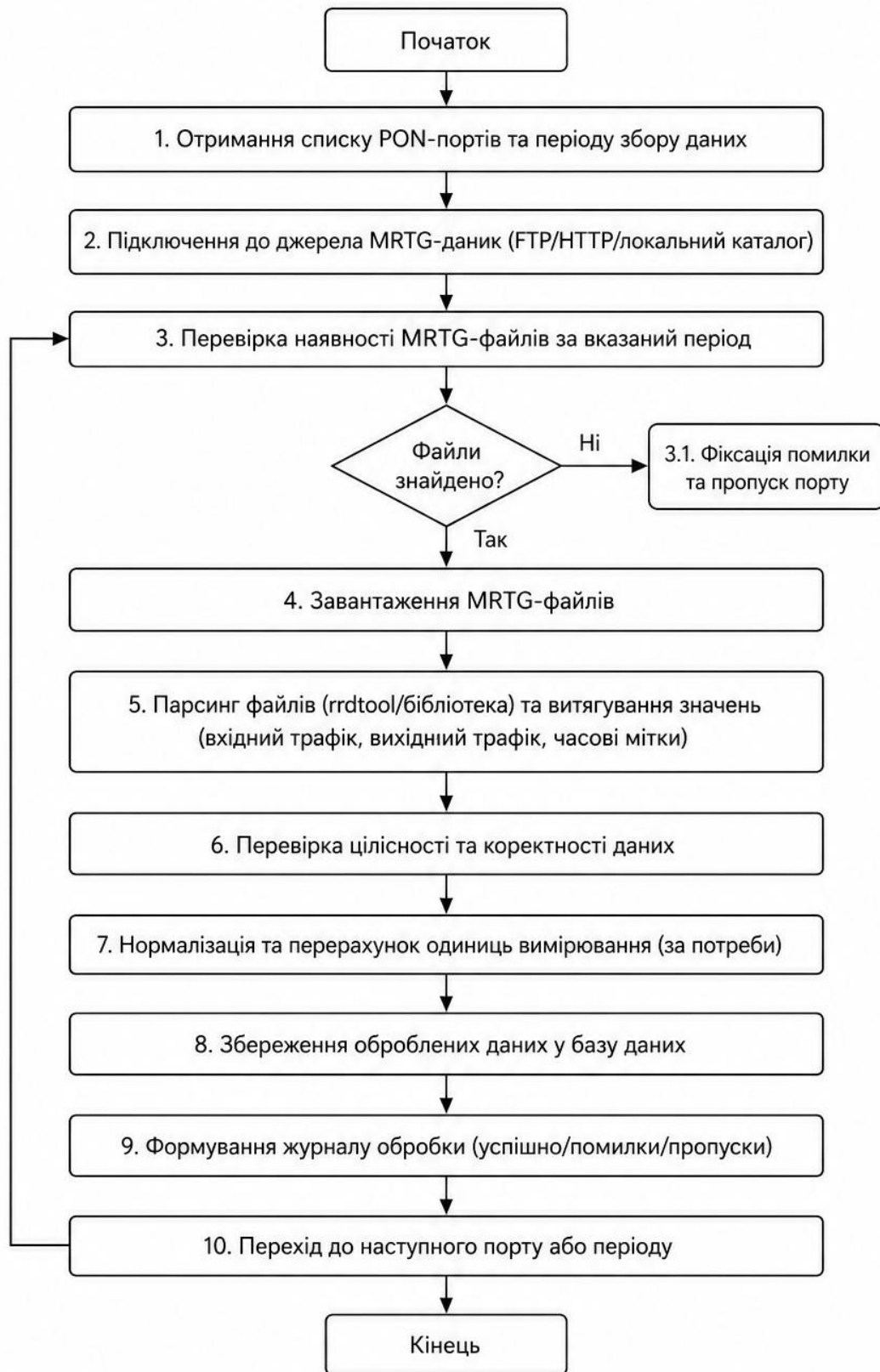


Рисунок 3.2 – Послідовність роботи модуля завантаження та обробки MRTG-даних

Подана на рисунку послідовність починається з вибору файлу адміністратором. Далі файл передається на сервер, де виконується перевірка формату. Якщо формат не відповідає вимогам, система повертає повідомлення про помилку та не запускає подальше опрацювання. Якщо структура правильна, дані проходять очищення, нормалізацію, групування за портами та збереження у базі даних. Після цього сервер запускає попередній розрахунок базових показників і передає статус імпорту в інтерфейс. Така логіка дозволяє одразу після завантаження побачити, скільки записів прийнято, скільки відхилено і які порти додано до системи.

Для збереження результатів імпорту використано таблицю трафікових вимірювань. У ній для кожного запису збережено ідентифікатор порту, часову позначку, downstream-значення, upstream-значення, одиницю вимірювання після нормалізації та статус коректності. Така структура дозволяє в подальшому не повертатися до вихідного файлу, а працювати вже з даними, що перебувають у внутрішньому сховищі системи. Крім цього, у базі збережено службову інформацію про сам імпорт: назву файлу, час завантаження, кількість оброблених записів, кількість пропущених рядків і загальний результат перевірки.

Під час реалізації модуля враховано потребу в повторному імпорті даних. Якщо адміністратор завантажує файл за новий період, система додає нові записи до вже наявної історії. Якщо файл містить записи з такими самими часовими позначками та портами, модуль не створює дублікати, а перевіряє, чи збігаються значення. У разі повного збігу запис пропускається, а в разі різниці позначається як такий, що потребує уточнення. Це допомагає уникнути накопичення однакових даних у базі та підтримує чистоту статистики під час багаторазового тестування.

Окрему увагу приділено синхронізації часових проміжків. Після завантаження даних модуль визначає мінімальний і максимальний час для кожного PON-порту та перевіряє, чи всі сегменти мають достатню кількість

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

записів у вибраному інтервалі. Якщо певний порт має неповний набір значень, система не приховує це, а позначає його стан у службовій таблиці. Надалі аналітичний модуль враховує цю ознаку й не використовує неповний порт як резервний без додаткової перевірки. Це особливо важливо для теми розподілу абонентів, оскільки хибно вільний порт може з'явитися саме через відсутність статистики, а не через справжній запас ресурсу.

Для реалізації логіки обробки використано функції читання табличних даних, перетворення типів, перевірки діапазонів і формування службових повідомлень. У програмному коді окремо виділено функцію зчитування файлу, функцію перевірки обов'язкових колонок, функцію нормалізації трафіку та функцію запису до бази даних. Такий поділ спростив подальше налагодження, оскільки помилка на будь-якому етапі може бути локалізована в конкретному блоці. Наприклад, якщо файл успішно зчитується, але не проходить нормалізацію, причина шукається саме в перетворенні значень, а не в усьому модулі одразу.

У межах реалізації передбачено обробку помилок. Якщо файл має неправильне кодування, порожні рядки, відсутні поля або некоректні числові значення, система не завершує роботу аварійно, а формує зрозуміле повідомлення. Для адміністратора це важливо, оскільки він має отримати пояснення, що саме потрібно перевірити у файлі. Наприклад, система може повідомити, що відсутня колонка з upstream-трафіком або що частина значень не може бути перетворена на число. Це робить модуль придатним для практичного використання, а не лише для демонстрації на тестовому наборі.

Після успішного імпорту модуль формує короткий підсумок. У ньому вказано кількість знайдених PON-портів, загальну кількість записів, кількість прийнятих рядків, кількість відхилених значень і часовий діапазон статистики. Цей підсумок відображається в інтерфейсі користувача та зберігається в базі даних. Завдяки цьому адміністратор може швидко оцінити якість завантаженого

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 54
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

набору. Якщо кількість відхилених записів є значною, система не забороняє перегляд даних, але попереджає, що результати аналізу можуть бути неповними.

Практична реалізація модуля також передбачає попередню підготовку даних для графічного відображення. Після збереження значень система формує вибірки для побудови часових графіків downstream- і upstream-навантаження. Ці вибірки передаються до frontend-частини у форматі JSON. Завдяки цьому один і той самий набір даних використовується і для аналітичних розрахунків, і для візуального перегляду. Адміністратор може перевірити автоматичний висновок системи за графіком, що підвищує довіру до результату та робить роботу програмного засобу більш прозорою.

Під час тестового запуску модуля використано модельний файл, у якому задано кілька PON-портів із різним характером трафіку. Для одного порту сформовано стабільно високе вечірнє навантаження, для другого - помірний рівень, для третього - низьке завантаження з резервом, а для четвертого - короткочасний піковий сплеск. Такий набір дозволив перевірити, чи правильно модуль зчитує дані, чи зберігає зв'язок між портом і часовими значеннями, чи не плутає downstream та upstream, а також чи коректно передає підготовлені записи до аналітичного модуля.

Результати початкової перевірки показали, що реалізований модуль виконує повний цикл роботи з MRTG-даними: приймає файл, перевіряє його структуру, очищує некоректні значення, нормалізує трафік, групує записи за PON-портами, зберігає їх у базі даних і формує підсумок імпорту. Це створило основу для наступного етапу реалізації, де вже виконується аналіз завантаження PON-сегментів і визначення їхнього стану. У такому вигляді модуль виступає проміжною, але дуже важливою ланкою між зовнішнім моніторингом MRTG і внутрішньою логікою кіберфізичної системи.

3.3 Реалізація алгоритму аналізу завантаження PON-сегментів

Алгоритм аналізу завантаження PON-сегментів реалізовано як центральний обчислювальний модуль програмного засобу, оскільки саме він перетворює підготовлені MRTG-дані на практичну оцінку стану абонентської мережі. Після завантаження, перевірки та нормалізації трафікової статистики система отримує впорядкований набір значень для кожного PON-порту. На цьому етапі вже відомо, до якого сегмента належить кожен запис, у який момент часу він отриманий, які значення downstream- та upstream-трафіку зафіксовані, а також чи є запис коректним для подальшої обробки.

На основі відносних значень розраховано середнє завантаження PON-сегмента за період. Цей показник відображає типовий стан порту та дає змогу зрозуміти, наскільки активно він використовується загалом. Окремо розраховано середнє значення для downstream і upstream, а також узагальнене середнє, яке використано для підсумкової класифікації. При цьому узагальнення не замінює окремі напрями, а лише допомагає швидше визначити загальний стан сегмента. Якщо, наприклад, downstream залишається помірним, але upstream стабільно високий, система не приховує цю особливість, а показує її в деталізації порту.

Наступним етапом реалізовано визначення пікових значень. Для кожного сегмента система знаходить максимальне downstream- і upstream-завантаження в межах вибраного періоду. Ці значення потрібні для розуміння того, наскільки близько порт наближався до критичного стану. Проте максимум не використано як єдиний критерій, оскільки одиничний пік може мати випадковий характер. Саме тому разом із піком обчислено кількість часових інтервалів, у яких завантаження перевищувало задані порогові рівні. Такий підхід дозволяє оцінити не тільки висоту піка, а й тривалість перебування сегмента в напруженому режимі.

У програмному модулі задано кілька порогових рівнів для класифікації стану. Нормальним вважається режим, за якого порт має достатній запас

пропускної здатності, а перевищення високих порогів або відсутнє, або виникає рідко. Підвищене завантаження фіксується тоді, коли середні значення вже наближаються до верхньої межі нормального режиму або коли високі значення повторюються протягом помітної частини періоду. Перевантаження визначається у випадку, коли порт тривалий час перебуває у зоні високого використання ресурсу або суттєво відрізняється від інших сегментів у групі. Таку класифікацію реалізовано для того, щоб адміністратор бачив не лише числа, а й зрозумілий стан кожного PON-порту.

На рисунку 3.3 подано послідовність реалізованого алгоритму аналізу завантаження PON-сегментів, у якій показано шлях від вибору підготовлених MRTG-даних до розрахунку показників, класифікації портів і передавання результатів у модуль рекомендацій.

У поданій послідовності першим кроком виступає вибір періоду аналізу. Після цього система отримує дані з бази, перевіряє їх повноту, групує значення за PON-портами та виконує нормування трафіку. Далі для кожного сегмента розраховано середні, максимальні та порогові показники. На основі цих значень сформовано статус порту: нормальний, навантажений, перевантажений, резервний або неповний для аналізу. Після класифікації результати зберігаються в базі даних і передаються до інтерфейсу адміністратора. Якщо виявлено перевантажений і резервний сегменти, ці дані додатково передаються до модуля формування рекомендацій.

Особливістю реалізації стало врахування одночасно двох напрямів трафіку. У багатьох випадках основну увагу приділяють downstream, оскільки домашні абоненти часто більше завантажують мережу саме в низхідному напрямі. Проте для PON-сегментів висхідний напрям також може бути критичним. Наприклад, група камер відеоспостереження або бізнес-абоненти можуть створювати стабільний upstream-трафік, який впливає на роботу всієї гілки. Тому в алгоритмі реалізовано окреме порівняння обох напрямів і формування загального статусу з урахуванням найбільш напруженого з них.

Якщо один напрям нормальний, а другий перевантажений, підсумковий статус сегмента не знижується до нормального.

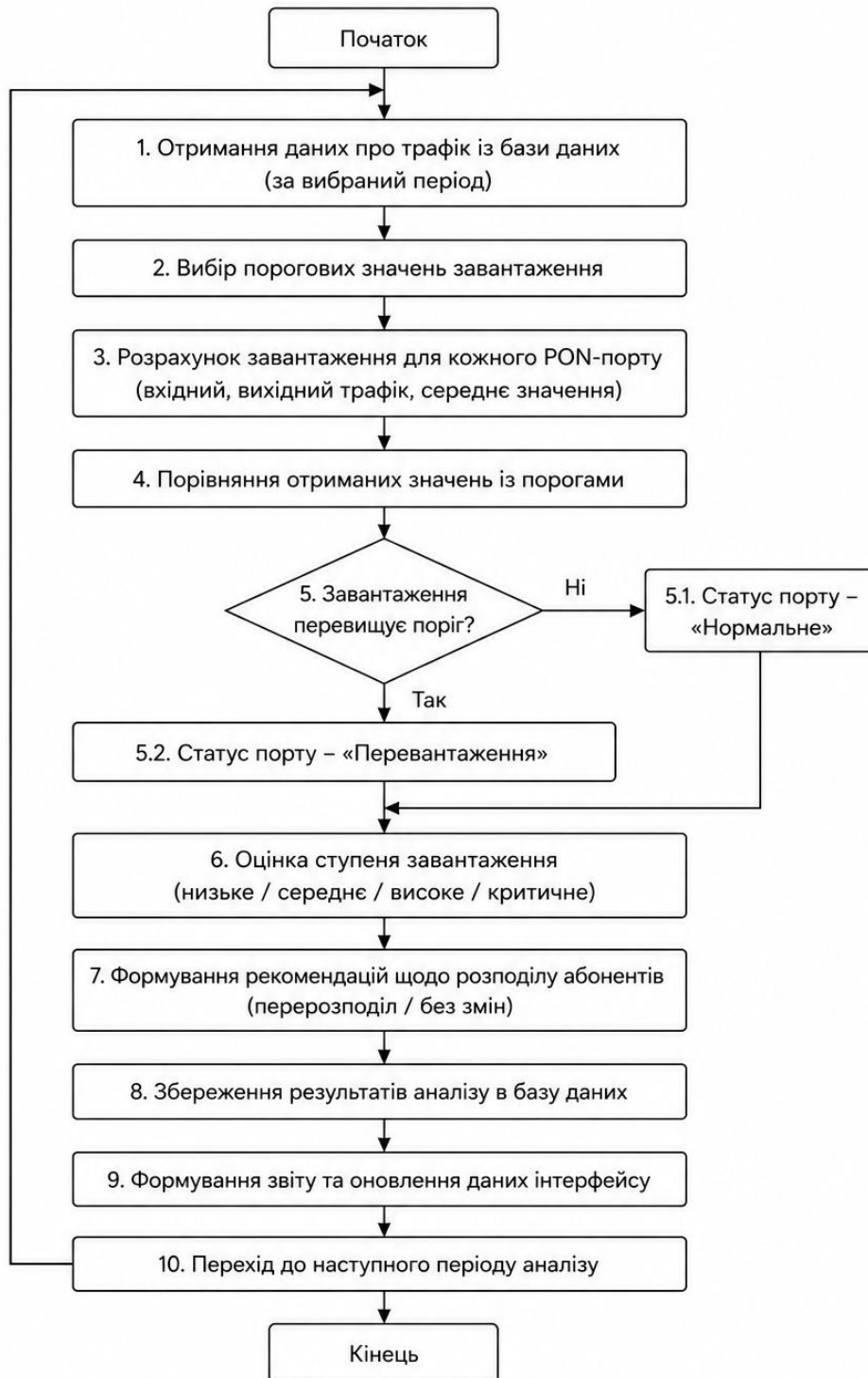


Рисунок 3.3 – Послідовність роботи алгоритму аналізу завантаження PON-сегментів

Для визначення резервних сегментів використано обернену логіку. Порт вважається резервним лише тоді, коли він має повні дані, низьке або помірне середнє завантаження, не демонструє повторюваних піків і має достатній запас пропускної здатності. При цьому короткий період низького навантаження не вважається достатньою підставою для позначення порту як резервного. Система перевіряє стабільність такого стану в межах обраного інтервалу. Це важливо, оскільки резервний сегмент у подальшому може бути запропонований для прийняття частини абонентського навантаження, тому його стан повинен бути підтверджений статистикою.

Після розрахунку індивідуальних показників виконано порівняння PON-сегментів між собою.

Для групи портів визначено середній рівень завантаження, після чого кожен порт порівняно з цим рівнем. Якщо певний сегмент має значно вищі показники, ніж більшість інших, він отримує підвищений пріоритет у списку проблемних.

Якщо ж порт має помітно нижче навантаження, він може бути внесений до списку резервних. Такий підхід дозволяє виявляти не лише абсолютне перевантаження, а й нерівномірність розподілу ресурсу в межах однієї PON-інфраструктури.

У процесі реалізації також враховано обмеження щодо якості даних. Якщо порт має неповну статистику, алгоритм не включає його до списку резервних, навіть якщо наявні значення показують низький трафік. Якщо для перевантаженого порту бракує частини даних, система формує обережний висновок і позначає результат як такий, що потребує уточнення. Це дозволяє уникнути надто впевнених рішень на слабкій інформаційній основі. Для теми кваліфікаційної роботи така перевірка є важливою, оскільки MRTG-дані можуть бути отримані з різних джерел і не завжди мають однакову якість.

3.4 Реалізація інтерфейсу моніторингу та перегляду рекомендацій

Інтерфейс моніторингу та перегляду рекомендацій реалізовано як верхній рівень взаємодії адміністратора з кіберфізичною системою розподілу абонентів у мережі PON. Якщо попередні модулі відповідають за завантаження MRTG-даних, їх перевірку, нормалізацію, розрахунок показників і визначення стану PON-сегментів, то інтерфейс забезпечує зрозуміле подання цих результатів. Його сформовано не як звичайну сторінку з набором технічних чисел, а як панель керування, у якій адміністратор бачить загальний стан мережі, проблемні порти, резервні сегменти, графіки трафіку та сформовані рекомендації щодо можливого перерозподілу абонентського навантаження.

Основною вимогою до інтерфейсу стала зручність сприйняття інформації. MRTG-графіки самі по собі надають корисну статистику, але в реальній мережі адміністратору доводиться переглядати багато сторінок, порівнювати порти вручну та самотійно робити висновок про те, де навантаження є критичним. У реалізованому програмному засобі цей процес спрощено. Система вже має результати аналітичного модуля, тому інтерфейс відображає не лише часові ряди трафіку, а й готову оцінку: нормальний стан, підвищене завантаження, перевантаження, резерв або неповні дані. Це дозволяє швидко зорієнтуватися в поточній ситуації та перейти до детального перегляду конкретного PON-порту.

Інтерфейс побудовано у вигляді кількох логічних сторінок. Головна сторінка виконує роль панелі моніторингу, де подано узагальнений стан PON-мережі. Сторінка імпорту використана для завантаження підготовлених MRTG-даних і перегляду результату перевірки файлу.

Головну сторінку реалізовано як інформаційну панель, яка відкривається після запуску вебзастосунку. У верхній частині розміщено короткі картки стану, де показано кількість PON-сегментів у кожній категорії. Окремо відображено кількість нормальних портів, навантажених портів, перевантажених сегментів, резервних напрямів і портів із неповними даними. Такі картки дають змогу

отримати загальне уявлення про стан мережі без потреби одразу відкривати таблиці або графіки. Якщо система виявляє перевантажений сегмент, відповідна картка одразу привертає увагу адміністратора до проблемної ділянки.

У центральній частині головної сторінки реалізовано таблицю PON-портів. У ній для кожного сегмента подано назву порту, середнє downstream-завантаження, середнє upstream-завантаження, максимальне зафіксоване навантаження, частку часу з перевищенням порога, узагальнений коефіцієнт завантаженості та статус. Така таблиця дозволяє порівнювати порти між собою в одному місці. Адміністратору не потрібно відкривати окремий графік для кожного сегмента, щоб зрозуміти, який порт має найбільше навантаження. У таблиці також передбачено сортування за рівнем завантаження, тому найбільш проблемні сегменти можуть бути показані першими.

Для кожного статусу використано зрозуміле текстове позначення. Наприклад, порт із низьким стабільним навантаженням позначено як резервний, порт із помірним використанням ресурсу - як нормальний, порт із повторюваними високими значеннями - як навантажений, а порт із тривалим перевищенням порогу - як перевантажений. Якщо дані за портом неповні, інтерфейс не показує його як вільний або резервний, а позначає окремим службовим статусом. Це важливо, оскільки відсутність статистики не повинна сприйматися як реальний запас пропускної здатності.

На рисунку 3.4 подано структуру реалізованого інтерфейсу моніторингу та перегляду рекомендацій, у якій показано зв'язок між головною панеллю, сторінкою імпорту, деталізацією PON-порту, блоком графіків і сторінкою рекомендацій.

У поданій структурі головна панель виступає центральною точкою доступу до всіх результатів системи. З неї адміністратор переходить до імпорту MRTG-даних, детального перегляду конкретного PON-порту або сторінки рекомендацій. Така логіка відповідає реальному сценарію роботи: спочатку переглядається загальний стан мережі, після цього відкривається проблемний

сегмент, а далі аналізується запропонований варіант розподілу абонентів. Інтерфейс не перевантажено зайвими діями, тому основний маршрут роботи залишається коротким і зрозумілим.

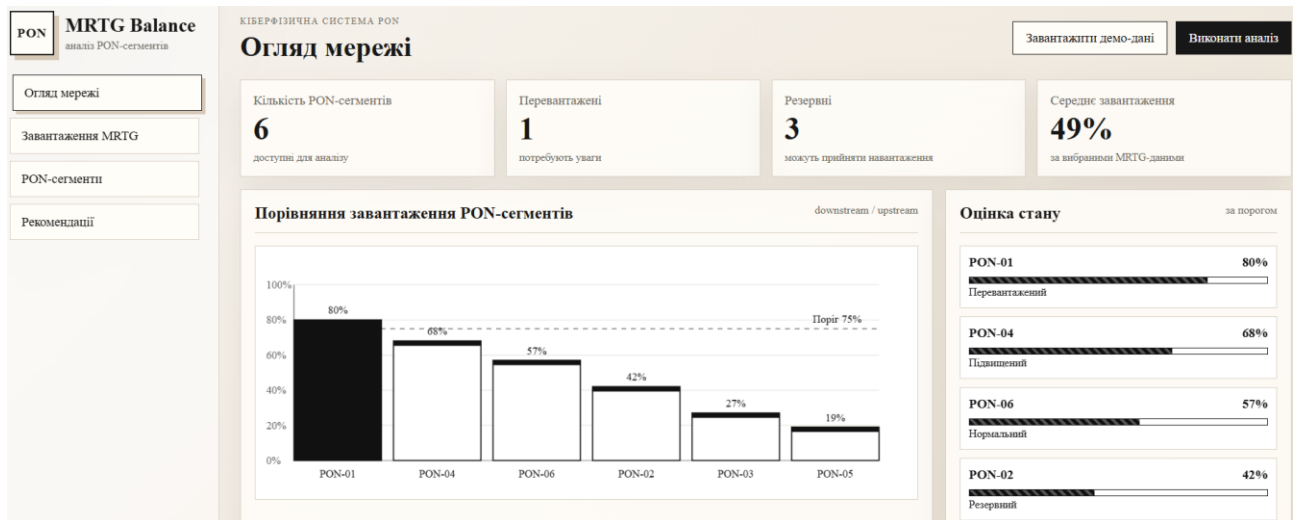


Рисунок 3.4 – Структура інтерфейсу моніторингу та перегляду рекомендацій

Сторінку імпорту реалізовано для завантаження файлів із MRTG-статистикою або модельними даними. На цій сторінці розміщено форму вибору файлу, кнопку запуску імпорту та блок повідомлень про результат обробки. Після завантаження система показує кількість прочитаних записів, кількість прийнятих значень, кількість відхилених рядків, знайдені PON-порти та часовий діапазон даних. Якщо файл має неправильну структуру, користувачу виводиться повідомлення про помилку.

Сторінку деталізації PON-порту реалізовано для глибшого перегляду окремого сегмента. На ній розміщено назву порту, технічну пропускну здатність, підсумковий статус, середнє та пікове навантаження, а також часовий графік. Графік відображає downstream- і upstream-трафік окремими лініями, що дозволяє побачити різницю між низхідним і висхідним напрямками. Якщо порт позначено як перевантажений, на графіку видно, чи це пов'язано з тривалим високим навантаженням, чи з повторюваними піками у певний період. Такий перегляд допомагає перевірити обґрунтованість автоматичного висновку системи.

Окремий блок на сторінці порту відображає розраховані показники. У ньому подано середнє завантаження, максимальне значення, кількість інтервалів із перевищенням порога, частку часу в зоні високого навантаження та узагальнений коефіцієнт. Поруч із цими показниками виведено коротке пояснення статусу. Наприклад, якщо порт отримав статус перевантаженого, інтерфейс пояснює, що високі значення повторювалися протягом значної частини вибраного періоду. Це робить роботу системи більш зрозумілою, оскільки користувач бачить не тільки результат, а й причину його формування.

Сторінку рекомендацій реалізовано як підсумковий екран роботи системи. На ній відображено варіант можливого перерозподілу абонентів між PON-сегментами. У верхній частині сторінки подано короткий висновок, де вказано, який порт визначено як перевантажений і який сегмент має резерв. Далі розміщено таблицю з детальнішими даними: поточне завантаження проблемного порту, очікуване завантаження після умовного перенесення, поточне завантаження резервного порту, очікуване завантаження після прийняття частини трафіку та назва абонентської групи, яку запропоновано перенести.

У рекомендаційному блоці також подано текстове пояснення. Воно сформоване на основі результатів алгоритму й описує, чому саме цей варіант вважається прийнятним. Наприклад, система вказує, що сегмент PON-1 має стабільне підвищене навантаження у вечірній період, тоді як PON-3 має підтверджений резерв, а перенесення певної абонентської групи зменшує різницю між портами. Такий текст не замінює рішення адміністратора, але надає підготовлену основу для його прийняття. Через це рекомендація подається як аналітичний висновок, а не як автоматична команда на зміну конфігурації.

Для зручності перегляду в інтерфейсі реалізовано порівняння стану до та після умовного перерозподілу. Це подано у вигляді двох наборів значень, де окремо показано завантаження перевантаженого порту до перенесення, завантаження цього самого порту після умовного зменшення навантаження, а також стан резервного порту до і після додавання абонентської групи. Такий

підхід дозволяє швидко побачити, чи справді рекомендація покращує баланс між сегментами. Якщо після моделювання резервний порт наближається до критичного рівня, система не формує позитивний статус для такого варіанта.

У реалізованому інтерфейсі передбачено фільтрацію за періодом аналізу. Адміністратор може вибрати добовий, тижневий або інший доступний інтервал, після чого система оновлює таблицю, графіки та рекомендації. Це важливо, оскільки завантаження PON-мережі змінюється залежно від часу. Сегмент, який виглядає нормальним за середнім значенням за тиждень, може бути проблемним у вечірній період. Можливість зміни періоду дозволяє детальніше перевірити, коли саме виникає навантаження, і не робити висновок лише за надто загальним показником.

Під час реалізації інтерфейсу враховано, що система працює з рекомендаційними результатами. Тому на сторінці рекомендацій не використано кнопок, які могли б імітувати безпосереднє перепідключення абонентів або зміну конфігурації OLT. Натомість подано аналітичний висновок, очікувані значення після умовного перенесення та пояснення. Це відповідає реальним обмеженням PON-інфраструктури, де фізичні зміни потребують перевірки кабельної схеми, оптичного бюджету та монтажних можливостей. Програмний засіб виконує підготовку рішення, але остаточні дії залишаються за адміністратором.

У процесі перевірки інтерфейсу використано модельні дані, які містять кілька PON-сегментів із різним характером навантаження. Після імпорту цих даних головна панель коректно відобразила кількість сегментів за статусами, таблиця показала розраховані показники, сторінка порту відобразила графік downstream- і upstream-трафіку, а сторінка рекомендацій сформувала варіант перенесення абонентської групи з перевантаженого порту на резервний. Це підтвердило, що інтерфейс правильно отримує дані від серверної частини та подає результати в узгодженому вигляді.

3.5 Висновки до третього розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано практичну реалізацію кіберфізичної системи розподілу абонентів у мережі PON на основі аналізу MRTG-даних. На відміну від попереднього розділу, де сформовано архітектуру, модель підготовки даних, метод визначення завантаження та алгоритм розподілу абонентів, у цьому розділі показано вже реалізовану програмну частину. Основну увагу зосереджено на створенні робочого середовища, розробленні модуля завантаження трафікової статистики, реалізації аналітичного алгоритму та формуванні вебінтерфейсу, через який адміністратор отримує результати моніторингу й рекомендації щодо можливого перерозподілу навантаження.

Середовище реалізації сформовано у вигляді локального вебзастосунку з поділом на серверну частину, базу даних і клієнтський інтерфейс. Серверну частину побудовано на основі Python і FastAPI, що забезпечило приймання файлів, обробку запитів, запуск аналітичної логіки та передавання результатів у форматі JSON. Для збереження інформації використано SQLite, оскільки така база даних не потребує окремого серверного розгортання і достатньо добре підходить для демонстрації роботи програмно-технічного засобу.

Реалізований модуль завантаження та обробки MRTG-даних забезпечив приймання підготовлених файлів трафіку, перевірку їхньої структури, очищення некоректних записів, нормалізацію одиниць вимірювання та групування значень за PON-портами. У модулі передбачено контроль обов'язкових полів, перевірку часових позначок, виявлення пропусків і відокремлення сумнівних значень, які можуть виникати через помилки збору статистики або перезапуск лічильників. Це дозволило підготувати дані до подальшого аналізу без ручного виправлення таблиць і зменшило ризик появи хибних висновків через неповну або пошкоджену статистику.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розв'язано прикладну задачу створення кіберфізичної системи розподілу абонентів у мережі PON на основі аналізу MRTG-даних. У межах роботи сформовано програмно-технічний засіб, який поєднує фізичну інфраструктуру пасивної оптичної мережі з програмною логікою збору, підготовки, аналізу та візуального подання трафікової статистики. Отриманий результат дозволяє використовувати дані мережевого моніторингу не лише для перегляду графіків, а й для визначення завантажених, перевантажених і резервних PON-сегментів.

У першому розділі розглянуто предметну область, пов'язану з побудовою та експлуатацією PON-мереж. Показано, що пасивна оптична мережа має спільне середовище передавання для групи абонентів, а один порт OLT може обслуговувати значну кількість ONU або ONT через пасивні оптичні розгалужувачі.

У другому розділі сформовано проєктні рішення для кіберфізичної системи. Розроблено загальну архітектуру, у якій виділено фізичну частину PON-мережі, сервер MRTG, модуль імпорту даних, базу даних, аналітичний модуль, модуль формування рекомендацій і вебінтерфейс адміністратора. Така структура дала змогу розділити систему на зрозумілі функціональні частини та встановити послідовність передавання даних від мережевого обладнання до кінцевого аналітичного висновку.

У третьому розділі виконано практичну реалізацію системи. Середовище реалізації сформовано як локальний вебзастосунок із серверною частиною на Python і FastAPI, базою даних SQLite та клієнтським інтерфейсом адміністратора. Реалізовано модуль завантаження та обробки MRTG-даних, який приймає підготовлений файл, перевіряє його структуру, очищує помилкові записи, нормалізує значення трафіку, групує їх за PON-портами та зберігає у базі

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

даних. Завдяки цьому система отримує впорядкований набір даних для подальшого аналізу.

Реалізовано алгоритм аналізу завантаження PON-сегментів. Програмний модуль вибирає дані за періодом, перевіряє їхню повноту, розраховує відносне завантаження, середні й максимальні значення, тривалість перебування порту в зоні високого навантаження та підсумковий статус сегмента. Результати зберігаються в базі даних і використовуються для подальшого формування рекомендацій. Реалізований підхід дозволяє не реагувати надмірно на одиничні піки, а виявляти саме стабільні проблемні сегменти, які потребують уваги адміністратора.

Працездатність програмного засобу перевірено на модельних наборах даних, які імітують різні сценарії роботи PON-мережі. Система коректно обробляє рівномірне навантаження, стабільне перевантаження одного порту, короточасний піковий сплеск, наявність резервного сегмента та неповну статистику. У випадку неповних даних порт не позначається як резервний без достатнього підтвердження, що зменшує ризик хибних висновків. Це підтверджує практичну придатність реалізованої логіки для аналізу MRTG-статистики.

У підсумку мету кваліфікаційної роботи досягнуто. Створено кіберфізичну систему, яка аналізує MRTG-дані, визначає завантаженість PON-сегментів, виявляє нерівномірність використання мережевих ресурсів і формує рекомендаційний варіант розподілу абонентів. Розроблений програмно-технічний засіб не виконує фізичного перепідключення абонентів автоматично, однак надає адміністратору підготовлену аналітичну основу для прийняття технічного рішення. Це дозволяє скоротити час ручного перегляду графіків, підвищити обґрунтованість оцінювання стану PON-мережі та створити основу для подальшого розвитку системи в напрямі прогнозування навантаження, інтеграції з реальним OLT та розширення механізмів керування абонентськими сегментами.

					КвРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ITU-T G.984.2. Gigabit-Capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification. International Telecommunication Union. 2019. URL: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14000> (дата звернення: 30.05.2026).
2. ITU-T G.984.3. Gigabit-Capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission Convergence Layer Specification. Amendment 1. International Telecommunication Union. 2020. URL: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?lang=en&rec=14189> (дата звернення: 30.05.2026).
3. ITU-T G.9807.1. 10-Gigabit-Capable Symmetric Passive Optical Network (XGS-PON). International Telecommunication Union. 2023. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9807.1> (дата звернення: 30.05.2026).
4. ITU-T G.9804.1. Higher Speed Passive Optical Networks - Requirements. Amendment 2. International Telecommunication Union. 2024. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9804.1> (дата звернення: 30.05.2026).
5. Broadband Forum. TR-385 Issue 3: YANG Modules for PON Management. *Broadband Forum Technical Library*. 2024. URL: <https://www.broadband-forum.org/technical-library> (дата звернення: 30.05.2026).
6. Broadband Forum. ITU-T PON YANG Modules. *Broadband Forum YANG Repository*. 2026. URL: <https://github.com/BroadbandForum/yang> (дата звернення: 30.05.2026).
7. Broadband Forum. bbf-xpon-if-type YANG Module. *Netconf Central*. 2020. URL: <https://www.netconfcentral.org/modules/bbf-xpon-if-type/2020-10-13> (дата звернення: 30.05.2026).
8. IEEE Standards Association. IEEE Std 802.3ca-2020: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 25 Gb/s and 50 Gb/s Passive Optical Networks. IEEE Standards Association. 2020. URL: <https://standards.ieee.org/ieee/802.3ca/7460/> (дата звернення: 30.05.2026).

					КВРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. IEEE Standards Association. IEEE Std 802.3-2022: Ethernet. IEEE Standards Association. 2022. URL: <https://standards.ieee.org/ieee/802.3/10422/> (дата звернення: 30.05.2026).

10. Oetiker T. MRTG: The Multi Router Traffic Grapher. *OETIKER+PARTNER*. 2026. URL: <https://oss.oetiker.ch/mrtg/> (дата звернення: 30.05.2026).

11. Oetiker T. MRTG Documentation. *OETIKER+PARTNER*. 2026. URL: <https://oss.oetiker.ch/mrtg/doc/> (дата звернення: 30.05.2026).

12. Oetiker T. MRTG Reference: MRTG Configuration Reference. *OETIKER+PARTNER*. 2026. URL: <https://oss.oetiker.ch/mrtg/doc/mrtg-reference.en.html> (дата звернення: 30.05.2026).

13. Oetiker T. RRDtool. *OETIKER+PARTNER*. 2026. URL: <https://oss.oetiker.ch/rrdtool/> (дата звернення: 30.05.2026).

14. Oetiker T. RRDtool Documentation. *OETIKER+PARTNER*. 2026. URL: <https://oss.oetiker.ch/rrdtool/doc/index.en.html> (дата звернення: 30.05.2026).

15. Cacti Group. Cacti Documentation. Cacti Documentation. 2026. URL: <https://docs.cacti.net/> (дата звернення: 30.05.2026).

16. Cacti Group. Principles of Operation. Cacti Documentation. 2026. URL: <https://github.com/Cacti/documentation/blob/develop/Principles-of-Operation.md> (дата звернення: 30.05.2026).

17. Cacti Group. Templates. Cacti Documentation. 2026. URL: <https://github.com/Cacti/documentation/blob/develop/Templates.md> (дата звернення: 30.05.2026).

18. Zabbix. Network Monitoring. *Zabbix*. 2026. URL: https://www.zabbix.com/network_monitoring (дата звернення: 30.05.2026).

19. Zabbix. Monitor Network Traffic with Zabbix. *Zabbix Documentation*. 2026. URL: https://www.zabbix.com/documentation/devel/en/manual/guides/monitor_traffic (дата звернення: 30.05.2026).

					КВРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 69
Зм.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

20. LibreNMS. LibreNMS Documentation. LibreNMS Docs. 2026. URL: <https://docs.librenms.org/> (дата звернення: 30.05.2026).
21. Grafana Labs. Dashboards. Grafana Documentation. 2026. URL: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/visualizations/dashboards/> (дата звернення: 30.05.2026).
22. Grafana Labs. Network Traffic Monitoring Dashboard. Grafana Dashboards. 2026. URL: <https://grafana.com/grafana/dashboards/22901-traffic-monitoring/> (дата звернення: 30.05.2026).
23. InfluxData. InfluxDB Documentation. InfluxDB Documentation. 2026. URL: <https://docs.influxdata.com/influxdb/> (дата звернення: 30.05.2026).
24. InfluxData. Telegraf Documentation. InfluxData Documentation. 2026. URL: <https://docs.influxdata.com/telegraf/v1/> (дата звернення: 30.05.2026).
25. Net-SNMP. Net-SNMP Documentation. Net-SNMP. 2026. URL: <http://www.net-snmp.org/docs/readmefiles.html> (дата звернення: 30.05.2026).
26. Voit E., Clemm A., Gonzalez Prieto A., Nilsen-Nygaard E., Tripathy A. Subscription to YANG Notifications. *RFC 8639*. 2019. DOI: 10.17487/RFC8639
27. Clemm A., Voit E., Gonzalez Prieto A., Nilsen-Nygaard E., Tripathy A. Subscription to YANG Notifications for Datastore Updates. *RFC 8641*. 2019. DOI: 10.17487/RFC8641
28. Ferreira G. O., Ravazzi C., Dabbene F., Calafiore G. C., Fiore M. Forecasting Network Traffic: A Survey and Tutorial With Open-Source Comparative Evaluation. *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. P. 6018–6044. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3236261
29. Memon K. A., Jaffer S. S., Qureshi K. K. Dynamic Bandwidth Allocation in Time Division Multiplexed Passive Optical Networks: A Dual-Standard Analysis of ITU-T and IEEE Standard Algorithms. *PeerJ Computer Science*. 2025. 2863. DOI: 10.7717/peerj-cs.2863
30. Rafiq A., Hassan S. R., Quddus A., Hussen S., Rehman A. U. A Road Towards Dynamic Bandwidth Allocation in NG-EPON: A Survey. *Journal on*

Wireless Communications and Networking. 2026. Vol. 2026. 53. DOI: 10.1186/s13638-026-02591-z

31. Mohammed A. F. Y., Lee J., Park S. Dynamic Bandwidth Slicing in Passive Optical Networks to Empower Federated Learning. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 15. 5000. DOI: 10.3390/s24155000

32. Haastrup A., Zehri M., Rincón D., Piney J. R., Bazzi A. A Distance-Weighted Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for Improved Performance in Long-Reach Passive Optical Networks for Next Generation Networks. *Photonics*. 2023. Vol. 10, No. 8. 923. DOI: 10.3390/photonics10080923

33. Xiao W., Chen Z., Liang J. Hybrid Prediction Model for Passive Optical Network Traffic Based on CEEMDAN and Machine Learning. *2022 20th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON)*. 2022. DOI: 10.1109/ICOON55511.2022.9901194

34. Yi L., Liao T., Huang L., Xue L., Li P., Hu W. Machine Learning for 100 Gb/s/λ Passive Optical Network. *Journal of Lightwave Technology*. 2019. Vol. 37, No. 6. P. 1621–1630. DOI: 10.1109/JLT.2018.2888547

35. Ab-Rahman M. S., Manaf Z. A., Kaharudin I. H., Hwang I.-S. Customer Edge Downstream Detection for Automatic Restoration Scheme in FTTH-PON Distribution Network. *Photonics*. 2022. Vol. 9, No. 8. 560. DOI: 10.3390/photonics9080560

36. Mazzei C., Caputo A., Pelagalli A., Scaffardi M. Technical–Economic Analysis to Identify the Acceptable Maximum Attenuation on PON FTTH Lines for Wholesale Network Operators. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, No. 15. 8716. DOI: 10.3390/app13158716

37. Abejide A. E. PON-FTTX Architecture and Bandwidth Analysis for Future Communication Network. *IntechOpen*. 2024. DOI: 10.5772/intechopen.112781

38. Fatahillah W. R., Wulandari A. Pengembangan Sistem Visualisasi Topologi Jaringan OLT Berbasis Website dengan Fitur Monitoring Traffic dan Deteksi

Perangkat. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*. 2025. Vol. 13, No. 3S1.

DOI: 10.23960/jitet.v13i3S1.7575

39. Rahman A., Harahap I. Design of Real-Time OLT Monitoring for GPON Network. *Journal of Science and Social Research*. 2025. URL: <https://jurnal.goretanpena.com/index.php/JSSR/article/view/5833> (дата звернення: 30.05.2026).

40. Kaur S. Real-Time Internet Congestion Detection Using Passive Network Flow Analysis. *Journal of Internet Services and Information Security*. 2025. URL: <https://jisis.org/wp-content/uploads/2025/11/2025.I4.004.pdf> (дата звернення: 30.05.2026).

41. Włodarczyk A., Chen J., Wosinska L., Furdek M. Machine Learning Assisted Provisioning of Time-Varying Traffic in Optical Networks. *Journal of Optical Communications and Networking*. 2024. URL: https://research.chalmers.se/publication/542493/file/542493_Fulltext.pdf (дата звернення: 30.05.2026).

42. Walkowiak K., Lechowicz P., Węgień W., Knapieńska A. Long-Term Traffic Forecasting in Optical Networks Using Machine Learning. *Journal of Telecommunications and Information Technology*. 2023. URL: <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-c7cf1c4b-d18b-48e7-8f9d-1248b03c2cba/c/16-4252-Walkowiak-sk1.pdf> (дата звернення: 30.05.2026).

43. Edeagu S. O. Passive Optical Network Dynamic Bandwidth Allocation Algorithms for Converged Fronthaul : PhD thesis. *University of Kent*. 2022. URL: <https://kar.kent.ac.uk/93555/> (дата звернення: 30.05.2026).

44. Li J., Shen X., Chen L., Chen J. Bandwidth Slicing to Boost Federated Learning over Passive Optical Networks. *IEEE Communications Letters*. 2020. Vol. 24, No. 7. P. 1492–1495. DOI: 10.1109/LCOMM.2020.2981816

45. Adhikari R. FTTH Planning and Implementation of Fiber Access Network. *Theseus*. 2025. URL:

					КВРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 72
Зм.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

https://www.theseus.fi/bitstream/10024/895491/2/Adhikari_Rabindra.pdf (дата звернення: 30.05.2026).

46. OpenConfig. OpenConfig Interfaces Model. *OpenConfig*. 2026. URL: <https://openconfig.net/projects/models/schemadocs/yangdoc/openconfig-interfaces.html> (дата звернення: 30.05.2026).

47. Prometheus Authors. Monitoring Linux Host Metrics with the Node Exporter. Prometheus Documentation. 2026. URL: <https://prometheus.io/docs/guides/node-exporter/> (дата звернення: 30.05.2026).

48. Paessler. MRTG for Windows and Network Traffic Monitoring. *Paessler*. 2025. URL: <https://www.paessler.com/monitoring/application/mrtg-for-windows> (дата звернення: 30.05.2026).

49. Про електронні комунікації : Закон України від 16.12.2020 р. № 1089-IX. *Законодавство України / Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20> (дата звернення: 30.05.2026).

50. Річний звіт НКЕК за 2024 рік. *Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку*. 2025. URL: <https://nkek.gov.ua/pro-nkek/zvity-nkek/richnyi-zvit-nkek-za-2024-rik> (дата звернення: 30.05.2026).

51. Приклад графіка завантаження мережевого інтерфейсу в MRTG URL: <https://oss.oetiker.ch/mrtg/>

52. Приклад відображення мережевого трафіку в системі Cacti URL: <https://www.cacti.net/>

53. Приклад панелі моніторингу мережевої інфраструктури в Zabbix URL: https://www.zabbix.com/network_monitoring

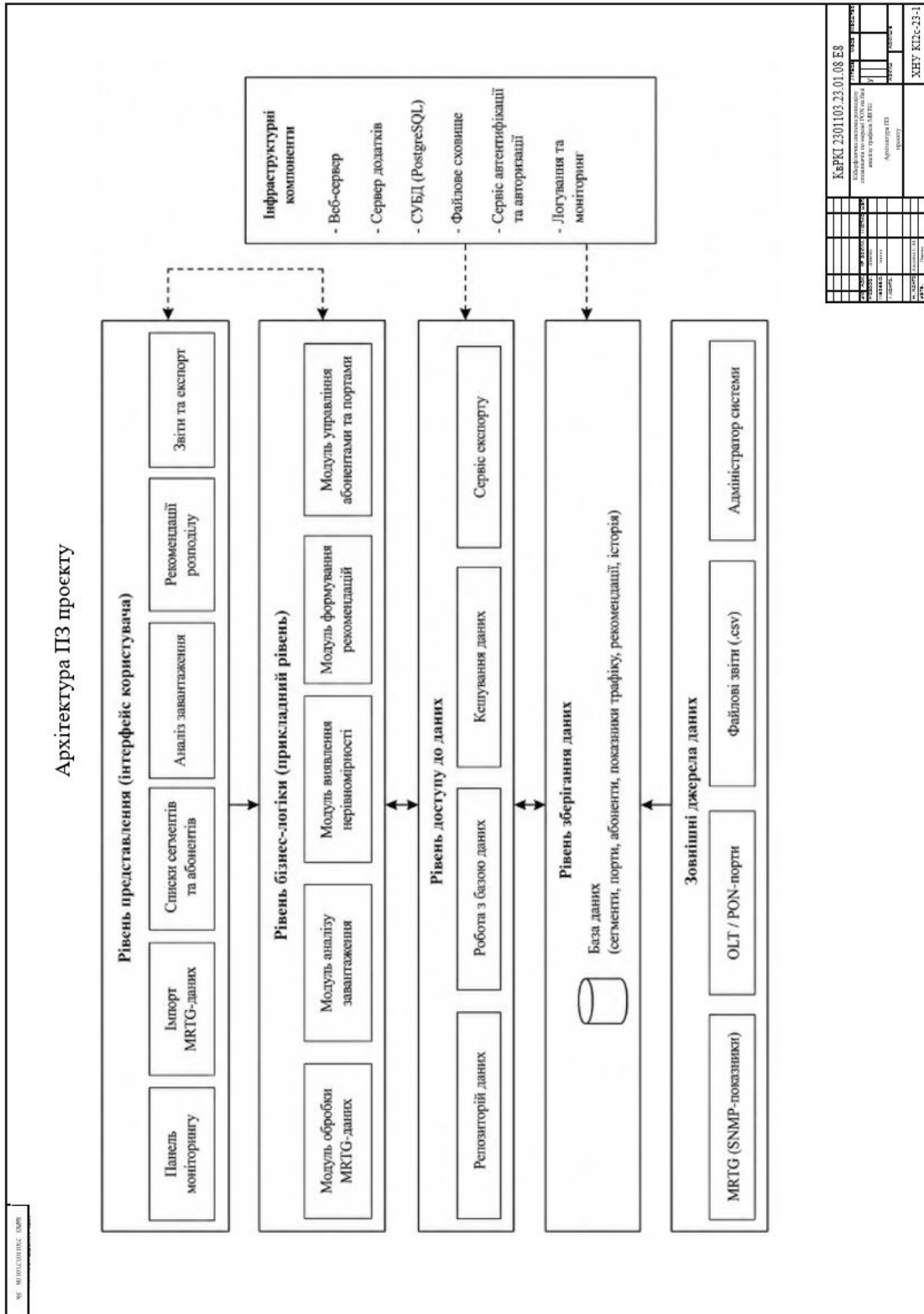
54. Приклад моніторингу мережевих пристроїв у LibreNMS URL: <https://docs.librenms.org/Extensions/Dashboards/>

Приклад комплексної панелі моніторингу мережі в PRTG Network Monitor URL: <https://www.paessler.com/prtg/features/dashboards>

					КВРКІ. 2301103.23.01.08 ПЗ	Арк. 73
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

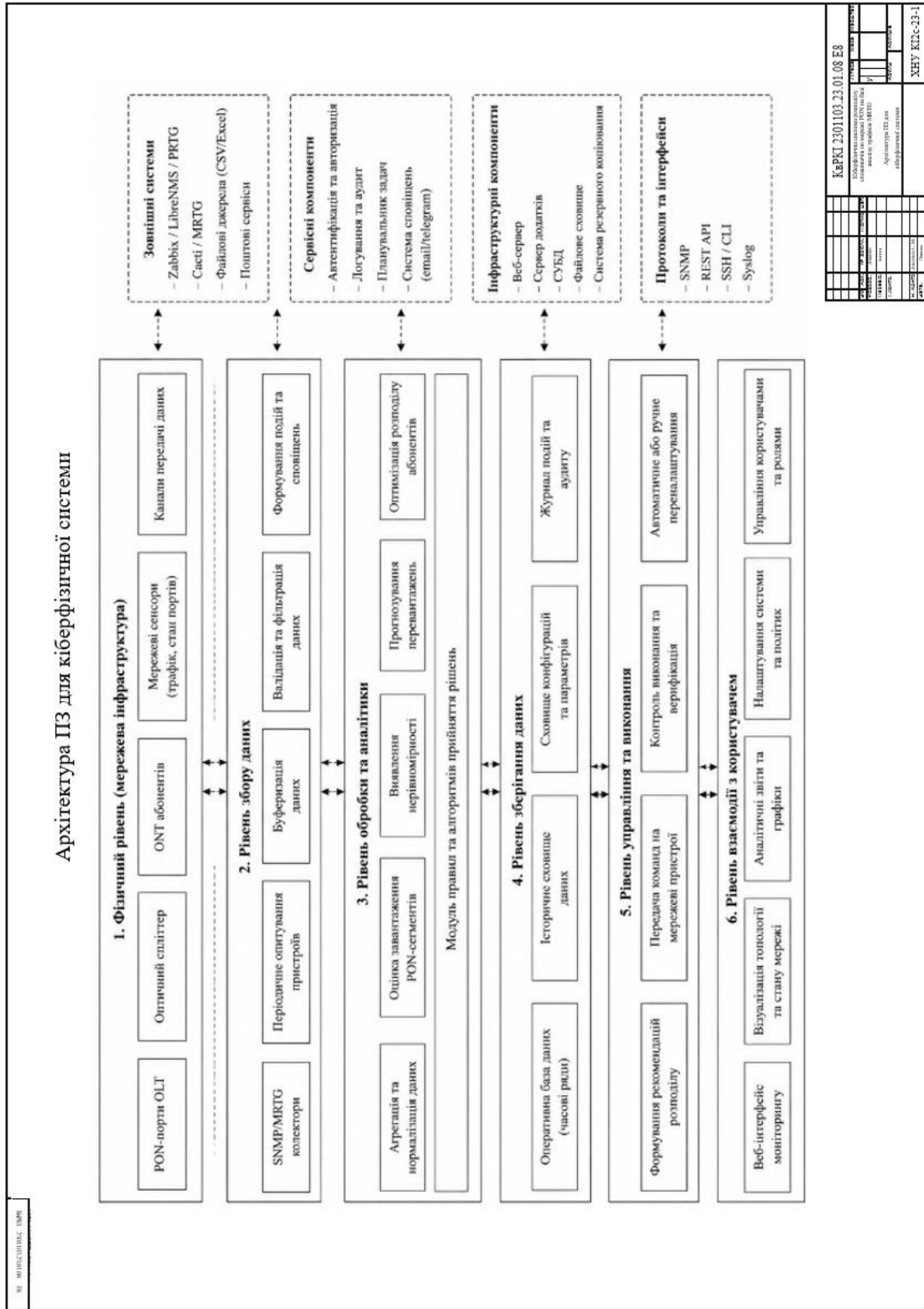
ДОДАТОК А (обов'язковий)

Копія креслення «Архітектура ПЗ проєкту»



ДОДАТОК Б (обов'язковий)

Копія креслення «Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи»



Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Олександр ДВОРЯК

Співавтор:

Назва: Кіберфізична система розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG_2

Експерт: Олексій ІВАНОВ

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 3.58%

Коефіцієнт подібності 2: 1.12%

Мікропробіли: 3

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-10 15:08:51.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-06-10

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 8%

ID: 274638 Назва: БКР_2 Кіберфізична система розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG_ Додано в БД: 2026-06-10 Автора: Олександр ДВОРЯК Керівники: Олексій ІВАНОВ Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	119690	900	2895 (2%)	36 (4%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Дворяк Олександр Богданович

Тема: Кіберфізична система розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 65

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є проєктування, реалізація та перевірка програмно-технічного засобу для аналізу MRTG-даних
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз предметної області та сформовано постановку задачі дослідження. Зокрема, розглянуто особливості побудови та функціонування пасивних оптичних мереж PON, досліджено роль абонентського трафіку як основи оцінювання завантаженості мережі, проаналізовано наявні засоби моніторингу мережевого трафіку: MRTG, Cacti, Zabbix, LibreNMS та PRTG Network Monitor; на основі цього аналізу обґрунтовано вибір MRTG як джерела первинних даних для розроблюваної системи. На основі виконаного аналізу сформовано постановку задачі щодо розроблення кіберфізичної системи розподілу споживачів у мережі PON. У другому розділі виконано проєктування кіберфізичної системи розподілу абонентів у PON-мережі. Розроблено загальну багаторівневу архітектуру системи, що поєднує фізичну PON-інфраструктуру з програмним середовищем аналітичної обробки трафіку. Сформовано модель збору та підготовки MRTG-даних, що охоплює етапи імпорту, очищення, нормалізації та групування часових показників за PON-портами. Розроблено метод визначення завантаженості PON-сегментів на

основі розрахунку середнього та максимального завантаження, частки часу з підвищеним використанням каналу та коефіцієнта нерівномірності між портами. Запропоновано алгоритм формування рекомендаційного варіанта розподілу абонентів між портами OLT з урахуванням перевантажених і резервних сегментів. Виконано проектування реляційної бази даних та інтерфейсу адміністратора. У третьому розділі здійснено програмно-апаратну реалізацію системи та її тестування. Сформовано середовище реалізації програмного засобу, реалізовано модуль завантаження та обробки MRTG-даних, алгоритм аналізу завантаження PON-сегментів, а також вебінтерфейс моніторингу та перегляду рекомендацій. Перевірку працездатності системи виконано на підготовлених наборах даних, що відображають різні сценарії роботи PON-мережі: рівномірне завантаження, перевантаження одного сегмента, короткочасний піковий сплеск та наявність резервного порту. Під час реалізації використано сучасні підходи до веброзробки та принципи модульної побудови програмного забезпечення.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: у роботі не розглянуто можливість автоматичного внесення змін до конфігурації OLT за результатами аналізу.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре (В / 86)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

*Коренюк Людмила Олександрівна, зав. кафедр. АКТР,
к. т. н., доцент*

“ ” _____ 2026 р.

 (підпис)

Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Олександр ДВОРЯК

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-23-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1 травня 2026 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

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

Назва кваліфікаційної роботи Кіберфізична система розподілу споживачів по мережі PON на базі аналізу трафіків MRTG

Автор Олександр ДВОРЯК

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: к.т.н., доцент Олексій ІВАНОВ

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 3,58%; та системою Anti-Plagiarism складає 0.0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

01.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Підпис

Підпис

Підпис

Ольга ПАВЛОВА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій Нічепорук

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Олексій ІВАНОВ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ