ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно- інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____Лактіонов І.С.
_____
(підпис) (ініціали, прізвище)
"___"_____20_ р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Дослідження використання SDN-механізмів для оптимізації процесів в транспортних мережах

Виконав : студент 2 курсу, групи ТКРм-20
(шифр групи)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Чуйков А.М. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник к.т.н., доц. Воропаєва А.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно- інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

Захист відбувся_____
(дата)
з оцінкою _____
секретар ДЕК_____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

магістра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Дослідження використання SDN-механізмів для оптимізації процесів в транспортних мережах

Виконав студент групи ТКРм-20 Чуйков А.М.
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Керівник Воропаєва А.О.
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Зав. каф. автоматики та телекомунікацій д.т.н., проф. І.С. Лактіонов
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Консультанти _____
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

_____.
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

_____.
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Нормоконтролер Д.О.Жуковська
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно- інтегрованих технологій, автоматизації електроінженерії та радіоелектроніки
Кафедра автоматика та телекомунікації
Освітній ступінь магістр
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри
_____
/Лактіонов І.С/
"____" _____20___року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чуйкову А.М.
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження використання SDN-механізмів для оптимізації процесів в транспортних мережах

керівник роботи: к.т.н., доц. Воропаєва Анна Олександрівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від " " 20 року № __

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: результати науково-дослідної роботи, магістерської практики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1) аналіз транспортних програмно-конфігурованих мереж;
2) архітектури та характеристики транспортних програмно-конфігурованих мереж;
3) структурна схема моделі програмно-конфігурованої мережі;
4) математична та стимуляційна модель програмно-конфігурованої мережі;

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): схеми SDN-архітектур, моделі обслуговування SDN, адаптивні мережі з використанням SDN для транспортних мереж, принципи включення програмно-конфігурованих мереж, технічні характеристики перспективного обладнання для транспортих программно-конфігурованих мереж, компоненти OpenFlow, математична модель програмно-конфігурованої мережі та комутатора OpenFlow, сиимуляційної моделі програмно-конфігурованої мережі в середовищі AnyLogic, результати моделювання та рекомендації.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Проходження практики	09.2020	
2	Аналіз транспортних програмно-конфігурованих мереж	01.09.2020-30.09.2020	
3	Дослідження архітектур транспортних програмно-конфігурованих мереж	01.10.2020-15.10.2020	
4	Дослідження технічних характеристик транспортних програмно-конфігурованих мереж . Побудова структурної схеми.	16.10.2020-31.10.2020	
5	Розробка математичної моделі програмно-конфігурованої мережі. Вибір середовища моделювання.	01.11.2020-14.11.2020	
6	Розробка стимуляційної моделі програмно-конфігурованої мережі в середовищі AnyLogic	15.11.2020-22.11.2020	
7	Проведення стимуляційних експериментів, обробка результатів та розробка рекомендацій.	22.11.2020-30.11.2020	
8	Написання пояснювальної записки	01.12.20-15.12.20	

Студент _____ **Чуйков А.М.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ **Воропаєва А.О.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Лист зауважень

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Чуйков А.М. Дослідження використання SDN-механізмів для оптимізації процесів в транспортних мережах/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка». – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Магістерська робота направлена на дослідження принципів концепції SDN та T-SDN, адаптивних глобальних транспортних мереж і їх експлуатацію. Крім того, розглядаються ключові аспекти, що змушують мережних операторів шукати шляхи переходу до більш адаптивних мереж.

Наведений опис основних компонентів для побудови мережі з використанням технологій SDN, наведені переваги та недоліки впровадження таких технологій, а також ключові вимоги, які постачальники послуг повинні враховувати, при впровадженні таких рішень / компонент.

Крім того, розглядаються можливі шляхи переходу до адаптивної мережі і даються рекомендації щодо реалізації поетапного підходу до побудови адаптивних мереж без суттєвих перетворень; описуються кілька сценаріїв використання адаптивних мереж і один приклад впровадження від реального постачальника мережевих послуг, що може лягти в основу проектування транспортної мережі з використанням SDN-технологій для вирішення оптимізаційних задач. Запропоновано ряд рекомендацій щодо подолання технологічних, експлуатаційних і організаційних труднощі при побудові таких мереж. Модель може бути використана як в задачах аналізу, так і в завданнях оптимізації управління, що являє собою завданням подальших досліджень.

Ключові слова: SDN, ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА, АРХІТЕКТУРА, ПРОТОКОЛ, API, OPENFLOW, КОМУТАТОР, КОНТРОЛЕР, МОДЕЛЬ, ANYLOGIC.

Список публікацій здобувача:

1. Чуйков А.М Аналіз транспортних програмно-конфігурованих мереж та шляхи переходу на адаптивні мережі з використанням SDN / VII Всеукраїнський науково-практичний форум «ТАК» – Покровськ. ДВНЗ «ДонНТУ», (2021).

ABSTRACT

Chuikov A. Research using of SDN-mechanisms for processes optimization in transport networks / Graduation qualification work for obtaining an educational degree "Master" in specialty 172 "Telecommunications and Radio Engineering". – DonNTU, Pokrovsk, 2021.

The master's thesis is aimed at studying the principles of the concept of SDN and T-SDN, adaptive global transport networks and their operation. In addition, the key aspects that force network operators to look for ways to move to more adaptive networks are considered.

It describes the main components for building a network using SDN technologies, the advantages and disadvantages of implementing such technologies, as well as the key requirements that service providers must consider when implementing such solutions / components.

In addition, possible ways to transition to an adaptive network are considered and recommendations are given for the implementation of a step-by-step approach to building adaptive networks without significant changes; describes several scenarios for the use of adaptive networks and one example of implementation from a real network service provider, which may form the basis of the design of the transport network using SDN-technologies to solve optimization problems. A number of recommendations for overcoming technological, operational and organizational difficulties in building such networks are offered. The model can be used both in analysis tasks and in management optimization tasks, which is the task of further research

Keywords: SDN, TRANSPORT NETWORK, ARCHITECTURE, PROTOCOL, API, OPENFLOW, SWITCH, CONTROLLER, MODEL, ANYLOGIC.

List of applicant's publications:

1. Chuikov AM Analysis of transport software-configured networks and ways to switch to adaptive networks using SDN / VII All-Ukrainian scientific-practical forum "YES" - Pokrovsk. SHEI "DonNTU", (2021).

ЗМІСТ

ВСТУП

Актуальність роботи. В еру технічного прогресу та розвитку тенденцій зростання числа підключених до Інтернету пристроїв, BYOD (Bring Your Own Device) – «принеси свій власний пристрій»), експоненціального зростання обсягів інформації, розвиток хмарних технологій, передача великих даних по магістралям та на віддалені відстані, ведуть за собою зміну звичайної інфраструктури систем та мереж телекомунікацій. Йде нарощування обсягів пріоритетного та режимк реального часу мережного трафіку, і виникає велика необхідність реконфігурувати великомасштабні мережі та транспортні сегменти цих мереж.

Спростити цю задачу можуть технології мереж, що програмно-конфігуруються SDN (Software-Defined Networking), які дозволяють перевести мережні елементи під контроль налаштовуванго ПО, зробити їх більш інтелектуальними, полегшити управління ними.

Програмно-конфігуровані мережі – це поділ площини передачі та управління даними, що дозволяє здійснювати програмне управління площиною передачі, яке може бути фізично або логічно відокремлено від апаратних комутаторів та маршрутизаторів

1. Відокремити управління мережним обладнанням від управління передачею даних за рахунок створення спеціального програмного забезпечення.

2. Перейти від управління окремими екземплярами мережевого обладнання для управління мережею в цілому.

3. Створити інтелектуальний, програмно-керований інтерфейс між мережними програмами та транспортною мережею..

Мета роботи полягає у застосуванні SDN-механізмів для оптимізації процесів в транспортних мережах.

Для вирішення поставленої мети необхідне вирішення наступних **завдань**:

- аналіз концепцій SDN;
- дослідження областей застосування та стратегій переходу на технології SDN;
- аналіз транспортних програмно-конфігурованих мереж;
- шляхи переходу на адаптивні мережі з використанням SDN для транспортних мереж;
- побудова математичної та симуляційної моделі для дослідження характеристик транспортних програмно-конфігурованих мереж та подальша їх оптимізація.

Об'єктом дослідження є транспортна телекомунікаційна мережа.

Предметом дослідження є механізми програмно-конфігурованих мереж.

Методи дослідження. Основні теоретичні та експериментальні дослідження магістерської роботи виконані із застосуванням методів теорії імовірностей, теорії масового обслуговування, теорії телетрафіку, проектування, імітаційного моделювання.

Практична цінність отриманих результатів заключається у ряді рекомендацій щодо подолання технологічних, експлуатаційних і організаційних труднощів при побудові транспортних сегментів з використанням архітектур програмно-конфігурованих мереж. Запропонована модель може бути використана як в задачах аналізу, так і в завданнях оптимізації управління. Проведений аналіз на можливість працездатності мережі SDN від одного контролера до кластерів контролерів, щоб оцінити, скільки комутаторів даний контролер може обробляти в мережі без значних втрат продуктивності, що є важливим критерієм оптимальної побудови транспортної телекомунікаційної мережі.

Структура та обсяг роботи. Випускна магістерська робота обсягом 89 машинописних сторінок, складається з вступу, чотирьох розділів, висновків,

переліку використаних джерел, що складається з 17 найменувань. Робота містить 20 рисунків, 4 таблиці, 1 додаток.

1 АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНИХ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ

1.1 Аналіз концепцій SDN

Ряд експертів характеризують поточну ситуацію в телекомунікаційній галузі як «критичну і революційну». Домінуючі на ринку закриті (пропрієтарні) рішення представляють для додатків «чорні ящики», а сумісність рішень різних вендорів забезпечується в кращому випадку на рівні інтерфейсів. Мережі є надто складними, що ускладнює їх масштабування і управління ними, знижує їх надійність. Очевидно, що це гальмує подальший розвиток мереж і функціонують в них додатків [1].

Основними передумовами до появи концепцій «програмно конфігурованих» мереж (Software-Defined Networking, SDN) є, перш за все, швидкий ріст трафіку даних і кількості підключених до мережі пристроїв.

При цьому сам трафік стає різнорідним. Якщо в кінці 1990-х рр. його основу становила пересилка даних і файлів, які не потребують особливих вимог до каналу, за винятком швидкості передачі даних, то вже до середини 2000-х на перше місце вийшли питання забезпечення якості сервісу (QoS), мінімальної затримки в каналі (latency) і ін. Це, в першу чергу, пов'язано зі зміною структури призначеного для користувача трафіку, в якому стали переважати комунікації в реальному часі (Real Time Communications, RTC) – VoIP, відеосервіси тощо. У операторів виникла реальна потреба в динамічній пріоритетності трафіку. Наприклад, в деяких випадках пріоритет повинен бути виставлений вище для ftp-протоколу, в інших – для SIP і навпаки.

В області мобільного зв'язку установка додаткових макростільників (базових станцій) після досягнення певного порогу щільності їх розміщення вже не дає істотного приросту пропускної здатності і ємності мереж радіодоступу (RAN), тому наступним етапом стає використання малих сот

(фемто- і пікосоти). В результаті конфігурація великомасштабних мереж перетворюється на складне завдання і вимагає серйозних змін принципів побудови, експлуатації та управління мереж.

SDN на думку аналітиків підривають ринок традиційних мережевих продуктів і загрожують доходному бізнесу таких компаній як Cisco, Juniper Networks і Hewlett-Packard. SDN переносить функції управління і визначення завдань мережі з дорогого обладнання в ПО, яке може працювати на більш дешевих масово-випускних системах. Мета полягає в створенні більш рухливих, програмованих та автоматизованих мереж.

Ключові принципи програмно-конфігурованих мереж – поділ процесів передачі та управління даними, централізація управління мережею за допомогою уніфікованих програмних засобів, віртуалізація фізичних мережевих ресурсів. Протокол OpenFlow, який реалізує незалежний від виробника інтерфейс між логічним контролером мережі і мережевим транспортом, є однією з реалізацій концепції програмно-конфігурованих мережі і вважається рушійною силою її поширення і популяризації.

Основна суть SDN полягає в фізичному поділі рівня управління мережею (network control plane) від рівня передачі даних (forwarding functions) за рахунок перенесення функцій управління (маршрутизаторами, комутаторами і т.п.) в програми, що працюють на окремому сервері (контролері).

У результаті повинна вийти гнучка, керована, адаптивна та економічна архітектура, яка здатна ефективно адаптуватися під передачу великих потоків різних видів трафіку.

Основні ідеї SDN включають:

- поділ проходження трафіку (data plane) і сигналізацію / управління (control plane);
- істотне спрощення мережних елементів рівня data plane;
- єдиний, уніфікований, незалежний від постачальника інтерфейс між рівнем управління і рівнем передачі даних;

- логічне централізоване управління мережею, здійснюване за допомогою контролера з встановленої мережною операційною системою і реалізованими поверх мережними додатками;
- віртуалізація фізичних ресурсів мережі.

Таким чином, SDN намагається розділити дві площини – управління мережею і транспорт, і в підсумку забезпечити централізацію управління розподіленою мережею з метою більш ефективного використання ресурсів і автоматизації управління мережними сервісами.

1.2 Схема SDN-архітектури

SDN формує віртуальний рівень для мережі, аналогічно тому, як гіпервізор або віртуальна машина робить це для серверів або настільних ПК. Протокол OpenFlow дозволяє програмному забезпеченню SDN взаємодіяти з відповідними елементами мережі – маршрутизаторами і комутаторами через відкриті Application Programming Interface (API). Шлях пакетів в програмно-конфігурованій мережі визначається не устаткуванням виробників і «зашитими» в них алгоритмами обробки потоків даних, а спеціальним керуючим контуром в софт [2]. Схема архітектури SDN представлена на рис. 1.1.

SDN дозволяє спростити конфігурацію мереж, масштабувати мережі і сервіси за запитом, автоматизувати управління мережею, збільшити потужність фізичної інфраструктури за рахунок віртуалізації, а в перспективі – швидко реконфігурувати галузь під поточні завдання.

Перша велика мережа SDN була реалізована в 2012 р компанією Google на базі комутаторів власної розробки. Таким чином їй вдалося зняти ті обмеження, які притаманні рішенням, використовуваним традиційними операторами. Трафік перенаправляється між ЦОДамі так, як це зручно і

вигідно в поточний момент. Крім Google, технологію SDN використовують фірми NTT, Pertino, AT & T, Telecom Italia і ряд інших компаній [3].

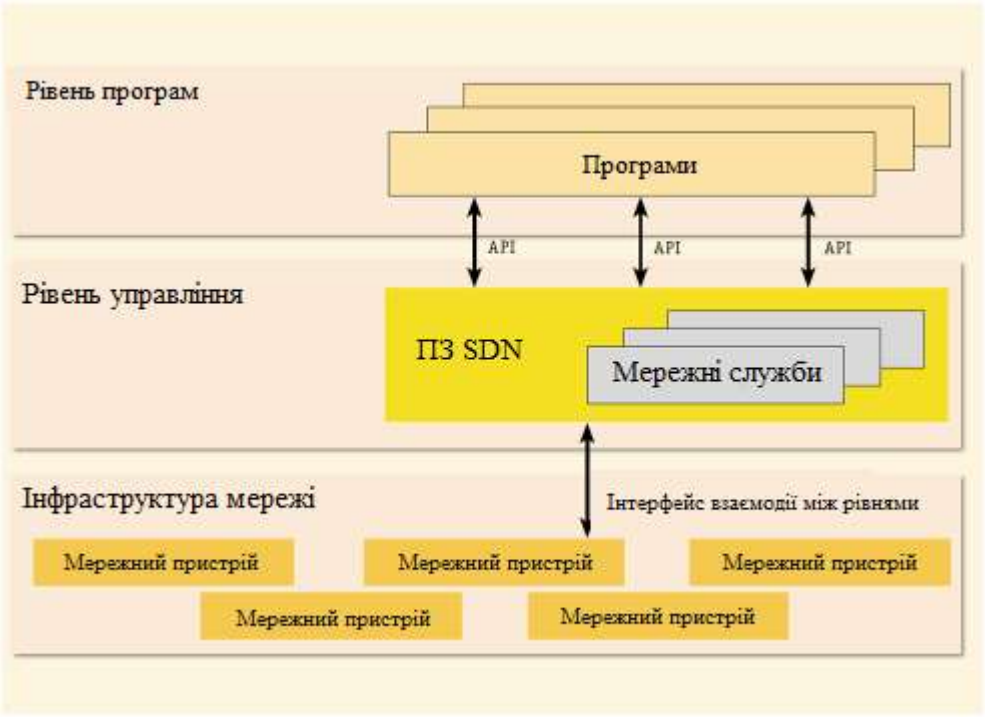

Рисунок 1.1 – Схема SDN-архітектури

Складається два стратегічних напрямки впровадження SDN. Перший пов'язаний з підвищенням ефективності мережі та гнучкості послуг. Головна мета – зниження вартості експлуатації мережі і скорочення часу впровадження. Другий націлений на отримання переваг від поєднання нових технологічних можливостей. Мета в цьому випадку інша – формування нових диференційованих хмарних сервісів і динамічне, залежне від поточного профілю попиту їх надання. Першим шляхом йдуть такі компанії, як німецька Deutsche Telekom і іспанська Telefonica, по другому – японська NTT і американська AT & T.

1.3 Моделі обслуговування SDN

Перш за все обговоримо три основні моделі SDN, пояснюючи основні цілі, механізми, переваги та недоліки кожної з них.

SDN-модель віртуалізації мережі. Найпростішою моделлю, яку ринок вважає SDN, є модель віртуалізації мережі, популяризована Nicira, стартапом, придбаним VMware в 2012 році. Основною метою віртуалізації мережі є усунення обмежень на розбиття локальної мережі (LAN), які існують у віртуальній локальній мережі Ethernet. (VLAN) і для вирішення проблем масштабованості при багатоадресній передачі в деяких архітектурах віртуальних мереж на основі Ethernet.

Щоб досягти цього, платформи віртуалізації мережі доповнюють програмним елементом – зазвичай гіпервізором, але програмне забезпечення для створення хмар, наприклад OpenStack, також можна модифікувати за допомогою інтерфейсу, який створює VLAN, заснований на тунелях, що працюють поверх традиційного Ethernet. Мережне обладнання та робота мережі не зачіпаються, і теоретично таким чином можна створити десятки тисяч віртуальних мереж (або більше).

Найбільша перевага віртуалізації мережі полягає в тому, що вона підтримує хмари з кількома клієнтами, не вимагаючи змін у самій мережі. Ця модель SDN легко зіставляється з популярними інтерфейсами віртуалізації в механізмах хмарних мереж, таких як Quantum OpenStack або більшість хмарних інструментів DevOps. У результаті стає легко інтегрувати надання мережних послуг із наданням хмарних послуг.

Найбільшим недоліком є те, що віртуальні мережі, перебуваючи «над» мережним рівнем, просто відображаються як трафік до мережевих пристроїв. Ці пристрої не можуть надавати пріоритет окремим віртуальним мережам або повідомляти про їх статус, якщо для ідентифікації заголовка віртуальної мережі не використовується глибока перевірка пакетів. Як наслідок, програмне забезпечення, яке є частиною хмарного серверного стеку, створює

віртуальні мережі, які можуть пов’язувати лише віртуальні машини, а не користувачів і пристрої [9,10].

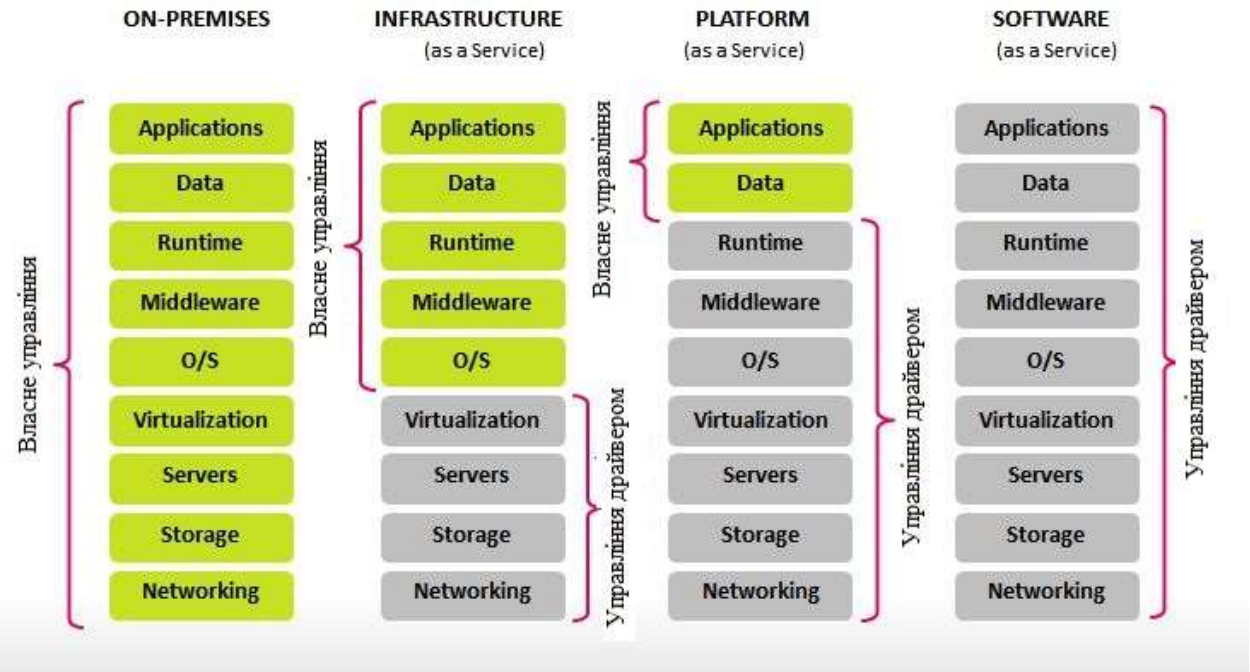

Рисунок 1.2 – Моделі обслуговування SDN

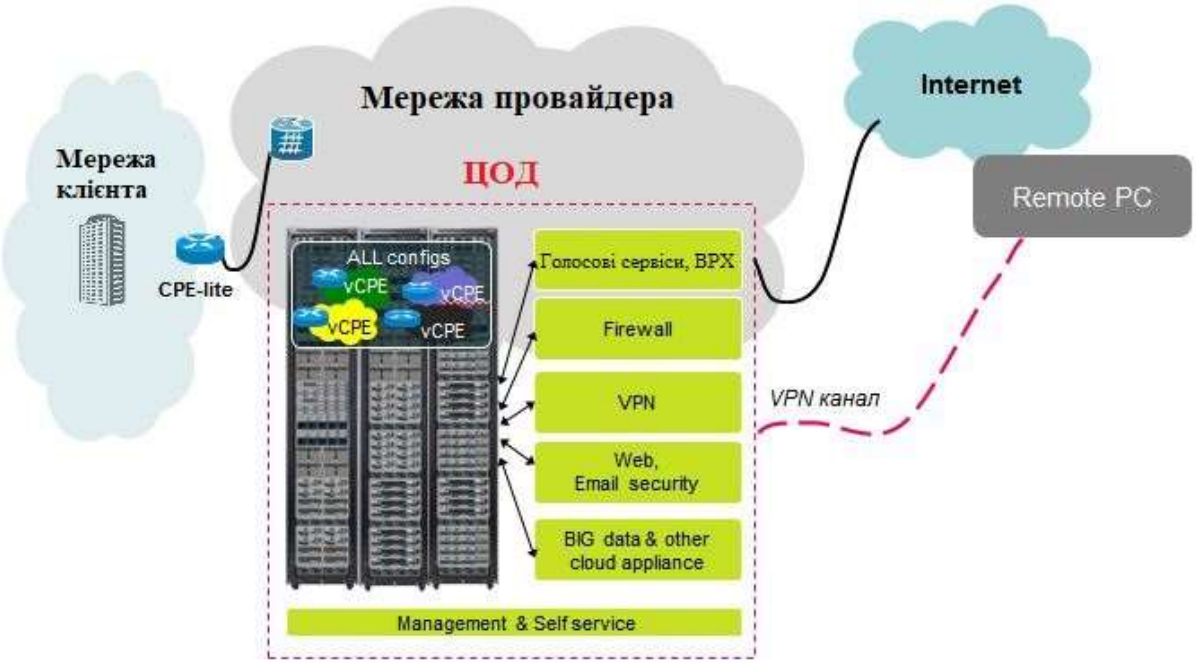

Рисунок 1.3 – Реалізація хмарних сервісів на стороні провайдера

«Еволюційний» підхід до побудови SDN. Другу модель SDN можна назвати «еволюційною» моделлю. За допомогою цієї моделі, метою якої є покращення програмного керування мережею та її операціями, але в межах існуючих мережних технологій. Щоб досягти цього, постачальникам мереж необхідно пристосуватись до певних стандартів, таких як VXLAN, GRE, BGP і MPLS, і використовувати їх для поділу мережі на віртуальні сегменти для управління трафіком і якістю обслуговування. Потім постачальники можуть об'єднати свої рішення в набір інтерфейсів керування, які можна використовувати з хмари – знову ж таки, за допомогою інструментів DevOps або хмарного віртуального інтерфейсу, такого як OpenStack Quantum.

Мережні пристрої реалізують цю модель SDN, завдяки чому вона повністю інтегрована з мережними операціями, керуванням FCAPS та моніторингом мережі. Можуть застосовуватися звичайні принципи розробки трафіку, а віртуальні мережі теоретично можуть поширюватися від сервера до користувача, якщо пристрої підтримують вибрані стандарти.

Більшість постачальників SDN наразі реалізують усі наведені вище стандарти мережі, але деякі можуть бути доступні не на всіх пристроях. Останній пункт є першим із кількох недоліків цих еволюційних моделей, оскільки постачальникам потрібно буде перевірити стандарти, які підтримує існуюче обладнання. Більша проблема полягає в тому, що поки що конкретні постачальники пропонують ці еволюційні моделі SDN, які можуть не повністю взаємодіяти з обладнанням інших постачальників. Цей підхід також, імовірно, вимагатиме спеціальної інтеграції між системами управління та хмарними віртуальними мережами або інтерфейсами DevOps, і якщо постачальник цього не надасть, то вирішення даної задачі доведеться взяти на себе операторам зв'язку [10-11].

SDN-модель OpenFlow. Остаточна модель – це модель SDN OpenFlow, яку більшість людей асоціює з терміном SDN. OpenFlow замінює традиційне створення таблиць пересилання на комутаторах і маршрутизаторах на основі виявлення на централізовано керовану пересилку, тобто центральний

контролер програмує таблицю пересилання кожного пристрою. Це дає цій центральній контрольній точці повне правило щодо того, як мережа сегментується чи віртуалізована, як керується трафік тощо. У цій моделі SDN можна використовувати будь-яку комбінацію контролерів і комутаторів, які підтримують сумісні версії OpenFlow (версії, які підтримують необхідні функції мережі).

Найбільшою перевагою цієї остаточної моделі SDN є те, що це модель, на якій спочатку була побудована концепція SDN. Ранні пілотні випробування та розгортання показують, що OpenFlow може покращити доступність та надійність мережі, одночасно збільшуючи використання мережі, зменшуючи таким чином капітальні витрати на інфраструктуру та експлуатаційні витрати.

Недоліком цієї моделі є поточна відсутність функціональної деталізації всіх необхідних компонентів. OpenFlow підтримується на більшості основних комутаторів і маршрутизаторів, але не завжди з такою ж пропускною здатністю, яку можуть досягти традиційні протоколи. І, звичайно, цей механізм підтримки OpenFlow не сприяє зниженню вартості комутації.

Існують як відкриті, так і комерційні контролери OpenFlow, але вони роблять трохи більше, ніж надсилають команди комутаторам для створення шляхів, керування потужністю тощо. Потрібен набір управлінських програм вищого рівня. Вони повинні підключатися через північні API до контролерів OpenFlow, і ці API не стандартизовані. Ранні реалізації OpenFlow вимагали від операторів інтеграції кількох компонентів для створення функціональної програмно-визначеної мережі; повного комерційного пакету не було.

Отже, роблячи висновок про існуючі моделі програмно-конфігурованих мереж відмітимо, що хмарні провайдери, які борються з обмеженнями VLAN щодо сегментації – 4095 VLAN на мережу – або стикаються з проблемами багатоадресної розсилки під час маршрутизації VLAN, можуть спочатку подивитися на модель віртуальної мережі SDN. Ця

модель також може бути накладена на еволюційну модель SDN, хоча можуть виникнути деякі проблеми синхронізації інтерфейсів керування. Провайдери, які роблять великі інвестиції в мережне обладнання центрів обробки даних, можуть розглянути цей підхід, щоб уникнути зайвих витрат.

Майбутнє, імовірно, означатиме принаймні певну адаптацію для OpenFlow, і тому постачальники повинні шукати підтримку OpenFlow від своїх постачальників мережного обладнання, особливо під час розгортання нового обладнання. На сьогодні, майже всі постачальники мереж чітко взяли на себе зобов'язання підтримувати OpenFlow як частину свого еволюційного підходу до SDN, що означає, що постачальники хмарних послуг можуть насправді сподіватися використовувати дві або навіть три моделі SDN одночасно [10-13].

1.4 Ефективність впровадження SDN

Практичний ефект впровадження SDN для клієнтів полягає в наступному:

- управління послугами з особистого Кабінету;
- отримання мережних функцій як послуг с чітким SLA;
- зниження витрат на обслуговування власних мережних функцій та IT систем за рахунок їх перенесення на «сторону» оператора;
- отримання доступу до послуг в режимі 24/7 навіть при зміні фізичного місця перебування;
- отримання доступу до послуг за мінімальний час при підключенні додаткового обладнання;
- можливість тестової експлуатації послуги без необхідності її реалізації.

Практичний ефект впровадження SDN для провайдерів надання послуг полягає в наступному:

- зниження вартості підключення – послуги віртуалізовуються і не вимагають виділеного обладнання;
- використання COTS обладнання (стандартне обладнання x86 архітектури);
- скорочення або повна відміна виїздів до клієнта для підключення додаткових послуг
- доступ до послуг в режимі 24/7 навіть при переїзді клієнта;
- зниження часу як на підключення нового клієнта, так і на додавання нових послуг;
- зниження вартості експлуатації;
- швидке і еластичне масштабування послуг в залежності від потреб;
- уніфіковані включення на мережі – зниження кількості різнотипного кінцевого обладнання.

1.5 Якість обслуговування у SDN

QoS вважається однією з істотних властивостей, що впливають на продуктивність програми, що інтенсивно використовує комунікаційну мережу. У контексті мережі QoS сприймається як можливість забезпечення сервісу. Найбільш поширені параметри для забезпечення QoS – це пропускна здатність, затримка, коефіцієнт втрати пакетів (Packet Loss Rate, PLR) та управління навантаженнями. Вибір мережевих параметрів QoS залежить від типу програми.

У табл. 1.1 наведено пропозицій щодо QoS для тих випадків, коли архітектура SDN формується на основі підходу забезпечення якості обслуговування.

Таблиця 1.1 – Загальні аспекти забезпечення якості обслуговування при використанні архітектур SDN

Застосунок	Мережні параметри	Алгоритм маршрутизації	Цільовий застосунок
Q-Ctrl	Пропускна здатність	Керування пропускною здатністю	Хмарні мультимедійні служби
OpenQoS	Пропускна здатність, затримка, коливання затримки	SPF з обмеженням затримки	Потокове відео, мультимедіа
Flow QoS	Пропускна здатність	Пріоритет, що задається користувачем для кожної програми	Мультимедійні сервіси, VoIP
QoS control	Пропускна здатність, затримка	Політика пріоритетів і управління пропускною здатністю, що задаються користувачем	Потокове відео, мультимедіа
VSDN	Пропускна здатність, затримка, джиттер	SPF з обмеженою пропускною здатністю та затримкою	Передача відео
Q-Ctrl	Пропускна здатність	Пріоритетність і управління, що задається користувачем пропускною здатністю	Мультимедійні сервіси, VoIP
CECT	Пропускна здатність	SPF на основі обмежень та затримка	Потоки передачі даних (не вказано)
Amoeba Net	Пропускна здатність	SPF з обмеженням пропускної здатності	Потоки передачі даних (не вказано)

Аналіз цих пропозицій показує потребу в додатковому модулі, який взаємодіє з контролером SDN для забезпечення якості обслуговування. В більшості випадків в алгоритмі маршрутизації QoS використовується

найкоротший маршрут (Shortest Part First, SPF), заснований на обмеженнях, при цьому крім обліку відстані між мережними вузлами, у деяких випадках враховується і затримка між ними. Більшість пропозицій щодо QoS зосереджені на управлінні пропускної спроможності та перенаправленні потоку даних на ті канали, де вимоги до пропускної спроможності виконані. Здебільшого дані пропозиції стосуються мультимедійних програм (потокового відео) і навіть VoIP.

Для ефективного використання додатків високопродуктивних обчислень та обробки великих обсягів даних потрібна реалізація багатоцільового алгоритму QoS, в якому повинні враховуватися такі параметри мережі, як пропускна здатність, двоточкова затримка, коефіцієнт втрати пакетів та коливання затримки. Крім того, потрібна розробка стратегій, що дозволяють скористатися перевагами SDN [14].

В розглянутих пропозиціях з приводу QoS експерименти проводилися тільки в межах одного домену та з одним мережним контролером. У жодному випадку не розглядалася якість обслуговування за наявності більше одного домену, іншими словами, при використанні архітектури, в якій програми HPC та Big Data виконуються у більш ніж один розподілений центр даних. За наявності такого сценарію необхідний модуль QoS для встановлення зв'язку з контролерами кожного задіяного домену, а також для взаємодії із постачальниками послуг Інтернет (Internet Service Provider, ISP). Слід помітити, що пропускна здатність є параметром SDN, але це не означає, що управління пропускною здатністю рівнозначно забезпечення QoS в SDN.

Якість обслуговування мережі одна з головних факторів покращення продуктивності наукових застосунків, що працюють у програмно-конфігурованій мережі. При цьому забезпечення якості обслуговування у SDN є однією з найсерйозніших проблем, зокрема, у процесі вибору мережних шляхів, які краще відповідають вимогам кожної програми. Процес вибору шляхи повинен бути заснований на політиках QoS, які визначаються додатковим модулем на рівні застосунків або управління, що взаємодіють з

контролером SDN. Таким чином, процес перенаправлення потоку даних буде заснований на політиках QoS, а не тільки на використанні найкоротшого шляху (що є традиційною схемою маршрутизації мережного контролера) або з урахуванням лише одного параметра мережі. В процесі планування завдань застосунків рішення про розподіл завдань по обчислювальних вузлах буде ґрунтуватися на мережних політиках QoS, чітко визначених для кожної програми.

На основі максимальних значень мережних параметрів, а також контрольних значень затримки (табл. 2) пропонується класифікувати програми за їх функціональними характеристиками. З цієї точки зору для деяких із цих застосунків потрібна масивна передача даних або інтенсивна комунікація з обчислювальними вузлами розподілених центрів обробки даних Ці програми можуть відноситися до класів QoS рівнів 0 та рівня 2. Після класифікації програм контролер SDN призначає вищий пріоритет правилам потоків даних застосунків з класів високих рівнів, щоб ці програми могли виконувати передачу даних у найкоротший час [14].

Таблиця 1.2 – Класи забезпечення якості обслуговування та максимальні значення показників мережі

Клас QoS	Характеристики	Затримка (мс)	Коливання затримки (мс)	Коефіцієнт втрати пакетів PLR (Packet Loss Rate)
0	Режим реального часу, висока чутливість до коливань затримки, багато мережних комунікацій	100	50	$1x10^{-3}$
1	Режим реального часу, чутливість до коливань затримки, є мережні комунікації	400	50	$1x10^{-3}$
2	Транзакційні дані, багато мережних комунікацій	100	Не встановлено	$1x10^{-3}$
3	Транзакційні дані, є	400	Не	$1x10^{-3}$

	мережні комунікації		встановлено	
4	Низький рівень втрат (короткі транзакції, Інтернет, потокове відео)	1000	Не встановлено	$1x10^{-3}$
5	Традиційні програми (з негарантованою швидкістю доставки)	Не встановлено	Не встановлено	Не встановлено

Одним з найважливіших аспектів, який необхідно враховувати, це потреба у взаємодії контролерів SDN всіх центрів даних для забезпечення можливості координувати політики QoS, визначені для між доменних застосунків. Для створення подібної архітектури може знадобитися розробка алгоритмів для роботи з мультиконтролерами або розробка стратегій, що дозволяють координувати політики QoS за наявності кількох контролерів SDN. Такий підхід міг би підвищити швидкість аналізу великих даних для Інтернету речей, коли великі обсяги даних зберігаються в географічно розподілених хмарних середовищах, та покращити роботу високопродуктивних додатків, що підтримують парадигми MPI та OpenMPI та працюють у програмно-конфігурованому центрі даних.

Висновки до розділу 1

В даному розділі магістерської роботи проведено дослідження загальних відомостей про програмно-конфігуровані мережі та виділені ключові принципи розгортання таких мереж.

Велика увага приділена дослідженню моделей обслуговування SDN, а саме: моделі віртуалізації мережі, «еволюційному» підходу до побудови SDN та SDN-моделі OpenFlow, були виділені переваги та недоліки, а також практичне застосування кожної із розглянутих моделей.

Був проаналізований практичний ефект впровадження SDN. Розглянуті аспекти забезпечення якості обслуговування при використанні SDN, класи

забезпечення якості обслуговування та максимальні значення показників мережі при використанні даних архітектур.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ АРХІТЕКТУР ТРАНСПОРТНИХ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ

2.1 Загальні аспекти побудови транспортних програмно-конфігурованих мереж

У традиційній архітектурі транспортних мереж виділяють три рівні управління [1,2]: рівень централізованої системи експлуатації (operation support system – OSS), рівень системи управління мережею (network management system – NMS) і системи управління елементами мережі (eic-nienl management system – EMS), а також рівень транспортної мережі WDM / OTN / IP / MPLS (рис. 2.1). Виділяють «південний» інтерфейс (SoulhBoutid Interface), що забезпечує взаємодію з мережними елементами (CE), і «північний» інтерфейс (NorthBound Interface), який звернений до OSS. При цьому на «північному» інтерфейсі необхідно реалізувати мульти-технологічний і мульти-Вендорний інтерфейс підтримки системи експлуатації (MTOSI – multi- technology operations system interface), а на «південному» інтерфейсі можливе використання протоколів управління мережевими інтерфейсами, таких як Q / 3, SNMP, TL1.

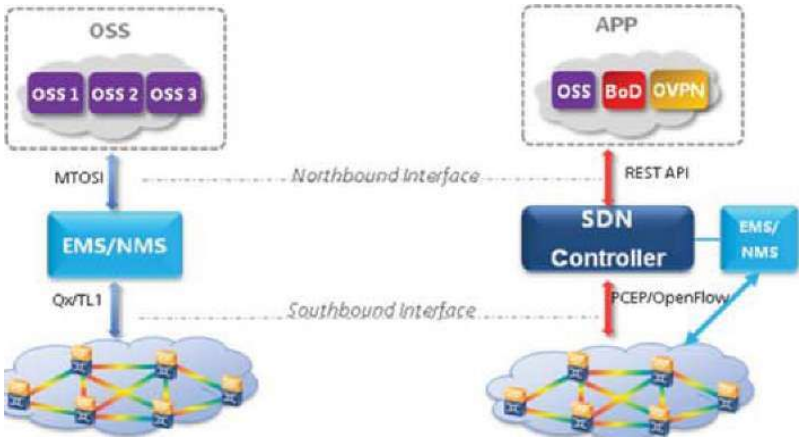

Рисунок 2.1 – Порівняння традиційної мережної архітектури з архітектурою SDN

Функціонування OSS дозволяє виконувати ряд наступних завдань:

- управління інвентаризацією (Resource / Inventory Management);
- управління продуктивністю (Performance Management);
- управління несправностями (Fault Management);
- контроль за виконанням завдань по усуненню несправностей (Trouble Ticketing);
- управління якістю послуг, що надаються (SLA Management);
- управління нарядами на активацію послуг (Order Management);
- роботу системи попередження шахрайства (Fraud Management);
- застосування модуля планування і розвитку послуг (Service Provisioning Management);
- управління безпекою (Security Management);
- застосування модуля обліку (Accounting Management).

Виконання всіх цих завдань здійснюється за ієрархічним принципом (від OSS до NMS, потім до EMS, який в свою чергу управляє мережними елементами, такими як маршрутизатори, комутатори або фотонні комутатори (Photonic Switch). У традиційних системах управління рішення таких ієрархічних завдань є складним і тривалим процесом. При створенні нового маршруту для IP потоку з необхідністю переналаштування оптичних транспонлерів, комутаторів і маршрутизаторів може знадобитися час від декількох годин до декількох днів.

У транспортних програмно-конфігурованих мережах (рис. 2.1) взаємодія між додатками (OSS, BoD – Bandwidth on Demand, OVPN – Optical VPN) і контролером SDN відбувається через надійний сервісно орієнтований інтерфейс (Representational State Transfer Application Programming Interface – REST API), який забезпечує зручне управління за допомогою простих операцій. На «південному» інтерфейсі використовуються протоколи реального часу, такі як PCEP (Path Computation Element Protocol) і OpenFlow,

що забезпечують обмін інформацією між контролером і мережними пристроями в режимі реального часу.

Така модель SDN відповідає стандартам ONF і IETF. При цьому в ній можна виділити рівні інфраструктури, управління і рівень застосунків. Важливо відзначити, що SDN орієнтовані в основному на надання транспортних сервісів, таких як надання смуги пропускання на вимогу користувача BoD (Bandwidth on Demand), створення різних VPN (OVPN).

2.2 Шляхи переходу на адаптивні мережі з використанням SDN для транспортних мереж

В T-SDN рішення задач з управління транспортними СЕ проводиться таким чином, що процес надання послуги користувачеві автоматизований, а зміни мережної інфраструктури будуть узгодженими і для інших транспортних сервісів проходять без погіршення їх якості.

На даний момент активно ведуться дослідження і розробки в області T-SDN. Особливий інтерес представляють наукові дослідження ряду зарубіжних компаній, які мають практичний досвід у впровадженні SDN, Так, своє бачення архітектури T-SDN пропонує китайська компанія Huawei (рис. 2.2) [4],

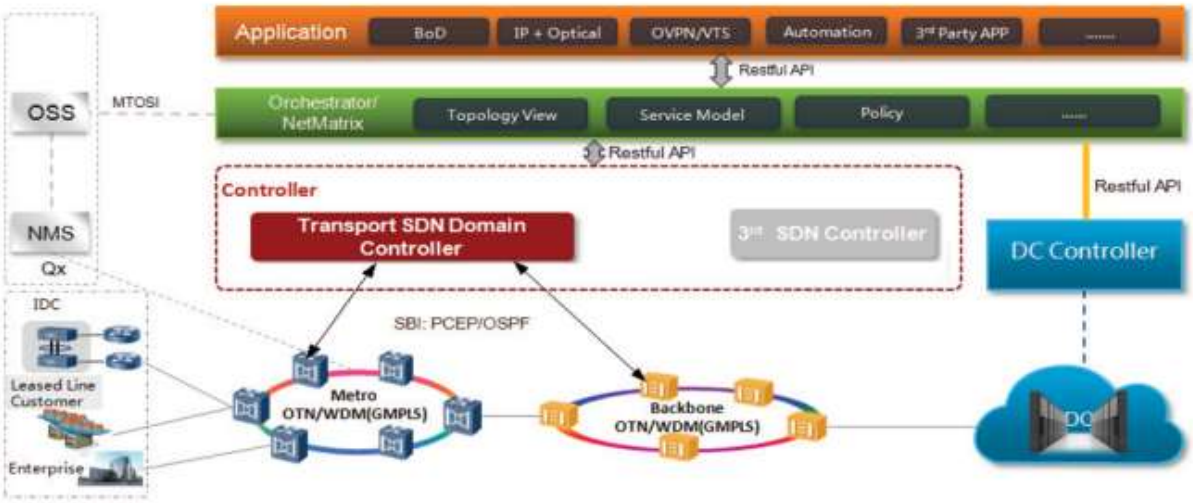

Рисунок 2.2 – Архітектура T-SDN компанії Huawei

На рівні інфраструктури представлені мережні вузли міської мережі (Metro) і вузли ядра мережі (Backbone), які виконують функції оптичних комутаторів (Photonic Switch) з підтримкою технологій WDM / OTN. Окремо представлено взаємодію ЦОДів через DC (Data Center) контролер. Основним завданням цього рівня є пересилка даних з одного порту на інший, тобто забезпечення процесу передачі даних (Data plane). Для управління мережними елементами використовується «південний» інтерфейс контролера зони (Domain Controller). Транспортний SDN контролер є основним елементом плану управління і забезпечує виконання таких функцій:

- абстрагує інформацію про мережні елементи в інфраструктурном рівні;
- отримує інформацію про стан мережних ресурсів в реальному часі через «південний» інтерфейс;
- забезпечує передачу керуючих команд до мережних елементів для створення і підтримки процесів передачі даних (Data Plane);
- забезпечує адаптацію мережі до змін інфраструктури для забезпечення нормального процесу передачі даних через мережу;
- забезпечує взаємодію з верхніми рівнями через стандартні інтерфейси (North Bound Interface).

Функції рівня оркестрації надають огляд топології мережі (Topology View), управління мережевими ресурсами з кінця в кінець, визначення моделі надання сервісів (Service Model) і управління політиками (Policy Management). При цьому з SDN контролером взаємодія здійснюється через стандартні «північні» інтерфейси.

Рівень застосунків представлений відкритою сервісної платформою, яка забезпечує підтримку як застосунків, що розробляються компанією Huawei, так і за стосунків, що поставляються іншими виробниками.

Використання систем мережного управління NMS і централізованої експлуатації OSS забезпечує виконання основних функцій управління мережними елементами FCAPS:

- (F) Fault Management – управління відмовами;
- (C) Configuration Management – управління конфігурацією;
- (A) Accounting Management – облік;
- (P) Performance Management – управління продуктивністю;
- (S) Security Management – управління безпекою.

При еволюційному переході від традиційних мереж до T-SDN ці системи є незамінними мережними функціями.

На «південному» інтерфейсі (SB1) можуть використовуватися наступні протоколи: PCEP (Path Computation Element Communication Protocol) і OSPF (Open Shortest Path First). «Північний» інтерфейс (NBI) побудований відповідно до концепції REST, яка визначена IETF, що забезпечує гнучкість, простоту і масштабованість взаємодії SDN контролера і застосунків.

Іншим прикладом архітектури T-SDN є концепція компанії Netcracker, Цей приклад цікавий для дослідження тим, що розглядається мультидоменні структура для великих і протяжних транспортних мереж. Є велика транспортна мережа, яка ділиться на окремі домени (рис. 2.3), в кожному з яких встановлюється свій T-SDN Domain контролер, що керує всіма мережними елементами домену.

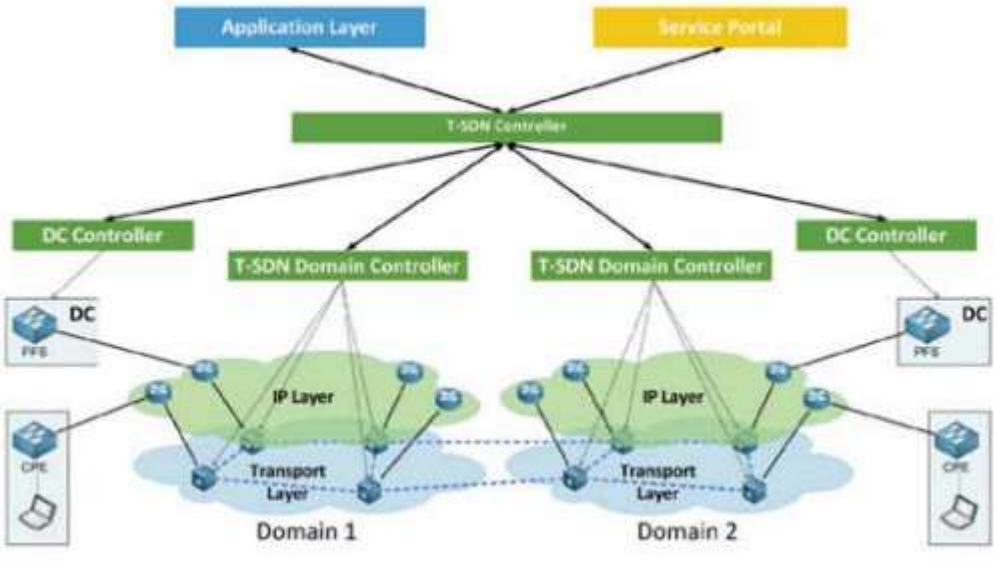

Рисунок 2.3 – Архітектура мультидоменної транспортної мережі

На верхньому рівні для здійснення координації як доменних контролерів, так і контролерів ЦОДів використовується загальномережний T-SDN контролер. Саме він забезпечує встановлення сервісів з кінця на кінець. Контролер має ієрархічну структуру, так як висуваються дуже високі вимоги до продуктивності для управління такою мережею. В якості контролера нижнього рівня застосовується доменний T- SDN контролер, а верхнього – загальномережний контролер T-SDN (рис. 2.4). Доменний контролер управляє тільки частиною мережі і бере на себе функції управління безпосередньо транспортними мережними пристроями. Контролер верхнього рівня управляє тільки доменними контролерами, таке абстрагування від спілкування з мережною інфраструктурою дозволяє підвищити продуктивність системи. Завдання з управління мережею декомпозуються і делегуються когролерам нижнього рівня. Контролер верхнього рівня приймає дані про роботу домену, обробляє їх і робить подальші дії [4].

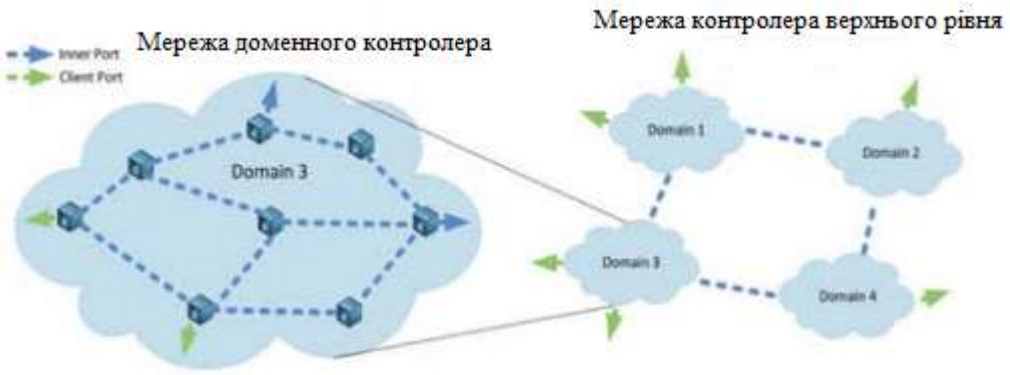

Рисунок 2.4 – Представлення T-SDN на різних рівнях

Іншими словами, контролер верхнього рівня сприймає цілу групу пристроїв як один пристрій. Така концепція, з одного боку, дозволяє уникнути значних накладних витрат і поліпшити продуктивність, з іншого – дає можливість переглядати мережу цілком, разом з крос-доменними сполуками, які не можуть бути проконтрольовані на доменному рівні, тому що не знаходяться в зоні видимості доменного контролера. Такий підхід дозволяє прокладати клієнтський сервіс по всій мережі: від точки входу в мережу провайдера, до точки виходу з неї, і, як наслідок, ефективно управляти мережею, оптимізацією прокладки шляху, надійністю і доступністю сервісу.

2.3 Використання та принципи включення програмно-конфігурованих мереж

Оскільки комунікаційні мережі зросли в розмірах і складності, упорядкування архітектури та впровадження для зниження витрат, спрощення управління, збільшення часу надання послуг і покращення використання ресурсів стає все більш важливим. В ідеалі програма або служба можуть бути повністю відокремлені від базової мережевої

інфраструктури, але це не завжди реально. Параметри, які впливають на продуктивність програми, такі як швидкість передачі даних, втрата пакетів і затримка, тісно пов’язані з базовою мережею. Щоб досягти цілей продуктивності програми або її проксі-серверу необхідно переконатися, що базова мережа знає вимоги програми та надає необхідні послуги. Компонент плоскості керування мережею часто використовується для пошуку та налаштування необхідних ресурсів у мережі, а також відображення трафіку програми на ці ресурси. Існує багато підходів до програм для запиту та отримання послуги з мережі. У всіх випадках програма взаємодіє з якимось планом керування мережею. Площина керування може бути окремою від площини пересилання або комутації мережі або вбудована в неї. Щоб підтримувати транспортні мережі з кількома адміністративними та технологічними сегментами, необхідний зв’язок та взаємодія між рівнями керування. Посередництво між сегментами площини керування та межами рівнів (наприклад, між пакетним і оптичним рівнями) часто є ручним процесом, а саме програмно-конфігурована мережа (SDN) може автоматизувати ці процеси.

SDN передбачає розділення між площинами керування та пересиланням або перемиканням. У своїй найсуворішій формі SDN полягає в тому, щоб прийняти рішення про те, як потік (або з’єднання) потрібно налаштувати в мережі, і відповідно налаштувати мережу. Це рішення можна оптимізувати на основі стану мережевих ресурсів, політик та попиту додатків. Після того, як рішення прийнято, рівень керування повідомляє про необхідні дії площині комутації через протокол керування мережею. OpenFlow [2, 3] є одним із таких протоколів, який спочатку був визначений для пакетних мереж і послуг, але може бути розширений на оптичний рівень. Що ще важливіше, парадигму керування SDN не слід плутати з OpenFlow або будь-яким іншим протоколом, що використовується для налаштування елементів мережі.

Що стосується його розгортання, то програмно-конфігуровані мережі як підхід повинні забезпечувати незалежні від платформи реалізації функцій моніторингу. Однак основна повністю програмованих пристроїв все ще частково стикається з потребою постачальників у закритих платформах, а переносимість все ще здебільшого обмежена програмними платформами. Проте останнім часом були зроблені значні кроки вперед. Наприклад, проект H2020 BEBA (Behavioral Based Forwarding) успішно поставив застсунки моніторингу та безпеки на керовані OpenFlow HW та SW платформи.

З технологічної точки зору рівень зрілості, досягнутий звичайним обладнанням, дозволяє навіть стандартним ПК обробляти обсяг трафіку багато- (10+) гігабітних каналів. Велика кількість ядер, доступних на сьогодні ЦП, і нове покоління мережних інтерфейсів, які підтримують численні черги, визначили значний інтерес до пропозиції програмно прискорених рішень для високошвидкісного пошуку трафіку. Дійсно, програмні рамки, такі як PF_RING, Netmap, DPDK і PFQ, наразі дозволяють дуже швидко захоплювати та обробляти дані на досить дешевих стандартних ПК. Наприклад, у проекті BEBA, PFQ був використаний для прискорення переробленої версії OpenFlow-сумісного програмного комутатора OFSoftSwitch для виконання обробки пакетів до повної швидкості лінії 10 Гбіт/с [17].

Висновки до розділу 2

Даний розділ кваліфікаційної роботи магістра присвячений розгляду можливих шляхів переходу на адаптивні мережі з використанням SDN для транспортних мереж.

Було проведено порівняння традиційної мережної архітектури з архітектурою SDN при побудові транспортних мереж.

Зосереджено увагу на використанні та конкретних принципах включення програмно-конфігурованих мереж, проаналізовано зарубіжний досвід при розгортанні SDN-мереж.

3 МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ

3.1 Інтелектуальна автоматизація багаторівневої / мультидоменної мережі з використанням SDN

У випадку, коли постачальнику послуг потрібний новий підхід до експлуатації мережі, який дозволив би підвищити гнучкість і автоматизувати життєвий цикл сервісів в пакетної і оптичної інфраструктурі, що лежить в основі корпоративних послуг. Компанія Windstream розробила проект по автоматизації мережі на основі SDN, в рамках якого оператору потрібно докорінно реформувати свої процеси обслуговування і змінити підхід до обслуговування клієнтів. Для виконання цього завдання компанія Windstream потребувала у відкритій розширюється платформі автоматизації на базі моделі для поетапного розміщення нових автоматизованих послуг на основі SDN. Для спрощення операцій і переходу до процесів, орієнтованих на інтеграцію розробки та експлуатації (DevOps), компанія вибрала платформу інтелектуальної автоматизації Blue Planet.

Перший етап цього проекту був присвячений автоматизації та регулювання оптичної мережі для підтримки послуг з надання мережних каналів в оренду. За допомогою SDN під керуванням Blue Planet компанія запустила новий масовий сервіс по наданню каналів 10G в оренду, Software Defined Network Orchestrated Waves (SDNow), що характеризується набагато більш короткими і передбачуваними циклами обслуговування. Оскільки платформа підтримує централізоване управління ресурсами, віддалене групове конфігурація і оновлення ПЗ широкого спектра мережних пристроїв від різних постачальників, телекомунікаційна компанія має можливість істотно спростити операції і скоротити експлуатаційні витрати. На рис.3.1

наводиться порівняння робочих процесів в мережі з використанням впровадження SDN та без.

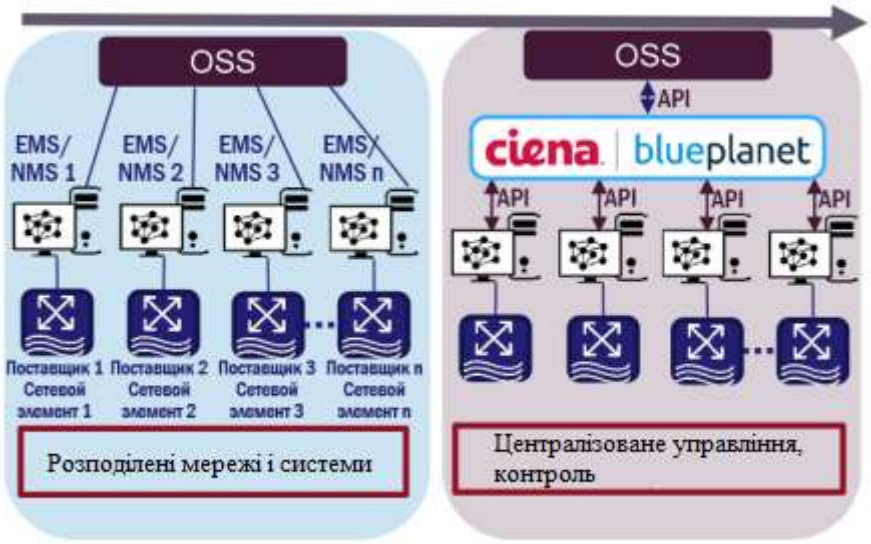

Рисунок 3.1 – Порівняння робочих процесів в мережі з використанням SDN та без

Крім того, постачальник послуг переходить від типових розрізнених процесів, побудованих по каскадній моделі, залежних від постачальників / системних інтеграторів і орієнтованих на планування, до націленому на результат процесу безперервної розробки і випуску продуктів на принципах DevOps. Використання підходу DevOps для автоматизації базової структури мережі дозволить реалізувати автоматизацію обладнання рівнів 2/3 і впровадити безперервний цикл запуску нових продуктів.

Запуск масових і корпоративних послуг з надання багаторівневих / мультидоменних сервісів Ethernet, а також ряду спеціалізованих пропозицій SD WAN, включають в себе універсальне клієнтське обладнання (uCPE) і ланцюжки послуг. Перетворення центрального офісу в ЦОД (CORD) або впровадження CORD-подібної інфраструктури на кордонах мережі для сервісів програмно-обумовленого доступу. Скоротити витрати і час на розгортання клієнтської широкосмугової мережі на 50% за рахунок

розширення програмованої мережі до кордону доступу, рис. 3.2 ілюструє кінцеву мету – створення адаптивної мережі з високим ступенем автоматизації і широкими можливостями програмування.

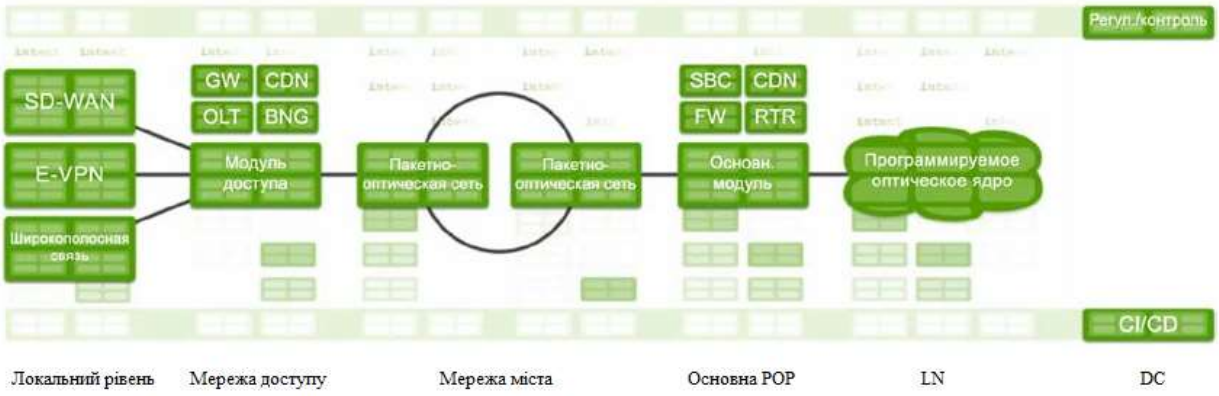

Рисунок 3.2 – Концепція ідеальної програмованої мережі

Крім того, постає мета зробити мережі доступнішими для клієнтів за допомогою взаємодії, заснованого рішення. Дії клієнтів будуть переводитися на відповідні ресурси, які будуть налаштовуватися програмованою мережею. З цією метою розроблено спільний пілотний проект регулювання оптичних послуг зв'язку для рівня 1 транспортної мережі Ethernet операторського классу – на основі намірів і з використанням обладнання різних постачальників [5].

3.2 Порівняння технічних характеристик перспективного обладнання для транспортих программно-конфігурованих мереж

В даний час існує багато пропозицій щодо реалізації T-SDN з використанням різних транспондерів. З метою отримання узагальнених показників транспондерів, що використовуються, проведемо порівняльний аналіз існуючих та перспективних транспондерів, що використовуються у мультисервісних транспортних платформах від найвідоміших

телекомунікаційних компаній; Nokia (f'Alcalel-Lucent), Cisco, Iluawei, Juniper Networks та T8.

Як основні показники для порівняння використовуємо наступні фактори:

1) підтримувані швидкості передачі;

2) застосовувані формати модуляції;

3) використання сітки частот, підтримка Flexible grid;

4) максимальна кількість каналів;

5) робочі діапазони;

Результати порівняння транспондерів за перерахованими критеріями представлені у зведеній табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика транспондерів

Компанія та мультисервісна платформа	Швидкість передачі, Гб/с	Модуляція	Сітка частот, ГГц (Flex- arid)	Максимальна кількість каналів	Робочі діапазони
Nokia (fAl-catel Lucent) (1830 PSS ємність 19.2 Тбіт/с, 23.2 Тбіг/с*)	1.25, 2.5, 4. 10, 11,40, 43, 100, 200, 250, 400 (2x200 або 1x400»), 500 (5x100 або $2^4$250)	MRZ, BPSK, DPSK, 8-QAM, QPSK. DP-QPSK, DP- NRZ BPSK, DP-16QAM.	37.5*, 50.62.5. 75*, 100	192 (96 в С та 96 в L) по 100 Гбіт/с, 58 по 400 Гбіт/с*	C, L, S*
Cisco, (ONS 154545, ємність 19,2 Тбит/с. NCS 6000 ємність до 128 Тбіт/с)	1.25, 2.5, 10, 40, 100, 200, 400 (2*200), 1000 (Super Channel)	NRZ, R2-DQPSK. DQPSK, DPSK, DP-QPSK, DP-I6QAM	50, 100	*192* (96 в С та 96 в L) по 100 Гбіт/с	C, L
Huawei. (Optix OSN 9800, ємність 25,6 Тбіт/с)	1.25, 2.5, 10, 40, 100 200. 400. 1000 та 2000 (Super Channel)	MRZ. RZ, DP-BPSK, DP-QPSK	50, 100 37.5-400	40 (сітка 100 ГГц), 80 (сітка 50 ГГц)	C
Juniper Networks, (BTI 7800 ємність, 9,6 Тбіт/с)	10,40, 100. 200, 400 (2x200)	NRZ, DP-QPSK, DP-I6QAM	50, 100, 200	96 в С по 100 Гбіт/с	C
T8, («Волга» ємність 19,2 Тбіт/с, 27 Тбіт/с*)	2.5, 10, 40, 100, 150, 200, 400 12x200), 1000*	NRZ, NRZ ADPSK, DPSK, DP-QPSK, DP-8QAM, DP-I6QAM	JJ*, 50, 100	192(96 в С та 96 в L) по 100 Гбіт/с, 270* але 100 Гбіт/с (C+L)	C, L

Для дослідження слід розглядати в повному обсязі можливі швидкості передачі (платформи підтримують великий діапазон швидкостей від Мбіт/с до Тбіт/с), лише ті, які реально можуть використовуватися для забезпечення надання сервісу між двома ЦОД.

Транспондери всіх виробників підтримують найбільш застосовувані швидкості передачі 10, 40 і 100 Гбіт/с. Однак цього недостатньо для організації Super Channel з необхідною швидкістю передачі, оскільки необхідні проміжні значення можуть бути значно меншими або більшими від зазначених швидкостей, що призведе до неефективного використання ресурсів мережі, а, отже, і до значних матеріальних витрат. Найширшим набором швидкостей передачі мають транспондери компанії Nokia (Alcatel - Lucent), також транспондери компаній Cisco і T8 підтримують швидкості передачі, які дозволяють гнучко організовувати Super Channel, так, наприклад, вони реалізують можливість передавати канал 400 Гбіт/с, використовуючи дві піднесучі по 200 Гбіт/с. Варто зазначити, що компанія Nokia (fAlcatcl-Luccnt) зараз веде розробки з організації каналу в 400 Гбіт/с на одній несучій.

Швидкості передачі, що підтримуються, багато в чому визначаються використовуваними форматами модуляції. Для низькошвидкісних каналів (до 10 Гбіт/с включно) підходить формат модуляції NRZ. Він підтримується всіма запропонованими транспондерами. Для реалізації каналу в 40 Гбіт/с існує безліч форматів модуляції, найбільш застосовуваними вважаються DPSK, RZ-DQPSK, NRZ ADPSK (підтримуються транспондерами компаній Nokia (Alcatel-Lucent), Cisco та T8), а також DP-QPSK при когерентному варіанті прийому. Компанія Huawei для зазначеної швидкості передачі пропонує використовувати формат модуляції DP-BPSK. Для високошвидкісних каналів 100 Гбіт/с та 200 Гбіт/с необхідно використовувати формати модуляції DP-QPSK та DP-16QAM відповідно. З транспондерів, що розглядаються, тільки обладнання компанії Huawei поки не підтримує формат модуляції DP-16QAM. Застосування форматів

модуляції значних порядків веде до значного скорочення довжини регенераційної ділянки. Так, оптимальним форматом модуляції для швидкості 100 Гбіт/с є DP-QPSK (регенераційний ділянку понад 4000 км (максимум 8000 км) при сітці частот 50 ГГц і близько 2600 км при сітці частот 30 ГТц), а для швидкості 200 Гбіт/с - DP-16QAM (регенераційна ділянка становить 500-1022 км). Для каналу в 40 Гбіт/с з форматом модуляції DPSK регенераційна ділянка становить близько 1600 км, а для формату модуляції NRZ ADPSK - 2000 км. Створення високошвидкісних каналів 400 Гбіт/с, 1 Тбіт/с і більше нині вимагає застосування технології Super Channel [10].

Використовувана сітка частот визначає максимальну кількість піднесучих у спектральному діапазоні, Всі транспондери підтримують стандартну сітку в 50 і 100 ГГц, проте така сітка не дає можливість гнучкого зміни пропускної здатності при створенні Super Channel. Технологія Flexible grid дозволяє гнучко використати спектральний діапазон. Цю технологію підтримують транспондери компаній Nokia (Alcatel-Lucent), Huawei та T8. Компанія Nokia (Alcatel-Lucent) вже зараз дозволяє використовувати сітку частот у 50, 62,5 та 100 ГГц, що забезпечує ємність системи передачі у 19,2 Тбіт /с, а використання сітки з кроком у 37,5 ГГц дозволить в майбутньому значно збільшити ємність системи. T8 пропонує використовувати нестандартний крок сітки частот в 33 ГГц. Вже активно проводяться лабораторні випробування системи з таким кроком і 270 піднесучими, що дає можливість збільшити ємність системи передачі до 27 Тбіт / с.

Більшість досліджуваних транспондерів підтримують C та L робочі діапазони. Тільки транспондери компанії Huawei та Juniper Networks працюють в даний час у широко використовуваному C-діапазоні. Важливо, що активно ведуться лабораторні випробування транспондерів компанії Nokia (fAlcatel-Lucent), які підтримують роботу і в S-діапазоні. Ці дослідження дозволять у майбутньому значно збільшити пропускну спроможність.

Максимальна кількість каналів багато в чому визначається функціоналом, підтримуваним транспондером (застосовувані сітка частот, формати модуляції та робочі діапазони), транспондери компаній Nokia (Alcatel-Lucent), Cisco та T8 підтримують до 192 каналів (по 96 в C та L-діапазоні) з кроком сітки частот 50 ГГц і канальної швидкістю 100 Гбіт/с. Транспондери компаній Huawei та Juniper Networks працюють тільки в C-діапазоні, але у транспондерів компанії Huawei є підтримка технології Flexible grid, що дозволяє досягати вже зараз пропускної спроможності 25.6 Тбіт/с, у той час як пропускна здатність системи передачі компанії Juniper Networks досягає лише 9,6 Тбіг/с (96 каналів). Застосування технології Flexible grid дозволяє системі передачі компанії Nokia (fAlcatel-Lucent) підтримувати до 58 каналів по 400 Гбіт/с із сіткою частот 75 ГГц, внаслідок чого пропускна здатність збільшується до 23,2 Тбіт/с. Обладнання компанії T8 дозволить у майбутньому мати до 270 каналів та 100 Гбіт/с.

Проаналізувавши основні технічні характеристики транспондерів від провідних виробників, можна дійти висновку, що не всі транспондери підтримують технології Flexible grid та Super Channel. Найбільш функціональним є транспондер компанії Nokia (Alcatel-Lucent), що підтримує великий спектр швидкостей передачі та відповідних необхідних форматів модуляції, технології Flexible grid, а також перспективний S-діапазон. Все це дозволяє гнучко змінювати пропускну здатність капала для користувача, що дозволить забезпечити сервіс Super Channel. Також необхідні характеристики мають транспондери компаній Huawei і T8, хоча транспондери компанії Huawei поки працюють тільки в C-діапазоні, але підтримують технологію Flexible grid.

Для отримання комплексної моделі, що дозволяє оцінити вплив всіх параметрів мультидоменної мережі T-SDN, найбільш важливими є наступні результати проведеного аналізу. При моделюванні обов'язково потрібно враховувати конкретні типии транспондерів від певного виробника, оскільки це має важливе значення для створення Super Channel. Так, узагальнені

показники транспондерів отримані на підставі даних про технічні можливості та перспективні розробки компаній Nokia (fAlcatel-Lucent), Huawei та T8. У таблиці 3.2 представлені формати модуляції, швидкості передачі і сітки частот, які підтримуються транспондерами.

Таблиця 3.2 – Узагальнені показники транспондерів

Швидкість передачі, Гбіт/с	Модуляція	Крок сітки частот, ГГц
1.25	NRZ	50, при створенні Super Channel 37,5
2.5	NRZ	
10	NRZ	
40	DPSK, NRZ ADPSK. RP-QPSK	
100	DP-QPSK	
200	DP-16QAM	50

Транспондери підтримують роботу в C і L діапазонах, що дозволяє застосовувати модель, до більшості сучасних систем передачі, проте при необхідності модель може враховувати і перспективний 8-діапазон. Час перенастроювання транспондерів становить 50 мс. Максимальна відстань без регенерації обмежена як використовуваним форматом модуляції, так і вибраним кроком сітки частот. Для низькошвидкісних піднесучих до 10 Гбіт/с включно використання форматів модуляції NRZ дає можливість передавати їх на відстань до 10000 км без регенерацій у сітці частотою кроком в 50 ГГц. Застосування кроку 37,5 ГГц зменшує регенераційну ділянку незначно, так як ширина спектра випромінювання лазера відносно невелика. Для піднесених зі швидкістю передачі 40 Гбіт/с форматом модуляції DPSK, що застосовуюєся разом з іншими різнорідними піднесучими, дальність передачі становить 1600 км, а для формату модуляції NRZ ADPSK - 2000 км. Вибір формату модуляції залежить від набору форматів модуляції, що підтримуються в мережі транспондерами, і від відстані між мережними елементами. Дія піднесучих зі швидкістю передачі 100 Гбіт/с, що використовують формат модуляції DP-QPSK, дальність

передачі для сітки частот 50 ГГц становить більше 4000 км (80 каналів), а для сітки частот 33 ГГц близько 2600 км (до 270 каналів у перспективі). Дія піднесучих зі швидкістю передачі 200 Гбіт/с, використовується тільки формат модуляції DP-16QAM, а максимальна дальність передачі може бути 1022 км. Для суперканалу із швидкістю передачі 400 Гбіт/с (2х200 Гбіт/с, крок сітки частот 50 ГГц) дальність передачі становить 300-500 км.

За результатами проведеного аналізу отримано набір вихідних даних та використання транспондерів з програмним управлінням, при цьому враховано обмеження при реалізації (по смузі пропускання, дальності передачі для видів модуляції та числа піднесучих), а також наведено діапазони можливих значень з урахуванням існуючих технічних можливостей і перспективних рішень.

3.3 Стандартизація зв'язку між площиною керування та площиною даних

SDN надає користувачеві абстракцію всієї мережі, і будь-яка програмна техніка може бути використана для керування площиною управління. Однією з перших пропозицій є Ініціатива стандартів IEEE P1520 для програмованих мережних інтерфейсів. В ній визначають необхідність абстрагування складності мережі для користувача, а також, а також необхідність наявності протоколу для доступу до елементів мережі.

Архітектура SoftRouter допускає динамічне зв’язування між елементом мережі, на якому виконується площина даних, і елементом керування (на основі програмного забезпечення). Ця архітектура була запропонована для пристроїв мережного рівня, якими можна керувати серверами стандартного призначення. Програмний компонент не потрібно підключати до мережного пристрою, а мережний елемент може мати більше одного елемента керування в мережі.

ForCES (Forwarding and Control Element Separation) був створений Internet Engineering Task Force (IETF). ForCES було запропоновано стандартизувати спосіб зв'язку елементів управління з елементами мережі. Однак цей стандарт не отримав широкого поширення серед спільноти постачальників.

Наступним став OpenFlow [8], який базувався на тій же мотивації: як стандартизувати зв’язок між площиною керування та площиною даних. Він описує, як програмні застосунки можуть програмувати таблицю потоків різних комутаторів. OpenFlow швидко став активною темою дослідження.

IETF задокументував відмінності між ForCES та OpenFlow [12]. Згідно з цим документом, обидва стандарти роз’єднують площини керування та даних, і обидві вони стандартизують зв’язок між двома площинами. Що стосується архітектури мережі, можна знайти одну відмінність між ForCES і OpenFlow. ForCES визначає елементи мережі та пересилання, а також те, як вони можуть спілкуватися один з одним. Архітектура мережі залишається незмінною. З іншого боку, OpenFlow змінює архітектуру в тому сенсі, що елементи площини даних стають простими пристроями, які пересилають пакети відповідно до правил, заданих елементом керування. ForCES дозволяє використовувати декілька елементів керування та даних в межах однієї мережі і логіка може бути поширена на всі елементи. OpenFlow має на меті встановити централізовану площину управління.

Оскільки OpenFlow став найпопулярнішою технологією SDN, деякі вважають ці терміни синонімами. Однак важливо відзначити різницю між ними. SDN складається з відокремлення площини управління від площини даних, тоді як OpenFlow описує, як програмний контролер і комутатор повинні взаємодіяти в архітектурі SDN. SDN надає користувачеві абстракцію стану мережі, а OpenFlow абстрагує мережевий компонент. Як аналогію, операційна система забезпечує загальносистемну абстракцію, подібно до того, як SDN забезпечує абстракцію всієї мережі. З іншого боку, так само, як операційна система взаємодіє з апаратним забезпеченням через драйвери,

OpenFlow можна вважати драйвером для зв’язку одного контролера та мережевого компонента.

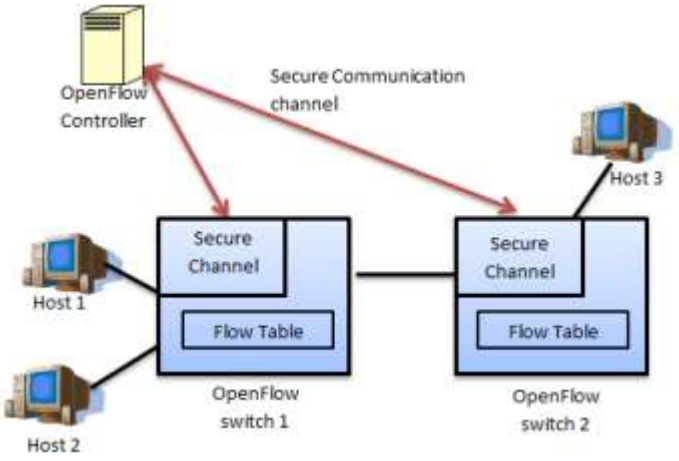

Рисунок 3.3 – Компоненти OpenFlow

3.4 Програмно-конфігуровані мережі та OpenFlow

Одним із перших підходів була SOFTNET, експериментальна багатоскаткова пакетна радіомережа, яка представила ідею додавання команд до вмісту кожного пакету. Метою було змінити мережний вузол під час роботи, використовуючи команди, написані мовою SOFTNET. Мотивація при створенні цієї мережі полягала в тому, щоб уможливити експерименти з різними мережними протоколами. SOFTNET було розгорнуто як доказ концепції. Подальших масштабних розгортань не було, але ідея, що стояла за цим, була мотивацією для Active Networks.

Основна ідея Active Networks (AN) полягала в тому, щоб дозволити пакетам містити програми, які можуть виконуватися мережними пристроями, які вони обходять. Концепція активної мережі пов'язана з тим, що комутатори виконують обчислення даних пакетів, що протікають через них, і користувачі можуть вводити програми в мережу. Хоча AN стала активною сферою досліджень, і врешті-решт не отримала широкого застосування.

Надалі була запропонована ActiveNetworks 2.0. Автори стверджують, що NetServ містить усі необхідні елементи для розгортання.

SOFTNET і ActiveNetworks не використовували програмні компоненти для керування мережними пристроями. Програмованість мережі була досягнута шляхом додавання вихідного коду до корисного навантаження пакетів. Більш сучасні підходи пропонували відокремити площину керування від площини даних шляхом переміщення першої на сервери загального призначення. SoftRouter, ForCES і, нарешті, OpenFlow. Усі вони засновані на програмно визначених мережних архітектурах, де мережні пристрої керуються програмними компонентами.

Різниця між SDN і попередніми підходами полягає в тому, що до архітектури мережі додається програмний компонент, що працює на сервері або ЦП. У SDN програмний компонент відповідає за площину управління мережею. Ось чому ми говоримо, що SDN роз’єднує площини керування та даних, оскільки ця відмінність не була настільки чіткою в попередніх підходах. Однією з важливих властивостей SDN є його здатність надавати абстракцію по всій мережі. Дослідниками даного питання обговорювалась ідея моделі «платформа як послуга» для мереж. За словами авторів, поширеною є тенденція відокремлення управління інфраструктурою від управління послугами. У цій моделі базова фізична мережа і топологія приховані для користувача. Натомість абстракція, представлена користувачеві, є одним маршрутизатором. Тобто, клієнта найбільше цікавить можливість налаштувати політики та визначити, як обробляються пакети. Прикладами цієї абстракції є використання імен замість IP-адрес або політики високого рівня замість файлів конфігурації контролю доступу.

Мережна операційна система є ключовою концепцією SDN. Вона походить від ідеї абстрагування складності базової мережі. Ідея полягала саме в тому, щоб провести паралель між мережною операційною системою та типовою операційною системою. В операційній системі абстракція включає апаратні компоненти ЦП. У мережі абстракція приховує топологію

та мережні пристрої. Отже, мережна операційна система відповідає за абстракцію, яку SDN надає своїм користувачам.

Іншою важливою перевагою SDN є те, що вона забезпечує інновації та гнучкість. Якщо площину керування та даних керують апаратні мережні пристрої, залишається мало місця для інновацій та експериментів, оскільки програмне або мікропрограмне забезпечення цих пристроїв неможливо легко змінити.

3.4.1 Компоненти OpenFlow

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

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

Приклад таблиці потоків OpenFlow наведено на рис. 3.4.

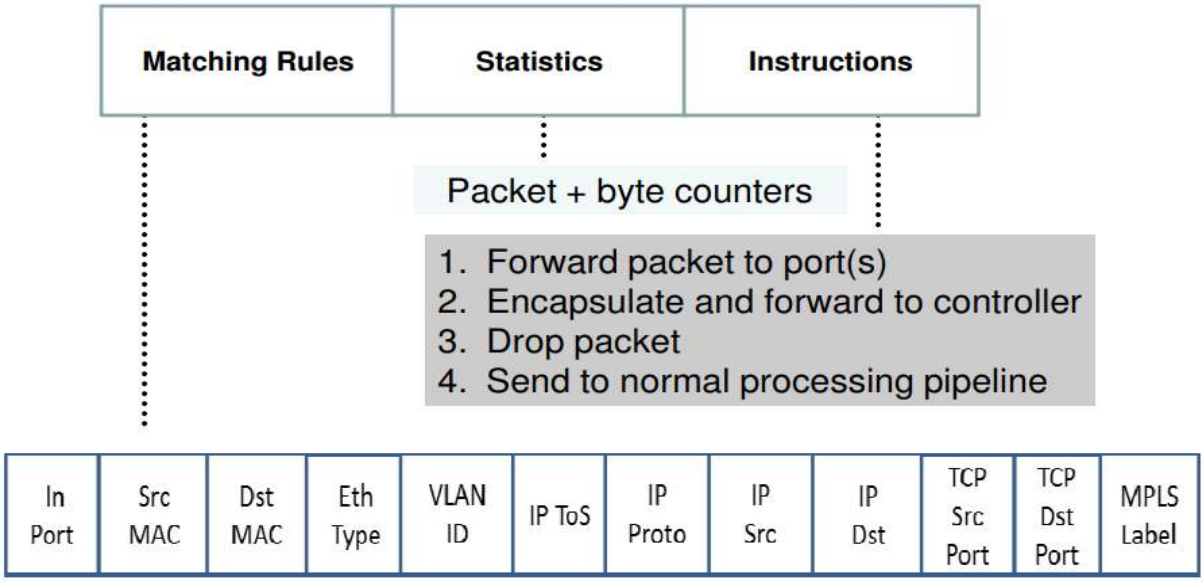

Рисунок 3.4 – Приклад таблиці потоків OpenFlow

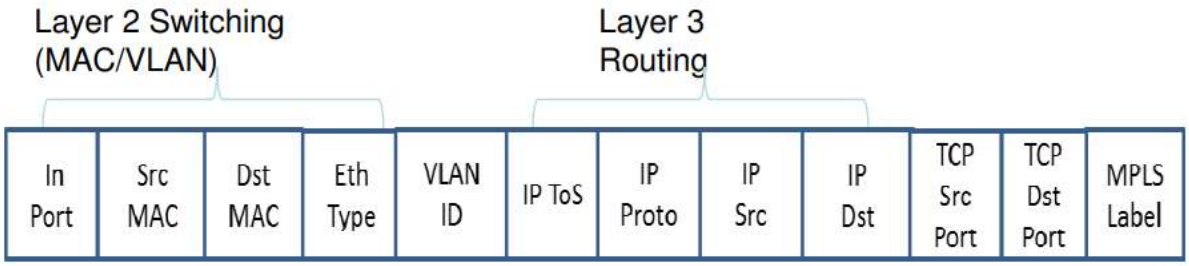

Рисунок 3.5 – Перемикання потоку/Маршрутизація

Вважається, що SDN змінить мережі так, як це зробила свого часу віртуалізація на ринку корпоративних серверних систем. Відповідно SDN – це стратегічне спрямування, адже успіх у цьому напрямі може надати лідерство на ринку, приклад того, успіх таких великих гравців на ринку мережевих сервісів як Amazon і Google, що активно використовують SDN у своїй роботі.

Вважається, що SDN має будуватися на базі відкритих стандартів, щоб кожен бажаючий міг у цьому взяти участь. Така відкрита екосистема відновить процес впровадження інновацій у галузі мережних технологій, а зокрема в транспортному сегменті для телекомунікаційних мереж.

OpenFlow комутатор перевіряє таблицю потоків пакета, що надходять. Якщо пакет знайдено, комутатор застосовує умову чи дію, зазначену в записі таблиці, і як правило, перенаправляє його на вказаний інтерфейс. В іншому випадку пакет повинен належати до нового потоку і комутатор пересилає його SDN-контролеру повідомлення packet-in. Потім контролер визначає відповідне правило потоку і посилає його комутатору повідомлення packet-out або flow_mod. Як наслідок, SDN-контролер отримує потік повідомлення packet-in від кожного OpenFlow комутатора (рис. 3.6).

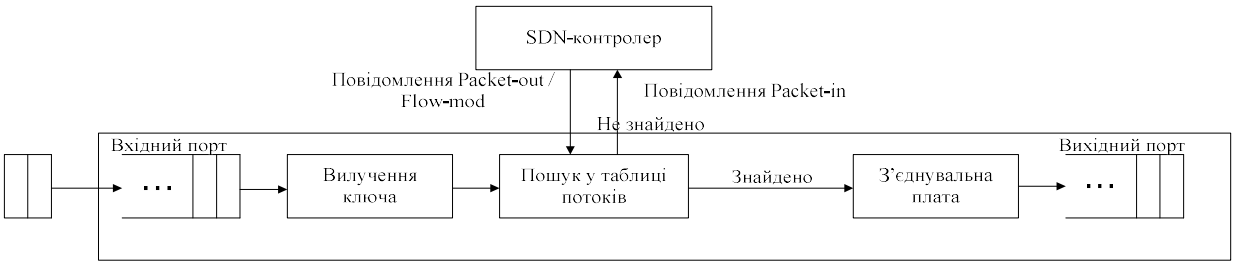

Рисунок 3.6 – Структурна схема процесу передачі повідомлення через комутатор OpenFlow

Для створення моделі мережі (у тому числі завдання топології, характеристик елементів мережі), а також динамічного моделювання роботи, аналізу та оптимізації характеристик, управління трафіком, безсумнівно, потрібно використовувати один із найпотужніших інструментів дослідження складних систем – імітаційне моделювання.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі роботи проведений аналіз характеристик використання програмно-конфігурованих архітектур для транспортних сегментів мереж, коли потрібний новий підхід до експлуатації мережі та виникає необхідність підвищити гнучкість і автоматизувати життєвий цикл сервісів, що лежать в основі корпоративних послуг.

Наведена порівняльна характеристика робочих процесів в транспортній мережі до і після реалізації проекту по впровадженню SDN, а також розглянута концепція ідеальної програмованої мережі з метою створення адаптивної мережі з високим ступенем автоматизації і широкими можливостями програмування.

Проаналізовані технічні характеристики перспективного обладнання для транспортих программно-конфігурованих мереж та дійшли висновку, що обов'язково потрібно враховувати конкретні типи обладнання від певного виробника при моделюванні мереж, що використовують SDN.

Детально розглянуто взаємодію програмно-конфігурованих мереж з OpenFlow та його компонентами, описано структуру процесу передачі повідомлення через комутатор OpenFlow, що надалі буде використовуватись при створенні математичної та стимуляційної моделі.

4 РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНОЇ МЕРЕЖІ

4.1 Математична модель програмно-конфігурованої мережі та комутатора OpenFlow

Для описаної вище моделі SDN необхідно розробити математичну модель комутатора OpenFlow. Для цього розглянемо модель для SDN на основі OpenFlow, як показано на рис. 4.1. Комутатори та контролер розроблено як систему масового обслуговування для врахування витрат часу мережі.

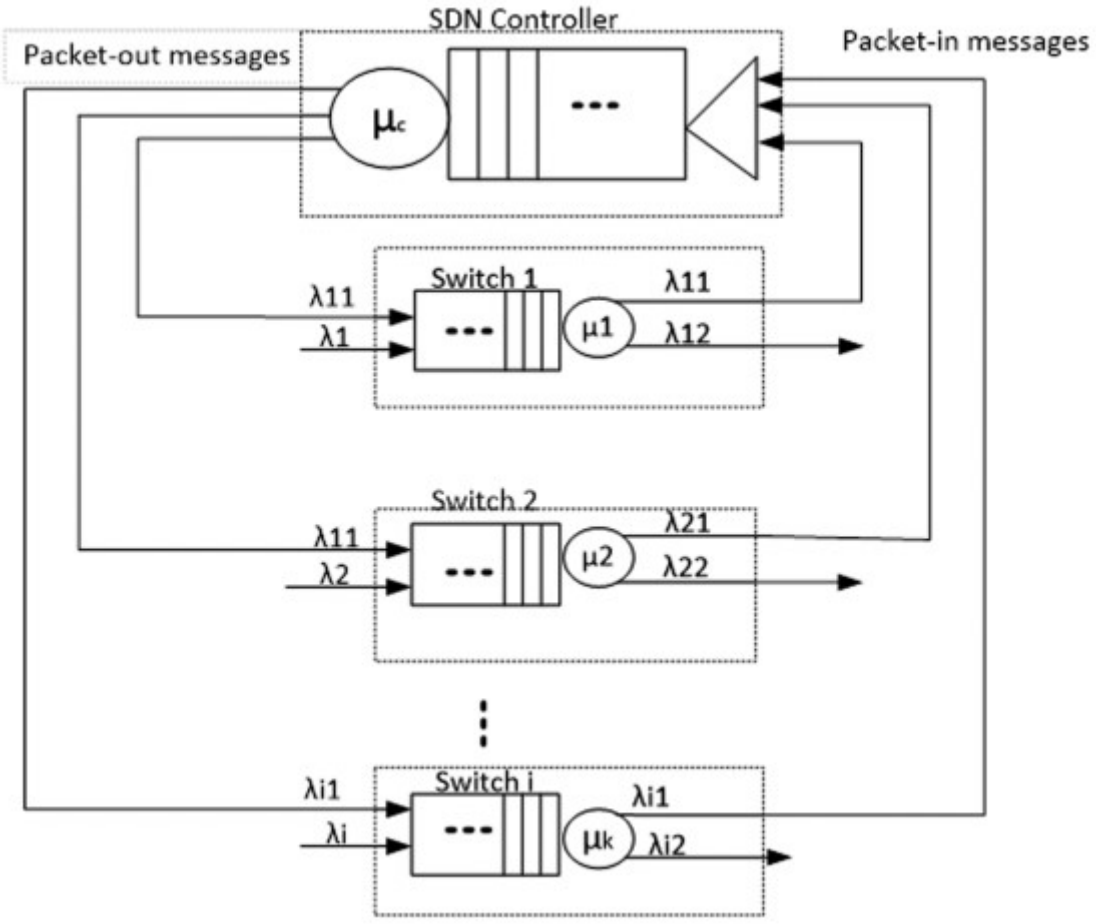

Рисунок 4.1 – Модель SDN на основі OpenFlow

Припустимо, що процес надходження пакетів у мережу відбувається за законом Пуассона, а середня швидкість надходження в *i*-му комутаторі дорівнює λ_i, і що надходження в різні комутатори є незалежними. Пакети можуть не відповідати жодним записам потоку, і в цьому випадку вони пересилаються до контролера через повідомлення про введення пакетів. Це відбувається з імовірністю ρ. Пакети поділяються на два класи, обидва класи надходять за законом Пуассона із середньою швидкістю надходження $\lambda_i*\rho$ та $\lambda_i*(1 - \rho)$. Передбачається, що час обслуговування пакетів комутаторів відповідає експоненціальному розподілу, а очікуваний час обслуговування позначається $1/\mu_1$ та $1/\mu_2$ відповідно. Середній час обслуговування пакетних повідомлень у контролері позначається $1/ \mu_c$. Цей час обслуговування включає час передачі від комутаторів до контролера. З іншого боку, щоб спростити модель, і контролер, і комутатори досить потужні для трафіку в мережі, і немає обмежень на місткість черги. Всі пакети, що надходять на комутатор поміщаються в одну чергу замість окремої черги на кожному вхідному порті, і всі пакети обробляються в порядку їх прибуття. Крім того, припускаємо, що коли перший пакет з'єднання приходить на комутатор, контролер встановлює вхід потоку. Після цього пакети, що залишилися, надходять на комутатор і пересилаються безпосередньо. Також слід зауважити, що всі комутатори в моделі мають однакову швидкість обслуговування, а повідомлення про вхід пакетів надходять комутатору за законом Пуассона.

Збіг записів потоку для всіх пакетів є незалежним, і час обробки пакета може відповідати експоненційному розподілу. З наведеними вище припущеннями продуктивність комутаторів OpenFlow можна моделювати як чергу *M/H2/1*, що означає, що пакети надходять до *i*-го комутатора зі швидкістю λ_i, а час обслуговування представлено двофазним гіперекспоненційним розподілом. Діаграма переходу станів цієї черги показана на рис. 4.2. З імовірністю ρ пакет отримує послугу зі швидкістю μ_1, а з імовірністю $1-\rho$ – зі швидкістю μ_2.

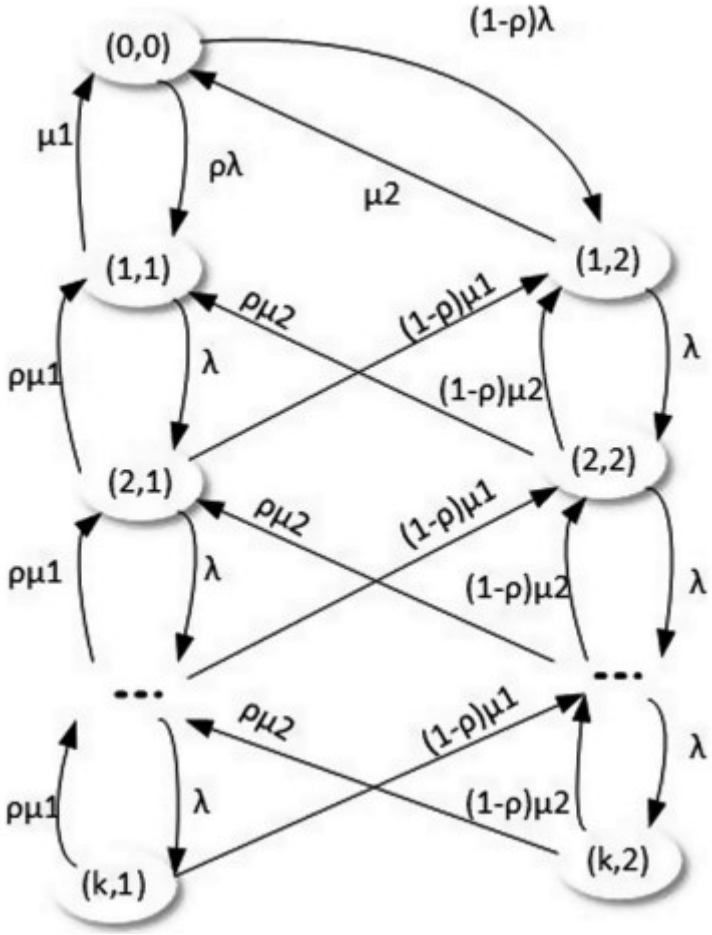

Рисунок 4.2 – Діаграма переходу станів для комутатору OpenFlow

Кожен стан представлений парою (*a, b*), де *a* – загальна кількість пакетів у комутаторі, а *b* – поточна фаза обслуговування. У нашому випадку *b* може бути лише 1 або 2. Стаціонарний розподіл цієї черги в *i*-му комутаторі можна отримати за допомогою MatrixGeometric Method. Стаціонарний вектор ймовірності $\pi^{(i)}$ позначимо як:

$$\pi^{(i)} = (\pi_0^{(i)}, \pi_1^{(i)}, \pi_2^{(i)}, ..., \pi_k^{(i)}, ...) \tag{4.1}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1 \tag{4.2}$$

$$\pi_0 = 1 - \rho \tag{4.3}$$

$$\pi_k = (1 - \rho)\rho^k, \tag{4.4}$$

le $\pi_k(i)$ – імовірність k пакетів в i-му комутаторі.

Тоді середню кількість пакетів у системі черги можна обчислити як:

$$N_i = \sum_{k=0}^{\infty} k\pi_k^{(i)} \tag{4.5}$$

$$N_i = \sum_{k=0}^{\infty} (1-\rho)\rho^k \tag{4.6}$$

Якщо $k = 0$, добуток дорівнює нулю, то починаємо суму з $k = 1$.

$$N_i = (1-\rho)\sum_{k=1}^{\infty} kp^k = (1-\rho)\rho\sum_{k=1}^{\infty} k\rho^{k-1} \tag{4.7}$$

Оскільки $k\rho^{k-1}$ можна записати як $k\rho^{k-1} = \frac{d\rho^k}{d\rho}$.

Відповідно:

$$N_i = (1-\rho)\rho\sum_{k=1}^{\infty} \frac{d}{d\rho}\rho^k = (1-\rho)\rho\frac{d}{d\rho}(\sum_{k=1}^{\infty}\rho^k). \tag{4.8}$$

Оскільки $\sum_{k=1}^{\infty}\rho^k = \sum_{k=0}^{\infty}\rho^k - 1 = \frac{1}{1-\rho} - 1 = \frac{\rho}{1-\rho}$, отримуємо:

$$N_i = (1-\rho)\rho\frac{d}{d\rho}(\frac{\rho}{1-\rho}), \tag{4.9}$$

$$N_i = \frac{\rho}{1-\rho}, \tag{4.10}$$

де $(\rho < 1)$ та $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, то маємо:

$$N_i = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}. \tag{4.11}$$

Відповідно до закону Літтла, середній час обробки пакетів *i*-го комутатора може бути задано як:

$$W_{si} = \frac{1}{\lambda} N_i = \frac{1}{\mu - \lambda}. \quad (4.12)$$

Середній час обробки пакетів комутаторами можна визначити за допомогою наступного виразу:

$$W_s = \sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} W_{si}. \quad (4.13)$$

4.2 Вибір середовища моделювання для програмно-конфігурованої мережі

AnyLogic Simulation Software — це провідне програмне забезпечення для моделювання для промислових та бізнес-додатків, яке сьогодні використовується у всьому світі понад 40% компаній. Імітаційні моделі AnyLogic дають змогу аналітикам, інженерам та менеджерам отримати більш глибоке уявлення та оптимізувати складні системи та процеси в широкому діапазоні галузей промисловості, включаючи логістику, виробництво, транспорт, аерокосмічний простір, оборону та видобуток.

Програмне забезпечення для моделювання AnyLogic було розроблено і компанією AnyLogic Company, міжнаціональною компанією, що працює з програмним забезпеченням в США та Європі, а також з глобальною мережею партнерів, включаючи Engineering Group та Engineering USA. Програмні додатки, що пропонуються і поставляються компанією AnyLogic, включають AnyLogic, флагманське програмне забезпечення загального призначення для імітаційного моделювання та AnyLogic Cloud, приватне бізнес-хмарне

середовище для хмарного середовища для виконання та інтеграції імітаційної моделі.

Програмне забезпечення AnyLogic Simulation підтримує та дозволяє розробляти моделі з використанням усіх трьох сучасних методологій моделювання. Ці три методи можна використовувати в будь-якій комбінації, з одним програмним забезпеченням, для моделювання ділових та промислових систем будь-якої складності. AnyLogic був першим інструментом, який запровадив багатометодне імітаційне моделювання.

Імітаційне моделювання на основі агентів: фокусується на окремих активних компонентах системи. За допомогою агентного моделювання необхідно ідентифікувати активні сутності, відомі як агенти, і визначити їх поведінку. Це можуть бути люди, компанії, транспортні сегмнти, обладнання, продукти, все, що має відношення до телекомунікаційної системи взагалі. Встановлюються зв’язки між ними, встановлюються змінні середовища та запускається моделювання.

Імітаційне моделювання дискретних подій: більшість операцій можна описати як послідовність окремих дискретних подій. Імітаційне моделювання дискретних подій фокусується на цих процесах у системі на середньому рівні абстракції. Як правило, конкретні фізичні деталі, такі як геометрія або фізичні величини, не відображаються. Імітаційне моделювання дискретних подій широко використовується у сфері виробництва та логістики.

Імітаційне моделювання системної динаміки: імітаційне моделювання системної динаміки є дуже абстрактним методом моделювання. Воно ігнорує дрібні деталі системи, такі як окремі властивості або події, і створює загальне уявлення про складну систему. Ці абстрактні імітаційні моделі можна використовувати для довгострокового стратегічного моделювання.

AnyLogic Private Cloud — це безпечна веб-платформа для запуску імітаційних моделей. Це дає змогу застосовувати моделювання на операційному рівні будь-якої організації, використовувати можливості для

експериментів у хмарі, співпрацювати під час розробки та виконання моделей та миттєво надавати результати моделювання в режимі онлайн.

AnyLogic Private Cloud — це внутрішня установка, що дає повний контроль над зберіганням даних. Інфраструктура AnyLogic Private Cloud розміщена у центрі обробки даних або у постачальника платформи як послуги (PaaS). Таким чином, його можна інтегрувати в робочі процеси для можливості розгортати моделі AnyLogic по всій системі. Спеціальне середовище Private Cloud дає вам повний контроль над даними та їх обробкою.

Видання AnyLogic Private Cloud включають такі параметри:

- AnyLogic Private Cloud Enterprise: його можна встановити на кількох серверах для підвищення продуктивності та дозволяє виконувати необмежену кількість паралельних запусків моделювання.
- AnyLogic Private Cloud Lite: це полегшена версія Private Cloud Enterprise, встановлена як звичайна програма користувача на комп'ютері локальної мережі. Private Cloud Lite обмежено 16 процесорними ядрами, які працюють одночасно. Це надає легкий і недорогий спосіб працювати над імітаційними моделями.
- AnyLogic Private Cloud Pro: це повнофункціональні версії Private Cloud Enterprise, встановлені як звичайна програма користувача на комп'ютері локальної мережі. Private Cloud Pro обмежено 64 процесорними ядрами, які працюють одночасно. Це надає легкий і недорогий спосіб працювати над імітаційними моделями.

AnyLogic також надає унікальний набір галузевих інструментів в одному пакеті без додаткових витрат. Кожна бібліотека моделювання процесів є потужним інструментом для аналітиків для моделювання на детальному рівні операцій і послуг динамічного характеру.

Використовуючи бібліотеку моделювання процесів, користувачі можуть моделювати реальні системи з точки зору процесів (послідовності

операцій, які зазвичай включають черги, затримки та використання ресурсів), об’єктів, які проходять через потік процесу і ресурсів, встановлювати об’єкти, які необхідно використовувати для виконання дії та впливу на процес. За допомогою бібліотеки можна швидко і легко візуалізувати будь-який процес і підтвердити результати за допомогою можливостей анімації AnyLogic.

Особливості програмного забезпечення AnyLogic Simulation:

- розробка моделі з використанням усіх трьох сучасних методів моделювання (дискретних подій, агентів і системної динаміки);
- використання різних методів моделювання в будь-якій комбінації для моделювання систем будь-якої складності;
- розробка моделі, використовуючи різні мови візуального моделювання (схеми процесів, діаграми стану, діаграми дій, фондові та блок-схеми);
- передові інструменти візуалізації та анімації, щоб покращити чіткість моделі та естетичну взаємодію;
- перетворення блок-схеми в інтерактивні моделі з розширеною 3D- та 2D-графікою;
- велика бібліотека графічних об’єктів для візуалізації транспортних засобів, персоналу, обладнання, будівель та інших предметів і процесів;
- використовуйте карти ГІС для моделювання ланцюгів поставок мереж і випадків, коли необхідно враховувати розташування, дороги, маршрутів або регіони;
- вбудована функція пошуку на карті ГІС для пошуку міст, вулиць, доріг, за допомогою даних карти;
- розробка елементів моделі на карті ГІС і відстеження руху по існуючих дорогах і маршрутах на основі реальних просторових даних;

- можливості моделювання ланцюга мережі для планування, проектування та оптимізації ланцюгів для транспортних і логістичних мереж;
- використання будь-якого пристрою для запуску імітаційної моделі, включаючи телефони та планшети через хмару;
- забезпечення інформаційної аналітики моделювання в режимі онлайн та безпечна доставка моделі через хмару;
- високопродуктивні хмарні обчислення для складних експериментів;
- потужний набір попередньо розроблених експериментів, щоб досліджувати моделі та поведінку під різними кутами зору (Монте-Карло, аналіз чутливості, варіація параметрів);
- робота з будь-яким сховищем даних, включаючи Oracle, MS SQL, MySQL, PostgreSQL, MS Access, Excel та текстові файли;
- вбудована база даних AnyLogic для налаштування та параметризації моделей, виведення статистики моделювання та журналів виконання моделі;
- створення індивідуальних робочих процесів експериментів та використання власних алгоритмів та механізмів оптимізації;
- створення власних об’єктів та бібліотек об’єктів багаторазового використання для областей застосування ;
- інтеграція імітаційних моделей в робочі процеси даних через приватну хмару
- експорт моделей як окремих програм Java, щоб легко надавати їх клієнтам та/або зацікавленим сторонам;
- інтеграція імітаційних моделей з іншими системами (ERP, MRP, CRM, BI, TMS, WMS тощо) [15, 16].

4.3 Розробка симуляційної моделі програмно-конфігурованої мережі в середовищі AnyLogic

Операції на SDN-комутаторах з різними можливостями управління процесами передачі даних призводять до значної зміни затримки для встановлення та модифікації таблиць потоків. Для вирішення проблеми використовуються моделі СМО, що описують процес обміну потоків між контролером та комутатором залежно від часових характеристик проходження пакетів. Модель СМО SDN була побудована за допомогою Anylogic (рис. 4.3).

Запити, що надходять, характеризують інтенсивності поступаючих потоків від множини комутаторів до контролера. Представлена модель описує процес обслуговування вхідних повідомлень на різних блоках обслуговування як на рівні комутатора, так і на рівні контролера. Обробка повідомлень на комутаторі представлена на рис. 4.4.

Спроектована модель мережі SDN має 4 OpenFlow комутатори, до кожного з них підключені об'єкти Source, що є джерелами вхідних повідомлень із заданою інтенсивністю.

Для більш точного моделювання процесу обміну інформації між комутатором і контролером, повідомлення, що надходять, були розділені за чотирма категоріями, кожна з яких визначається відповідною імовірністю появи.

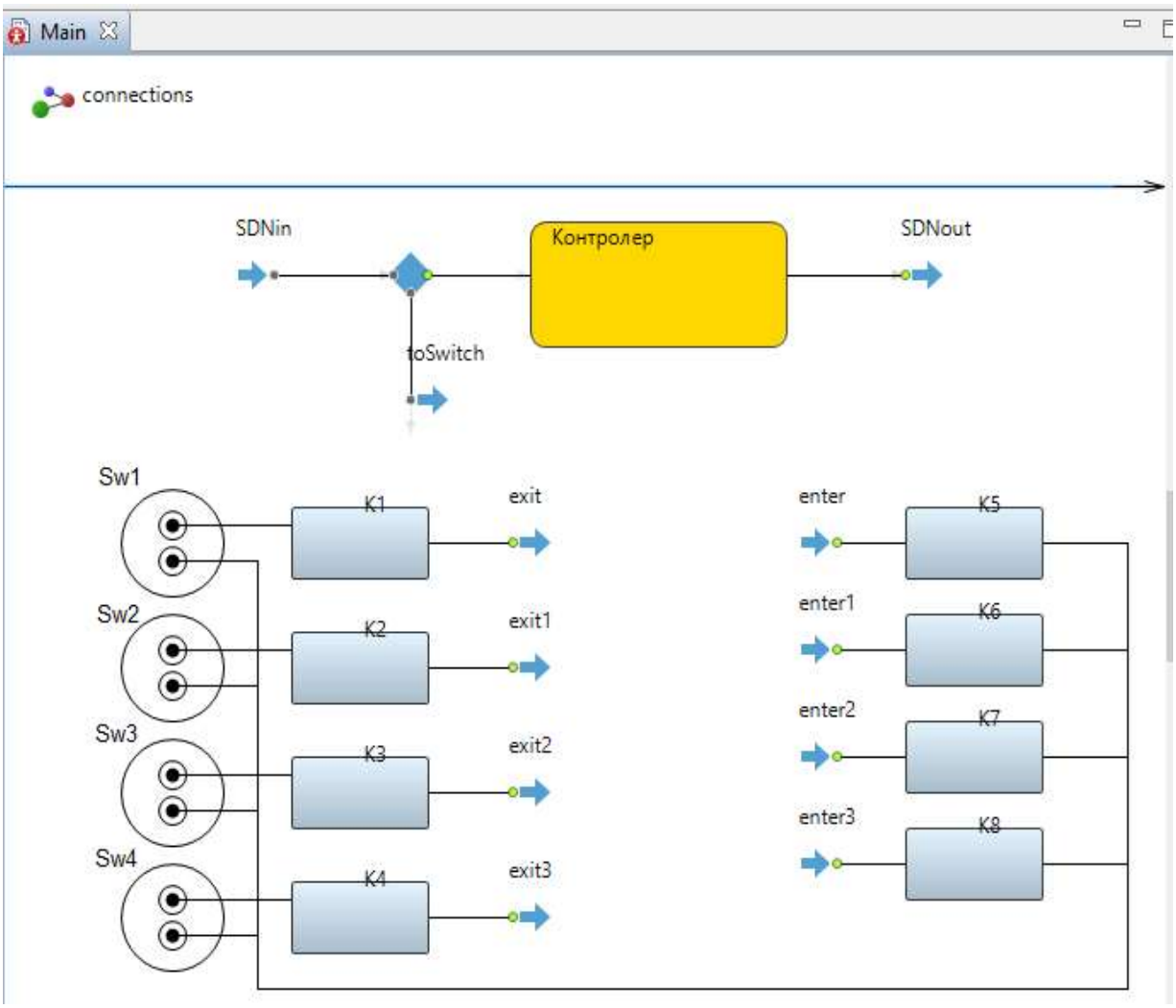

Рисунок 4.3 – Модель SDN побудована за допомогою Anylogic

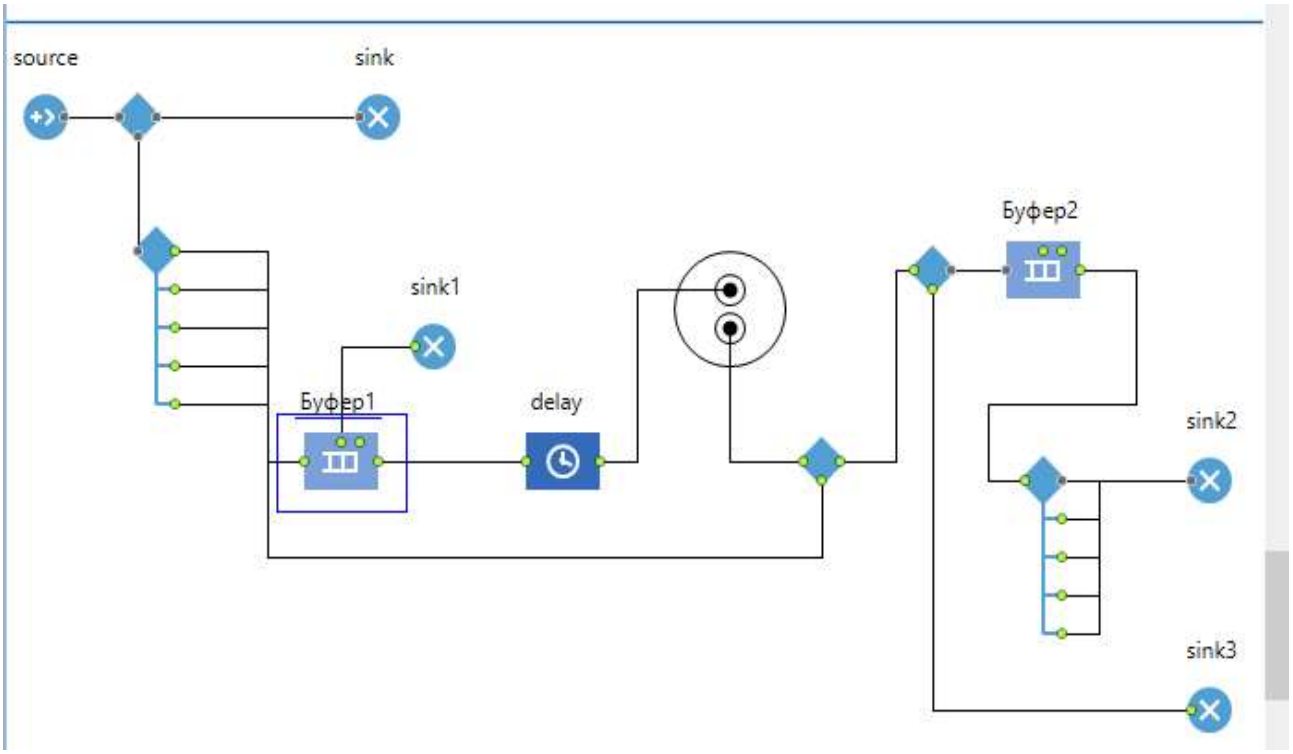

Рисунок 4.4 – Модель OpenFlow-комутатора в середовищі AnyLogic

Від комутатора повідомлення надходять до каналу зв'язку (рис. 4.5). Канал зв'язку в даній моделі побудований так, щоб не впливати на загальну оцінку продуктивності моделі.

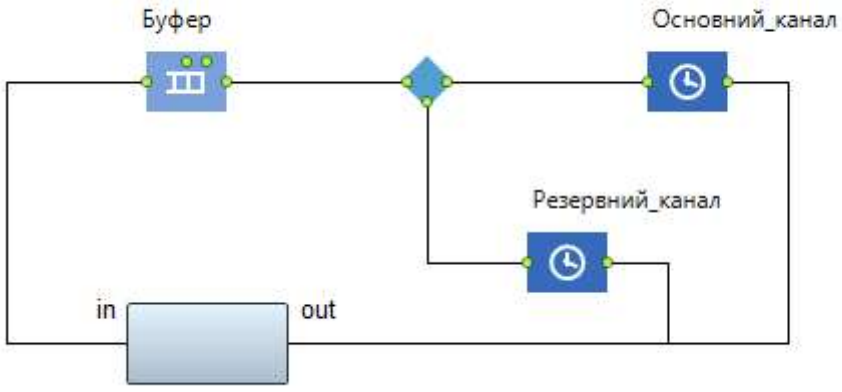

Рисунок 4.5 – Модель каналу зв’язку в середовищі AnyLogic

Обробка повідомлень на контролері представлена на рис. 4.6.

Модель програмно-конфігурованої мережі складається з центрального блоку (контролер) для управління потоком мережі. Повідомлення, що надходять від пристрою, перевіряються на присутність у комутаторі адреси одержувача. Для цієї категорії повідомлення, що надходить на комутатор, визначаються правила передачі повідомлення одержувачу: перше повідомлення цієї категорії від комутатора відправляється до контролера для підтвердження присутності одержувача. Якщо запит підтверджений, повідомлення надсилається назад до комутатора, який у свою чергу пересилає повідомлення до одержувача. Для подальших повідомлень цієї категорії підтверджень не потрібно.

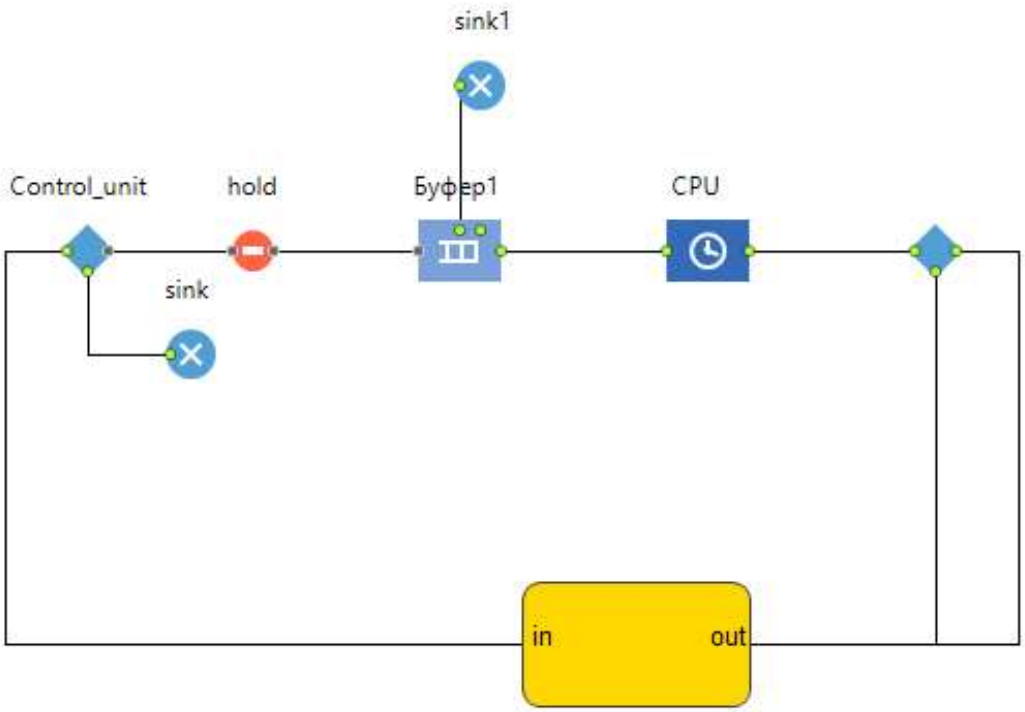

Рисунок 4.6 – Модель SDN контролера в середовищі AnyLogic

Проектована модель контролера працює із заданою імовірністю відмови. У разі відмови вся процедура перевірки адреси одержувача запускається заново, при цьому процес отримання повідомлень поділяється за номером категорії для одержувача.

4.3 Результати моделювання

Використовуючи описану вище модель SDN, ми виміряли навантаження на мережу, тому для заданих параметрів адміністратор мережі може просто встановити необхідну якість обслуговування для різних вузлів мережі, керуючи параметрами затримки, зміни затримки (джиттер), пропускної здатності та втрат пакетів. мережі. Експериментальні процеси проводилися з використанням часу моделювання 3600 с, а об’єм пам’яті для моделювання був встановлений на рівні 1024 МБ.

Для ілюстрації впливу різних параметрів мережі на якість обслуговування існує кілька варіантів: зміна швидкості трафіку прибуття, ініціювання послідовності вхідних пакетів повідомлень, вплив продуктивності контролера на загальний середній час обробки пакетів тощо.

На рис. 4.7 наведено графік середнього часу обробки пакетів комутатором для різних швидкостей надходження пакетів.

З графіку можна зробити висновок, що зі збільшенням швидкості надходження пакетів, збільшується середній час обробки пакетів, отже збільшення швидкості прибуття приведе до зниження пропускної здатності мережі. Графік може бути використаний для визначення максимального навантаження, якого повинна досягти мережа, перш ніж її продуктивність буде порушена. Для фіксованої швидкості надходження пакетів на кожному комутаторі ми вимірювали зміни середнього часу обробки пакетів, одночасно збільшуючи швидкість обслуговування контролера.

Рисунок 4.7 – Результат залежності часу обробки повідомлення від інтенсивності надходження пакетів

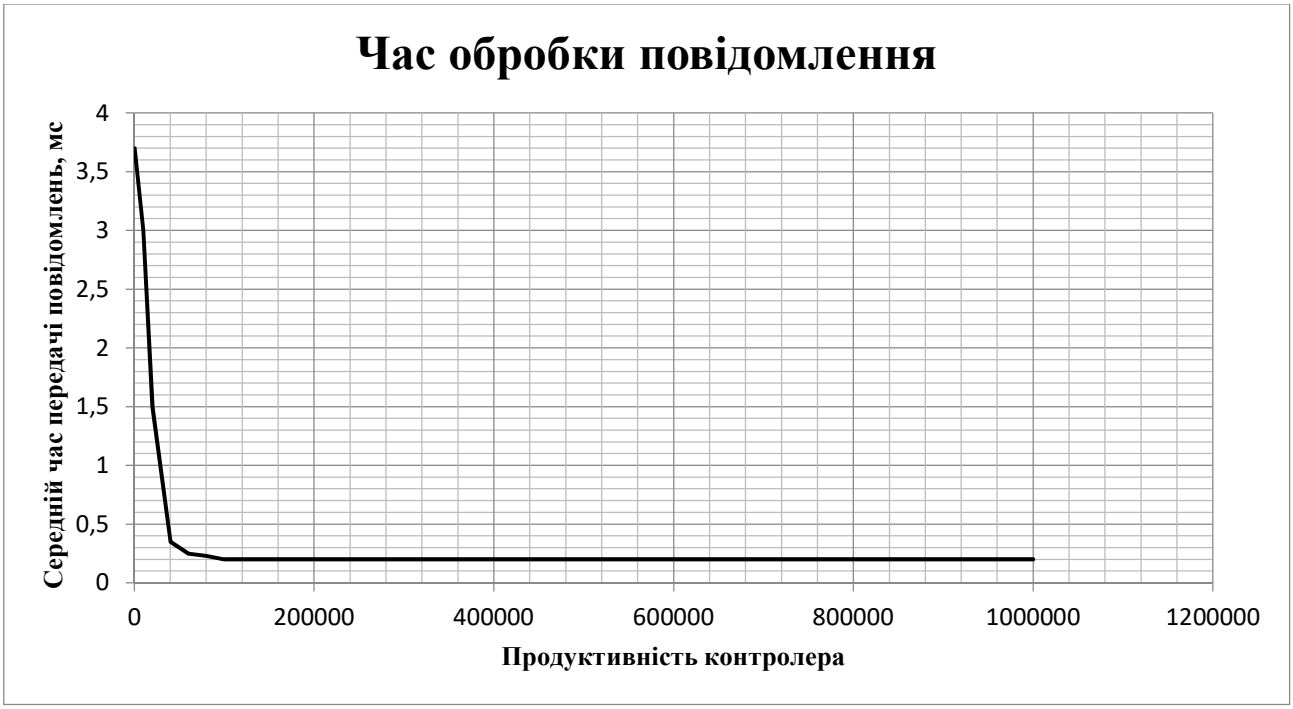

Рисунок 4.8 – Залежність часу обробки повідомлення від продуктивності контролеру

Результати моделювання на рис. 4.8 показують, що середній час обробки пакетів значно зменшується зі збільшенням швидкості обслуговування контролера, а отже пропускна здатність мережі збільшується.

Висновки до розділу 4

Розуміння продуктивності та обмежень SDN на основі OpenFlow є необхідною умовою його розгортання. У даному розділі запропоновано модель для OpenFlow SDN, засновану на теорії масового обслуговування. Також розглянуто оптимальні комбінації параметрів комутаторів та контролера Openflow, щоб дати майбутнім мережним архітекторам і адміністраторам можливість обчислити верхню оцінку затримки пакетів і потребу в буфері для комутаторів і контролера SDN для заданої швидкості надходження пакетів. Досліджені можливості роботи мережі SDN від одного контролера до кластерів контролерів, щоб оцінити, скільки комутаторів даний контролер може обробляти в мережі без значних втрат продуктивності, що є важливим критерієм оптимальної побудови транспортної телекомунікаційної мережі.

ВИСНОВКИ

В даній роботі розглянуті принципи чіткої концепції SDN та T- SDN, адаптивних глобальних транспортних мереж і їх експлуатацію. Крім того, розглядаються ключові, що змушують мережних операторів шукати шляхи переходу до більш адаптивним мереж.

Наведений опис основних компонентів для побудови мережі з використанням технологій SDN, наведені переваги та недоліки впровадження таких технологій, а також ключові вимоги, які постачальники послуг повинні враховувати, при впровадженні таких рішень / компонент.

Крім того, розглядаються можливі шляхи переходу до адаптивної мережі і даються рекомендації щодо реалізації поетапного підходу до побудови адаптивних мереж без суттєвих перетворень; описуються кілька сценаріїв використання адаптивних мереж і один приклад впровадження від реального постачальника мережевих послуг, що може лягти в основу проектування транспортної мережі з використанням SDN-технологій для вирішення оптимізаційних задач. Запропоновано ряд рекомендацій щодо подолання технологічних, експлуатаційних і організаційних труднощі при побудові таких мереж. Модель може бути використана як в задачах аналізу, так і в завданнях оптимізації управління, що являє собою завданням подальших досліджень.

В роботі проведено дослідження загальних відомостей про програмно-конфігуровані мережі та виділені ключові принципи розгортання таких мереж.

Велика увага приділена дослідженню моделей обслуговування SDN, а саме: моделі віртуалізації мережі, «еволюційному» підходу до побудови SDN та SDN-моделі OpenFlow, були виділені переваги та недоліки, а також практичне застосування кожної із розглянутих моделей.

Був проаналізований практичний ефект впровадження SDN. Розглянуті аспекти забезпечення якості обслуговування при використанні SDN, класи забезпечення якості обслуговування та максимальні значення показників мережі при використанні даних архітектур та шляхи переходу на адаптивні мережі з використанням SDN для транспортних мереж. Було проведено порівняння традиційної мережної архітектури з архітектурою SDN при побудові транспортних мереж.

Зосереджено увагу на використанні та конкретних принципах включення програмно-конфігурованих мереж, проаналізовано зарубіжний досвід при розгортанні SDN-мереж. Представлено модель дослідження характеристик використання програмно-конфігурованих архітектур для транспортних сегментів мереж, коли потрібний новий підхід до експлуатації мережі та виникає необхідність підвищити гнучкість і автоматизувати життєвий цикл сервісів, що лежать в основі корпоративних послуг.

Наведена порівняльна характеристика робочих процесів в транспортній мережі по впровадженню SDN, а також розглянута концепція ідеальної програмованої мережі з метою створення адаптивної мережі з високим ступенем автоматизації і широкими можливостями програмування.

Проаналізовані технічні характеристики перспективного обладнання для транспортих программно-конфігурованих мереж та дійшли висновку, що обов'язково потрібно враховувати конкретні типи обладнання від певного виробника при моделюванні мереж, що використовують SDN.

Детально розглянуто взаємодію програмно-конфігурованих мереж з OpenFlow та його компонентами, описано структуру процесу передачі повідомлення через комутатор OpenFlow, що надалі буде використовуватись при створенні математичної та стимуляційної моделі.

Запропоновано модель для OpenFlow SDN, яка заснована на теорії масового обслуговування. Розглянуто оптимальні комбінації параметрів комутаторів та контролера Openflow, щоб дати майбутнім мережним архітекторам і адміністраторам можливість обчислити верхню оцінку

затримки пакетів і потребу в буфері для комутаторів і контролера SDN для заданої швидкості надходження пакетів. Крім того, проведений аналіз на можливість працездатності мережі SDN від одного контролера до кластерів контролерів, щоб оцінити, скільки комутаторів даний контролер може обробляти в мережі без значних втрат продуктивності, що є важливим критерієм оптимальної побудови транспортної телекомунікаційної мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Программно-определяемые сети Software-Defined Network, SDN [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE-%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8_(Software-Defined_Network,_SDN)_%D0%B8_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE-%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D0%B5_%D0%A6%D0%9E%D0%94_(Software-Defined_Data_Center,_SDDC) – Дата доступу: вересень 2021. – Назва з титул. екрана.

2. Worldwide Software-Defined Infrastructure Software Revenues Surpassed $12 Billion in 2020, According to IDC.

3. Software-Defined Anything (SDx) Market worth $160.8 billion by 2024.

4. Деарт В.Ю., Фатхулин Т.Д. Анализ транспортных программно-конфигурируемых сетей (T-SDN) с управляемым оптическим уровнем с целью получения модели, позволяющей оценить возможность предоставления сервиса bandwidth on demand // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Том 12. №4. С. 35-42.

5. От автономных сетей к адаптивным: следующая ступень развития [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://media.ciena.com/documents/Adaptive_networks_WP_long_version_26-01-2018(Final)_ru_RU.pdf – Дата доступу: вересень 2021. – Назва з титул. екрана.

6. Extending Software Defined Network Principles to Include Optical Transport [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/DI379/papers-team36/SDN%2BOptical.pdf– Дата доступу: жовтень 2021. – Назва з титул. екрана.

7. Модель функционирования телекоммуникационногооборудования программно-конфигурируемых сетей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/view/362/280 – Дата доступу: жовтень 2021. – Назва з титул. екрана.

8. Аналитическая модель коммутатора корпоративной программно-управляемой сети SDN [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://journals.eco-vector.com/2073-3909/article/view/56498/39666 – Дата доступу: жовтень 2021. – Назва з титул. екрана.

9. Three different SDN models [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.rcrwireless.com/20170811/fundamentals/three-different-sdn-models-tag27-tag99 – Дата доступу: жовтень 2021. – Назва з титул. екрана.

10. Three models of SDN explained [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.techtarget.com/searchnetworking/tip/Three-models-of-SDN-explained – Дата доступу: жовтень 2021. – Назва з титул. екрана.

11. Software-Defined Networking (SDN) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.vmware.com/topics/glossary/content/software-defined-networking – Дата доступу: жовтень 2021. – Назва з титул. екрана.

12. SDN Network Models [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://devcentral.f5.com/s/articles/sdn-network-models – Дата доступу: жовтень 2021. – Назва з титул. екрана

13. Improving network management with Software Defined Networking [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/130/46130071.pdf?r=1&r=1 – Дата доступу: жовтень 2021. – Назва з титул. екрана.

14. Lozano-Rizk J.E., Rivera-Rodriguez R., Nieto-Hipolito J.I., Villarreal-Reyes S., Galaviz-Mosqueda A., Vazquez-Briseño M. Quality of Service in Software Defined Networks for Scientific Applications: Opportunities and Challenges. Trudy ISP RAN/Proc. ISP RAS, vol. 33, issue 1, 2021, pp. 111-122.

15. AnyLogic Simulation Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.engusa.com/en/product/anylogic-simulation-software – Дата доступу: листопад 2021. – Назва з титул. екрана.

16. Multimethod Simulation Modeling for Business Applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.anylogic.com/resources/white-papers/multimethod-simulation-modeling-for-business-applications/ – Дата доступу: листопад 2021. – Назва з титул. екрана.

17. Orchestration and Control in Software-Defined 5G Networks: Research Challenges [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2018/6923867/ – Дата доступу: листопад 2021. – Назва з титул. екрана.

ДОДАТОК А
Охорона праці та безпека життєдіяльності

ДОДАТОК А
Охорона праці та безпека при надзвичайнихситуаціях на підприємстві

А.1 Характеристика умов праці науково-дослідного відділу підприємства

Робочим приміщенням, у якому розташовано науково-дослідний відділ, є кімната розмірами 6 метрів на 4,5 метрів. У приміщенні розташовано: 5 комп'ютерів потужністю 0,7 кВт/год., 5 моніторів потужністю 0,15 кВт/год., 5 ноутбуків потужністю 0,08 кВт/год, 1 принтер потужністю 0,5 кВт/год., 3 генератори сигналів потужністю 0,07 кВт/год., 3 осцилографи потужністю 0,06 кВт/год., паяльна станція потужністю 0,8 кВт/год, 3 лабораторні блоки живлення потужністю 0,3 кВт/год., 1 кондиціонер потужністю 4,0 кВт/год.

Приміщення знаходиться на 1-ому поверсі цегельної будівлі та за своїх характеристикам цілком відповідає вимогам СІ І і П 2.09.04 – 87 «Адміністративні і побутові будинки виробничих підприємств», а також СП 512 – 78 «Інструкція з проектування будинків і приміщень ЕОМ».

Основними шкідливими факторами, зв'язаними з роботою на ПК є:

– напруга зорових органів та пов'язане з цим стомлення, захворювання і побічні ефекти;

– значне навантаження на пальці та кисті рук, що при відсутності профілактики та медичного контролю можуть викликати професійні захворювання;

– тривале перебування в одній і тій самій позі, що викликає застійні явища в організмі, та може сприяти різним захворюванням;

– випромінювання різного виду при використанні відеомоніторів на

електронно-променевих грубках (м'яке рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, видиме випромінювання, інфрачервоне випромінювання, низько і високочастотне електромагнітне випромінювання, електростатичні полючи);

– механічні шуми, що пов'язані з роботою електронно-механічного друкуючою пристрою (принтера), вентиляторів системи охолодження, приводів читання CD-дисків та вібрація; іонізація повітря;

– наявність шкідливих хімічних речовин.

Дослідження науково-дослідного інституту гігієни праці і профзахворювань вказали на зміни у функціональному стані зорового аналізатора в ході виробничої діяльності фахівців, що працюють з відеотерміналами, наприкінці 4 години роботи.

Професійні захворювання при роботі з персональним комп’ютером:

– комп'ютерний зоровий синдром. Вплив роботи з монітором зазвичай залежить від віку користувача, від стану зору, а також від інтенсивності роботи з дисплеєм та організації робочого місця. В результаті тривалої роботи дуже великий ризик появи, або прогресивності вже наявною, короткозорості.

– проблеми, що пов'язані з м'язами і суглобами. Нерухома напружена поза оператора, протягом тривалого часу прикутого до екрану монітора, призводить до втоми і виникнення болю в хребті, шиї, плечових суглобах, а також розвивається м'язова слабкість і відбувається зміна форми хребта. Інтенсивна робота з клавіатурою викликає больові відчуття в ліктьових суглобах, передпліччях, зап'ястях, в кистях і пальцях рук. Зазвичай присутні скарги на оніміння шиї, біль у плечах і попереку або поколювання в ногах. Але бувають, проте, і більш серйозні захворювання. Найбільш поширений кистьовий тунельний синдром, при якому нерви руки пошкоджуються внаслідок частої і тривалої роботи на комп'ютері. У найбільш важкій формі цей синдром проявляється у вигляді болісних відчуттів, що позбавляють людину працездатності.

– синдром комп'ютерного стресу. Постійні користувачі ПК зазвичай піддаються психологічним стресам, функціональних порушень центральної нервової системи, хвороб серцево-судинної системи.

– вплив на імунну систему. При впливі електро-магнітного випромінювання (ЕМВ) порушуються процеси імуногенезу, опромінених ЕМВ, змінюється характер інфекційного процесу – протягом інфекційного процесу обтяжується. ЕМВ можуть сприяти неспецифічному пригнічення імуногенезу, посилення утворення антитіл до тканин плоду і стимуляції аутоімунної реакції в організмі вагітної самки.

– вплив на ендокринну систему і нейрогуморальну реакцію. При дії ЕМВ, як правило, відбувається стимуляція гіпофізарно-адреналінової системи, що супроводжується збільшенням вмісту адреналолина в крові, активацією процесів згортання крові.

– вплив на статеву функцію. Порушення статевої функції зазвичай пов'язані зі зміною її регуляції з боку нервової та нейроендокринної систем.

Симптоми захворювання різноманітні і численні. Зазвичай, на-відмінність єдиного симптому малоймовірно, оскільки всі функціональні органи людини взаємопов'язані.

1. Фізичні нездужання: сонливість, непроходяча втома; головний біль після роботи; болі в нижній частині спини, в ногах, відчуття поколювання, оніміння, болі в руках; напруженість м'язів верхньої частини тулуба.

2. Захворювання очей: відчуття гострого болю, печіння, свербіння.

3. Порушення візуального сприйняття: неясність зору, яка збільшується протягом дня; виникнення подвійного зору.

4. Погіршення зосередженості і працездатності: зосередженість досягається за працею; дратівливість під час і після роботи; повітря робочої точки на екрані; помилки при друкуванні.

А.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м^2, об’єм – 20 м^3. Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев’яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених , МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення (S=21 м^2, V=73,5 м^3) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050х590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650,

глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

Мікроклімат робочого місця. У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилювання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot p \cdot (t_В - t_Н)}, \quad (А.1)$$

де $Q_{НАД}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємкість повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м^3); $t_В$ – температура витяжного повітря (30°С); $t_Н$ – температура приточного повітря (20°С).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР}, \quad (А.2)$$

де $Q_{УСТ}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{ПЕР}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{ОСВ}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{СР}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{УСТ} = P \cdot K_а \cdot K_б \cdot 860, \quad (А.3)$$

P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; $K_а$ – коефіцієнт установленої потужності (0,95); $K_б$ – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$Q_{УСТ} = [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 +$$
$$+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_б \cdot 860 =$$
$$= [5 \cdot 0,7 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,08 + 1 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,07 + 3 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,3 +$$
$$+ 1 \cdot 4,0] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 9175 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{ПЕР} = n \cdot g = 6 \cdot 100 = 600 \text{ ккал/год}, \qquad (А.4)$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{ОСВ} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 27 = 405 \text{ ккал/год}, \qquad (А.5)$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м^2 підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м^2.

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{СР} = F \cdot g_2 \cdot K_{ОСЛ} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \qquad (А.6)$$

де F – площа віконних прорізів (3х2,5=7,5 м^2); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{ОСЛ}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР} = 9175 + 600 + 405 + 195 = 10375 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{10375}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 3570 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування і вентилювання має продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОІІ 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати

(22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всім параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, рухливість повітря (0,1 – 0,2) метрів секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності. Розміри приміщення: довжина (a=6 м), ширина (b=4,5 м), висота (h=3,5 м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі}$ = 70 %, $P_{стін}$ = 50 %. Висота робочих поверхонь (столів) h_p = 0,7 м. Для

освітленняприйнято світильники типуУПМ-15, які підвищуються до стелі, відстаньвід світильника до стелі h_c=0,4 м.. Мінімальна освітленість за нормами E=200 лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3{,}5 - 0{,}4 = 3{,}1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5 –4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3{,}5 - 0{,}4 = 2{,}8 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0{,}7 \cdot h = 0{,}7 \cdot 2{,}8 = 2{,}0 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3{,}5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника $(\Phi_Л)$ визначається за формулою:

$$\Phi_Л = \frac{E \cdot K_З \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; $K_З$ – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м^2; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3{,}5}{3{,}5 \cdot (6 + 3{,}5)} = 2{,}21.$$

Коефіцієнт використання η = 0,48 для світильника УПМ-15 (при і= 2,5, $Р_{стелі}$=70%, $Р_{стін}$ = 50 %)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_Л = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1{,}15}{6 \cdot 1 \cdot 0{,}48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_Л < +20\%$). Сумарна електрична

потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{СВ} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$

А.3 Пожежна безпека

Найважливішою умовою роботи будь-якого підприємства є дотримання правил пожежної охорони. У приміщені лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає «Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень (офісів)». Вона є обов'язковою для використання всіма співробітниками відділу. У згідності з цією інструкцією, у кожному приміщенні повинний бути призначений відповідальний за пожежну безпеку, вивішена на видному місці табличка з указівкою його посади та прізвища.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи та виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захаращувати. По мірі нагромадження та закінчення роботи пальні відходи варто збирати в спеціально відведених сміттєзбиральників.

Електромережі, електроприлади й апаратура повинна експлуатуватися тільки в справному стані, з урахуванням рекомендацій підприємства-виготовлювачів. У випадку виявлення ушкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів варто негайно відключи їх та вжити необхідних заходів до приведення в пожежобезпечний стан. Документи папір та інші горючі матеріали варто зберігати на відстані не менш 1 м від електрощитів, електрозбірок та електрокабелів, 0,5 м від світильників та 0,25 м від приладів опалення.

Засоби протипожежного захисту (пожежні крани, пожежна й охоронно-пожежна сигналізація, первинні засоби пожежогасіння і т.п.), що маються в

приміщеннях, варто тримати в справному стані.

Усі працівники повинні пройти протипожежний інструктаж, уміти користатися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та знати місце їхнього перебування. Відстань від найбільш віддаленого місця приміщення до місця розміщення вогнегасника не повинне перевищувати 20 м.

А.4 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Об’єктом розгляду на предмет визначення надзвичайних небезпек та їх наслідків є науково-дослідний відділ. Однією із вірогідних загроз може бути раптове виникнення пожару внаслідок короткого замикання в електромережах або розрядів статистичної електрики, що може привести до пошкодження і руйнування будівлі, устаткування, комунікацій, виділення токсичних продуктів горіння.

Тому в науково-дослідному відділі розроблено оперативний план гасіння пожежі, який визначає порядок дії персоналу при пожежі, порядок її гасіння в електроустановках, взаємодію з власним складом пожежних підрозділів, а також застосування схем и засобів пожежогасіння з урахуванням заходів безпеки.

Будівля повинна бути обладнана мережею протипожежного водозабезпечення, установками виявлення та гасіння пожеж відповідно вимогам нормативно-технічних документів. Кожний працівник повинен чітко знати та виконувати вимоги ППБ та протиаварійний режим на об’єкті, уміти користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння і знати місце їхнього перебування.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захаращувати. Засоби протипожежного захисту в

приміщеннях потрібні триматися у справному стані.

У випадку виявлення пожежі слід: негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище; повідомити про пожежу керівництву, а в нічний час черговому охоронцю; у разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі у початковій стадії його розвитку випромінюється тепло, накопичуються токсичні продукти згоряння, імовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого працівники можуть при потрібності залишити окремі приміщення і будівлю в цілому. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує час настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини впливів факторі пожежі (критичних температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено. Мінімальна відстань між найбільш віддаленими один від одного евакуаційними виходами із приміщення визначається за формулою:

$$l = 1{,}5 \cdot \sqrt{P} = 1{,}5 \cdot \sqrt{19} = 6{,}5 \text{ м}, \qquad \text{(А.7)}$$

де P – периметр приміщення, м.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі. У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі.

При пожежі обов'язково необхідно враховувати небезпечні чинники і механізм їх дії на людину. При виникненні пожежі, після виклику пожежної охорони, необхідно попередити про це усіх, хто знаходиться поруч, після

чого евакуюватися самому і по можливості допомогти евакуюватися іншим, особливо особам літнього віку і дітям, попереджаючи при цьому виникнення паніки. З метою обмеження циркуляції повітря, яке здатне збільшувати швидкість горіння, покидаючи приміщення, закрийте за собою усі двері, якщо це можливо. Якщо пожежа виникла в приміщенні над вами і безпосередньої загрози для вас не спостерігається, то бажано виконати заходи по зниженню можливих втрат від води яку проливають при гасінні пожежі. Для цього необхідно відключити всі електроприводи та прикрити їх поліетиленовою плівкою. Значно гірше, якщо пожежа виникла в приміщенні під вами – потрібно оцінити обстановку и якщо є впевненість, що ще не має сильної задимленості з високою температурою, потрібно негайно покинути приміщення, рухаючись до виходу по коридорам і сходовим кліткам. Користуватися ліфтом категорично забороняється, за винятком ліфтів, які спеціально призначені для транспортування пожежної охорони. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі.

Якщо ви знаходитеся в приміщенні де немає пожежі, але відрізани вогнем, димом, високою температурою від головних шляхів евакуації, то в першу чергу необхідно заважити доступу диму и продуктів горіння в це приміщення. Для чого необхідно негайно закрити усі щілини у дверях та під ними змоченими водою ганчірками, рушниками, робочими халатами та ін. Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певної мірі захищає від продуктів горіння.