

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра кібербезпеки та програмного забезпечення

”Допущено до захисту”  
Завідувач кафедри кібербезпеки  
та програмного забезпечення  
д.т.н., професор  
\_\_\_\_\_ Олексій СМІРНОВ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти**  
на тему  
**“Дослідження та програмна реалізація системи побудови**  
**програмусмої мережі SDN на базі SD-WAN”**

КБПЗ - 2025

Виконав здобувач вищої освіти  
II курсу, групи КІ-24М  
ОПП «Комп’ютерна інженерія»  
спеціальності 123 «Комп’ютерна інженерія»  
\_\_\_\_\_ Рисований М.О.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник проекту  
кандидат технічних наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Дреєв О.М.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.  
Рецензент \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## АНОТАЦІЯ

**Рисований М.О. Дослідження та програмна реалізація системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN. 123 Комп'ютерна інженерія. Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2025.**

В даній випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

Об'єктом дослідження є процес побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

Предметом дослідження є методи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

Методи дослідження базуються на методах теорії побудови комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Результат роботи – програмна реалізація системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Розроблено зручний інтерфейс користувача. Наведені інструкції по роботі з програмними засобами.

Програма може використовуватися на ПЕОМ з ОС Windows 10/11.

Програму розроблено в середовищі Python.

**Ключові слова:** комп'ютерна інженерія, SDN, SD-WAN

## ABSTRACT

**Rysovanyi M.O. Research and software implementation of a programmable SDN network construction system based on SD-WAN. 123 Computer Engineering. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2025.**

In this final qualification work for the second (master's) level of higher education, software has been developed, which is intended for a programmable SDN network construction system based on SD-WAN.

The purpose of the development is the research and software implementation of a programmable SDN network construction system based on SD-WAN.

The object of the research is the process of building a programmable SDN network based on SD-WAN.

The subject of the research is the methods of building a programmable SDN network based on SD-WAN.

The research methods are based on the methods of the theory of building computer networks, methods of mathematical statistics, methods of software development.

The result of the work is a software implementation of a system for building a programmable SDN network based on SD-WAN.

In the process of working on the software model, an analysis of existing hardware and software was performed. All components of the developed software are fully described.

A convenient user interface has been developed. Instructions for working with software are provided.

The program can be used on a PC with Windows 10/11 OS.

The program was developed in the Python environment.

**Keywords:** computer engineering, SDN, SD-WAN

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ .....	3
ВСТУП.....	4
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ .....	7
1.1 Призначення системи.....	7
1.2 Область застосування.....	11
2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ .....	15
2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур та програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти.....	15
2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування.....	26
2.3 Розгорнута постановка завдання .....	31
3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ .....	33
3.1 Опис функціонування системи .....	33
3.2 Розробка структурної схеми.....	38
3.3 Розробка функціональної схеми .....	42
3.4 Розробка діаграми процесів.....	52
4 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВІРНІСТЬ ПРОЕКТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ.....	54
4.1 Розробка блок-схем та опис алгоритмів функціонування системи.....	54
4.2 Захист розробленого програмного забезпечення.....	70
5 ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ .....	76
6 НАУКОВА НОВИЗНА .....	82

						ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ		
Вим.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Рисований М.О.				Дослідження та програмна реалізація системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Дресв О.М.					М	1	106
Н.контр.	Коваленко А.С.				ЦНТУ КІ-24М			
Затв.	Смірнов О.А.							

7	МАРКЕТИНГОВЕ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ІТ-ПРОЄКТУ .....	83
7.1	Визначення цільової аудиторії кінцевого готового продукту .....	83
7.2	Оцінка привабливості шляхом застосування методів експертних оцінок ...	84
7.3	Вибір методу оцінки вартості ПЗ .....	84
7.4	Розрахунок економічної ефективності від впровадження реалізованого ПЗ як фактору його привабливості.....	85
7.5	Пропозиція алгоритму просування проєкту розробки ПЗ .....	87
7.6	Оптимізація каналів збуту та шляхів реалізації ПЗ .....	88
7.7	Визначення ключових факторів успіху конкретного проєкту.....	89
8	ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ .....	90
8.1	Вступ.....	90
8.2	Аналіз санітарно-гігієнічних умов праці на робочому місці програміста ...	91
8.3	Розробка заходів з поліпшення умов охорони праці.....	94
8.4	Розрахункова частина .....	95
8.5	Висновки до розділу.....	97
9	ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	98
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	100

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

EOM	–	електронно-обчислювальна машина
ATM	–	Asynchronous Transfer Mode – асинхронний спосіб передачі даних
BER	–	Bit Error Rate – імовірність ушкодження одного біта
CBWFQ	–	class based weighted fair queueing
DiffServ	–	Differentiated Services – механізм який залежно від вимог до якості обслуговування записує в IP заголовки пакетів спеціальні мітки
DSCP	–	DiffServ CoSde Point
ICMP	–	Internet Control Message Protocol – міжмережний протокол управляючих повідомлень
ISP	–	Internet Service Provider – провайдер
LLQ	–	low latency queueing
MPLS-TE	–	Multiprotocol Label Switching Traffic Engineering
PQ	–	priority queueing
RIO	–	RED with Input Output
RTT	–	Round Trip Time – час між відправкою запиту та отриманням відповіді
STM	–	Synchronous Transfer Mode – синхронний спосіб передачі даних
QoS	–	Quality of Service – якість обслуговування
WFQ	–	Weighted Fair Queuing – механізм планування пакетних потоків даних
WRED	–	Weighted random early detection – взвішане значення довжини черги, у якості фактора, визначаючого імовірність відкидання пакета

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Перехід до програмувальних мереж SDN останні п'ять років перебуває у фокусі уваги основних постачальників і замовників продуктів для мережних інфраструктур, поки ця технологія більш-менш активно використовується тільки в одному сегменті – у мережах центрів обробки даних.

Програмно-конфігуруєма мережа (SDN від англ. Software-defined Networking, також програмно-визначаєма мережа) – мережа передачі даних, у якій рівень керування мережею відділений від пристроїв передачі даних і реалізується програмно, одна з форм віртуалізації обчислювальних ресурсів.

Давайте розшифруємо це визначення. Якщо розглянути сучасний мережний пристрій (роутер або комутатор, не принципово), то він логічно складається із трьох компонентів.

1. Рівень керування – це CLI, убудований веб-сервер або API і протоколи керування. Завдання цього рівня забезпечити керуваність пристроєм.
2. Рівень керування трафіком – це різні алгоритми й функціонал завданням якого є автоматична реакція на зміни трафіку тобто інтелект пристрою.
3. Передача трафіку – функціонал який забезпечує фізичну передачу даних, рівень мікросхем і мережних пакетів.

Що якщо:

- централізувати керування трафіком, відокремивши керування від пристроїв?
- централізувати керування пристроями?

У результаті «новий» роутер або комутатор обслуговує тільки потік даних (рівень передачі трафіку DATAPLANE), ставати більше простим відповідно до більше дешевих. Звичайно ж позбавити повністю інтелекту мережний пристрій не вийде, але його досить замінити простою таблицею переадресації (forwarding table).

					ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

SD-WAN – це архітектура, в основі якої лежить принцип пріоритетної реалізації хмарних рішень, що розділяє площини даних і керування, керовані через консоль. Можливо швидко створити оверлейну фабрику SD-WAN для підключення центра обробки даних, філій, комплексів будинків і центрів спільного розміщення ресурсів для підвищення швидкості, безпеки й ефективності мережі.

**Мета й завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.
- Дослідження системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.
- Програмна реалізація системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

*Об'єктом дослідження* є процес побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

*Предметом дослідження* є методи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

*Методи дослідження* базуються на методах теорії побудови комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У процесі рішення завдань, обумовлених цілями дослідження, отримані наступні результати:

- Удосконалено метод побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

					ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

– Розроблено вітчизняний продукт побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN, який має більш широкі можливості, на відміну від існуючих аналогів.

**Практична цінність отриманих результатів** полягає в тому, що розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати задачі побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

**Достовірність наукових результатів** підтверджена теоретичними викладеннями, даними комп'ютерного моделювання, коректними дослідженнями параметрів на функціонуючій обчислювальній мережі, а також відповідністю отриманих результатів окремим результатам, наведеним у науковій літературі.

Робота апробована на LVII Науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти LV науково-технічної конференції «Наука в ЦНТУ: основні досягнення та перспективи розвитку» (2025 р.), основні положення випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти надруковані у статті збірника праць молодих науковців ЦНТУ, випуск №15.

Таким чином, виходячи з вищеперерахованого, дослідження та програмна реалізація системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6



черговий апгрейд мережного устаткування компанії Amazon мав цінник з дев'ятьма нулями. Як результат спостерігається картина, що традиційні архітектури/дизайни мереж стають неефективні в динамічних середовищах.

Необхідна нова технологія або підхід до побудови інформаційних мереж що дозволяє вирішити перераховані вище проблеми. Така технологія є й зветься – Software Defined Networking або скорочено SDN.

## **SDN**

Програмно-конфігуруєма мережа (SDN від англ. Software-defined Networking, також програмно-визначаєма мережа) – мережа передачі даних, у якій рівень керування мережею відділений від пристроїв передачі даних і реалізується програмно, одна з форм віртуалізації обчислювальних ресурсів. Весь інтелект (MANAGEMENT PLANE і CONTROL PLANE) переноситься в окремий центральний пристрій називане контролером SDN.

Отже, ми одержуємо:

- Поділ функцій передачі трафіку від функцій керування (включаючи контроль як самого трафіку, так і здійснюючу його передачу пристроїв).
- Єдиний, стандартний, відкритий інтерфейс між пристроями керування й передачі (який отримав назву OpenFlow).
- Централізоване керування мережею (Контролер SDN).
- Віртуалізацію фізичних ресурсів мережі.
- Можливості програмування як устаткування (OpenFlow), так і додатків (API – Контролер SDN).
- Швидше реагувати на зміни в мережі.
- Оптимізувати передачу трафіку (L2/3) через більшу кількість резервних шляхів .
- Легше й швидше налаштовувати мережі.
- Істотно скоротити час розгортання додатків.
- Спростити керування мережними пристроями.
- Скоротити витрати на керування мережами.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>8</b>

– Централізоване застосування політик, збільшення продуктивності, зменшення затримок приводить до більше ефективної взаємодії користувачів і додатків як у корпоративних мережах, так і в мережах дата-центрів.

– Простота керування. Керування цілими мережами, а не мережними пристроями.

– Відкриті, засновані на стандартах протоколи дозволять взаємодіяти різним виробникам мережного устаткування між собою, одночасно збільшуючи вибір замовникові й конкуренцію між вендорами при зниженні витрат, прискорюючи інновації як в області програмного забезпечення, так і апаратних засобів.

– Контролер SDN підтримує відкритий інтерфейс програмування (API), що дозволяє програмувати його ззовні, створюючи середовище для автоматизації й контролю, а також масштабувати функціонал для майбутніх додатків.

– Застосунок може запитувати прямо певні вимоги до мережі.

– Видимість усього трафіку мережі контролером.

Як видно з архітектури, крім класичного керування мережею прямими командами системного адміністратора до контролера, SDN контролер підтримує запуск на собі додатків керування мережею. Що із себе представляють ці додатки?

Кожне SDN застосунок, по суті, виявляє собою інтерфейс оптимізації мережі під конкретне бізнес застосунок (наприклад Microsoft Link) і його основна роль – зміна мережі в реальному часі під поточні потреби програми, що обслуговується. У випадку Microsoft Link це може бути, приміром, зміна QoS мережі між двома телефонними абонентами для передачі HD відеодзвінка в реальному часі без затримок або створення VPN тунелю між двома абонентами.

Якщо розглянути більш докладно інформаційні потоки в архітектурі SDN, можна помітити два основних напрямки обміну інформацією: перший – між SDN застосунками й другий для керування фізичними мережними пристроями.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Перший потік одержав назву «північний міст», а другий «південний міст». У якості «північного мосту» виступає протокол на основі REST API, а в якості «південного мосту» прижився протокол OpenFlow.

### **OpenFlow**

Openflow – стандартний протокол, є основним елементом концепції SDN який забезпечує взаємодію контролера з мережними пристроями. Контролер використовується для керування таблицями потоків комутаторів, на підставі яких приймається рішення про передачу прийнятого пакета на конкретний порт комутатора. Таким чином, у мережі формуються прямі мережні з'єднання з мінімальними затримками передачі даних і необхідних параметрів.

Відповідно комутатор OpenFlow складається, як мінімум, із двох компонентів:

- таблиці потоків (flow table);
- безпечного каналу (secure channel).

Комутатори з підтримкою OpenFlow уже доступні на ринку, так у портфоліо лідера в розробки концепції SDN – компанії Hewlett-Packard, уже більше 40 моделей комутаторів підтримують OpenFlow версії 1.3, відповідно готові виступати «цеглинками» побудови реальної мережі SDN.

Крім комутаторів Hewlett-Packard пропонує кілька моделей готових контролерів SDN і безкоштовно надає кілька готових додатків SDN для конкретних бізнес програм, приміром, Microsoft Lync. Компанія HP також підтримує активне співтовариство розроблювачів SDN ([sdndevcenter.hp.com](http://sdndevcenter.hp.com)), де користувачі можуть ділитися своїми ідеями, а також онлайн-магазин додатків SDN App Store, звідки користувачі можуть завантажувати різні додатки на контролер HP VAN SDN усього в кілька кліків.

Такий інтерес Hewlett-Packard до технології SDN не випадковий. Вважається, що SDN змінить мережі так само, як це зробила у свій час віртуалізація на ринку корпоративних серверних систем. Відповідно SDN для компанії Hewlett-Packard цей стратегічний напрямок, адже успіх у цьому

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

напрямку може надати лідерство на ринку, приклад тому, успіх таких великих гравців на ринку мережних сервісів як Amazon і Google активно використовують SDN у своїй роботі.

Hewlett-Packard також вважає, що SDN повинна будуватися на базі відкритих стандартах, щоб кожний бажаючий міг у цьому взяти участь. Така відкрита екосистема відновить процес впровадження інновацій в області мережних технологій, що призупинився за останні два десятиліття

## 1.2 Область застосування

### Три області застосування SDN

На сьогоднішній день для SDN можна виділити три цільових сегменти.

**Перший**, де дана технологія вже добре освоєна, – це мережі ЦОДів. На таких об'єктах метою впровадження SDN часто є віртуалізація мережної інфраструктури. Поряд з віртуалізацією серверів і СЗД, вона представляє необхідну умову реалізації віртуальних (програмно обумовлених) ЦОДів. Технологія SDN виявляється найбільш затребуваною в тих ЦОДах, де існує велика гетерогенна фізична інфраструктура ІТ, що включає різні архітектури серверів (x86, Power, SPARC) і різні гіпервізори (Linux KVM, VMware vSphere, MS Hyper-V і інші), оскільки вона дозволяє уніфікувати керування такою інфраструктурою.

Три основних результати, яких вдається домогтися при використанні технології SDN у ЦОДах:

- скорочення часу виділення віртуальної інфраструктури й розгортання середовищ розробки й тестування (у реальних проектах різниця може бути більше чим на порядок);

- оптимізація використання ресурсів фізичної ІТ-інфраструктури й істотне скорочення витрат на простої й керування;

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

– оптимізація вкладень у фізичну IT-інфраструктуру за рахунок більше активного використання принципів програмно обумовленого ЦОДу (SD-DC).

Рекомендуємо використовувати SDN у ЦОДі при наявності досить великої віртуальної інфраструктури (сотні віртуальних машин і десятки фізичних серверів), а також при потребі знизити витрати на обслуговування IT-інфраструктури. Останньої мети вдається домогтися завдяки істотному підвищенню рівня автоматизації відповідних процесів.

Серед факторів, що сприяють впровадженню SDN у ЦОДах, – наявність досить сучасного мережного устаткування, мала довжина каналів зв'язку при їхній високій якості (високі швидкості й малі затримки) і кількості (як правило, ніздрювата структура або, принаймні, дублювання основних каналів).

У мережах операторів зв'язку – **другий** цільовий сегмент впровадження SDN – ситуація інша: більші відстані й часті проблеми з каналами зв'язку, включаючи відсутність резервування, низька пропускна здатність, високі затримки і їхня варіація (джиттер). Все це, мабуть, утрудняє впровадження технології SDN, в основі якої лежать декомпозиція традиційних комутаторів і винос (централізація) логіки контролю й керування. Завдання ускладнює й великий парк успадкованого мережного устаткування, нездатного ефективно інтегруватися в мережу SDN. Не дивно, що в телекомунікаційній галузі розгортання SDN поки не пішло далі тестових інсталяцій.

Головна проблема впровадження SDN операторами зв'язку – інтеграція контролерів із уже використовуваними комутаторами. Він виділяє три групи використовуваних сьогодні комутаторів: апаратні рішення на базі мережних процесорів і мікросхем ASIC плюс програмні реалізації на основі архітектури x86. Інтеграція (з контролерами SDN) програмних комутаторів і пристроїв на базі мережних процесорів – завдання не дуже складна, але самі ці пристрої коштують дорого. Комутатори на ASIC – продукти недорогі, а тому більше розповсюджені, але з ними саме й виникають складності інтеграції при впровадженні SDN.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Одне із завдань, що може «підштовхнути» використання SDN операторами зв'язку, обумовлена консолідацією галузі в результаті поглинання невеликих операторів. Інтеграція мереж компаній, що здобуваються, побудованих на устаткуванні різних вендорів, – справжній головний біль для мережних фахівців. SDN дозволяє уніфікувати різні гетерогенні мережі на рівні системи керування, що підвищує ефективність обслуговування. При впровадженні SDN CAPEX скоротити навряд чи вдасться, а от зниження OPEX буде дуже значним.

Одна з головних проблем сьогодні – забезпечення комплексного рішення SDN, що охоплює не тільки ЦОДи, але й транспортну мережу, щоб перевагами «програмної визначаємості» можна було скористатися у всьому ланцюжку надання сервісів «від краю до краю». Розроблене рішення працює на другому рівні моделі OSI у тісній інтеграції із сервісами L3 і орієнтоване на використання відкритих мережних платформ.

Звернути увагу на SDN компанії спонукують економія витрат на створення інфраструктури завдяки можливості вибору устаткування альтернативних постачальників, зниження операційних витрат, а також підвищення конкурентоспроможності за рахунок більше швидкого впровадження нових сервісів і додатків.

Важливою тенденцією розвитку мережних рішень експерт Brain4Net вважає винос сервісної логіки з мережного устаткування, що дозволяє вибирати недорогі пристрої з великої кількості пропозицій і будувати інфраструктуру «з кубиків». Поряд з декомпозицією мережних пристроїв відбувається й декомпозиція мережних сервісів. Всі складні сервіси розбиваються на мікросервіси, з яких формуються ті сервіси, які необхідні конкретному замовникові в цей момент часу.

**Третій** сегмент впровадження SDN – побудова багатофіліальних розподілених корпоративних мереж. Відповідні рішення одержали назву SD-

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

WAN. Сьогодні це, мабуть, саме «гаряче» напрямом в області SDN. Хоча підходи й деталі реалізації таких мереж відрізняються від вендору до вендору, основні розв'язувані ними завдання зрозумілі: це можливість швидкого підключення філій, оптимізація використання каналів WAN, автоматизація процесів експлуатації мережі, підвищення її доступності.

Таким чином, виходячи з вищеперахованого, дослідження та програмна реалізація системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти.

КБПЗ\_2025

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

## 2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

**2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур, програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти**

### АМТ-ГРУП

АМТ-ГРУП пропонує послуги зі створення програмно-визначаємих розподілених мереж SD-WAN корпоративним замовникам, що мають розгалужену філіальну мережу:

- великим банкам і фінансовим установам;
- транспортним і логістичним компаніям;
- підприємствам ритейла;
- державним структурам.

Рішення SD-WAN є першим більшим кроком у реалізації концепції програмно-визначаємих мереж SDN стосовно до WAN-Мереж.

Реалізація концепції SD-WAN покликана спростити введення в експлуатацію нового обладнання й істотно знизити витрати на експлуатацію корпоративних мереж передачі даних. Крім того, значно підвищується рівень контролю мережі за рахунок централізованого керування й моніторингу устаткування й каналів зв'язку.

АМТ-ГРУП було організоване комплексне тестування SD-WAN рішень провідних світових виробників. Тестування проводилося на базі власної лабораторії з використанням програми випробувань, розробленої інженерами компанії.

Тестування виконувалося на стендах наступних виробників:

- Cisco Systems – iWAN.
- Riverbed – SteelConnect.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

– Huawei Technologies – Agile WAN.

Метою тестування була перевірка відомостей і даних про реалізацію рішень SD-WAN, продуктивності, відказостійкості, «зрілості» технології для наступного порівняння й ухвалення рішення про доцільність і готовність впровадження рішення в КСПД замовників компанії.

У ході тестування були перевірені основні функціональні характеристики рішень SD-WAN, у тому числі технології, що забезпечують:

- відказостійкість мережі;
- ефективне використання WAN
- автоматизацію налаштувань і адаптацію по тригерах (змінювані умови);
- інформаційну масштабованість;
- механізми швидкого розгортання нових вузлів (Zero Touch Provisioning).

Компетенції інженерів компанії підтверджені відповідними сертифікатами виробників устаткування.

### **Передумови впровадження**

Ріст розподіленої корпоративної мережі передачі даних і її супровід можуть бути справжніми викликами по цілому ряді причин:

- логістичні складності – необхідність доставки пристроїв для попереднього налаштування на центральний вузол, а потім, на віддалені вузли зв'язку;
- велика розмаїтість каналів зв'язку й технічних рішень, особливо в регіонах;
- складність планування й, найчастіше, неможливість забезпечення заявленої якості обслуговування мережних даних;
- набіток стандартів моніторингу й створення шаблонів типових конфігурацій вимагають значних тимчасових витрат.

Час, що сьогодні затрачається на приведення мережної інфраструктури до сучасних реалій і вимог бізнесу найчастіше може бути більше, ніж строк життя цих реалій і вимог. Вибір – зупинитися в якийсь момент і піти по новому шляху

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

або довести модернізацію до кінця, розуміючи, що за нею відразу почнеться нова – складне питання для керівників ІТ-департаментів.

Рішення зазначених проблем лежить в області їхнього керування гнучкими, розширюваними програмними продуктами. Відмінним прикладом такого продукту є рішення SD-WAN, що забезпечує:

- просте уведення нових вузлів зв'язку;
- централізоване керування уніфікованим масивом технічних рішень існуючих вузлів зв'язку.

Технологія SD-WAN (Software Defined WAN) є результатом природної еволюції в підходах до побудови територіально-розподілених мереж передачі даних і забезпечує:

- централізоване керування WAN-каналами різних типів (L3VPN, Internet, LTE і т.д.);
- динамічний вибір шляху для потоку даних відповідно до вимог додатків і поточних характеристик каналів;
- підтримку VPN і різних типів шифрування;
- простоту інтеграції з іншими WAN-сервісами (оптимізаторами трафіку, міжмережевими екранами т.д.).

#### **Уведення нових вузлів зв'язку**

Функція Zero Touch Provisioning (ZTP) – це можливість відправляти нові пристрої відразу на місце установки, навіть без розкриття коробок і передналаштування.

Така можливість існує завдяки наявності спеціального сервера – контролера SD-WAN. Контролер призначений для керування всіма новими й існуючими прикордонними маршрутизаторами, що дозволяє зробити не передналаштування, а повноцінне налаштування пристрою, що вже перебуває на віддаленому вузлі зв'язку.

Всі що потрібно – підключити новий пристрій до мережі, за допомогою якої може бути встановлений зв'язок з контролером SD-WAN. На самому

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

контролері за мінути створити новий вузол зв'язку й закріпити за ним пристрою. Пристрій, підключившись до контролера, зареєструється й прийме всю конфігурацію, необхідну для негайного початку роботи вузла зв'язку.

Підключення патчкордів до портів нового пристрою не вимагає технічної кваліфікації й істотно спрощує введення в експлуатацію нових вузлів зв'язку.

### **Керування існуючими вузлами зв'язку**

Функціонуюча розподілена корпоративна мережа передачі даних – це складний комплекс апаратних, програмних і технічних рішень, підтримка актуального стану її елементів є важливою частиною роботи технічного персоналу організації.

Налаштування мережного устаткування через командний рядок завжди була трудомістким завданням, як тільки мова йшла про більш ніж два пристрої. Вагома частина функціонала пристроїв найчастіше не настроюється просто тому, що вимагає як уважного планування й підготовки об'ємних конфігурацій для всіх моделей прикордонних маршрутизаторів, так і високої кваліфікації технічного персоналу.

Контролер SD-WAN грає в питанні налаштування ключову роль, будучи як візуальною веб-бібліотекою конфігурацій, так і засобом їхньої гарантованої доставки на прикордонні маршрутизатори. Конфігурація доставляється таким сучасним методом як NETCONF і буде остаточно застосована тільки по факті відсутності помилок. Даний механізм налаштування повністю виключає людський фактор, що займає перше місце в списку причин відмов у мережі передачі даних.

Убудовані бази додатків і інформація про канали зв'язку дозволяє забезпечити закріплення потрібних додатків за потрібними типами каналів зв'язку. Так, трафік FTP можна закріпити за каналом зв'язку Internet і переводити на більше дорогі канали MPLS тільки у випадку спрацьовування тригера. Тригером може бути перехід через задані значення показників відсотка втрат, затримки при передачі, варіації затримки, як окремо, так і в складі комплексної

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

характеристики, що визначає якість каналу зв'язку. Утилізація всієї доступної пропускну здатності ніколи раніше не досягала такої високої ефективності й таких простих методів

### **Cisco SD-WAN**

Компанія Cisco представила рішення Cisco SD-WAN, у якому застосовуються інноваційні технології інтенційно-орієнтованих мереж, що відкривають нову еру в розвитку мережних технологій.

Технологія SD-WAN призначена для створення гнучких масштабованих розподілених корпоративних мереж. Її особливістю є поділ рівнів транспорту й контролю, що дозволяє централізовано управляти використанням транспортних мереж віддаленими філіями.

Рішення Cisco SD-WAN істотно підвищує надійність роботи розподіленої мережі, адже саме від цього фактора залежить безперервність бізнес-процесів – чи приймаються замовлення, чи обслуговуються клієнти, чи відбуваються операції. До 80% всіх операцій у територіально розподілених компаніях відбуваються у філіях, внаслідок чого безперебійне функціонування додатків у них є найважливішим завданням ІТ. В основі нового рішення – проривні розробки Cisco в області IBN (Intent-based networking, інтенційно-орієнтовані мережі), що є результатом нашої багаторічної роботи зі створення інтуїтивної системи, здатної передбачати дії, нейтралізувати в зародку погрози безпеки, а також безупинно вдосконалюватися й навчатися».

Впровадження Cisco SD-WAN дозволить замовникам істотно прискорити процес підключення нових філій і знизити супутні витрати. Фактично можна відправити прикінцевий пристрій у віддалений офіс поштою, а налаштувати його віддалено натисканням кнопки в центральному офісі. З використанням Cisco SD-WAN оптимізуються й витрати на канали від операторів зв'язку, при цьому не доводиться жертвувати рівнем обслуговування клієнтів. Це досягається за рахунок міксу транспортної інфраструктури від провайдерів – MPLS, доступ в Internet, мобільної мережі передачі даних 3G/4G. При цьому набір функціонала

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Quality experience дозволяє стежити за збереженням рівня роботи кожного конкретного додатка в режимі реального часу, з огляду на поточний стан каналу.

Ще одна ключова відмінність Cisco SD-WAN – найвищий рівень захищеності від кіберзагроз. Зниження ризиків ІБ у розподіленій мережі забезпечується убудованим комплексом мер – сегментацією, шифруванням, підтримкою логічних топологій, сервісних крапок, а також зовнішніми засобами ІБ – як установлюваними в периметрі (ASA, NGFW), так і хмарними (Cisco Umbrella). У результаті час виявлення погроз у мережі знижується в сотні разів, що мінімізує потенційні збитки компаній від втрат даних і витрати на відновлення інформації.

Рішення Cisco SD-WAN дозволяє забезпечити гнучкість у виборі прикінцевого устаткування, це можуть бути як класичні маршрутизатори Cisco, так і оригінальні пристрої vEdge, а також і їх віртуалізовані версії.

Керуючі додатки Cisco SD-WAN містять у собі централізовану систему оркестрації й керування, що може розміщатися як у хмарі Cisco так і в ЦОДі компанії.

### **Fortinet**

Fortinet постійно вдосконалює убудовані функції міжмережевого екрана SD-WAN з урахуванням відкликань клієнтів і пропонує систему захисту SD-WAN для трьох різних варіантів використання.

Компанія Fortinet, світовий лідер в області широкомасштабних інтегрованих і автоматизованих рішень по забезпеченню інформаційної безпеки, оголосила про те, що досягла значних результатів на ринку систем SD-WAN завдяки своїй комплексній системі SD-WAN, що поєднує можливості SD-WAN і функції безпеки в єдине інтегроване рішення для філій розподілених компаній.

Зростаюча популярність технологій SD-WAN привертає увагу ІТ-фахівців усього світу, оскільки більшість із них усвідомлюють переваги, серед яких ефективно впровадження хмарних рішень, широкі можливості відстеження на рівні додатків і зниження експлуатаційних витрат. Але без правильного рішення

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

швидкість і гнучкість мережі SD-WAN буде негативно впливати на безпеку. Щоб вирішити цю широко розповсюджену проблему, компанія Fortinet розробила інноваційний підхід до SD-WAN на основі NGFW, що полягає в щільній інтеграції функцій SD-WAN у міжмережевий екран наступного покоління FortiGate. Такий підхід надає привабливе рішення, що сполучить у собі підвищену масштабованість, гнучкість, простоту й економічність мережі SD-WAN з найвищим у галузі рівнем безпеки.

Сотні клієнтів із усього світу вже вибрали рішення Fortinet для захисту своїх систем SD-WAN. Серед цієї групи компанія Fortinet виділила три різні варіанти, використовувані для рішення самих складних проблем, з якими зіштовхуються філії розподілених компаній. У відповідь на відкликання клієнтів ми випустили останнє відновлення операційної системи FortiOS, спрямоване на рішення цих проблем.

### **Варіант використання №1. Цифрова трансформація у філії підприємства**

В умовах цифрової трансформації клієнти філій підприємства зіштовхуються із зовсім новими проблемами безпеки, оскільки в результаті впровадження хмарних рішень вихід в Інтернет здійснюється прямо. У таких умовах питання забезпечення безпеки стає усе більше важливим, але при цьому й більше складним. Для рішення цієї проблеми компанія Fortinet розробила засіб захисту SD-WAN, що поєднує в собі функції безпеки й можливості впровадження хмарних технологій SD-WAN на одній консолі для захисту додатків SaaS і багатохмарного доступу з філії. У цьому середовищі ІТ-фахівці можуть зіставляти ресурси WAN безпосередньо з бізнес-функціями, тим самим підвищуючи ефективність і оперативність роботи мережі. У таких умовах керування застосунками здобуває величезне значення для забезпечення працездатності мережі. Завдяки останнім відновленням FortiOS ІТ-фахівці одержали можливість вибирати більш ніж з 3000 додатків і легко відслідковувати кількість підтримуваних додатків, установлювати їхні пріоритети по ступені

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

важливості для бізнесу, а також виконувати глибокий аналіз окремих додатків для установки різних політик для субзастосунків. Такий рівень деталізації допомагає підприємствам ефективніше розподіляти ресурси для підвищення продуктивності й зниження витрат на бізнес.

**Варіант використання №2. Скорочення експлуатаційних витрат, пов'язаних з мережею WAN, і забезпечення високої продуктивності додатків**

У міру збільшення вимог до пропускну здатності й підвищення експлуатаційних витрат на ІТ багато клієнтів відмовляються від підключень MPLS і переходять на рішення SD-WAN для зниження експлуатаційних витрат. Оскільки клієнти використовують недорогі підключення WAN, вони часто зіштовхуються із проблемою зниження продуктивності додатків. Для рішення цієї проблеми використовується автоматичний аналіз багатопляхової маршрутизації – головна функція FortiOS для SD-WAN, що значно скорочує час вибору найбільш ефективного маршруту для SaaS, VoIP (Voice over IP) і іншого важливого для бізнесу трафіку. Це здійснюється шляхом відстеження докладних відомостей про маршрути WAN, таких як затримки, джиттер і втрати пакетів.

**Варіант використання №3. Об'єднання функцій безпеки й мережних служб**

Без інтегрованого рішення ІТ-співробітникам доводиться управляти функціями оптимізації й системою безпеки SD-WAN за допомогою двох інтерфейсів. Такий поділ мережних операцій і операцій безпеки не тільки дуже трудомістко; це також утрудняє об'єднання таких процесів, як традиційні мережні завдання, у числі яких продуктивність і функціональні можливості, із критично важливою системою безпеки й перевірки даних. Для рішення цієї проблеми компанія Fortinet спростила процес контролю розгортань SD-WAN за допомогою єдиної консолі, що пропонує централізовані засоби керування, налаштування й моніторингу для мережі SD-WAN і системи безпеки. Будучи провідним постачальником корпоративних міжмережєвих екранів і засобів UTM, компанія Fortinet має великий досвід і добре розуміє потреби клієнтів, що стосуються як

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

безпеки, так і мережних завдань. Компанія Fortinet має унікальні можливості для надання комплексної системи захисту SD-WAN, що поєднує в єдиному пристрої кілька спеціалізованих рішень, використовуваних у філії, у числі яких маршрутизація, оптимізація WAN, компоненти безпеки й функції SD-WAN.

Орієнтуючись на потребі своїх клієнтів і партнерів, компанія Fortinet удосконалює функціональні можливості SD-WAN, надаючи своїм клієнтам можливості швидко впроваджувати хмарні додатки. При цьому першорядним завданням є безпека. Завдяки останнім відновленням операційної системи FortiOS мережа SD-WAN стала убудованим компонентом адаптивної системи мережної безпеки й міжмережевого екрана наступного покоління FortiGate. Таким чином, компанія Fortinet може запропонувати клієнтам правильні інструменти для здійснення цифрової трансформації без ризику для безпеки, на відміну від інших рішень, у яких питання захисту не є першочерговим. Три різних варіанти використання й сотні задоволених клієнтів підтверджують, що компанія Fortinet має багатий досвід у питаннях безпеки й мережних технологій, що дозволяє вирішувати самі складні проблеми, що виникають у процесі впровадження SD-WAN.

Філія підприємства перетерплює активну цифрову трансформацію, у ході якої ми бачимо, що моделі використання додатків швидко переміщуються в хмару. У міру того, як наші клієнти переходять на прямий доступ до Інтернету, вони випробовують все більшу потребу в можливостях міжмережевого екрана наступного покоління й високоефективній перевірці SSL. Щоб клієнти змогли оцінити переваги мережі SD-WAN без шкоди для безпеки, компанія Fortinet впровадила новітні функції SD-WAN в останні випуски FortiOS. Така орієнтація на засіб захисту SD-WAN знаходить відгук у сотень клієнтів і партнерів, які використовують цю унікальну пропозицію Fortinet, що поєднує в собі міжмережевий екран наступного покоління й функції SD-WAN під керуванням єдиного централізованого контролера.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

## Zyxel Nebula SD-WAN

22 жовтня 2018 року компанія Zyxel Communications представила рішення для програмно-визначаємих глобальних мереж Nebula SD-WAN, що забезпечує підприємствам можливість побудови недорогих високопродуктивної WAN. Рішення підтримує лінійку міжмережевих екранів Zyxel серії VPN і дозволяє швидко вирішувати більшість питань керування й моніторингу розподіленими мережами.

Nebula SD-WAN створено для уніфікованого керування мережею. Ключовим компонентом рішення є керуючий веб-портал Nebula Orchestrator. У сполученні з міжмережевими екранами Zyxel серії VPN значно полегшує роботу користувачів, рятує від обриву телефонних розмов, забезпечує стабільне безпечне з'єднання й централізоване керування.



Рисунок 2.1 – Веб-Портал Nebula Orchestrator

Якщо раніше більшість корпоративних мереж не виходили за межі офісу компанії, то тепер вони розширюються на дата-центри, сервісів-провайдерів і хмари. Навіть при використанні таких технологій, як MPLS, мережі WAN не можуть задовольнити потреби сучасного бізнесу. Компаніям потрібно WAN, що

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

працює так само швидко й надійно, як локальна мережа. Nebula SD-WAN, що поставляється в пакеті із гнучкою конфігурацією й доступною ціною, вирішує це завдання, забезпечуючи практично миттєве істотне підвищення продуктивності й поліпшення продуктивності всіх користувачів мережі.

Істотне поліпшення співвідношення ціни й продуктивності Nebula SD-WAN вирішує багато проблем функціонування розподілених мереж, з якими зіштовхуються компанії, що володіють декількома робочими локаціями, зв'язаними один з одним по мережі Інтернет. Насамперед воно збільшує безпеку й швидкість з'єднання. А за допомогою оптимізації WAN і динамічного вибору маршруту усуває простої, запобігає обрив з'єднання при телефонних дзвінках і відеоконференціях, поліпшує якість зв'язку на площадках, де немає стабільного доступу до Інтернету. Nebula Orchestrator працює із продуктами серії Zyxel VPN50/100/300, для яких поставляється пакет ліцензій SD-WAN Pack License. У цей пакет включені функції zero-touch provisioning (автоматична конфігурація) і AutoVPN, що рятують від необхідності тримати на кожній площадці свого ІТ-фахівця для обслуговування з'єднання WAN. Інші основні переваги рішення:

- **Простота:** рішення SD-WAN забезпечує централізоване керування й інтуїтивно-зрозумілий зручний інтерфейс користувача;
- **Надійність:** Dynamic path поліпшує якість сервісу, забезпечуючи перемикання на більше швидкий канал при падінні швидкості передачі даних в основному каналі;
- **Безпека:** Безпека з'єднання поліпшується за рахунок використання VPN, міжмережових екранів, виявлення й запобігання підозрілого поведіння, функцій App Patrol, Geo Enforcer і фільтрації контенту;
- **Поглиблений аналіз:** аналіз трафіку забезпечує комплексний огляд дій користувачів із сегментацією по застосунках, web-сайтам і іншим критеріям для визначення пріоритетів безпеки й прийняття рішень;

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

– **Гнучкість:** за допомогою NebulaFlex™ користувачі можуть легко перемикатися між автономним режимом роботи й режимом роботи під керуванням Orchestrator.

Компанії можуть обновляти свій SD-WAN Pack після витікання терміну дії ліцензії SD-WAN Pack License, що входить у комплект поставки. Якщо компанії потрібно тільки керування за допомогою Orchestrator без використання розширених функцій SD-WAN, то вона може повернутися до пакета ліцензій Management Pack License. Цей пакет використовує Nebula Orchestrator для забезпечення zero-touch provisioning, VPN, міжмережевого екрана й інших функцій, але не підтримує частина функцій SD-WAN і інші функції, наприклад, App Patrol і фільтрацію контенту.

## **2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування**

Python – динамічна інтерпретована об’єктно-орієнтована скриптова мова програмування із строгою динамічною типізацією. Офіційний сайт мови програмування Python <https://www.python.org/>. Python – багатоцільова мова програмування, яка дозволяє писати код, що добре читається. Відносний лаконізм мови Python дозволяє створити програму, яка буде набагато коротше свого аналога, написаного на іншій мові. Python – багатоплатформова мова програмування. Це означає, що програми на Python можна запускати в різних операційних системах без будь-яких змін.

Ще однією перевагою Python є його стандартна бібліотека, яка встановлюється разом з Python і містить готові інструменти для роботи з операційною системою, веб-сторінками, базами даних, різними форматами даних, для побудови графічного інтерфейсу програм тощо. Програми, написані на мові програмування Python, можуть бути як невеликими скриптами, так і складними системами. Python абсолютно безкоштовний.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

## Швидкість виконання коду Python

Один з можливих недоліків Python – швидкість виконання коду. Python не є компільованою мовою. Код на Python спочатку компілюється у внутрішній байт-код, який потім виконується інтерпретатором Python. У більшості випадків при використанні Python виходять програми повільніші в порівнянні з такими мовами, як C.

Втім, сучасні комп'ютери мають таку обчислювальну потужність, що для більшості застосунків швидкість розробки важливіша швидкості виконання, а програми на Python зазвичай пишуться набагато швидше.

Окрім того, Python легко розширюється модулями, написаними на C або C++. Такі модулі можуть використовуватися для виконання частин програми, що створюють інтенсивне навантаження на процесор.

## Використання Python

Python використовується для різних цілей: для створення ігор і веб-застосунків, розробки внутрішніх інструментів для різноманітних проектів. Мова також широко застосовується в науковій області для досліджень і розв'язування прикладних завдань.

Застосування мови програмування Python:

1. BitTorrent – протокол для обміну даними.
2. Ubuntu Software Center – вільне програмне забезпечення для пошуку, установки і видалення пакунків в системі Ubuntu Linux.
3. Blender – програма для створення тривимірної комп'ютерної графіки, що включає засоби моделювання, анімації, вимальовування, пост-обробки відео, а також створення відеоігор.
4. GIMP – растровий графічний редактор, із підтримкою векторної графіки.
5. World of Tanks.
6. Вільна енциклопедія Вікіпедія.
7. Пошукова система Google.

					ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

8. DropBox – файловий хостинг, що включає персональне хмарне сховище, синхронізацію файлів і програму-клієнт.

9. YouTube – популярне відеосховище.

### **Версії Python**

Мови програмування з часом змінюються – розробники додають в них нові можливості, а також виправляють помилки. Так з’являються різні версії мови. Наприклад, код написаний на Python 2 у більшості випадків не буде працювати у версії Python 3 без внесення додаткових змін.

Процесор є найважливішим компонентом в комп’ютері. Одна з основних функцій процесора – це обробка даних згідно комп’ютерної програми, яка є списком інструкцій, шляхом виконання арифметичних і логічних операцій над фрагментами даних.

Кожна інструкція в програмі – це команда, яка «повідомляє» процесору, яку операцію він повинен виконати. Процесор комп’ютера може розуміти лише ті інструкції, які написані на машинній мові. Машинна мова – це штучна мова, створена для передачі команд комп’ютеру. За допомогою машинної мови створюються ефективні програми, оскільки розробник отримує доступ до всіх можливостей процесора. Машинна мова – мова низького рівня.

Інструкція машинної мови існує для кожної операції, яку процесор здатний виконати – є інструкція для додавання чисел, є інструкція для віднімання чисел і т.д. Увесь набір інструкцій, який центральний процесор може виконати, відомий як набір інструкцій процесора.

Наприклад, у вас є певна програма, яка зберігається на диску вашого комп’ютера. Для виконання програми, ви здійснюєте подвійний клік на значку програми. Це змушує програму копіюватися з диска в оперативну пам’ять, після чого процесор комп’ютера виконує копію програми, яка знаходиться в оперативній пам’яті.

Коли процесор виконує інструкції програми, він бере участь у процесі, який є відомим як цикл `fetch – decode – execute` (отримати – декодувати –

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

виконати). Цей цикл виконується для кожної інструкції у програмі і складається з трьох кроків:

### **Отримати**

Програма – це послідовність інструкцій на машинній мові. Першим кроком циклу є завантаження (отримання) наступної інструкції з пам'яті в процесор.

### **Декодувати**

Інструкція машинної мови – це двійкове число, яке представляє команду, що повідомляє процесору виконати певну операцію. На цьому кроці процесор декодує інструкцію, яку було «витягнуто» з пам'яті, для визначення того, яка операція повинна виконуватись.

### **Виконати**

Останній крок циклу – виконати операцію.

Хоча процесор комп'ютера розуміє тільки машинну мову, людині непрактично писати програми на машинній мові. Така програма може мати тисячі або навіть мільйони бінарних інструкцій, і написання такої програми буде дуже обтяжливим процесом.

З цієї причини була створена мова асемблера як альтернатива машинній мові. Замість використання двійкових чисел для написання інструкцій, мова асемблера використовує короткі слова, відомі як мнемокоди.

Незважаючи на те, що мова асемблера не вимагає двійкових інструкцій, як у випадку машинної мови, проте вона вимагає високих знань про процесор. Використовуючи мову асемблера, навіть для найпростішої програми, необхідно написати велику кількість інструкцій.

Мова програмування високого рівня дозволяє створювати складні програми, не знаючи, як працює процесор, і не записуючи великої кількості інструкцій низького рівня. Крім того, більшість мов програмування високого рівня використовують слова, які легко зрозуміти.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Python – одна із популярних сучасних мов програмування високого рівня. Python – інтерпретована мова програмування. Python – це високорівнева інтерпретована мова програмування, на відміну від C++, яка є прикладом компільованої мови програмування. Назва Python відноситься як до мови програмування, так і до інтерпретатора – комп'ютерної програми, яка зчитує початковий код (написаний на Python) і виконує інструкції (команди).

Для перекладу мови високого рівня на машинну мову доступні два типи програм:

1. Компілятор.
2. Інтерпретатор.

### **Завантаження Python**

Версії інтерпретатора Python для різних операційних систем доступні для безкоштовного завантаження за адресою <https://www.python.org/downloads>.

### **Середовище програмування для Python**

Для написання програм використовують текстові редактори або інтегровані середовища розробки, які включають в себе різні інструменти для роботи з кодом: засіб для написання коду (текстовий редактор), інтерактивний інтерпретатор, відлагоджувач тощо.

Текстові редактори та інтегровані середовища програмування для Python:

- IDLE – стандартний редактор Python. Встановлюється разом з Python для користувачів Windows, окремим пакунком для користувачів Linux.
- Notepad++ – безкоштовний текстовий редактор початкового коду, який підтримує велику кількість мов, в тому числі і Python. Лише для користувачів Windows.
- Visual Studio Code – це легкий, але потужний редактор початкового коду, який розповсюджується безкоштовно і доступний у версіях для платформ Linux, Windows і macOS.
- PyScripter – інтегроване середовище розробки для мови програмування Python. Для користувачів Windows. Поширюється безкоштовно.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

– Wing IDE 101 – вільне інтегроване середовище для Python, розроблене для навчання програмістів-початківців. Для користувачів Linux, Windows і macOS. Поширюється безкоштовно.

– Geany – вільний текстовий редактор з базовими елементами інтегрованого середовища розробки, доступний для операційних систем Linux, Windows і macOS.

– PyCharm – інтегроване середовище розробки для мови програмування Python. PyCharm є власницьким програмним забезпеченням. Наявна безкоштовна версія Community з усіченим набором можливостей. Для користувачів Linux, Windows і macOS.

– Thonny – IDE для вивчення програмування мовою Python. Для користувачів Linux, Windows і macOS.

– Mu – редактор коду Python для програмістів-початківців. Для користувачів Linux, Windows і macOS.

### **2.3 Розгорнута постановка завдання**

Згідно з технічним завданням на випускню кваліфікаційну роботу за другим (магістерським) рівнем вищої освіти, реалізації підлягає програмне забезпечення, яке призначено для системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

В процесі розробки випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти необхідно виконати наступний обсяг роботи:

а) провести аналіз існуючих систем-аналогів для виявлення їх позитивних і негативних якостей. Результати аналізу врахувати в подальших розробках;

б) вибрати та обґрунтувати методику побудови системи контролю роботи технологічного обладнання на виробництві в автоматизованому режимі. Розробити функціональну та структурну схеми системи;

в) розробити програмне забезпечення системи, що дозволить реалізувати

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

поставлену технічним завданням задачу. Побудувати блок-схеми алгоритмів програми та підпрограми;

г) організувати інтерфейс користувача з метою формування та виводу на екран ЕОМ повідомлень про некоректні дії користувача та нестандартні ситуації в роботі технологічного обладнання;

д) розробити рекомендації по організаційних та методичних заходах, які забезпечать впровадження системи в промислову експлуатацію та її подальшу успішну експлуатацію;

е) провести розрахунки по визначенню економічної ефективності розробленої системи;

ж) розробити заходи по охороні праці при впровадженні та експлуатації системи, а також розробити заходи з цивільного захисту;

з) сформулювати висновки про виконаний обсяг робіт та одержані результати.

КБПЗ - 2023

					ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

## 3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

### 3.1 Опис функціонування системи

SDN – програмно-визначаєма мережа. Перевага даної технології в тому, що SDN допомагає управляти мережею саме на програмному рівні. А це значить, що ІТ-фахівцям більше немає необхідності вручну налагоджувати роботу або змінювати налаштування мережного устаткування й, таким чином, витратити масу часу. Усе робиться в автоматичному режимі із застосуванням інтелектуальних алгоритмів керування. Яку вигоду при цьому одержує бізнес? Це – досягнення максимальної ефективності при керуванні мережею: скорочення витрат на її експлуатацію, підвищення надійності роботи й швидкості відгуку бізнес-додатків, забезпечення мережної безпеки, підвищення швидкості запуску на ринок нових сервісів і послуг. І все це доступно відразу завдяки переходу на програмно-визначаєме рішення.

Зараз SDN активно застосовується в центрах обробки даних, тому що без цієї технології вже не можна реалізувати ні одного завдання по віртуалізації ІКТ-інфраструктури дати-центра. Крім цього, SDN використовується з метою модернізації транспортної телеком-інфраструктури компаній зі складними розподіленими мережами передачі даних. Є також і спеціалізована технологія SD-WAN, що у першу чергу цікава компаніям з більшою кількістю філій – фінансовим установам, ритейлу, промисловим і добувним підприємствам і т.д. У цьому випадку SD-WAN дозволяє відмовитися від дорогих VPN-каналів зв'язку від телеком-операторів, для роботи досить звичайного інтернет-з'єднання й LTE, наприклад, як резервного. Технологія дозволяє автоматично розподіляти трафік у мережі передачі даних і відправляти його по найбільш дешевому й незавантаженому в даний момент каналу без втрати швидкості і якості роботи додатків. SD-WAN уже завойовує американський і європейський ринок, в Україні

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

дана технологія ще тільки починає розвиватися. Отже, SDN можна умовно розділити на три групи:

- SDN для ЦОДів;
- транспортний SDN;
- окрема технологія SD-WAN для побудови територіально-розподілених мереж.

У кожного свої особливості й переваги для бізнесу.

Як я вже говорив, різні типи SDN вирішують різні завдання. Доцільність впровадження SDN у дата-центрах уже давно доведена на практиці. Що стосується SDN у транспортній інфраструктурі, те це рішення цікаво переважно провайдерам зв'язку. З його допомогою можна істотно скорочувати витрати на ІТ і при цьому прискорювати процес Time-to-Market, тобто виводу ІТ-сервісів для клієнтів на ринок. Оптимізація витрат досягається за рахунок зниження CAPEX і OPEX, оскільки SDN відразу легко «подружити» практично з будь-яким мережним устаткуванням на відміну від класичних дорогих моновендорних рішень.

От вам конкретний приклад. Модель операторського бізнесу міняється, гравці ринку змушені швидше запускати нові сервіси для користувачів, щоб, з одного боку, забезпечити необхідний рівень виторгу, з іншої, підвищити рівень лояльності абонентів. Не секрет, що вартість класичних послуг, будь то голос, смс, інтернет, стрімко падає, а для того, щоб їх робити, необхідно підтримувати дорогу інфраструктуру. Більше того, нові сервіси вимагають технологічно грамотного налаштування, забезпечення необхідного рівня безпеки й іншого.

Виникає питання – як це можна зробити оперативно в більших територіально-розподілених мережах операторів? Це непросто навіть із управлінської точки зору. Тільки представте, послуга впроваджується в дата-центрі, потім «попадає» у транспортну мережу й по ній уже доставляється до кінцевого устаткування. За кожний з етапів відповідає певна група технічних фахівців, що працює строго в рамках своєї компетенції. А це значить, що при

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

підключенні нового сервісу абонентові починається передача заявок між відділами – іншими словами, бюрократія. При цьому клієнти стають усе більше розпеченими, нетерплячими. Вони хочуть скористатися послугою миттєво, буквально нажавши пару кнопок на телефоні. От це завдання – максимально швидко запустити новий сервіс для абонента – і допомагає вирішувати SDN.

У корпоративному сегменті, як я вже говорив раніше, усе в більшій кількості ЦОДів впроваджується SDN-технологія. Важливо, що вона застосовна як при будівництві нових ЦОД, так і при модернізації існуючих. Що стосується транспортних мереж, те тут програмно-визначаємі мережі розвиваються повільніше, ніж у телекомі, тому що для Enterprise мережі не є ключовим бізнесом. Плюс корпоративні сервіси для кінцевих клієнтів розвиваються не так швидко, як хотілося б. Транспортної мережі приділяють менше увагу, на її модернізацію витрачають менше грошей.

При цьому, якщо говорити про SD-WAN, то ситуація є трохи інакшою, тому що на перше місце тут виходить не економія на обслуговуванні устаткування, а економія на каналах зв'язку й швидкість підключення нових філій.

Рішення SD-WAN допомагає компаніям замінити або доповнювати оренду мереж VPN в операторів зв'язку. Звичайна побудова класичної телекомунікаційної інфраструктури розподіленої компанії виглядає в такий спосіб. Є головний офіс і трохи регіональних, які потрібно об'єднати в єдиний інформаційний простір, дотримати якості надання сервісу й вимоги безпеки. Компанія повідомляє тендер, у якому беруть участь оператори зв'язку. При цьому, по-перше, вартість каналу зв'язку від оператора значно перевищує вартість звичайного інтернет-з'єднання, по-друге, компанії, для яких критично важлива доступність сервісів для клієнтів, замовляють резервний канал у другого оператора зв'язку. Поверх цього замовник повинен вибудувати свою телекомунікаційну мережу, що складається з маршрутизаторів, мережних пристроїв і міжмережєвих екранів. І тільки потім Ікт-інфраструктуру можна

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

експлуатувати. Іноді виникають ситуації, коли оператор зв'язку не обслуговує район, у якому розміщений філія. Тоді завдання по підключенню вирішується нетиповими методами – добре, якщо це прокладка оптоволокну або оренда останньої милі, і гірше, якщо радіорелейне устаткування або той же модем LTE. Все це істотно позначається на строках запуску нових офісів і вартості каналів зв'язку.

Для того, щоб скоротити витрати, і застосовується технологія SD-WAN. Розповім небагато про технічну частину. Роботу програмно-визначаємої розподіленої мережі WAN забезпечує «розумний» контролер у ЦОДі головного офісу, на якому встановлене спеціалізоване ПЗ. До комутатора можна прямо підключати основний і резервний канали доступу в інтернет. При цьому ПЗ саме робить балансування каналів зв'язку, домагаючись порівнянної якості передачі даних. Контролер також виконує функції кінцевого роутера, на якому створюється приватна мережа. Плюс на контролер встановлюються додатки, що контролюють безпеку й прозорість роботи мережі. Повний комплекс в одній «залізці» у головному офісі й підключаються до цього контролера набагато менш «розумні», а, отже, недорогі, комутатори у філіях.

Будь-яка компанія може відмовитися або, як мінімум, оптимізувати дорогі контракти з операторами зв'язку, мінімізувати кількість устаткування у своїх офісах, здійснювати керування офісами через єдиний інтерфейс. SD-WAN – це ефективний інструмент для перекладу витрат з CAPEX в OPEX.

Більше того, SD-WAN не вимагає особливих знань для його інсталяції. Особливо це важливо для віддалених філій, де може просто не бути власного штату ІТ-фахівців. На ринку є «коробкові» пропозиції, у рамках яких SD-WAN устаткування доставляють клієнтові поштою або кур'єром. Будь-який співробітник, не обов'язково ІТ-фахівець, здатний зрозуміти й виконати інструкцію виду «взьміть комутатор і два кабелі, один підключите до порту 1, іншої – до порту 2». Більше нічого не потрібно – пристрій саме зв'язується із центральним сервером, одержує всі конфігурації, налаштується, і цей офіс стає

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

частиною захищеної мережі компанії. Як результат – зовсім інші бюджет і строки. У світі вже є дуже багато кейсів впровадження SD-WAN, наприклад, це мережі магазинів Gap і Tata Group. Потреба даної технології підтверджується великими аналітичними компаніями, зокрема, Gartner проорокує SD-WAN підривний ріст у найближчі два роки.

Україна традиційно переймає західні технології із затримкою в кілька років, поки ми небагато менш просунуті в цьому питанні. Чому так відбувається? Спробу пояснити.

Більшість рішень по віртуалізації за кордоном будується на вільному ПЗ. Співтовариство розроблювачів має потребу в інвестиціях. У частині SDN такими лідерами-інвесторами виступають великі світові оператори зв'язку, а також ІТ-компанії, які не бажають переплачувати вендорам за пропріетарні рішення й бути прив'язаними до продуктових лінійок розроблювачів, тому що це позбавляє їхній бізнес гнучкості. Всі вони готові вкладатися в створення нових продуктів і тримати штат R&D-розроблювачів. Результатом стають повноцінні комплексні рішення, які ідеально підходять під бізнес стільникових операторів і компаній з Enterprise сегмента – вони дійсно на всіх рівнях керування зацікавлені у віртуалізації інфраструктури.

В Україні ж у першу чергу виникає питання, хто буде відповідати за впровадження цього комплексного рішення в рамках компанії, частиною якого є SDN. Адже віртуалізація мереж передачі даних вимагає зміни не тільки технологічного, але й організаційного підходу.

Розвиток власних апаратних елементів, на жаль, іде дуже повільно в Україні, у зв'язку із чим програмні рішення оптимізовані для роботи на чипах іноземного виробництва: Intel, Broadcom, Qualcomm. Із софтом ситуація краще. Українські рішення досить конкурентоспроможні. Є кілька українських компаній, які показують непогані результати в частині SDN розробок.

Важливо відзначити, що рішення SD-WAN може бути впроваджене як у замовника, так і надаватися як керований сервіс. У цьому випадку за розвиток,

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

керування й технічну підтримку Ікт-інфраструктури повністю відповідають фахівці системного інтегратора. У рамках сервісу замовник одержує гарантію безперервності роботи мережі передачі даних філій і при цьому заощаджує на змісті телеком-інфраструктури – переводить капітальні витрати в операційні.

Якщо говорити про конкретні цифри економії, то однакових показників ми не знайдемо навіть у межах однієї галузі, тому що в Україні поки проектів мало, а на Заході зовсім інші умови – наприклад, в операторів зв'язку значно відрізняється ARPU – прибутковість від кожного абонента. Орієнтовно можна сказати, що в наших проектах для телеком-операторів економія досягає 20-30%. З огляду на масштаби бізнесу великих провайдерів, потрібно визнати, що це досить серйозний аргумент на користь руху у бік SDN.

### 3.2 Розробка структурної схеми

Навіщо потрібний новий підхід до побудови територіально розподілених мереж? Відповідаючи на це питання, вказується на підвищення складності таких мереж, що утрудняє їхнє обслуговування й розвиток, пошук несправностей, забезпечення безпеки й вимагає залучення висококваліфікованих (читай, дорогих) фахівців служби експлуатації та ін. Підхід SD-WAN покликаний спростити рішення цих завдань.

Пояснюючи суть технології SD-WAN, можна сказати наступне: якщо раніше для підключення нової філії до корпоративної мережі могли знадобитися тижні й місяці, те зараз досить відправити пристрій у філію й просто підключити його до мережі: автоматично будуть зроблені весь необхідні налаштування й підключені всі необхідні мережні сервіси. Сучасні рішення SD-WAN дозволяють автоматично визначити, через який тип підключення потрібно маршрутизувати трафік даного додатка – приватний канал зв'язку, Інтернет або мережа стільникового зв'язку. Це дозволить знизити навантаження на дорогі канали зв'язку й використовувати мережу Інтернет для передачі некритичного трафіку.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Рішення SD-WAN автоматично виявляють несправність на каналі зв'язку (або погіршення його характеристик) і автоматично ж переводять трафік на інші канали. При цьому ніякого розриву сеансу зв'язку не відбувається й користувач додатка нічого не зауважує. Для підвищення якості роботи певних додатків, наприклад сеансу голосовий або відеозв'язку, їх трафік може дублюватися по декількох каналах, тоді на пристрої-приймачі будуть вибиратися пакети, які в цей момент часу доставлені з мінімальною втратою й затримкою. Інший можливий варіант – балансування однієї сесії між декількома каналами, що дозволяє задіяти більшу транспортну «трубу», скажемо, при зкачуванні більших файлів.

### **Тонке регулювання**

Рішення SD-WAN – це повноцінні маршрутизатори з функціями забезпечення безпеки, глибокого аналізу трафіку (DPI), балансування трафіку та ін. Рішення здатне ідентифікувати трафік більше 4000 додатків, що дає широкі можливості для регулювання їхнього використання. Наприклад, можна блокувати можливість перегляду Facebook, дозволивши при цьому користуватися месенджером, щоб віддалені колеги могли взаємодіяти між собою. Або, навпаки, блокувати месенджер, залишивши можливість переглядати новини Facebook.

Рішення SD-WAN здатні «розбирати» закритий трафік цих систем і оптимальним образом використовувати всі наявні канали для їхньої доставки.

Як контролер керування мережі SD-WAN виступає SD-WAN Center. Ця віртуальна машина, що поставляється в комплекті з іншими продуктами SD-WAN, забезпечує централізоване адміністрування й керування, а також збір інформації з конфігурації, нагромадження різних звітів (наприклад, по виконанню SLA) та ін. Як і покладено системі SD-WAN, рішення Citrix реалізує принцип автоматичного розгортання (zero touch deployment): досить підключити доставлене у філію пристрій, і конфігураційні параметри будуть автоматично завантажені й активовані.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

## Коли важлива безпека

Важливе, а для багатьох замовників ключова перевага SD-WAN – підвищення мережної безпеки. Не дивно, що реалізовано підтримку SD-WAN на базі наявних продуктів, що формують так звану фабрику безпеки для комплексного рішення завдань ІБ. До складу рішення SD-WAN входять міжмережеві екрани, засоби організації бездротових локальних мереж, а також системи централізованого керування й аналітики.

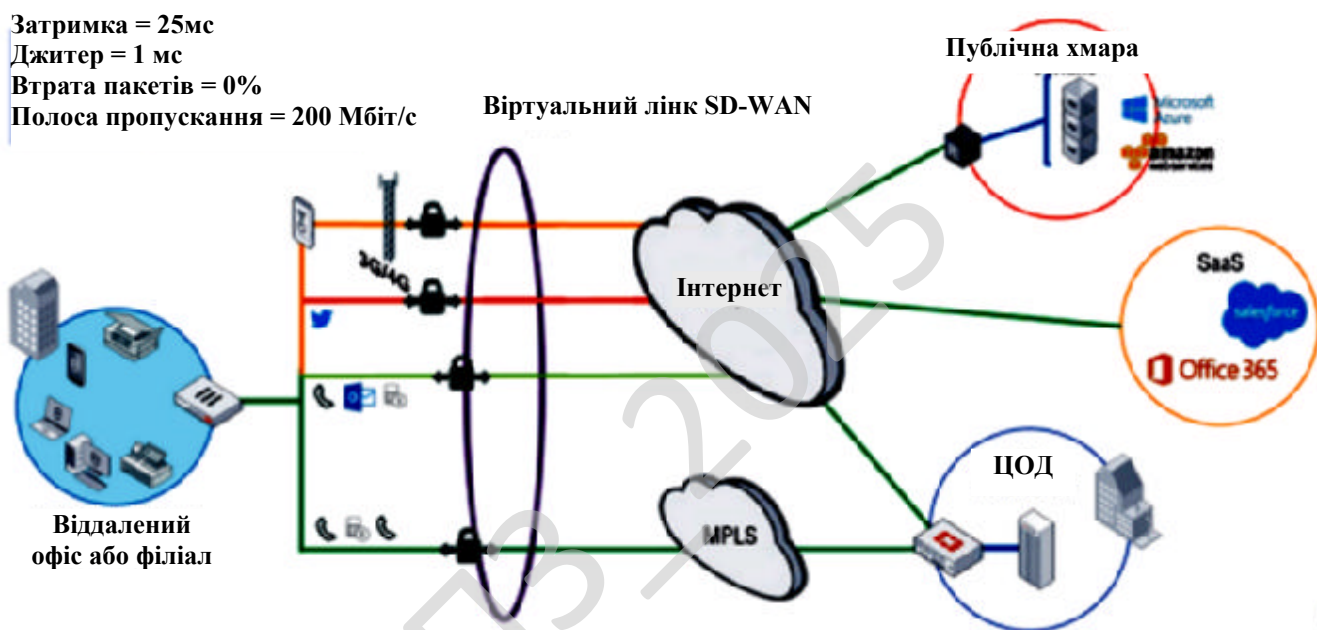


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи

Для реалізації розширених функцій SD-WAN використовуються власні процесори безпеки, застосування яких прискорює виконання завдань, зв'язаних безпосередньо з безпекою й забезпеченням мережними підключеннями. Оптимізована архітектура підтримує реалізацію функцій глибокого аналізу й інспекції трафіку.

Відповідно до останнього звіту про дослідження погроз, частка зашифрованого трафіку становить більше 50% від загального обсягу корпоративного трафіку. Це утрудняє моніторинг і аналіз трафіку, а також

знижує ефективність маршрутизації мереж SD-WAN. Як розширені функції SD-WAN підтримують застосування дозволених шифрів SSL і забезпечують найвищу у своєму класі пропускну здатність при інспекції SSL, що гарантує безпечну й ефективну доставку шифрованого трафіку.

Сьогодні забезпечення інформаційної безпеки вимагає нового підходу, якому можна реалізувати, використовуючи комплексні рішення безпеки, інтегровані в мережну інфраструктуру. Серед причин, що ускладнюють рішення завдань мережної безпеки, – ріст числа підключених пристроїв, у тому числі завдяки розвитку Інтернету речей, розмивання границь мереж, уже згадане підвищення частки зашифрованого трафіку й ін. Відповіддю на нові виклики й стала «фабрика безпеки», до складу якої входить комплекс різних продуктів.

Кожний вендор розуміє SD-WAN так, як це йому вигідно, щоб рішення SD-WAN краще корелювало з його лінійкою продуктів. Фахівці виділяють два підходи до реалізації концепції SD-WAN.

При першому підході встановлюване у філії пристрій SD-WAN наділяється максимальним числом функцій, включаючи DPI, просунуті функції безпеки, шифрування та ін. Головний недолік цього підходу – висока вартість таких пристроїв, що може віджахнути багатьох замовників. Крім того, у цьому випадку обмежена можливість керування мережними функціями (сервісами), оскільки вони «прошиті» у кінцевих пристроях.

Другий підхід – коли всі сервіси виносяться в хмару (ЦОД), а в клієнта встановлюється дуже просте (недороге) пристрій. Його завдання зводяться до маркування трафіку і його пробросу (наприклад, по каналі IPsec) до ЦОДу. Крім істотного зниження вартості пристроїв, даний підхід вирішує завдання гнучкого керування сервісами. Але виникає інша проблема, пов'язана з каналами зв'язку. Ряд сервісів висувають досить високі вимоги до пропускну здатності таких каналів, величині затримки та ін.

Єдиного універсального рішення SD-WAN, здатного оптимально вирішити всі завдання, просто не існує. Тому треба шукати компроміс, а

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

можливо, іти по шляху гібридного підходу, що сполучить перший з розглянутих варіантів із другим.

### **Керування із хмари**

Існує хмарна система керування мережною інфраструктурою, що служить для роботи з мережами, побудованими на основі провідних і бездротових пристроїв.

Система підтримує бездротові крапки доступу, маршрутизатори, апаратні міжмережеві екрани й інші пристрої. Система в реальному часі збирає й видає на один екран різні дані: статистику по трафіку, інформацію про стан пристроїв, розташуванні сегмента мережі, його завантаженості та ін. Вся ця інформація доступна через Web-інтерфейс на комп'ютері, планшеті й смартфоні оператора. Система дозволяє не тільки одночасно управляти декількома віддаленими сегментами мережі, але й зберігати й швидко завантажувати налаштування при запуску нового сегмента. За допомогою мобільного додатка монтажникові досить відсканувати QR-код на кришці підключеного до мережі пристрою, і воно буде автоматично зареєстроване й настроєне для роботи.

Більшість компаній, які продають устаткування, одержують більшу частину свого доходу, надаючи послуги інсталяції й післяпродажної підтримки. Підхід Cloud Networking може допомогти перейти від продажів продуктів до продажів рішень і сервісів з постійним доходом.

### **3.3 Розробка функціональної схеми**

Функціональна схема розробленої системи зображена на рисунку 3.2.

З рисунку видно, що розроблена система складається з наступних функціональних частин:

- Блок управління навантаженням програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.
- Блок формування трафіку програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- Блок визначення параметрів QoS.
- Блок примусового завдання параметрів QoS.
- Блок моделювання завантаженості системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.
- Блок моніторингу системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.
- Блок дослідження можливостей механізмів WRED.
- Блок дослідження можливостей механізмів WFQ.
- Блок інтерфейсу користувача.
- Блок призначення пріоритетів.
- Блок організації та обслуговування черг.

Розглянемо ці блоки більш детально.

### **Блок управління навантаженням програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN**

Служба QoS дає можливість використовувати для керування мережею системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN два важливих механізми – керування в умовах перевантаження й запобігання перевантажень. Перший з них дозволяє кінцевій станції відразу знижувати швидкість передачі даних, коли в мережі починається втрата пакетів. У протоколах TCP/IP і SNA цей механізм підтримується вже протягом декількох років. І хоча сам по собі він не гарантує якості передачі, при його використанні разом з механізмом запобігання перевантажень результати виявляються набагато кращими. У мережах TCP/IP механізм запобігання перевантажень застосовується досить давно, але лише в останні роки він стає стандартом “де-факто” для маршрутизаторів телекомунікаційних мереж і Internet.

Стандартним способом запобігання перевантажень у мережі стало застосування механізму випадкового виділення пакетів (Random Early Detection, RED). При заповненні черг вище певної критичної оцінки цей механізм змушує маршрутизатор вибирати із черги за випадковим законом деякі пакети й

“втрачати” їх. Швидкість передачі даних станціями-відправниками знижується, що й дозволяє уникнути переповнення черги.

Механізм пропорційного випадкового виділення пакетів – WRED (Weighted RED) – можна вважати наступною, більше зробленою “версією” RED. Він передбачає, що вибір пакетів, які повинні “втратитися”, буде відбуватися з обліком їх пріоритезації згідно IP TOS.

### **Блок формування трафіку програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN**

Формування трафіку – це загальний термін, яким прийнято позначати різні способи маніпулювання даними для підвищення якості їхньої передачі. Один їхній таких способів – сегментація пакетів. У мережах системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN гарантовано високий рівень QoS досягається в тому числі й за рахунок малого розміру переданих пакетів (осередків – у термінології системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN). Максимальний час затримки при передачі будь-якого пакета системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN – це час передачі одного осередку.

Запозичаючи корисні механізми технології системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN, виробники маршрутизаторів і комутаторів починають забезпечувати у своїх продуктах можливість сегментації пакетів. Деякі пристрої, призначені для мереж frame relay, сегментують пакети, передані по каналах глобальних мереж, щоб гарантувати конкретний час передачі й мінімізувати затримки.

Ще один спосіб формування трафіку – його “вирівнювання”. Для таких протоколів, як наприклад, AppleTalk, характерна нерівномірна передача пакетів, що часом приводить до появи в мережі послідовностей або ланцюжків пакетів, а отже – до її перевантаження. Процедура вирівнювання трафіку дозволяє розчленувати ланцюжки шляхом розміщення пакетів у буфері перед їхньою передачею в мережу. Для забезпечення більше рівномірної передачі даних можна також вирівнювати трафік кінцевих вузлів мережі.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

### **Блок визначення параметрів QoS**

Призначений для визначення існуючих параметрів якості обслуговування (QoS). До них відносяться:

– Bandwidth (BW) – смуга пропускання, описує номінальну пропускну здатність середовища передачі інформації, визначає ширину каналу. Вимірюється в bit/s (bps), kbit/s (kbps), mbit/s (mbps).

– Delay – затримка при передачі пакета.

– Jitter – коливання (варіація) затримки при передачі пакетів.

– Packet Loss – втрати пакетів. Визначає кількість пакетів, що відкидаються мережею під час передачі.

### **Блок примусового завдання параметрів QoS**

Призначений для примусового завдання одного, або декількох параметрів якості обслуговування (QoS). До них відносяться:

– Bandwidth (BW) – смуга пропускання, описує номінальну пропускну здатність середовища передачі інформації, визначає ширину каналу. Вимірюється в bit/s (bps), kbit/s (kbps), mbit/s (mbps).

– Delay – затримка при передачі пакета.

– Jitter – коливання (варіація) затримки при передачі пакетів.

– Packet Loss – втрати пакетів. Визначає кількість пакетів, що відкидаються мережею під час передачі.

### **Блок моделювання завантаженості системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN**

Призначений для моделювання завантаженості системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN з визначеним трафіком та заданими параметрами якості обслуговування (QoS).

### **Блок моніторингу системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN**

Призначений для аналізу поточного стану системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



## **Блок дослідження можливостей механізмів WRED**

Одним з методів QoS, призначених для забезпечення необхідних вимог до різних потоків даних – запобігання перевантажень (congestion avoidance). Він заснований на обмеженні розмір черги, сигналізуючи джерелам даних про необхідність зменшити швидкість передачі інформації (WRED – Weighted random early detection).

## **Блок дослідження можливостей механізмів WFQ**

Другим з методів QoS, призначених для забезпечення необхідних вимог до різних потоків даних – керування перевантаженням (congestion management). Він заснований на присвоєнні квот і пріоритетів потокам, і у випадку перевантаження, потоки одержують якість, обмежену їхньою квотою й пріоритетом (WFQ – Weighted Fair Queuing).

Існує не занадто багато способів розрахунків показників QoS у системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN. Найпростіший з них – збільшення смуги пропускання системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN за рахунок нарощування апаратних можливостей устаткування системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN. Можна використовувати й такі прийоми, як завдання пріоритетів даних, організація черг, запобігання перевантажень і формування трафіку. Керування мережею за заданими правилами в перспективі повинне об'єднати всі ці способи в єдину автоматизовану систему, що буде гарантувати якість послуг абсолютно на всіх ділянках мережі.

Збільшення апаратної потужності, безсумнівно, є найбільш ефективним засобом реалізації QoS у системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN. Тиск із боку конкурентів, необхідність підвищення ефективності виробництва, поява нових технологій, що дозволяють оснащувати спеціалізовані мікросхеми (ASIC) найрізноманітнішими функціями, – все це змушує постачальників комутаційного встаткування для локальних мереж викидати на ринок усе більше швидкодіючі пристрої за цінами, порівнянним з вартістю моделей колишнього покоління.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Малоймовірно, що в доступному для огляду майбутньому даний підхід до підтримки QoS у мережах системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN перестане бути пріоритетним. Оскільки в мережах системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN вдається забезпечити гарантовану якість послуг, не прибігаючи до дорогої модернізації усього встаткування й серйозних змін у системі керування мережею, мережні адміністратори будуть звертати увагу й на програмні засоби, що дозволяють реалізувати QoS.

Отже, найбільше поширення, швидше за все, одержить комбінований підхід. Деякі виробники висловлюються на його користь, затверджуючи, що найкраще збільшувати пропускну здатність мережі не прямо, а за рахунок інтелектуальних можливостей устаткування, що має засоби розрахунків показників QoS. Правда, виробники мережних пристроїв навряд чи можуть бути об'єктивними в цьому питанні, тому що вони зацікавлені в збуті тих самих продуктів, які підтримують гарантовану якість послуг.

У глобальних мережах нарощування апаратних потужностей використовується рідше. Звичайно, зниження вартості смуги пропускання зробило б передачу даних по глобальних мережах доступною для більше широкого кола користувачів (і навіть трохи знизило б актуальність впровадження гарантованої якості послуг). Але в найближчому майбутньому вартість смуги пропускання в глобальних мережах буде залишатися досить високою, тому й нарощування апаратної потужності не стане настільки популярним, як у мережах системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

### **Блок інтерфейсу користувача**

Призначений для реалізації взаємодії користувача, або дослідника з системою.

### **Блок призначення пріоритетів**

Нарівні з нарощуванням апаратного забезпечення мережі для реалізації QoS застосовуються й засоби типу завдання пріоритетів даних і організації черг. Маршрутизатори підтримують ці механізми протягом багатьох років, як і деякі з нових комутаторів для каналів Gigabit Ethernet. Однак ПЗ для керування мережею

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

за заданими правилами, яких необхідно для практичного втілення цієї технології, поки не розроблено. Серед нових комутаторів такого класу можна назвати CoreBuilder 3500, CoreBuilder 9000 і SuperStack II компанії 3Com, пристрою серії Accelar фірми Bay Networks, SmartSwitch Router компанії Cabletron Systems, а також Catalyst 5000 і Catalyst 8000 виробництва Cisco.

Способи пріоритезації даних можна умовно підрозділити на явні й неявні.

При неявному призначенні пріоритетів маршрутизатор або комутатор автоматично привласнює послугам відповідні рівні, виходячи із заданих адміністратором мережі критеріїв (наприклад, типу додатка для застосовуваного протоколу передачі або адреси джерела). Кожний вхідний пакет аналізується (фільтрується) на відповідність цим критеріям. Механізм неявної пріоритезації підтримують практично всі маршрутизатори.

Деякі комутатори теж здатні задавати пріоритети, але мають обмежений набір функцій. Так, комутатори можуть забезпечувати пріоритезацію даних по типу віртуальної локальної мережі, адресі джерела або адресата, але не використовують інформацію більш високого рівня (протокол передачі або тип додатка). Розроблювальні в цей час системи керування мережею за заданими правилами дозволяють реалізувати більше зроблені схеми пріоритезації даних при роботі з такими комутаторами.

При явній пріоритезації даних користувач або додаток запитує певний рівень служби, а комутатор або маршрутизатор намагається задовольнити запит. Імовірно, самим популярним механізмом явної пріоритезації стане протокол IP Precedence (протокол старшинства), що одержав другу назву IP TOS (IP Type Of Service), – один з розділів четвертої версії протоколу IP.

IP TOS резервує спеціальне поле в заголовку пакета, де можуть бути зазначені ознаки QoS, що визначають час затримки, швидкість пропущення й рівень надійності передачі пакета. Однак знайдеться небагато популярних додатків – за винятком мультимедійного ПЗ, – у які реалізована підтримка протоколу IP TOS.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Зараз розробляється протокол резервування ресурсів RSVP, що передбачає більше складний, чим в IP TOS, механізм передачі від додатка до маршрутизатору запиту на гарантовану якість послуг. Як і IP TOS, протокол RSVP поки не одержав широкої підтримки розроблювачів – він реалізований лише в окремих типах маршрутизаторів. Поширення RSVP стримується через те, що не вирішені деякі питання, пов'язані із сумісністю різних мереж. До того ж застосування RSVP значно збільшує навантаження на маршрутизатори й може привести до зниження швидкодії цих пристроїв.

Видимо, у доступному для огляду майбутньому неявна пріоритезація, не потребує серйозних обчислювальних потужностей маршрутизатора, залишиться більше популярною, чим явна. Крім того, при явному завданні пріоритетів значно ускладнюється керування мережею. Кінцеві користувачі, швидше за все, будуть набувати своє програмне забезпечення на запит найвищого з можливих рівнів послуг. Відповідно, адміністраторові мережі прийдеться розробляти правила керування користувачами й, можливо, навіть побудувати служби з гарантованою якістю для кожного користувача окремо.

### **Блок організації та обслуговування черг**

Після того як переданим по мережі даним призначені відповідні пріоритети (за допомогою явних або неявних методів), потрібно визначити порядок передачі цих даних, задавши алгоритм обслуговування черг із необхідною якістю (рівнем QoS). По суті, черги являють собою області пам'яті комутатора або маршрутизатора, у яких групуються пакети з однаковими пріоритетами передачі. Алгоритм обслуговування черги визначає порядок, у якому відбувається передача пакетів, що зберігаються в ній. Зміст застосування всіх алгоритмів зводиться до того, щоб забезпечити найкраще обслуговування трафіку з більш високим пріоритетом за умови, що й пакету з низьким пріоритетом гарантується відповідна увага.

При використанні способів завдання явних і неявних пріоритетів алгоритм обробки черг визначає порядок їхнього обслуговування. Відповідно до цього

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

алгоритму на кожні два пакети, переданих у мережу із черги 1 (з високим пріоритетом) доводиться по одному пакету із черг 2 і 3. Пакети з однаковими пріоритетами передаються за принципом FIFO (“першим прийшов – першим вийшов”).

Якщо в мережі виникає перевантаження, служба черг не гарантує своєчасного досягнення пункту призначення найбільш важливими даними. Гарантується лише те, що ці пакети будуть передані раніше, ніж ті, що мають більш низький пріоритет.

Сучасні служби QoS вирішують таке завдання за рахунок резервування смуги пропусення. Кожній із черг (або їхніх груп) виділяється заздалегідь задана величина смуги пропусення, що гарантує певну смугу пропусення для черги з більш високим пріоритетом. Для критичних ситуацій, коли обсяг даних у черзі перевищує розміри смуги пропусення, в алгоритмах обслуговування звичайно передбачається передача трафіку з високим пріоритетом на смугу пропусення, “приналежну” чергам з низьким пріоритетом, і навпаки. Найпростіші алгоритми обслуговують кожен чергу за принципом FIFO. При цьому передача кадрів великого розміру, що мають високий пріоритет, може приводити до затримок трафіку іншого додатка з настільки ж високим пріоритетом, але меншим обсягом.

У більш складних алгоритмах уживає спроба “справедливої” обробки черг. Наприклад, алгоритм рівномірного пропорційного (або зваженого) обслуговування (WFQ – Weighted Fair Queuing), розроблений компанією Cisco, підрозділяє додатки на потребуючі великої й малої ширини смуги пропусення, а сама смуга пропусення розподіляється між всіма застосунками нарівно. Слід зазначити, що основні виробники маршрутизаторів самі розробляють алгоритми обслуговування черг і використовують для їхнього опису власну термінологію.

Істотним недоліком сучасних маршрутизаторів і комутаторів є те, що вони підтримують мале число черг. Найчастіше виробники організують служби QoS, що використовують чотири черги, хоча чим більше черг, тим більше різних пріоритетів можна привласнити переданим пакетам і тим “справедливіше” розподілити смугу пропусення між застосунками. Наприклад, адміністратор у

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

стані задати пріоритети таким чином, щоб перевага при передачі віддавалося пакетам, адресованим на більше віддалені вузли.

Розглянувши усі блоки функціональної схеми перейдемо до розгляду діаграми взаємодії процесів, які відбуваються у системі.

### 3.4 Розробка діаграми процесів

Розглянемо розроблену діаграму процесів яка зображена на рисунку 3.3. Основна будова діаграми процесів полягає у графічному представленні складу сукупностей даних, що характеризуються як співвідношення різних частин кожної з сукупностей. Склад статистичної сукупності графічно може бути представлений як за допомогою абсолютних, так і відносних показників. Графічне зображення складу сукупності по абсолютними і відносними показниками сприяє проведенню більш глибокого аналізу і дозволяє проводити аналіз системи.

Діаграма взаємодії процесів використовується для візуалізації процесів обробки даних (структурне проектування).

Для розробника вважається звичним спочатку креслити діаграму взаємодії процесів даних рівня контексту, завдяки чому буде показано взаємодію системи.

Ця діаграма в подальшому підлягає уточненню шляхом деталізації процесів та потоків даних з метою показати систему що розробляється.

При детальному її розгляді можна побачити як саме проходить взаємодія у розробленій системі. Використовується модель проектування, графічне представлення «потоків» даних в інформаційній системі.

Діаграми потоків даних містять чотири типи елементів:

- Зовнішні по відношенню до системи сутності.
- Поток даних між елементами трьох попередніх типів.
- Процеси які являють собою трансформацію даних в рамках описуваної системи.
- Сховища даних (репозиторії).

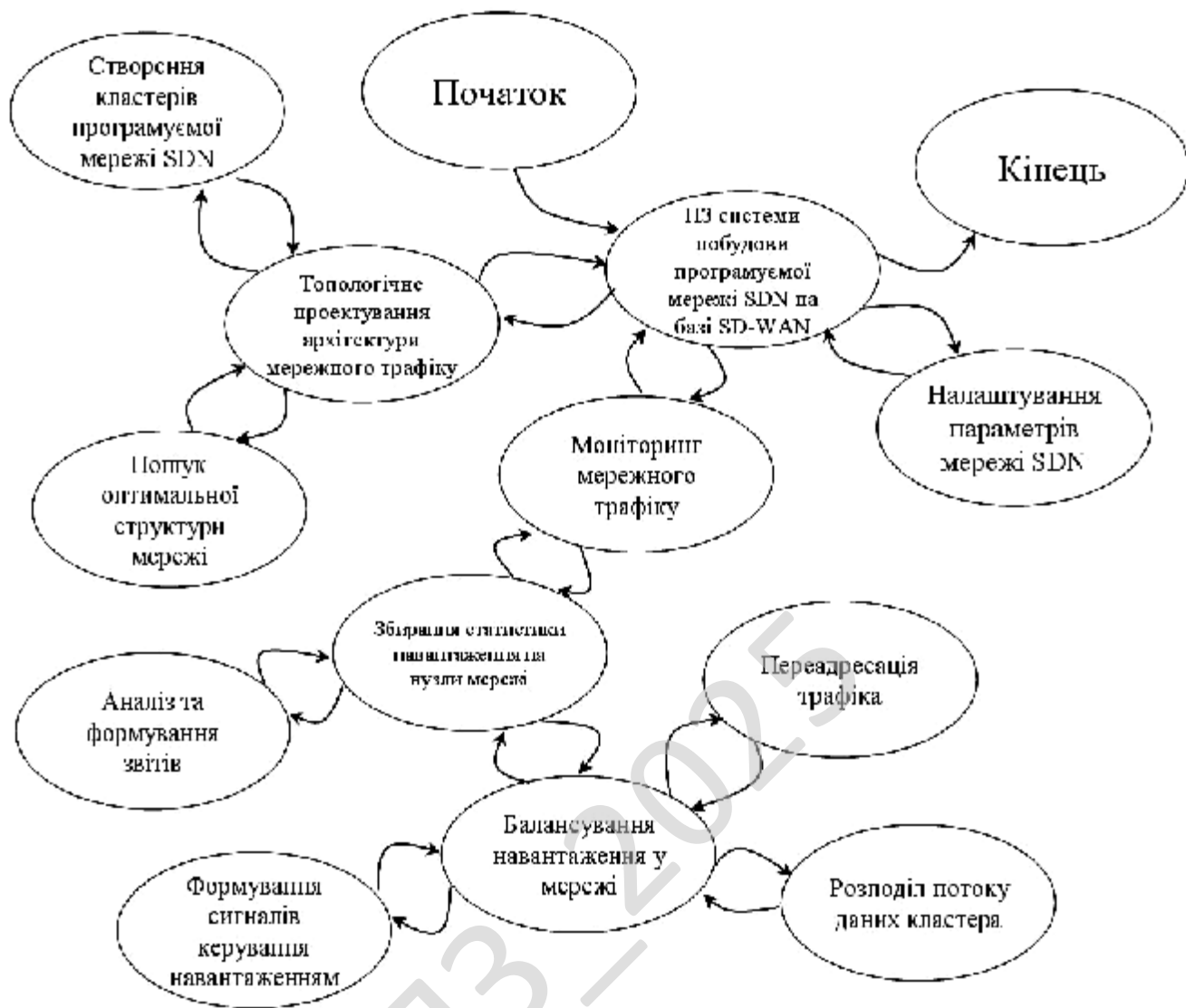


Рисунок 3.3 – Діаграма взаємодії процесів

Таким чином, розглянувши опис системи, структурну, функціональну схеми системи, та діаграму взаємодії процесів перейдемо до опису блок-схем основної програми, та підпрограм, які використовуються, для реалізації системи.

## 4 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

### 4.1 Блок-схеми та опис алгоритмів функціонування системи

Розглянемо реалізацію магістерської дипломної роботи. Були проведені розрахунки і підібрані набори тестових даних для перевірки правильності реалізації проектних рішень.

Було створено блок-схеми роботи системи. Перед їх розглядом необхідно провести роз'яснення який саме тип блок-схем використовується. Блок-схеми показують весь процес роботи системи з підсистемами та частково доказують правильність вибраних проектних рішень. Тому від точності і детальної блок-схеми залежить результат всієї програми.

При виборі початкової точки відліку при побудові схем було враховано, що виходячи з вибору мови програмування і інших технічних засобів, програма буде об'єктно-орієнтована що вимагає високого рівня декомпозиції задач на класи.

На рисунку 4.1 зображена основна блок-схема програми, на рисунку 4.2 зображено роботу підпрограми.

З яких видно що робота основної програми складається з початкових етапів ініціалізації ПЗ, перевірки наявності ресурсів системи, блоку початку основного циклу з чеканням запиту від користувача в якому відбувається виклик підсистеми та останньої стадії – перевірка поточного стану з завершенням роботи розробленого ПЗ.

При роботі підпрограми виконується основний функціонал системи з циклічними послідовностями, перевіркою поточного стану та поверненням в основну програму прапорів стану виконання.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

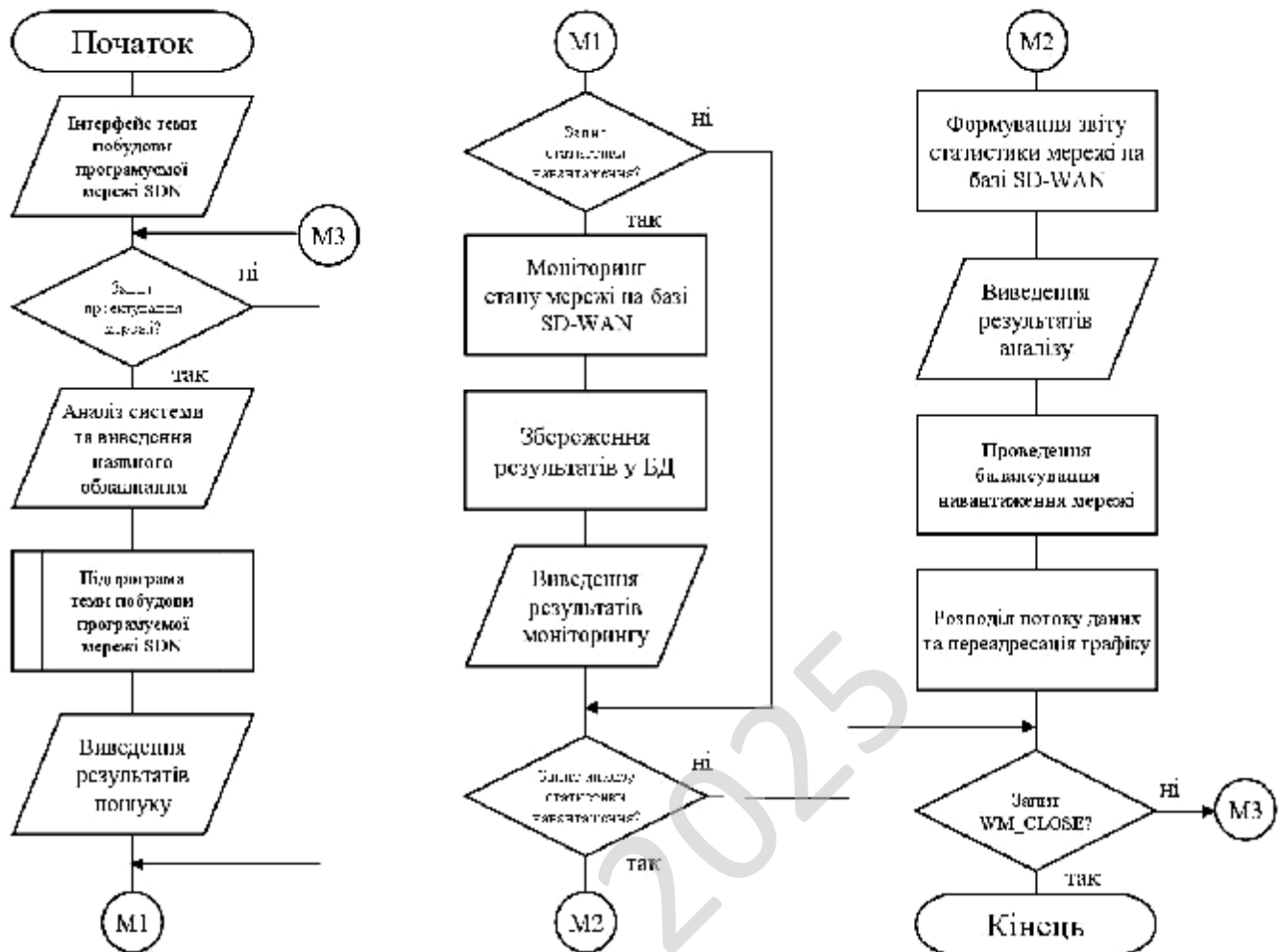


Рисунок 4.1 – Блок-схема основної програми

Була використана водоспадна (каскадна) модель життєвого циклу ПЗ (waterfall model) – послідовний метод розробки програмного забезпечення, названий так через діаграму схожу на водоспад.

Ця модель розробки запозичена з системної інженерії у виробництві та будівництві – областях, в яких зміни на пізніх етапах дуже дорогі, або неможливі. Наприклад, для створення складних інженерних конструкцій (споруд, літаків, мостів і т.п.). Зміни в проекті фундаменту будинку після того, як покладений дах коштують дуже дорого, тому перфекціонізм на початкових етапах проектування просто необхідний. Інженери, які починали займатись розробкою програмного забезпечення перейшовши з інших галузей, просто адаптували звичну модель,

тому що на ранніх етапах розвитку комп'ютерної техніки не було методологій створених саме для програмування.

Проте, схожі методології застосовуються для програмного забезпечення й далі, у випадках коли вимоги фіксовані, і вимагається висока якість та надійність, наприклад в системах для військових чи медичних потреб.

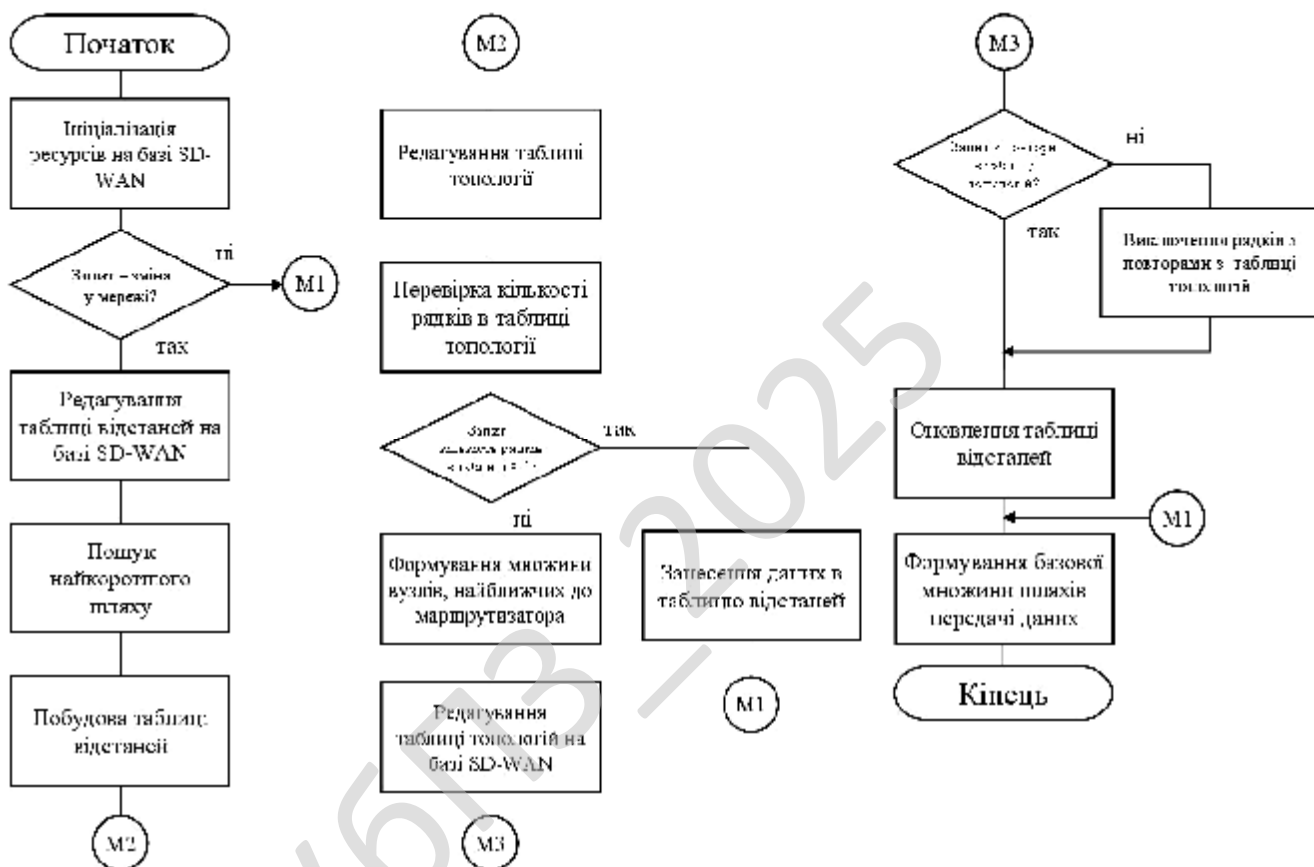


Рисунок 4.2 – Блок-схема роботи підпрограми

Перший формальний опис водоспадної моделі, після якої вона стала популярною був здійснений В. В. Ройсом у 1970. Попри те, що стаття містить переважно критику методу, на неї часто посилаються.

Переваги методу:

- Ніяких переробок.
- Гарна специфікація перетікає в гарну документацію.
- Зрозуміла модель.



роботі БД), підтримується автоматичне відновлення після збою і перенесення навантаження з вузла, який вийшов з ладу.

Розширення кластера або перетворення одного сервера на кластер проводиться без зупинки роботи БД простим додаванням нових машин.

При розробці автори виходили з необхідності спеціалізації баз даних, завдяки чому їм вдалося відійти від принципу «один розмір під усе». За рахунок мінімізації семантики для роботи з транзакціями з'являється можливість вирішення цілого ряду проблем, пов'язаних з нестачею продуктивності, причому горизонтальне масштабування стає простішим. Використовувана модель документів зберігання даних (JSON/BSON) простіше кодується, простіше управляється (у тому числі за рахунок застосування так званого безсхемного стилю (schemaless style), а внутрішнє угруповання релевантних даних забезпечує додатковий вигравш в швидкодії.

Нереляційний підхід досить зручний для створення баз даних, у яких горизонтальне масштабування означає розгортання на множині машин. Можливість забезпечувати найкращу продуктивність повинна існувати паралельно з підтримкою більшої функціональності, ніж це дозволяє використання пар «ключ-значення» (у чистому вигляді).

Технологія баз даних має працювати скрізь, починаючи з серверів користувача та віртуальних машин і закінчуючи хмарними технологіями.

MongoDB, на думку розробників, має заповнити розрив між простими сховищами даних типу «ключ-значення» (швидкими і легко масштабованими) і великими СКБД (зі структурними схемами і потужними запитами).

Основні можливості MongoDB:

1. Документо-орієнтоване сховище (проста та потужна JSON-подібна схема даних).
2. Досить гнучка мова для формування запитів.
3. Динамічні запити.
4. Повна підтримка індексів.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

5. Профілювання запитів.

7. Швидкі оновлення «на місці».

8. Ефективне зберігання бінарних даних великих обсягів, наприклад, фото та відео.

9. Журналювання операцій, що модифікують дані в БД.

10. Підтримка відмовостійкості і масштабованості: асинхронна реплікація, набір реплік і шардінг.

11. Може працювати відповідно до парадигми MapReduce.

СКБД управляє наборами JSON-подібних документів, що зберігаються в бінарному форматі BSON. Зберігання і пошук файлів в MongoDB відбувається завдяки викликам протоколу GridFS.

Подібно до інших документо-орієнтованих СКБД (CouchDB тощо), MongoDB не є реляційною СКБД.

Є докладна і якісна документація, велике число прикладів і драйверів для популярних мов Java, C++, C#, PHP, Python, Perl, Ruby.

При випуску одразу було заявлено, що реліз MongoDB 1.0 готовий до використання у виробництві як одиничний хост, так і у зв'язках master/slave.

Код цього релізу досить стабільний і перевірений в промисловій експлуатації протягом 1,5 років. MongoDB рекомендується розгортати мінімум на двох серверах використовуючи реплікацію Master/Slave.

Це забезпечує наявність актуальних даних при виході з ладу однієї з СКБД. MongoDB – продукт досить молодий, і відтак у ньому зустрічаються помилки, з'являються нові можливості тощо.

Характерний високий темп розробки (проект пишуть не тільки волонтери, а й компанія людей на повній зайнятості). Компанія-розробник надає платні підтримку, хостинг, консультації.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

## Приклади запитів

Запити можуть витягати дані з вбудованих об'єктів та масивів. Якщо в колекцію users вставлений такий об'єкт:

```
{
  "username" : "bob",
  "address" : {
    "street" : "123 Main Street",
    "city" : "Springfield",
    "state" : "NY"
  }
}
```

Ми можемо запитати цей документ (і всі документи з адресою в Нью-Йорку) за допомогою:

```
> db.users.find({"address.state" : "NY"})
```

Можна також запитати елементи масиву:

```
> db.food.insert({"fruit" : ["peach", "plum", "pear"]})
```

```
> db.food.find({"fruit" : "pear"})
```

**Peer-to-peer** (рівний до рівного) – варіант архітектури системи, в основі якої стоїть мережа рівноправних вузлів.

Комп'ютерні мережі типу peer-to-peer (або P2P) засновані на принципі рівноправності учасників і характеризуються тим, що їх елементи можуть зв'язуватися між собою, на відміну від традиційної архітектури, коли лише окрема категорія учасників, яка називається серверами може надавати певні сервіси іншим.

Фраза «peer-to-peer» була вперше використана у 1984 році Парбауелом Йохнухуйтсманом (Parbawell Yohnuhuitsman) при розробці архітектури Advanced Peer to Peer Networking фірми ІВМ.

В чистій «peer-to-peer» мережі не існує поняття клієнтів або серверів, лише рівні вузли, які одночасно функціонують як клієнти та сервери по відношенню до інших вузлів мережі. Ця модель мережевої взаємодії відрізняється від клієнт-серверної архітектури, в якій зв'язок відбувається лише між клієнтами та центральним сервером.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Така організація дозволяє зберігати працездатність мережі при будь-якій конфігурації доступних її учасників. Проте практикується використання P2P мереж які все ж таки мають сервери, але їх роль полягає вже не у наданні сервісів, а у підтримці інформації з приводу сервісів, що надаються клієнтами мережі.

В P2P системі автономні вузли взаємодіють з іншими автономними вузлами. Вузли є автономними в тому сенсі, що не існує загальної влади, яка може контролювати їх. В результаті автономії вузлів, вони не можуть довіряти один одному та покладатися на поведінку інших вузлів, тому проблеми масштабування та надмірності стають важливішими ніж у випадку традиційної архітектури.

Сучасні P2P-мережі набули розвитку завдяки ідеям, пов'язаними з обміном інформацією, які формувалися у руслі того, кожен вузол може надавати та отримувати ресурси які надаються будь-якими іншими учасниками. У випадку мережі Napster, це був обмін музикою, в інших випадках це може бути надання процесорного часу для пошуку інопланетних цивілізацій (SETI@home) або ліків від раку (Folding@home).

### **Переваги P2P**

Розподіл/зменшення вартості. Централізовані системи, які обслуговують багато клієнтів, зазвичай складають більшість вартості системи. Коли, ця вартість стає дуже великою, архітектура P2P може допомогти розподілити вартість серед користувачів. Наприклад, серед систем файлообміну Napster дозволив розподілити вартість зберігання файлів і міг підтримувати індекс, потрібний для сумісного використання. Економія коштів, здійснюється за допомогою використання та об'єднання ресурсів, які в іншому випадку не використовуються (наприклад SETI@home). Оскільки вузли зазвичай є автономними, важливо розподіляти витрати справедливо.

Об'єднання ресурсів. Децентралізований підхід веде до об'єднання ресурсів. Кожен вузол в системі P2P приносить певні ресурси як наприклад обчислювальна потужність або пам'ять. У програмах, які потребують величезну

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61



Використовуючи структуру P2P, в якій дії виконуються локально, користувачі можуть уникати необхідності передавати будь-яку інформацію про себе до когось іншого. FreeNet – яскравий приклад того, як анонімність може вбудуватися в додаток P2P. Він пересилає повідомлення через інші вузли, щоб забезпечити неможливість вистежування початкового автора. Це збільшує анонімність, використовуючи ймовірнісні алгоритми таким чином, щоб походження не можливо було легко відстежити аналізуючи трафік у мережі.

Динамічність. Системи P2P припускають, що оточення надзвичайно динамічне. Тобто, ресурси, як наприклад вузли, з'являються та зникають із системи безперервно. У випадках комунікації, як наприклад мережі для обміну повідомленнями, використовуються так звані «список контактів», щоб інформувати користувачів, коли їхні друзі стають доступними. Без цього, потрібно було би, щоб користувачі «опитували» партнерів, посилаючи періодичні повідомлення. У випадку розподілених обчислень, як наприклад distributed.net і SETI@home, система повинна пристосуватись до заміни учасників. Тому вони повинні повторно видавати завдання для обчислення іншим учасникам, щоб гарантувати, що робота не втрачена, якщо попередні учасники відпадають від мережі, поки вони виконували крок обчислення.

### **Опис системи**

Система побудови програмуємої мережі SDN на базі SD WAN у цьому варіанті реалізується як програмний комплекс на мові Python. Комплекс моделює логічну топологію, контролер, політики маршрутизації та модуль моніторингу, а також надає простий програмний інтерфейс для налаштування і перевірки рішень, які стосуються SDN поверх транспортної інфраструктури SD WAN.

Основна ідея полягає в тому, що центром керування виступає об'єкт класу SDNController. Контролер працює з моделлю мережі, яку представляє клас Topology. Топологія містить вузли корпоративної мережі, їх належність до певних майданчиків і логічні тунелі SD WAN між крайовими пристроями. Контролер отримує від політичного модуля рекомендації щодо вибору тунелів

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

для певних типів трафіку, а також враховує дані моніторингу про затримку, втрати і стан каналів.

Модель мережі представляється у вигляді набору сутностей. Клас Site описує майданчик, наприклад головний центр обробки даних чи філію компанії. В об'єкті зберігається ідентифікатор майданчика, назва, регіон, а також сумарна доступна пропускна здатність. Клас EdgeDevice описує крайовий маршрутизатор SD WAN. В об'єкті зберігається ідентифікатор пристрою, ідентифікатор майданчика, керуюча адреса, а також роль у топології (хаб чи спок). Тунель SD WAN моделюється класом Tunnel, який містить пари крайових пристроїв, стан, затримку і втрати. Всі ці сутності об'єднуються у класі Topology, який підтримує додавання майданчиків, крайових пристроїв та побудову тунелів між ними.

Клас Topology також виконує функції побудови простих логічних маршрутів. Наприклад метод find\_path для пари майданчиків перебирає можливі тунелі між крайовими пристроями і повертає список тунелів, які утворюють шлях. У базовому варіанті шлях будується за принципом хаб спок, коли трафік між двома філіями проходить через центральний хаб. У реальному середовищі контролер використовує політики вибору маршрутів з урахуванням декількох хабів та резервних шляхів, але для навчальних цілей достатньо показати модель, у якій шлях формується програмно з поточної структури об'єктів.

Важливою частиною є політичний модуль для SDN. Клас Policy описує одну політику у вигляді умов і обмежень. Умови зберігаються у словнику match, що відображає ознаки потоку, наприклад тип додатка, групу користувачів або важливість сервісу. Обмеження зберігаються у словнику constraints, де вказується мінімальна пропускна здатність, максимально допустима затримка, перевага використання захищеного тунелю і тому подібні критерії. Клас PolicyEngine працює з переліченими політиками, аналізує опис потоку і підбирає відповідний тунель. Для цього модуль запитує у топології всі доступні тунелі між парами крайових пристроїв, порівнює їх поточні параметри з обмеженнями політики і повертає найкращий варіант.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64



декілька філій, а потім прив'язує до них крайові пристрої SD WAN. Після цього створюються тунелі між хабом у центрі і крайовими пристроями філій, модуль моніторингу запускає фонове оновлення метрик, а політичний модуль отримує декілька типових політик, наприклад політику для відеоконференцій, найкритичніших бізнес додатків і службового трафіку. Контролер формує таблицю потоків для різних типів трафіку між фактичними парами майданчиків, використовуючи поточний стан тунелів та політики.

У результаті такий програмний комплекс на Python ілюструє архітектуру SDN на базі транспортної мережі SD WAN. Модель топології показує, як логічні тунелі поверх фізичної інфраструктури представляються у вигляді об'єктів. Політичний модуль демонструє прив'язку бізнес вимог до маршрутизації трафіку. Контролер показує процес програмування потоків у мережі, а модуль моніторингу підкреслює роль телеметрії при виборі маршрутів.

```
# Система побудови програмуємої мережі SDN на базі SD WAN

from dataclasses import dataclass, field
from typing import Dict, List, Optional, Any
import threading
import time
import json
import random
from http.server import BaseHTTPRequestHandler, HTTPServer

# Опис базових сутностей мережі SD WAN

@dataclass
class Site:
    site_id: str
    name: str
    region: str
    bandwidth_mbps: int
    devices: List[str] = field(default_factory=list)

@dataclass
class EdgeDevice:
```

```

    site_id: str
    mgmt_ip: str
    role: str
    tunnels: List[str] = field(default_factory=list)

@dataclass
class Tunnel:
    tunnel_id: str
    src_device: str
    dst_device: str
    status: str = "down"
    latency_ms: float = 0.0
    loss_percent: float = 0.0
    capacity_mbps: int = 0

@dataclass
class FlowDescriptor:
    flow_id: str
    src_site: str
    dst_site: str
    app: str
    qos_class: str
    min_bandwidth_mbps: int
    max_latency_ms: int

@dataclass
class Policy:
    policy_id: str
    name: str
    match: Dict[str, str]
    constraints: Dict[str, Any]

# Модуль топології SD WAN і логічної мережі SDN

class Topology:
    def __init__(self) -> None:
        self.sites: Dict[str, Site] = {}
        self.devices: Dict[str, EdgeDevice] = {}
        self.tunnels: Dict[str, Tunnel] = {}

    def add_site(self, site_id: str, name: str, region: str,
bandwidth_mbps: int) -> Site:

```

					<b>БКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

```

        if site_id in self.sites:
            return self.sites[site_id]
        site = Site(site_id=site_id, name=name, region=region,
bandwidth_mbps=bandwidth_mbps)
        self.sites[site_id] = site
        return site

    def add_device(self, device_id: str, site_id: str, mgmt_ip: str, role:
str) -> EdgeDevice:
        if device_id in self.devices:
            return self.devices[device_id]
        if site_id not in self.sites:
            raise ValueError("Unknown site for device")
        device = EdgeDevice(device_id=device_id, site_id=site_id,
mgmt_ip=mgmt_ip, role=role)
        self.devices[device_id] = device
        self.sites[site_id].devices.append(device_id)
        return device

    def add_tunnel(
        self,
        tunnel_id: str,
        src_device: str,
        dst_device: str,
        capacity_mbps: int,
    ) -> Tunnel:
        if tunnel_id in self.tunnels:
            return self.tunnels[tunnel_id]
        if src_device not in self.devices or dst_device not in
self.devices:
            raise ValueError("Unknown device in tunnel")
        tunnel = Tunnel(
            tunnel_id=tunnel_id,
            src_device=src_device,
            dst_device=dst_device,
            status="up",
            capacity_mbps=capacity_mbps,
        )
        self.tunnels[tunnel_id] = tunnel
        self.devices[src_device].tunnels.append(tunnel_id)
        self.devices[dst_device].tunnels.append(tunnel_id)
        return tunnel

```

```

def get_site_devices(self, site_id: str) -> List[EdgeDevice]:
    if site_id not in self.sites:
        return []
    return [self.devices[d_id] for d_id in self.sites[site_id].devices
if d_id in self.devices]

def get_tunnels_between_sites(self, src_site: str, dst_site: str) ->
List[Tunnel]:
    result: List[Tunnel] = []
    src_devices = self.get_site_devices(src_site)
    dst_devices = self.get_site_devices(dst_site)
    src_ids = {d.device_id for d in src_devices}
    dst_ids = {d.device_id for d in dst_devices}
    for tunnel in self.tunnels.values():
        if tunnel.src_device in src_ids and tunnel.dst_device in
dst_ids:
            result.append(tunnel)
        elif tunnel.dst_device in src_ids and tunnel.src_device in
dst_ids:
            result.append(tunnel)
    return result

def find_path(self, src_site: str, dst_site: str) -> List[Tunnel]:
    if src_site == dst_site:
        return []
    direct = self.get_tunnels_between_sites(src_site, dst_site)
    if direct:
        return direct
    hub_candidates = [s for s in self.sites.values() if
any(self.devices[d].role == "hub" for d in s.devices)]
    for hub_site in hub_candidates:
        if hub_site.site_id in (src_site, dst_site):
            continue
        first_leg = self.get_tunnels_between_sites(src_site,
hub_site.site_id)
        second_leg = self.get_tunnels_between_sites(hub_site.site_id,
dst_site)
        if first_leg and second_leg:
            return [first_leg[0], second_leg[0]]
    return []

```

```

# Модуль моніторингу стану тунелів SD WAN

class MonitoringManager:
    def __init__(self, topology: Topology, interval_sec: int = 5) -> None:
        self.topology = topology
        self.interval_sec = interval_sec
        self._stop_event = threading.Event()
        self._thread: Optional[threading.Thread] = None

    def start(self) -> None:
        if self._thread and self._thread.is_alive():
            return
        self._stop_event.clear()
        self._thread = threading.Thread(target=self._run, daemon=True)
        self._thread.start()

    def stop(self) -> None:
        self._stop_event.set()
        if self._thread:
            self._thread.join(timeout=self.interval_sec * 2)

    def _run(self) -> None:
        while not self._stop_event.is_set():
            for tunnel in self.topology.tunnels.values():
                if tunnel.status != "up":
                    continue
                tunnel.latency_ms = random.uniform(5.0, 80.0)
                tunnel.loss_percent = random.uniform(0.0, 3.0)
                time.sleep(self.interval_sec)

```

## 4.2 Захист розробленого програмного забезпечення

Для захисту розробленого програмного забезпечення запропоновано використовувати алгоритм PRESENT – окремий випадок SP-мережі й складається з 31 раунду. Довжина блоку становить 64 біта, а ключі підтримуються в 2 варіантах, 80- і 128-бітні. Такого рівня захисту повинно цілком вистачати для низькозахищених додатків, звичайно використовуваних для розгортання на основі тегів, а крім того, що важливіше, PRESENT багато в чому збігається

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70







обставинах, і навіть були використані як навчальний посібник для студентів. У даній секції ми обґрунтуємо рішення, прийняті нами при проектуванні PRESENT. Однак, у першу чергу, опишемо очікувані прикладні вимоги.

### Цілі й середовище застосування

При проектуванні блокового шифру, застосовного в жорстко обмежених оточеннях, важливо зрозуміти, що ми не створюємо блоковий шифр, який, неодмінно, буде застосовний у багатьох ситуаціях – для цього існує AES. Навпаки, ми націлені на досить специфічне застосування, для якого AES не підходить. Вищесказане визначає нам наступні характеристики:

- Шифр буде реалізований «у залізі»
- Додатки будуть вимагатися лише для регулювання рівня безпеки. Отже, 80-бітний ключ буде здоровим розв'язком. Відзначимо, що такої ж позиції дотримуються розроблювачі потокових шифрів проекту eSTREAM.
- Додатки не припускають шифровки великої кількості даних. Таким чином, реалізація може бути оптимізована для продуктивності або простору без внесення занадто великих змін.
- У деяких застосуваннях можлива ситуація, що ключ буде зафіксований при виробництві. У такому випадку, не треба буде змінювати ключ пристрою (що може вилитися в атаки з маніпуляцією ключем).
- Фізичний обсяг пристрою буде першим пріоритетом, після безпеки, що спричинить обмеження на пікові й середні споживання енергії, і, отже, зрушить швидкодія в область низькопріоритетних параметрів.
- У пристроях, що вимагають найбільш ефективного використання фізичного простору, блоковий шифр найчастіше зможе лише шифрувати дані (encryption-only mode). Таким чином, він зможе бути використаний у запит-відповідь (challenge-response) протоколах авторизації, і, при дотриманні контролю стану, може бути використаний для шифровки й дешифрування переговорів із пристроєм, використовуючи режим лічильника.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Виходячи з таких міркувань, розв'язали створити PRESENT як 64-бітний блоковий шифр із 80-бітним ключем. Шифровка й дешифрування, у цьому випадку, мають приблизно схожі фізичні вимоги. Маючи можливість підтримувати як шифрацію, так і дешифрацію, PRESENT буде компактніше, чим підтримуючий лише шифрацію AES. А у випадку encryption-only виконання, наш шифр виявиться й зовсім понад-легко. Суб-ключі що шифрують будуть обчислюватися на ходу.

У літературі є безліч прикладів атак компромісу між часом, датою й пам'яттю, або атак з використанням парадокса днів народження при шифровці великих обсягів даних. Однак, дані атаки залежать тільки від параметрів шифру й не використовують внутрішню структуру. Наша мета полягає в тому, щоб ці атаки були кращим, що можуть застосувати проти нас. Атаки стороннього каналу й атаки з безпосереднім зломом чипа загрожують PRESENT тією самою мірою, як і іншим криптографічним примітивам. Однак для ймовірних застосувань, помірні вимоги безпеки роблять вигоду, одержувану зловмисником на практиці, досить обмеженою. В оцінці ризиків, подібні погрози не сприймаються як істотний фактор.

### **Перестановочний шар**

При виборі шару змішування ключа, наша увага до апаратної ефективності вимагає наявності лінійного шару, який може бути реалізований з мінімальною кількістю керуючих елементів (наприклад, транзисторів. це приводить до побітової перестановки. Приділяючи увагу простоті, ми вибрали регулярну бітову перестановку, що допомагає провести прозорий аналіз безпеки.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

## 5 МЕТОДИКА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ

На рисунку 5.1 зображено розроблене у магістерської дипломної роботі ПЗ системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

З рисунку можна побачити що інтерфейс головного вікна розподілено на наступні функціональні розділи:

- Верхнього меню: Файл; Кластер; Хост; Параметри; Довідка.
- Функціональних кнопок ПЗ.
- Навігаційного меню яке викликається натисканням правої клавіші маніпулятора миші.
- Розділу обрання групи.
- Розділу виведення результату роботи системи.
- Функції представлені у графічному вигляді (іконки).

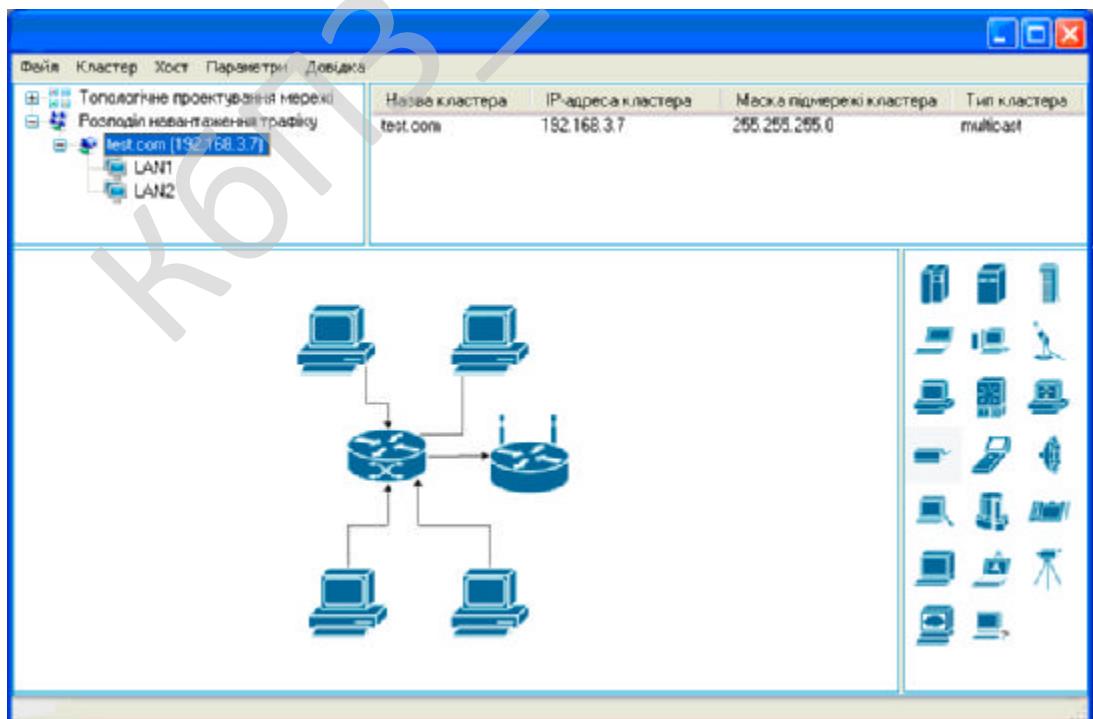


Рисунок 5.1 – Головне вікно ПЗ

У сучасному світі, бізнес у сфері інформаційних технологій пред'являє все більші вимоги до гнучкості й масштабованості комп'ютерних мереж. Так, старожилові ІТ ринку компанії AOL для залучення одного мільйона клієнтів знадобилося 9 років, Facebook знадобилося 9 місяців, а онлайн сервісу DrawSomething знадобилося всього 9 днів.

Розроблена програма має дуже простий і зрозумілий інтерфейс з користувачем. Кожен, хто в достатньому обсязі володіє операційним середовищем Windows без особливих складностей освоїть і цю програму, оскільки її інтерфейс інтуїтивно зрозумілий. Якщо програма не видала ніяких помилок, і працює, то можна використовувати, інакше слід слідувати інструкціям, які пропонує програма.

На рисунку 5.2 зображено авторські дані розробленого програмного забезпечення.

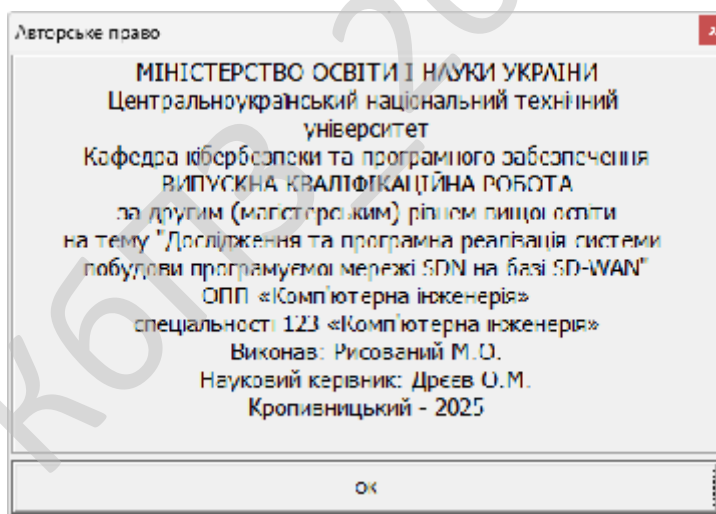


Рисунок 5.2 – Авторське право

Розглянемо процес впровадження програмного забезпечення, це процес налаштування програмного забезпечення під певні умови використання, а також навчання користувачів роботі з програмним продуктом. Впровадження програмного забезпечення це усі дії, що роблять розроблену програмну систему

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

готовою до використання. Даний процес є частинною життєвого циклу програмного забезпечення.

Загалом процес розгортання складається з кількох взаємопов'язаних дій із можливими переходами між ними. Ця активність може відбуватися як з боку виробника так і з боку споживача. Оскільки кожна програмна система є унікальною, то усі процеси та процедури під час розгортання важко передбачити. Тому, "розгортання" можна трактувати як загальний процес відповідно до певних вимог та характеристик. Розгортання може здійснюватись програмістом і в процесі розробки програмного забезпечення.

До діяльностей пов'язаних із розгортанням програмного забезпечення відносять:

- Випуск.
- Встановлення та активація.
- Деактивація.
- Адаптація.
- Обновлення.
- Вмонтування.
- Відстежування версій.
- Видалення.
- Вилучення з обігу.

При впровадженні програмного забезпечення потрібно урахувати наступні дії:

– Виділення критичних, з точки зору загального результату, процедур в діяльності організації. Коли набір таких процедур визначений, необхідно в першу чергу використовувати ІТ рішення для автоматизації операцій усередині саме цих процедур. Таким чином, розроблене ІТ рішення автоматично стає життєво важливим і затребуваним для організації, а також буде забезпечена публічність процесу впровадження;

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

– Розширення нормативної бази організації шляхом включення до неї регламентів, що описують порядок виконання процедур автоматизованих процесів. В іншому випадку є небезпека виникнення неузгодженості між автоматизованими процедурами та іншими процесами організації.

– Виконання робіт з загальної стандартизації існуючої діяльності організації, коли виділяються кращі практики виконання процедур і включаються в IT рішення за принципом найбільшої корисності для більшості учасників. Відсоток таких процедур щодо загального обсягу автоматизації може бути невеликий, але це надає процесу побудови рішення вагу в організації за рахунок збільшення його необхідності.

Проводилось тестування чорної скриньки.

Основне місце програми тестів «чорної скриньки» – інтерфейс ПЗ. Відомі: функції програми. Досліджується: робота кожної функції на всій області визначення.

Ці тести демонструють:

- Як виконуються функції програми.
- Як приймаються вихідні дані.
- Як виробляються результати.
- Як зберігається цілісність зовнішньої інформації.

При тестуванні «чорної скриньки» розглядаються системні характеристики програм, ігнорується їхня внутрішня логічна структура. Вичерпне тестування, як правило, неможливе.

Наприклад, якщо в програмі 10 вхідних величин і кожна приймає по 10 значень, то кількість тестових варіантів становитиме  $10^{10}$ . Тестування «чорної скриньки» не реагує на багато особливостей програмних помилок.

Тестування «чорної скриньки» (функціональне тестування) дозволяє отримати комбінації вхідних даних, які забезпечують повну перевірку всіх функціональних вимог до програми.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Програмний виріб тут розглядається як «чорна скринька», чію поведінку можна визначити тільки дослідженням його входів та відповідних виходів. При такому підході бажано мати:

– Набір, утворений такими вхідними даними, які призводять до аномалій у поведінці програми (назвемо його ІТс).

– Набір, утворений такими вхідними даними, які демонструють дефекти програми (назвемо його ОТ).

Будь-який спосіб тестування «чорної скриньки» повинен:

– Виявити такі вхідні дані, які з високою ймовірністю належать набору ІТс;

– Сформулювати такі очікувані результати, які з високою імовірністю є елементами набору ОТ.

Принцип «чорної скриньки» не альтернативний принципу «білої скриньки». Скоріше це доповнює підхід, який виявляє інший клас помилок.

Тестування «чорної скриньки» забезпечує пошук наступних категорій помилок:

– Некоректних чи відсутніх функцій.

– Помилки інтерфейсу.

– Помилки у зовнішніх структурах даних або в доступі до зовнішньої бази даних.

– Помилки характеристик (необхідна ємність пам'яті і т.д.).

– Помилки ініціалізації та завершення.

Обрано умови розповсюдження – proprietary software.

Програмне забезпечення, на яке зберігаються як немайнові, так і майнові авторські права.

Отримавши або придбавши таке програмне забезпечення, користувач отримує обмежені права користування ним: може бути заборонено або закрито доступ до коду (вивчення), внесення змін, тиражування, розповсюдження та перепродаж. Програмне забезпечення вважається власницьким, якщо наявне хоча б одне з перелічених обмежень.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Найчастіше основним методом захисту майнових прав на власницьке ПЗ, поза ліцензійною угодою, власник обирає закриття сирцевого коду, захищаючи свій продукт від модифікації і вбудовуючи системи обмеження користування через авторизацію. Таке програмне забезпечення називається закритим. Проте, код власницького продукту може бути і відкритим, але власник може обмежити права користувача умовами користувацької ліцензії.

Власницьке програмне забезпечення та комерційне програмне забезпечення не є синонімами – власницьким може бути і безплатне (тобто, некомерційне) програмне забезпечення.

На противагу власницькому ПЗ існує вільне програмне забезпечення, автори і власники якого дозволяють вивчати, модифікувати і поширювати свій продукт. Саме визначення власницького програмного забезпечення виникло в результаті діяльності громадського руху вільного програмного забезпечення (представленого

Фондом вільного програмного забезпечення та іншими організаціями) і осмислення умов свободи користування програмами. Визначенням власницького програмного забезпечення є не невідповідність хоча б одній з базових умов вільного програмного забезпечення.

Сама назва власницьке ПЗ підкреслює визначальне значення власника у способі використання і можливостях розвитку цього програмного забезпечення.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>81</b>

## 6 НАУКОВА НОВИЗНА

У випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

*Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.*

*Об'єктом дослідження є процес побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.*

*Предметом дослідження є методи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.*

*Методи дослідження базуються на методах теорії побудови комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.*

**Наукова новизна отриманих результатів.** У процесі рішення завдань, обумовлених цілями дослідження, отримані наступні результати:

- Удосконалено метод побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.
- Розроблено вітчизняний продукт побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN, який має більш широкі можливості, на відміну від існуючих аналогів.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>82</b>

## 7 МАРКЕТИНГОВЕ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ІТ-ПРОЄКТУ

### 7.1 Визначення цільової аудиторії кінцевого готового продукту

Результати дослідження та практичної реалізації системи побудови SDN-мережі на базі SD-WAN можуть бути особливо цікавими для великих компаній, що мають розгалужену мережеву інфраструктуру або філії у різних містах і країнах. Такі організації постійно стикаються з потребою підвищення ефективності зв'язку між підрозділами, зниження вартості мережевих каналів і централізації управління інфраструктурою. Для них SD-WAN – це шлях до скорочення витрат і спрощення управління мережею без втрати продуктивності та безпеки.

Окрім великих корпорацій, цей напрямок буде цікавий і державним установам, які прагнуть модернізувати свої комунікаційні системи, але мають обмежений бюджет. Завдяки програмованим мережам вони можуть відмовитися від дорогих MPLS-рішень і перейти на дешевші, але безпечні інтернет-канали, при цьому зберігаючи стабільність і контроль.

Малий і середній бізнес також може знайти у SD-WAN вигідне рішення. Для компаній, які швидко ростуть, важливо мати гнучку мережеву архітектуру, здатну адаптуватися до нових офісів або хмарних ресурсів без потреби у складній конфігурації. SDN дає можливість масштабувати інфраструктуру з мінімальними технічними зусиллями.

Крім того, результати дослідження будуть цінними для науковців і студентів, які вивчають сучасні підходи до цифрових комунікацій. Вони зможуть використовувати напрацювання для створення навчальних моделей або лабораторних стендів, що імітують роботу SD-WAN у реальних умовах.

					ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

## 7.2 Оцінка привабливості шляхом застосування методів експертних оцінок

Для оцінки привабливості впровадження SDN/SD-WAN було б доцільно залучити групу експертів – фахівців у галузі телекомунікацій, мережевих технологій та інформаційної безпеки. Кожен експерт може оцінити проєкт за певними критеріями: економічна доцільність, технічна складність, масштабованість, безпека, рівень автоматизації, потенціал ринку. Результати оцінювання дозволяють визначити загальний індекс привабливості рішення.

Наприклад, після аналізу десяти експертів середній бал за шкалою від 1 до 10 становив 8,6. Найвищі оцінки система отримала за показниками гнучкості, зниження вартості мережевого трафіку та простоти централізованого управління. Це свідчить про те, що більшість фахівців бачить у SD-WAN суттєвий потенціал для корпоративного використання.

Окрім кількісного оцінювання, експерти можуть надати якісні коментарі. Наприклад, вказати, що впровадження потребує кваліфікованих інженерів, але після налаштування дозволяє значно знизити навантаження на ІТ-відділ. Такі рекомендації дозволяють глибше зрозуміти сильні й слабкі сторони технології.

Метод експертних оцінок у цьому випадку є ефективним інструментом, адже він поєднує досвід практиків і аналітиків, що дозволяє приймати стратегічно виважені рішення щодо інвестицій у нові мережеві рішення.

## 7.3 Вибір методу оцінки вартості ПЗ

Найдоцільнішим для оцінки вартості SDN/SD-WAN буде витратно-функціональний метод, який враховує не лише первинні інвестиції, але й вартість експлуатації, обслуговування та потенційні вигоди у вигляді скорочення витрат. Цей метод дає змогу оцінити реальну вартість життєвого циклу системи,

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

включаючи обладнання, програмне забезпечення, навчання персоналу та технічну підтримку.

Важливим є й метод порівняльного аналізу – він дозволяє порівняти вартість традиційної мережевої інфраструктури (наприклад, MPLS) із витратами на впровадження SD-WAN. Як показує практика, економія може сягати 60–70% за рахунок дешевших інтернет-каналів і меншої потреби в локальних адміністраторах. Також корисно застосувати доходний метод оцінки, оскільки SD-WAN не лише зменшує витрати, але й підвищує продуктивність бізнесу за рахунок стабільного зв'язку, кращої якості сервісів і швидшого обслуговування клієнтів. Цей ефект важко виміряти напряму, але він суттєво впливає на економічний результат компанії.

У підсумку, комбінування цих методів забезпечує об'єктивну оцінку реальної цінності SDN-рішень, показуючи не лише скільки коштує впровадження, але й яку вигоду воно приносить у довгостроковій перспективі.

#### **7.4 Розрахунок економічної ефективності від впровадження реалізованого ПЗ як фактору його привабливості**

Підприємство має 5 філій у різних регіонах України, які з'єднані через традиційну мережу MPLS. Обслуговування мережевої інфраструктури виконується централізовано, але кожна філія потребує локальної підтримки, що спричиняє значні витрати на адміністрування, канали зв'язку та обладнання.

Система SDN на базі SD-WAN передбачає перехід від апаратно залежної інфраструктури до програмно-керованої архітектури, яка дозволяє централізовано керувати маршрутизацією, пріоритетами трафіку та політиками безпеки. Це рішення дає змогу використовувати дешевші канали зв'язку (наприклад, інтернет замість MPLS), автоматизувати управління мережею, зменшити кількість збоїв і підвищити рівень безпеки завдяки шифруванню та моніторингу у реальному часі. Вхідні дані зафіксовано в таблиці 7.1.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Таблиця 7.1 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	До впровадження (MPLS)	Після впровадження (SD-WAN)	Економічний ефект
Кількість філій	5	5	—
Середня вартість каналу MPLS на місяць (за 1 філію)	40 000 грн	—	—
Альтернативний канал (інтернет + VPN через SD-WAN)	—	12 000 грн	-28 000 грн
Загальні витрати на канали зв'язку за рік	2 400 000 грн	720 000 грн	<b>-1 680 000 грн</b>
Витрати на обслуговування обладнання та адміністрування	600 000 грн	300 000 грн	<b>-300 000 грн</b>
Вартість впровадження SD-WAN (обладнання, ліцензії, налаштування)	—	1 200 000 грн	—
Річні витрати на підтримку SD-WAN	—	180 000 грн	—

Розрахунок економічного ефекту демонструє наступне: економія на комунікаційних каналах – 1 680 000 грн/рік, економія на адмініструванні та обслуговуванні – 300 000 грн/рік, сукупний річний економічний ефект – 1 980 000 грн/рік, чистий річний ефект – 1 800 000 грн, термін окупності – 0,67 року (~8 місяців), рентабельність інвестицій – 150 %.

Нефінансові вигоди впровадження SD-WAN: централізоване управління: адміністратори можуть змінювати політики трафіку або безпеки у всіх філіях одночасно, гнучкість і масштабованість: нову філію можна підключити за кілька годин без складного налаштування, вища продуктивність: SD-WAN динамічно обирає найкращий маршрут передачі даних, забезпечуючи стабільність зв'язку, безпечність: усі з'єднання шифруються, а трафік моніториться у реальному часі, зменшення простоїв: автоматичне перемикавання каналів при відмові забезпечує безперервність бізнес-процесів.

Таким чином, SDN на базі SD-WAN – це не лише економічно ефективне рішення, а й ключовий крок до цифрової трансформації корпоративної інфраструктури, що робить підприємство більш гнучким, стійким і конкурентоспроможним у довгостроковій перспективі.

## 7.5 Пропозиція алгоритму просування проєкту розробки ПЗ

Алгоритм просування проєкту SDN/SD-WAN має починатися з визначення ключових ринкових сегментів, яким найбільше потрібні подібні рішення. Це можуть бути банки, торговельні мережі, виробничі компанії та органи державного управління. Для кожного сегмента варто створити адаптовані демонстраційні приклади, які показують конкретні результати – наприклад, економію витрат чи підвищення швидкості зв'язку.

Далі необхідно забезпечити маркетингову присутність продукту: публікації у профільних медіа, участь у конференціях, створення інформаційних

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

буклетів і вебінарів. У просуванні має бути акцент на головних перевагах SD-WAN – гнучкості, безпеці та швидкій окупності інвестицій.

Важливим етапом є налагодження партнерств із постачальниками інтернет-послуг і системними інтеграторами, які можуть пропонувати SDN/SD-WAN у складі комплексних IT-рішень. Таке співробітництво дозволить збільшити охоплення потенційних клієнтів і скоротити витрати на прямий продаж.

Завершальним кроком має стати запуск пілотних проєктів у реальних компаніях, результати яких можна використати як маркетингові кейси для подальшого розширення присутності на ринку.

## 7.6 Оптимізація каналів збуту та шляхів реалізації ПЗ

Для оптимізації каналів збуту SDN/SD-WAN доцільно поєднувати прямий і партнерський підходи. Прямий продаж ефективний для великих корпоративних клієнтів, які потребують індивідуального підходу та детального консалтингу. У той же час партнерські канали, особливо через IT-інтеграторів, дозволяють швидше охопити середній бізнес, який зацікавлений у готових рішеннях “під ключ”.

Також важливо оптимізувати процеси комунікації з клієнтами, впровадивши цифрову платформу для презентацій, демонстраційних сесій і технічної підтримки. Наявність онлайн-демо середовища дає змогу потенційним замовникам наочно побачити, як працює система, і відчутти її переваги.

Окрему увагу слід приділити гнучкості ціноутворення. Наприклад, запропонувати варіанти підписки або оренди, що зробить продукт доступнішим для малого бізнесу. Це дозволить розширити клієнтську базу без зниження прибутковості. У результаті така стратегія створює стабільну модель збуту, де SDN/SD-WAN стає не просто продуктом, а сервісом, що забезпечує довгострокову співпрацю між постачальником і клієнтом.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

## 7.7 Визначення ключових факторів успіху конкретного проєкту

Ключовими факторами успіху цього проєкту є технологічна інноваційність, стабільність і практична цінність для бізнесу. Система повинна демонструвати очевидні переваги – зниження витрат, спрощення адміністрування та підвищення продуктивності. Якщо клієнт бачить швидко окупність інвестицій, це стає головним аргументом на користь впровадження.

Другим фактором є якісна підтримка користувачів і наявність фахівців, здатних не лише налаштувати систему, а й адаптувати її під потреби конкретної організації. Технологія має бути не просто ефективною, а й зрозумілою для персоналу, який з нею працює щодня.

Важливою складовою є безпека – SDN/SD-WAN має гарантувати надійне шифрування даних і моніторинг загроз у реальному часі. У світі, де кіберризика зростають, це один із найвагоміших чинників довіри клієнтів.

І, нарешті, успіх визначається здатністю проєкту масштабуватися. Чим легше система адаптується до зростання компанії або появи нових філій, тим більше шансів, що вона стане невід'ємною частиною корпоративної ІТ-стратегії на роки вперед.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

## 8 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

### 8.1 Вступ

Охорона здоров'я працівників, забезпечення безпеки умов праці, ліквідація професійних захворювань і виробничого травматизму повинна складати одну з головних завдань роботодавця.

Основою охорони праці є науковий аналіз умов праці, технологічних процесів, виробничого обладнання, робочих місць, трудових операцій, організації виробництва з метою виявлення шкідливих і небезпечних виробничих факторів, їх властивостей, особливостей впливу на організм людини. На підставі такого аналізу розробляються заходи та засоби, спрямовані на мінімізацію несприятливого впливу виробничих факторів, створення безпечних та нешкідливих умов праці.

Для того, щоб об'єктивно проаналізувати відповідність умов праці діючим нормативно-правовим актам, необхідно здійснити санітарно-гігієнічну характеристику умов праці відділу, в якому працює програміст, над розробкою даного програмного продукту.

У зв'язку з цим необхідно сконцентрувати увагу на небезпечних і шкідливих чинниках пов'язаних з постійною роботою за комп'ютером.

Електробезпека є одним із критичних питань для співробітників, що працюють із технікою, яка одержує живлення з електричної мережі. При невиконанні норм електробезпеки можлива поразка електричним струмом.

					ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90



Таким чином можна зробити висновок, що санітарно-гігієнічні умови праці на робочому місці програміста відповідають вимогам. Температура повітря в приміщенні визначається впливом температури зовнішнього повітря і тепловою енергією, яка виділяється всередині приміщення. Джерелами виділення теплоти в даному приміщенні є електроустаткування, освітлювальні прилади, а також люди. У світлий час доби джерелом надлишкового тепла є сонячна радіація. Згідно Постанови № 42 від 01.12.1999 Головного державного санітарного лікаря України, робота, виконувана в даному приміщенні, відноситься до категорії Ia. В цьому випадку людина витрачає енергії до 120 ккал у годину. Вологість повітря в приміщенні визначається впливом багатьох факторів, серед яких: вологість атмосферного повітря, виділення вологи людьми (при диханні та випарами з поверхні шкіри). Мікроклімат повітряного середовища в приміщенні характеризується запиленістю та загазованістю повітря. Мікроклімат приміщення визначається діючим на організм людини поєднанням, вологості, температури, швидкості руху повітря та інтенсивності теплового випромінювання. Аналіз мікроклімату складається з визначення зазначених вище факторів і порівняння результатів із встановленими нормами. У таблиці 8.3 наведено оптимальні та фактичні значення параметрів мікроклімату як для категорії ваги робіт Ia, так і розглянутого приміщення. У приміщеннях, де встановлено ЕОМ, рекомендується застосування тільки оптимальних значень показників мікроклімату.

Таблиця 8.3 – Оптимальні і фактичні значення параметрів мікроклімату

Пора року	Оптимальні для Ia			Фактичні		
	Температура, °C	Вологість, %	Швидкість повітря, м/с	Температура, °C	Вологість, %	Швидкість повітря, м/с
Холодна	22-24	40-60	0,1	22-23	40-55	0,9
Тепла	23-25	50-70	0,1	24-25	50-65	0,1

Проведений аналіз показує, що показники мікроклімату в приміщенні відповідають установленим нормам. Штучне опалення застосовується у холодний період року. У літню пору застосовується кондиціонер.

Для боротьби з пилом робляться регулярні провітрювання та вологі прибирання приміщенні.

У приміщенні знаходяться наступні джерела шуму: принтер HP 1100, електродвигуни вентиляторів ЕОМ.

Одним з найважливіших факторів, які впливають на ефективність трудової діяльності людини, та попереджають травматизм і професійні захворювання програмістів є освітлення на робочому місці.

З 2019 року діють Державні будівельні норми України “Природне і штучне освітлення” – ДБН В.2.5-28:2018 [1], у яких прописані вимоги до використання всіх освітлювальних приладів, у т.ч. світлодіодних.

Працю працівника, який постійно працює за комп'ютером, згідно ДБН В.2.5-28:2018 [1], можна віднести до роботи з малою точністю (найменший розмір об'єкта розрізнення від 1 до 5 мм) V-го розряду зорової роботи, з великою контрастністю об'єкта розрізнення (символів на екрані дисплея), з темним тлом (під розряд зорової роботи В). Приміщення можна віднести до 1-ої групи приміщень, у яких проводиться розрізнення об'єктів зорової роботи при фіксованому напрямку лінії зору того, що працює на робочу поверхню. Для такого типу приміщень і розряду зорової роботи нормоване значення коефіцієнта природної освітленості (КПО) робочої поверхні (при поєднаному, спільному освітленні), повинен становити не більше 1,5%, освітленість при штучному висвітленні повинна становити 300 Лк. [1], Крім того все поле зору повинне бути освітлено достатньо рівномірно – це основна гігієнічна вимога. Оскільки яскраве світло на ділянці периферійного зору значно збільшує напруженість очей і, як наслідок, призводить до їх швидкої стомлюваності, ступінь освітлення приміщення і яскравість екрану комп'ютера повинні бути приблизно однаковими.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

### 8.3 Розробка заходів з поліпшення умов охорони праці

Згідно аналізу умов праці в розглянутому приміщенні, ми одержали наступні результати:

- розміри приміщення, у розрахунку на одного працюючого, відповідають нормативам;
- мікроклімат відповідає нормативному значенню;
- акустичні умови роботи не перевищують нормативних значень;

Таким чином можна припустити, що основною причиною можливого зниження працездатності програміста є психофізіологічний фактор, тому основна пропозиція буде така: дотримання позитивної психологічної атмосфери в колективі та регламентованого режиму праці та відпочинку, організація робочого місця з урахуванням ергономічних вимог.

Рекомендовані заходи: регулярні періодичні наочні огляди персоналом шляхів для евакуації людей із приміщення, відповідно до плану евакуації (який повинен розташовуватись на видному місці у приміщенні), включення до колективного договору мінімально можливого вмісту аптечок з обов'язковою наявністю масок-клапанів, або іншого спорядження для штучного дихання. Регулярна періодична перевірка параметрів заземлення та занулення (вимірювання опору ланцюга).

Регулярна наочне знайомство персоналу із шляхами для евакуації людей із приміщення відповідно до плану евакуації, забезпечення розподільних щитів спеціальними розетками з заземлюючими контактами; організація заземлення всіх приладів і пристроїв, які працюють при напрузі вище 36 В.

У зв'язку з тим, що при ураженні електричним струмом у людини може статися фібриляція шлуночків серця, в організації бажано мати дефібрилятор і підготовлений персонал для роботи з ним.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94





де  $K_{\Pi} = 5$  – табличне значення кліматичного коефіцієнта питомого опору ґрунту для відповідної кліматичної зони для з'єднуючої полоси [11]:

$B = 40 \text{ мм.} = 0,04 \text{ м.}$  - ширина з'єднуючої полоси (задана).

Загальний опір розтіканню електричного струму заземлювача [11]:

$$R = (R_0 \cdot R_{\Pi}) / (R_0 \cdot \eta_{\Pi} + N \cdot R_{\Pi} \cdot K_{ев}) = \\ = (21,94 \cdot 15,13) / (21,94 \cdot 0,75 + 6,85 \cdot 15,13 \cdot 0,8) = 3,33 \text{ Ом.}$$

де  $\eta_{\Pi} = 0,75$  – табличне значення коефіцієнта екранування з'єднуючої полоси [11].

Умова  $R \leq R_{зН}$  виконується ( $3,33 \leq 4$ ).

Так як  $R$  суттєво більше  $R_{зН}$ , зменшимо кількість вертикальних електродів до 6 і виконаємо перерахунок. У результаті остаточно отримали: кількість вертикальних електродів дорівнює 6 при  $R = 3,8 \text{ Ом}$ .

При необхідності можна зменшити кількість електродів заземлювача, зменшивши загальний опір розтіканню електричного струму заземлювача методом зменшення питомого опору ґрунту, домішуючи у ґрунт безпосередньо навколо електродів заземлювача розчини солей  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}$ , сажу, соду, шлак, коксову дрібницю, або спеціальні суміші.

## 8.5 Висновки до розділу

Дотримання всіх необхідних умов праці не лише сприяє збереженню здоров'я працівників, а також підвищує ефективність виробництва в цілому.

З цих міркувань було здійснено аналіз приміщення, призначеного для праці програмістів, проведено розгляд небезпечних та шкідливих факторів, що негативно впливають на програмістів під час роботи. Виконано розрахунок захисного штучного заземлення, як одного з ключових факторів безпеки програміста. Розроблено заходи з охорони праці.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

## 9 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Програмне забезпечення, створене в результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти, призначено для системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

В межах України в недостатній мірі представлені вітчизняні розробки в цій області.

У випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

– Був проведений огляд існуючих систем побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

– Досліджена система побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

– На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN.

Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Розроблене програмне забезпечення має простий, дружній та зручний інтерфейс користувача, що забезпечує легкість у освоєнні роботи програмного продукту, зручність у використанні, і не потребує особливих спеціальних знань.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

При створенні програмного забезпечення було використано об'єктно-орієнтований підхід, що відповідає сучасним тенденціям у галузі розробки комерційних програмних систем.

Програма реалізована на мові високого рівня Python. Дана мова програмування дозволяє найбільш ефективно обробляти дані. Це дозволило мінімізувати строк розробки програмного забезпечення, і, як слід, зменшити витрати на його розробку. Запропоноване програмне забезпечення ділиться на загальне програмне забезпечення, що поставляється із засобами обчислювальної техніки й спеціальне програмне забезпечення, що спеціально розроблене для даної конкретної системи й включає програми, що реалізують її функції.

Програма призначена для виконання під управлінням багатозадачної операційної системи Windows 10/11.

Даються необхідні рекомендації з установки розробленого програмного забезпечення.

Для підвищення рівня безпеки запропоновано застосовувати алгоритм PRESENT.

В цілому створене програмне забезпечення підтверджує правильність використаних проектних рішень та повністю відповідає вимогам технічного завдання. Створене програмне забезпечення має потенційну можливість для подальшого вдосконалення і застосування у різних галузях.

Проведено маркетингове та економічне обґрунтування ІТ-проєкту, що дозволило визначити ключові фактори успіху даного проєкту.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рисованій М.О. Дослідження та програмна реалізація системи побудови програмуємої мережі SDN на базі SD-WAN // Збірник праць молодих науковців ЦНТУ. – Вип. 15. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025.

2. Wendell Odom. «CCNA 200-301 Official Cert Guide, Volume 1». Cisco Press. 2020. – 848 p.

3. Wendell Odom. «CCNA 200-301 Official Cert Guide, Volume 2 Premium Edition eBook and Practice Test». Cisco Press. 2020. – 624 p.

4. Scott Jernigan «CompTIA Network+ Certification All-in-One Exam Guide, Eighth Edition». 2022. – 976 p.

5. Doug Lowe «Networking For Dummies 12th Edition». 2020. – 480 p.

6. Ramon Nastase «Computer Networking: The Beginner's guide for Mastering Computer Networking, the Internet and the OSI Model». 2018. – 186 p.

7. Russ White & Ethan Banks «Computer Networking Problems and Solutions: An Innovative Approach to Building Resilient, Modern Networks». 2017. – 832 p.

8. Вінтенко Б., Смірнов О., Миронець І., Смірнова Т., Смірнов С. «Імітаційна модель шляхів вхідних даних комп'ютерної інтелектуальної системи підтримки оператора енергоблоку АЕС». *Комбінаторні конфігурації та їхні застосування: Матеріали XXVII Міжнародного науково-практичного семінару, присвяченого 125-річчю Національного університету «Запорізька політехніка» (Запоріжжя-Кропивницький-Київ, 4-6 червня 2025 р.)*. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. С.82-91.

9. Al-Azzeh, J., Ayyoub, B., Mesleh, A., Smirnova, T., Gnatyuk, S., Drieiev, O., Smirnov, O., Dorenskyi, O. «Cloud-Based Information System for Evaluating Caverns in the Process of Blasting Metal Surfaces of Details». *International Review on Modelling and Simulations* 18 (1), 2025. pp. 32-42.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

10. Смірнова Т.В., Коноплицька-Слободенюк О.К., Буравченко К.О., Смірнов С.А., Кравчук О.В., Козірова Н.Л., Смірнов О.А. «Дослідження технологій забезпечення кібербезпеки хмарних сервісів IaaS, PaaS та SaaS». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2024. №4(24), С. 6-27.
11. Батрак О., Смірнова Т., Гнатюк В., Одарченко Р., Смірнов О. «Дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем IP-телефонії». *Підводні технології*, 2024, № 13, с. 28-35.
12. Kuznetsov, O., Kryvinska, N., Ilchenko, O., Smirnova, T., Ulianovska, Y. «Comparative Analysis of Cryptocurrency Trading Platforms Using the Analytic Hierarchy Process». *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 106-115.
13. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». *Advanced Information Systems*, 2023, 7(2), pp. 49-56.
14. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchев, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
15. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2023, 178, pp. 208–223.
16. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». *Сучасні інформаційні системи*, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.
17. Smirnova, T., Gnatyuk, S., Yudin, O., Sydorenko, V., Polozhentsev, A., «The Model for Calculating the Quantitative Criteria for Assessing the Security Level of Information and Telecommunication Systems». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 3156, 2022, Pages 390-399.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

18. Смірнова Т.В., Гнатюк С.О., Сидоренко В.М., Юдін О.Ю., Сидоренко С.Ю., «Модель визначення критичності галузевих інформаційно-телекомунікаційних систем». *Проблеми інформатизації та управління*, № 2(70). 2022. С. 28-37.

19. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Смірнов С.А., Поліщук Л.І., «Дослідження стійкості до диференціального криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2022, № 3(69). С. 93-98.

20. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Поліщук Л.І., Смірнов С.А. «Дослідження статистичної стійкості та швидкісних характеристик запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки»*, № 2 (307). С. 46-52. 2022.

21. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Константинова Л.В., Смірнов С.А., Якименко Н.М., «Дослідження стійкості до лінійного криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2022, № 1(67). С. 84-89.

22. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». *Communications in Computer and Information Science*, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.

23. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings*. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.

24. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and

cybersecurity of virtual cloud resources». *Journal of theoretical and applied information technology* Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.

25. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.

26. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.

27. Smirnov, O., Markovets, O. Vovk, N., Turchyn, Y., «Model of informational support for social network administrators' content creation». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2616, 2020, Pages 125-136.

28. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2616, 2020, Pages 366-379.

29. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2608, 2020, Pages 633-645.

30. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019*; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.

31. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». *International Journal of Computing*; 2019,

Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.

32. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.

33. Smirnov, O., Odarchenko, R., Abakumova, A., Usik, P., Kundyz, M., «QoE optimization technique for media delivery in 5G networks». *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019. P.597-601.

34. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». *CEUR Workshop Proceedings*, Vol 2588, P. 90-106, 2019.

35. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT-2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019*, P. 395-399.

36. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kiian, A., Zamula, A., Rudenko, S., Hryhorenko, V., «Variance Analysis of Networks Traffic for Intrusion Detection in Smart Grids», *2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS)*, Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 353-358.

37. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», *2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS)*, Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.

38. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special

Correlation Properties», *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2353, *CEUR Workshop Proceedings* 2019, Pages 618-629.

39. Smirnov A.A., Kuznetsov A.A., Danilenko D.A., Berezovsky A., «The statistical analysis of a network traffic for the intrusion detection and prevention systems», *Telecommunications and Radio Engineering*. – Volume 74, Issue 1. – Begel House Inc. – 2015. – P. 61-78.

40. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Кравченко С.С., Горбов В.О., «Хмарна система підтримки прийняття рішень технологічного процесу відновлення поверхонь конструкцій і деталей машин». *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, № 4. С. 79-95

41. Смірнов О.А., Усік П.С., Миронець І.В., Буравченко К.О., Якименко Н.М. «Метод підвищення ефективності розподіленої обробки даних у комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку» *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки*. №4. С. 103-110. 2020.

42. О.А.Смірнов, Т.В.Смірнова, Л.І. Поліщук, К.О. Буравченко, А.О.Макевнін, «Дослідження хмарних технологій як сервісів», *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. № 3(7). С. 43-62. 2020.

43. Смірнов О.А., Коноплицька-Слободенюк О.К., Смірнов С.А., Буравченко К.О., Смірнова Т.В., Поліщук Л.І. Інформаційна безпека в комп'ютерних мережах. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2020. – 294 с.

44. О.А. Смірнов, П.С. Усік, «Дослідження перспектив використання технологічних рішень в мережах 5G» у *Кібербезпека та інформаційні технології: монографія*. – Х. : ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020.С. 122-135.

45. Смірнов О.А., Дреєва Г.М., Дреєв О.М., Смірнова Т.В. «Фрактальний аналіз генератора самоподібного трафіку на основі ланцюга Маркова». *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. № 2(33). с. 161-172, 2019.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

46. Смірнов О.А., Коноплицька-Слободенюк О.К., Смірнов С.А., Буравченко К.О., Смірнова Т.В. Поліщук Л.І. Проектування комп'ютерних систем та мереж. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2019. – 264 с.

47. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kuznetsova., K. Synthesis of Discrete Signals with Improved Correlation Properties. Монографія: In.: ISCI'2019: Information Security in Critical Infrastructures. Collective monograph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov, ASC Academic Publishing, USA, 2019, pp. 281-299. – ISBN: 978-0-9989826-8-7 (Hardback), ISBN: 978-0-9989826-9-4 (Ebook).

48. Смірнов О.А., Дреєва Г.М. Метод генерування фрактального трафіку за допомогою моделі генератора на графі. Монографія: Інформаційна безпека та інформаційні технології : монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. – Х. : Вид. Рожко С.Г. 2019. С. 123-139

49. Дреєва Г.М., Смірнов О.А., Дреєв О.М. Метод генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату для моделювання трафіку у мережі. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 1(32). с. 173-183, 2019.

50. Смірнова Т.В., Солових Є.К., Смірнов О.А., Дреєв О.М. Побудова хмарних інформаційних технологій оптимізації технологічного процесу відновлення та зміцнення поверхонь деталей. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 1(32). с. 184-194, 2019.

51. Смірнов О.А., Смірнов С.А., Поліщук Л.І., Смірнова Т.В., Коноплицька-Слободенюк О.К. Метод формування антивірусного захисту даних з використанням безпечної маршрутизації метаданих. Кібербезпека: освіта, наука, техніка. – Том 3 № 3. – Київ: КУ ім. Бориса Грінченка. – 2019. – С. 63-87.

52. Смірнов О.А., Гнатюк С.О., Кавун С.В., Терейковський І.А., Жмурко Т.О., Смірнов С.А., Коваленко А.С. Основи безпеки в комп'ютерних мережах. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2018. – 177 с.

					<b>ВКРМ-123.25.0058.00.00.ПЗ</b>	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106