

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 впровадження технологій 5G в інформаційно-
комунікаційну мережу промислового порту

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

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

_____ Качан Даніїл Васильович _____
(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 впровадження технологій 5G в інформаційно-комунікаційну мережу промислового порту»

Виконав студент групи ТКРМ-20 _____ Качан Даніїл Васильович,
 (підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Керівник _____ к.т.н., доц каф.АТ Воропаєва А.А.
 (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)

Нормо контролер _____ Д.О.Жуковська
 (підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Покровськ – 2021р.

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 КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Качан Данііл Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження та впровадження технологій 5G в
інформаційно-комунікаційну мережу промислового порту»

керівник роботи: Воропаєва А.А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від “ ” року №

2. Строк подання студентом роботи

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

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

- 1) Огляд найбільш близьких технічних рішень.
- 2) Структурна схема телекомунікаційної мереж порту.
- 3) Функціональна схема телекомунікаційної мережі порту.
- 4) Апаратний синтез мережі
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 - 1) Структурна схема.
 - 2) Функціональна схема
 - 3).Схема IP-мережі.

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 дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз об'єкта	06.09.2021	
2	Огляд існуючих рішень	08.09.2021	
3	Розробка структурної схеми	10.09.2021	
4	Вибір технічних засобів	12.09.2021	
5	Розробка функціональної схеми	14.09.2021	
6	Розробка апаратного синтезу	16.09.2021	
7	Розробка ІР-проектуювання	18.09.2021	
8	Охорона праці	01.10.2021	
9	Оформлення	01.11.2021	

Студент

_____ **Качан Д.В.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ **Воропасва А.О.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Лист зауважень

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

АНОТАЦІЯ

Качан Д.В Розробити дослідження впровадження технологій 5G в інформаційно-комунікаційну мережу промислового порту. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка». – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Магістерська робота направлена на вивчення використання технології мобільного зв'язку п'ятого покоління(5G NR) при використанні її в промисловості, а саме в Морському порту. За об'єкт дослідження було взято для порівняння технології попередніх поколінь мобільного зв'язку та річково-морський порт міста Херсон. Працівникам порту повинно було забезпечено сучасні високоякісні послуги телекомунікацій, а саме доступ до мережі Інтернет, IP – телефонії, зовнішнього відеоспостереження та віддалений контроль об'єктів.

В першій главі проведений аналіз об'єкту проектування та визначені характеристики послуг що будуть надаватись працівникам порту. Розрахований трафік мережі.

В другій главі було описані властивості технології п'ятого покоління мобільного зв'язку

В третій главі обрані необхідні компоненти для побудови і реалізації мережі.

В четвертій главі було зроблено IP-проектування та моделювання радіопокриття

Правильність прийнятих проектних рішень підтверджена в четвертій главі шляхом імітаційного моделювання.

Заклучна глава описує основні заходи з охорони праці.

Ключові слова: МУЛЬТИСЕРВІСНА МЕРЕЖА, СКС, СХЕМА, ПОСЛУГА, КЛІЄНТ, ОБЛАДНАННЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ, 5G, П'яте покоління, ТАК

Список публікацій здобувача

1. Качан Д.В.(2020) Всеукраїнський науково-практичний форум «ТАК»
Збірка доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції
молодих учених (<https://donntu.edu.ua/nauka-ta-innovacii/na-bazi-fakultetu-kitaer-projshlo-vidkrittya-shostogo-vseukraïnskogo-forumu-tak.html>) стр.22-24
2. Качан Д.В.(2020) Всеукраїнський науково-практичний форум «ТАК»
Збірка доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції
молодих учених (<https://donntu.edu.ua/nauka-ta-innovacii/v-donntu-projshov-somij-vseukraïnskij-forum-tak.html>) стр.35-37

ABSTRACT

Kachan D.V. Develop research on the implementation of 5G technologies in the information and communication network of the industrial port. Graduation qualification work for the degree of "Master" in specialty 172 "Telecommunications and Radio Engineering". - SHEI DonNTU, Pokrovsk, 2021.

The master's thesis is aimed at studying the use of fifth-generation mobile technology (5G NR) in its use in industry, namely in the Seaport. The object of the study was to compare the technology of previous generations of mobile communications and the river seaport of Kherson. The port staff was to be provided with state-of-the-art high-quality telecommunications services, such as Internet access, IP telephony, external video surveillance and remote monitoring.

The first chapter analyzes the design object and identifies the characteristics of the services that will be provided to port employees. Estimated network traffic.

The second chapter describes the features of the fifth generation of mobile technology

The third chapter selects the necessary components for building and implementing a network.

In the fourth chapter, IP-design and simulation of radio coverage was done

The correctness of the design decisions is confirmed in the fourth chapter by simulation.

The final chapter describes the main measures of labor protection.

Keywords: MULTISERVICE NETWORK, SCS, SCHEME, SERVICE, CUSTOMER, EQUIPMENT, TELECOMMUNICATIONS, 5G, Fifth generation.

List of applicant's publications

1. Kachan DV (2020) All-Ukrainian scientific-practical forum "TAC"

Collection of reports of the All-Ukrainian scientific-practical conference of young scientists (<https://donntu.edu.ua/nauka-ta-innovacii/na-bazi-fakultetu-kitaer-projshlo-vidkrittia-shostogo-vseukraïnskogo-forumu-tak.html>) p.22 -24

2. Kachan DV (2020) All-Ukrainian scientific-practical forum "YES" Collection of reports of the All-Ukrainian scientific-practical conference of young scientists (<https://donntu.edu.ua/nauka-ta-innovacii/v-donntu-projshov-somij-vseukraïnskij-forum-tak.html>) pp.35-37

ЗМІСТ

ВСТУП.....	Ошибка! Закладка не определена.
1 ТЕХНОЛОГІЇ В ОБ'ЄДНАННІ З ПРОМИСЛОВИМ ВИРОБНИЦТВОМ ТА ЕКОНОМІЧНИМ РОЗВИТКОМ.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Ключові цілі об'єднання	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.1 Характеристика та опис.....	Ошибка! Закладка не определена.
Висновки до розділу 1	Ошибка! Закладка не определена.
2 ОСНОВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРЕВАГИ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G	Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Порівняння поколінь мобільного зв'язку.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Основні складові мереж 5G	Ошибка! Закладка не определена.
2.2.1 Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC) ..	Ошибка! Закладка не определена.
2.2.2 - Enhanced Mobile Broadband (eMBB).....	Ошибка! Закладка не определена.
2.2.3 - Massive Machine-Type Communications (mMTC) ..	Ошибка! Закладка не определена.
2.3.3 Типовий сервіс Smart Port	Ошибка! Закладка не определена.
2.4.1 Вимоги до бездротової мережі	Ошибка! Закладка не определена.
Висновок до розділу 2	Ошибка! Закладка не определена.
3 ВИБІР УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ КАНАЛОУТВОРЕННЯ ...	Ошибка! Закладка не определена.
4 ПЛАНУВАННЯ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ ТА ОЦІНКА ЇЇ ХАРАКТЕРИСТИК.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.1 Розрахунок параметрів 5G NR.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.1.1 Початкові дані для розрахунку	Ошибка! Закладка не определена.
4.1.2 Вибір обладнання для 5G мережі	Ошибка! Закладка не определена.
4.1.3 Розрахунок основних параметрів мережі	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Моделювання мережі 5G NR	Ошибка! Закладка не определена.

4.2.1 Результати розрахунку параметрів мережі.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.3 IP Проектування	Ошибка! Закладка не определена.
4.3.1 Розподіл адресного простору та логічна структуризація мережі....	Ошибка! Закладка не определена.
Висновки до розділу 4	Ошибка! Закладка не определена.
ВИСНОВКИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК А. Мережа «розумного порту» ..	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б	Ошибка! Закладка не определена.
Охорона Праці	Ошибка! Закладка не определена.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- VAD - voice activity detection;
- VoD - Video- on-Demand;
- ТМЗК - телефонна мережа загального користування;
- СЛ - сполучна лінія;
- IP - internet protocol;
- VoIP - Voice over IP;
- QoS - quality of sendee;
- ГНН - година найбільшого навантаження;
- DNS - domain name sendee;
- СКС - структурована кабельна система;
- FTTX - Fiber To The X - оптика до точки X;
- PON - passive optical network;
- AON - all optical network;
- P2P - peer to peer;
- WDM - wave digital multiplexing;
- OSI - Open System Interconnection.
- SDG - Sustainable Development Goals - Організації Об'єднаних Націй
- mMTC - massive Machine-Type Communication – Можливість підключення великої кількості пристроїв
- URLLC - Ultra-Reliable and Low-Latency Communication – Високонадійне з'єднання с дуже низькою затримкою
- EMBB - Enhanced mobile broadband – Роширеней мобільний широкопсмуговий зв'язок
- SDG – Цілі сталого розвитку ООН
- LOS – Line of sight
- NLOS – Non-line of sight

MM – Massive MIMO
O2I – Outdoor-to-Indoor
RF – Radio frequency
WTTx – Wireless to the x
BF – Beamforming
VR – Virtual reality
CBD – Central business district
AAU – Active antenna unit
UHD – Ultra-high-definition
AR – Augmented reality
3GPP – 3rd Generation Partnership Project
5G PPP – 5G Public Private Partnership
ATO – Automatic Train Operation
HL – High Level
HTTP – Hypertext Transfer Protocol
IoT – Internet of Things
ITU – Internet Telecommunication Union
M2M – Machine-to-Machine
NR – New Radio
V2I – Vehicle-to-Infrastructure
VNF – Virtual Network Function

ВСТУП

Актуальність теми. Останні десятиліття стали свідками чудових досягнень бездротових технологій з точки зору всесвітньої комунікації. Останнім часом як науковців, так і промисловців зріс інтерес до іншого напрямку – забезпечення повсюдного підключення між машинами, автономними пристроями та речами. Такий зсув парадигми від комунікацій людського типу (НТС) до комунікацій машинного типу (МТС) в основному зумовлений необхідністю створення Інтернету речей (IoT), який обіцяє революціонізувати наш спосіб життя та роботи за допомогою безперебійної взаємодії між великою кількістю пристроїв. Зі зростанням популярності інтелектуального транспорту, розумного міста тощо передбачається, що кількість пристроїв IoT досягне 75 мільярдів до 2025 року, що набагато більше, ніж кількість користувачів мобільних телефонів. Щоб забезпечити бездротове підключення до такої великої кількості пристроїв до моменту реалізації IoT, партнерський проект третього покоління (3GPP) визначив масивні комунікації машинного типу (mMTC) як один із трьох основних випадків використання п'ятого- бездротові системи покоління (5G).

У порівнянні зі своїм аналогом НТС, mMTC породжує нові моделі комунікації та пов'язані з ними проблеми, які потребують вирішення. Наприклад, високошвидкісний висхідний зв'язок є пріоритетним у НТС, тоді як низько швидкісний зв'язок вихідного зв'язку, наприклад, збір вимірювань малого корисного навантаження з величезної кількості розумних лічильників, має надзвичайне значення для mMTC. Тому методи передачі коротких пакетів повинні бути досліджені в mMTC, де накладні витрати, що виникають від керуючих сигналів, повинні бути значно зменшені, оскільки їх розмір може бути подібним до розміру пакетів даних. Більше того, схеми довільного доступу на основі конкуренції, які широко використовуються для НТС, наприклад, ALOHA, можуть призвести до величезної кількості колізій у mMTC,

коли тисячі пристроїв IoT змагаються за надання доступу. Для цього потрібні інноваційні стратегії доступу, що поєднують довільний доступ і планування, адаптовані до mMTC. Крім того, нові рішення, такі як мережеве розділення бездротових ресурсів, необхідні для спільного існування НТС і mMTC в майбутніх стільникових мережах.

Це стосується всіх галузей промисловості, різноманітних та багатовимірних секторів та видів діяльності, ключовим прикладом яких є порти. Цього можна досягти шляхом впровадження політики сталого зростання портів, шляхом нового або переробленого оперативного планування. В рамках цього впровадження нових технологій в портові процеси та екосистеми, які впливають на навколишнє середовище, але є більш широкі переваги, дозволяють рухатися до порту майбутнього. Хоча очікувані наслідки зміни клімату є однією з причин дій у сфері охорони узбережжя та управління портами, такі проблеми, як нестача основних будівель, використання ресурсів, вплив на навколишнє середовище та настанови щодо досягнення сталості у різних секторах. Для реалізації SDG, пов'язаних з портами, була розроблена інтелектуальна модель порту, яка вважає цифрову трансформацію, що підтримується 5G, основним важелем.

Порядок денний містить багато цілей, які можуть бути прямо або побічно пов'язані з діяльністю порту. Вони включають охорону та управління екосистемами, а також цілі, пов'язані з інфраструктурою та круговою економікою, стійкими містами та громадами, принципи належного корпоративного управління та передачі даних та управління партнерськими відносинами. До 2030 року, портові адміністрації мають час і можливості внести свій внесок у реалізацію нових технологій для сталого розвитку на період до 2030 року.

Досягнення SDG (ООН) також вимагає партнерства між державним та приватним сектором. У такій установці діючі спільноти порту є двигунами змін. Вони не тільки сприяють скороченню викидів, забезпечують перехід до

енергоносіїв та стимулюють кругову економіку до розвитку, а також є пунктами діалогу з міськими зацікавленими сторонами та портовими містами.

Метою даної роботи є дослідження можливості технології 5G для підтримки роботи в реальному часі та підтримки інтеграції автономних активів у логістичному центрі.

Мета роботи полягає у вирішенні наступних завдань:

- Дослідження моделей трафіку
- Моделювання сервісів 5G
- Розрахунок трафіку та порівняння інших бездротових мереж

Об'єктом дослідження виступає модель трафіку для мобільної мережі п'ятого покоління

Предметом дослідження є оптимальні рішення щодо розподілу ресурсів мережі для користувачів мережі 5G

Методи дослідження. Основні теоретичні та експериментальні дослідження магістерської роботи виконані із застосуванням методів теорії імовірностей, математичні статистики, теорії телетрафіку, радіо – планування, математичної статистики

Наукова новизна одержаних результатів полягає у визначенні підтвердженні гіпотези про те, що передові технології та протоколи зв'язку 5G можуть дозволити автономній інфраструктурі порту (козловим кранам, перевізникам, енергетичним інфраструктурам тощо) обслуговувати декілька (не заздалегідь визначених) активів із завантаженням та розвантаженням, а також заправку / зарядку та основне технічне обслуговування.

Практична цінність отриманих результатів Полягає в майбутньому забезпеченні портів сучасними та обґрунтованими моделями автоматизації порту та роботи.

Структура та обсяг роботи. Випускна магістерська робота обсягом 80 машинописних сторінок, складається з вступу, п'яти розділів, висновків, переліка використаних джерел, що складається з 26 найменувань. Робота

містить 27 рисунків, 12 таблиць, 1 додаток.

1 ТЕХНОЛОГІЇ В ОБ'ЄДНАННІ З ПРОМИСЛОВИМ ВИРОБНИЦТВОМ ТА ЕКОНОМІЧНИМ РОЗВИТКОМ

1.1 Ключові цілі об'єднання

1.1.1 Характеристика та опис

У різних сферах є багато цілей, які можуть прямо або побічно бути пов'язані з діяльністю порту. Вони включають цілі, пов'язані з охороною та управлінням екосистемами, інфраструктурою та циркулярною економікою, стабільними містами та громадами, належним корпоративним управлінням та принципами передачі даних, а також управління партнерством. Розраховуючи граничний термін до 2030 року, адміністрація порту має час і можливість внести свій внесок у реалізацію для сталого розвитку на період до 2030 року.

Державно-приватне партнерство також необхідне для досягнення цілей ООН. У цьому контексті зацікавлені сторони портової спільноти є рушійною силою змін. Вони не тільки допомагають зменшити викиди, забезпечують перехід на енергоносії та стимулюють кругову економіку, а й є центром діалогу із зацікавленими сторонами міста та портовими містами.

Впроваджуючи нові технології в реальний світ, портові адміністрації та агентства повинні проаналізувати та оцінити їх вплив на загальну ефективність з точки зору конкурентоспроможності, ефективності та сталості. Однак порт ноди часто використовують недалекоглядний підхід до інновацій, і інвестиційні рішення майже повністю залежать від вартості та прямої вигоди технології, а не від ефективності витрат та часу та впливу на навколишнє середовище.

Тому порти повинні застосовувати більш широкий та стійкий підхід до інвестицій та інновацій. Оцінка продуктивності у багатовимірному та послідовному порядку є складним завданням, яке потребує міцних

взаємозв'язків між технологіями, процесами та організаційними процедурами. Порядок денний сталого розвитку на період до 2030 р. У поєднанні з Національною стратегією сталого розвитку Італійського уряду (NSDS) представляє нове бачення досягнення інноваційного та сталого економічного, соціального та екологічного зростання.

Стійкість-це багатогранна концепція, яка включає верстви екологічних проблем, довгострокову економічну конкурентоспроможність та соціальні виклики.

Факторами, які слід враховувати, є:

- Адаптація до зміни клімату. Це важливо для виживання порту.
- Руйнівні наслідки.
- Порту необхідно скоротити викиди парникових газів і скоротити викиди вдвічі до 2030 року відповідно до Паризької кліматичної угоди та наукових рекомендацій. За оцінками, сектор ІКТ може зменшити викиди парникових газів на 15% в інших секторах світу, включаючи: мобільність та логістику. Це означає, що цифрові рішення для портів можуть допомогти зменшити викиди вуглекислого газу.
- Питання екології стає все більш актуальним питанням на сьогодні.
- Діловий та поточний порт
- Стійкість також відноситься до довгострокових соціально-економічних факторів. Стійкі порти не тільки приносять спільноті професійні та економічні вигоди, але й мають бізнес-модель, яка може генерувати довгострокову цінність та багатство, достатньо міцне для боротьби з конкурентами.

Тому нинішня портова галузь

Ключові показники ефективності (KPI) повинні мати ширший погляд на цілі ООН, і нові технології необхідно оцінювати на їх основі. Прийнявши інтегрований підхід, технологія може бути випробувана одночасно у

фактичному портовому процесі та оцінена інтегрованими KPI та SDG. Результати цих оцінок відображають як показник конкурентоспроможності порту, так і його вплив на сталий розвиток.

Маючи близько 36 мільйонів тонн вантажу щорічно та 700 000 TEU (одиниця, еквівалентна 20 футам, що використовується для представлення місткості контейнерних суден та контейнерних терміналів). Порт також є важливим роботодавцем у регіоні, де понад 15 000 співробітників обслуговують приблизно 9 000 суден щороку.

Тут оцифрування та інновації є ключовими елементами конкурентоспроможності та розвитку порту. Технології можуть прискорити цю еволюцію, дозволяючи збирати дані, підвищуючи надійність інформації та прискорюючи обмін даними.

Оцифрування портових операцій з 5G та IoT у світі розпочалося у 2016 році.

Консорціум телекомунікацій (CNIT) почав сприяти розробці інноваційних варіантів використання "портів майбутнього". Порт є випробувальним майданчиком для партнерів з передачі технологій для оцінки та підтвердження нових та інноваційних рішень. Маючи багато передових видів діяльності, Ліворно позиціонується як один з найсучасніших портів Середземномор'я для розвитку технологій та інновацій.

17 цілей ООН є глобальним орієнтиром для досягнення сталості в різних секторах. Для реалізації SDG, пов'язаних з портами, була розроблена інтелектуальна модель порту, яка вважає цифрову трансформацію, що підтримується 5G, основним важелем.^[4]

Порти – це складні системи, що включають велику кількість зацікавлених сторін, таких як оператори, органи влади та судноплавні компанії. Оскільки світова торгівля розширюється, розміри суден та обсяги вантажів збільшуються, що створює додатковий тиск на причали та верфі. Тому порти все більше цікавляться розумними рішеннями, які допоможуть оптимізувати та підвищити їхню операційну ефективність та зменшити витрати на логістику.

У рамках проекту 5G-PPP вертикаль розумних портів була розглянута з двома варіантами використання в проєкті 5G-SOLUTIONS. Варіанти використання: «Автономні активи та логістика для розумних» та «Безпека порту – моніторинг і виявлення нерегулярного звуку».

Мета цього дослідження— продемонструвати можливості технології 5G для підтримки роботи в реальному часі та підтримки інтеграції автономних активів у логістичному центрі. Автономний випробувальний майданчик включає в себе розумний порт, логістичне рішення, яке використовується в зоні завантаження вантажів, а також спеціальне автономне судно з автономними наземними засобами обробки вантажів. Ці змодельовані випадки використання досліджуватимуть розширені пропозиції послуг, які забезпечує технологія 5G.

Це дослідження має підтвердити гіпотезу про те, що передові технології та протоколи зв'язку 5G можуть дозволити автономній інфраструктурі порту (козловим кранам, перевізникам, енергетичним інфраструктурам тощо) обслуговувати декілька (не заздалегідь визначених) активів із завантаженням та розвантаженням, а також заправку / зарядку та основне технічне обслуговування. Важливо зрозуміти, чи достатньо точності позиціонування 5G для підтримки автономних операцій без додаткового обладнання GPS. Активами в основному будуть кораблі, але потенційно можуть бути розширені також до портових транспортних засобів. Безпека, надійність і безпека є ключовими пріоритетами цього варіанту використання.

Варіант використання складається з трьох (3) різних сценаріїв.

Перший сценарій називається «Цифровий контейнер» (DLC) і має на меті перевірити зручність використання планшетів у розумному порту, які оновлюють інформацію в системі, розміщеній у центрі обробки даних. Архітектура показана нижче на рисунку 1.1

Методи вимірювання продуктивності послуг в експериментальних мережах 5G

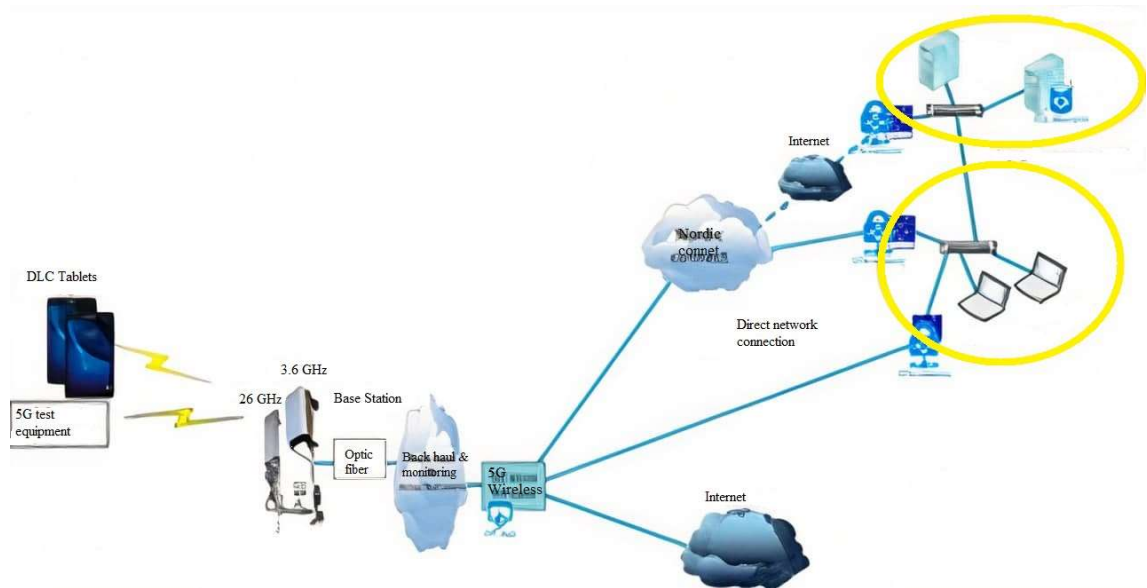


Рисунок 1.1 – Сценарій цифрового контейнера

Другий сценарій називається «Автономність». Його мета – підтримати автономію різних активів у порту. Він охоплюватиме різні аспекти від простих перевірок продуктивності до більш складних дій, які потребують автономності. Налаштування для цього сценарію показано нижче на рисунку 1.2

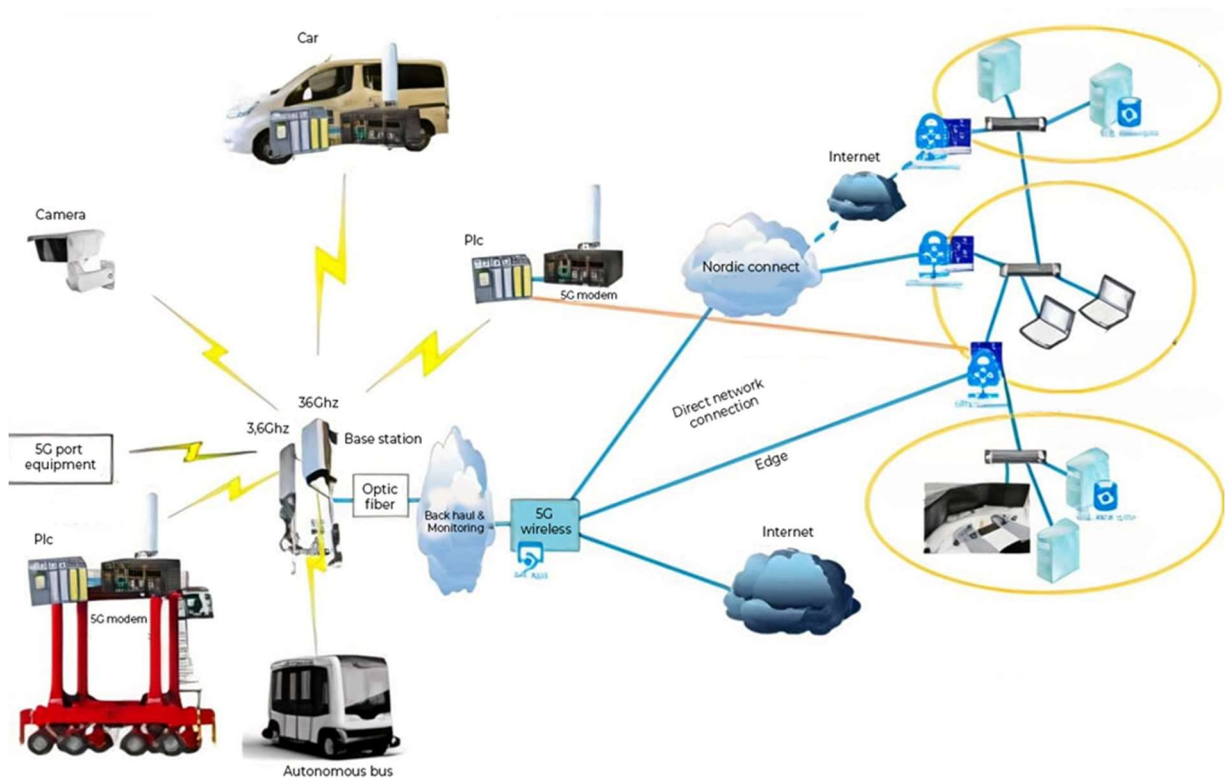


Рисунок 1.2 – Сценарій автономності

Нарешті, останній сценарій під назвою «Висока швидкість передачі даних» планує перевірити швидкість передачі даних. Точніше, він буде досліджувати, чи може діапазон 26 ГГц системи 5G завантажувати великі файли, які використовуються для діагностики, до хмарного сервісу. Відповідна архітектура наведена нижче на рисунку 1.3

Методи вимірювання продуктивності послуг в експериментальних мережах 5G

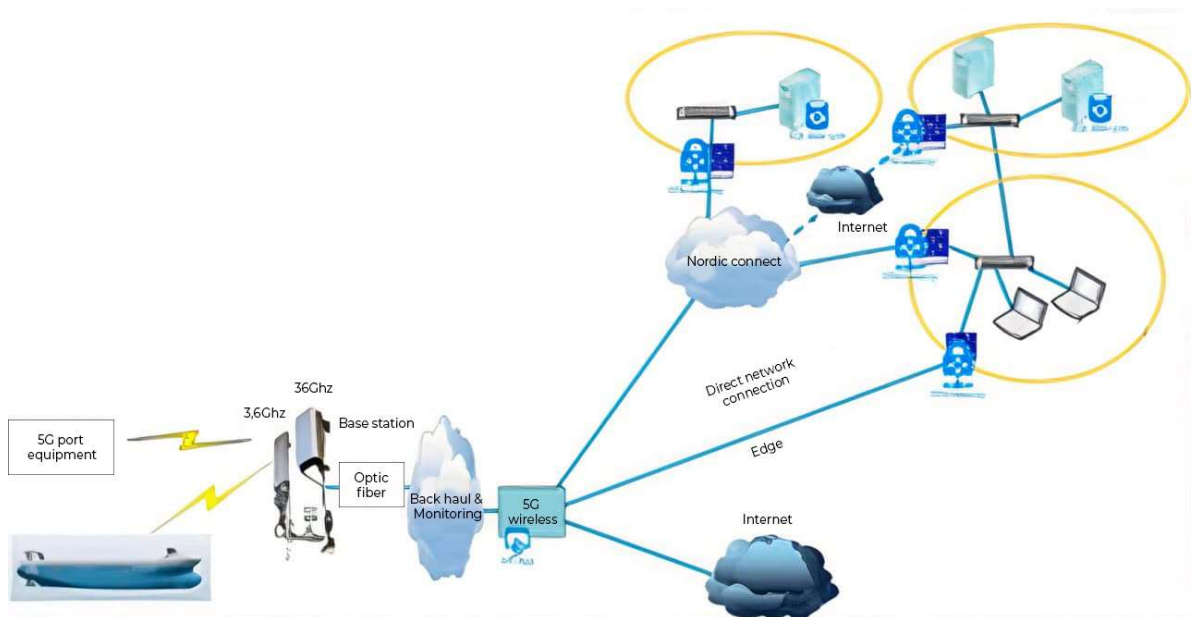


Рисунок 1.3 – Сценарій високошвидкостної передачі даних

Безпека порту – Відстеження та виявлення нерегулярних звуків

Безпека та попередження про небезпеку порту має велике значення, тому вони є важливою частиною дизайну розумного порту. У цьому варіанті використання акцент робиться на технології виявлення нерегулярного шуму та звуку, щоб допомогти у заходах безпеки та попередження про небезпеку. Розгортання таких систем виявлення (наприклад, чутливих мікрофонів і камер відеоспостереження UHD+ 360°) за допомогою надійної мережі 5G, що передає аудіо-візуальну інформацію про події в режимі реального часу до операційного центру портів, є надзвичайно важливим. важливість для керівництва порту, дозволяючи їм негайно діяти та з'ясувати точне місце інциденту.

Використання алгоритмів машинного навчання допоможе виявити аномальні звуки, що надходять з різних точок порту. Позначені дані будуть використовуватися для навчання алгоритмів звуків порту протягом звичайного дня. Алгоритми машинного навчання працюватимуть на VNF і збиратимуть вихідні дані з мікрофонів і камер, розподілених по всьому порту. Мета – визначити точне розташування джерела аномального звуку.

На даний момент цей спосіб використання технологій недостатньо зрілий, щоб забезпечити остаточну архітектуру або точки вимірювання. Нижче наведено заплановані налаштування системи на рисунку 1.4

Методи вимірювання ефективності обслуговування в експериментальних мережах 5G.

Оскільки це експериментальний спосіб, тому ми розглянемо його лише теоретично.

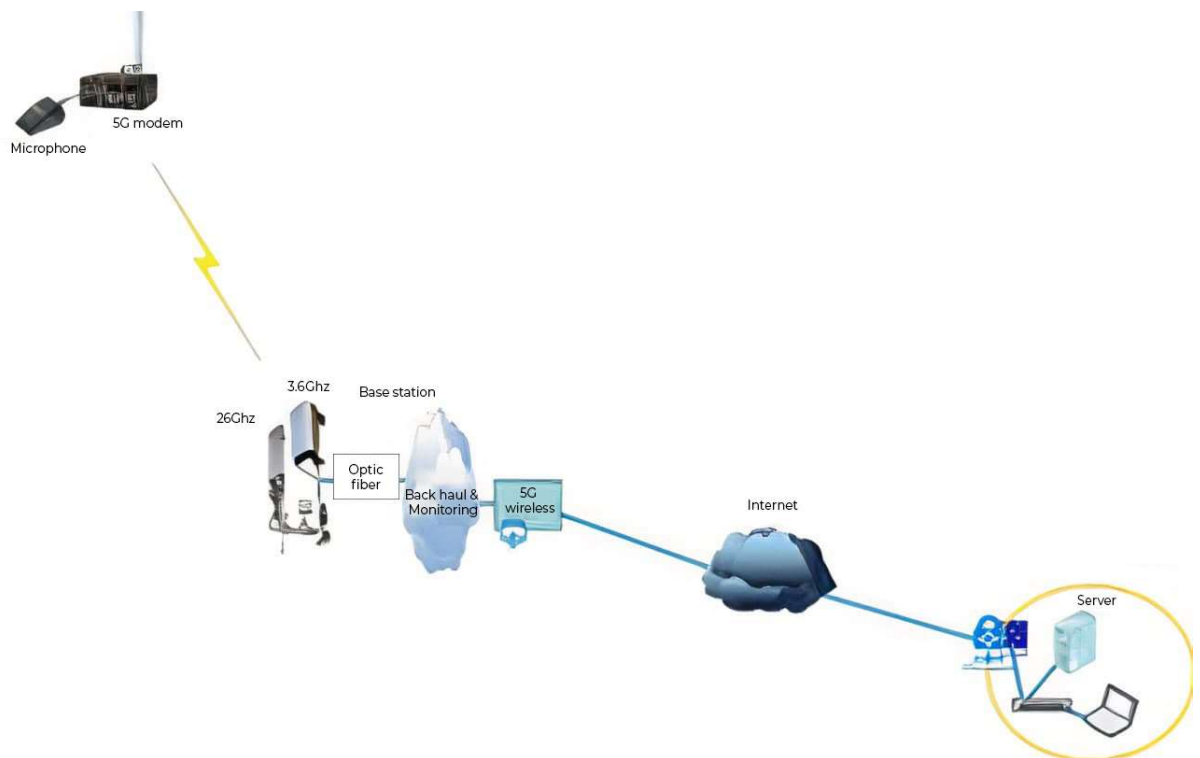


Рисунок 1.4 – Безпека портів і моніторинг

Цільовим об’єктом дослідження буде морський порт міста Херсон.

Морський порт Херсон розташований на правому березі р. Дніпро і

пов'язаний з Чорним морем підхідним каналом, який проходить по р. Дніпро (28км.) і Херсонському морському каналу та Бузько-Дніпровсько-лиманському каналу (70км). Навігація в порту триває цілий рік. Загальна проектна потужність морського порту Херсон становить 5 млн т на рік. Площа акваторії порту становить 9,89 км² з максимальною глибиною 8,25 м, а прохідна осадка для суден становить 7,6 м. В акваторії морського порту Херсон розташовано 8 морських терміналів, де здійснюється перевалка вантажів, основні види яких відносяться до таких номенклатурних груп: хлібні вантажі (в тому числі зерно), інші сипучі вантажі (в тому числі агропродукція), хімічні та мінеральні добрива, металопрокат, металолом, будівельні вантажі, дизельне паливо і нафтопродукти, соняшникова олія, тарно-штучні вантажі тощо. На рисунку 1.5 можна частково побачити вигляд річково-морського порту м. Херсон де буде проектуватися покриття мобільного зв'язку п'ятого покоління.

На рисунку 1.6 та в Додатку А можна побачити структурну та функціональну схему мережі порту, відповідно. На структурній схемі, яка зображена на рисунку 1.6 можна побачити розподілення мережі на корпоративну та гостьову.

Таблиця 1.1 – Групи послуг в мережі

Група	Послуги	Тип користування
1	Телефонія, інтернет, стрімінг	Оператори та працівники порту
2	WiFi	Працівники, гості порти
3	Телефонія, отримання даних з серверу спостереження, сигналізація	Оператори та працівники порту
4	Пожежна безпека	Оператори та працівники порту

Таблиця 1.2. Кількість пристроїв та абонентів

	Кількість ПК	Кількість Безпроводних клієнтів	Кількість відеокамер спостереження	Сигналізація	Датчики пожежної безпеки	Телефонія
	2000	2000	2000	7500	7500	2000
Всього	2000	2000	2000	7500	7500	2000

Таблиця 1.3. Базові параметри навантаження мережі

Служба	Максимальна швидкість, Mb/c	Пачечність,Р	Тривалість сеансу зв'язку,с	Вхідне навантаження, Ерл(біт)
Інтернет	45	5	10	1,250
Датчики та сенсори	4,09	1	1200	2,727
Відеоспостереження	4,09	1	3600	4,090
Телефонія	0,064	1	180	0,010
Інтернет Wi-Fi	10,24	10	15	0,213

Таблиця 1.4. Навантаження на мережу порту

Wi-Fi	Датчики	Відеоспостереження	Телефонія	Інтернет	Всього
3200	5453	8180	19	2500	19352

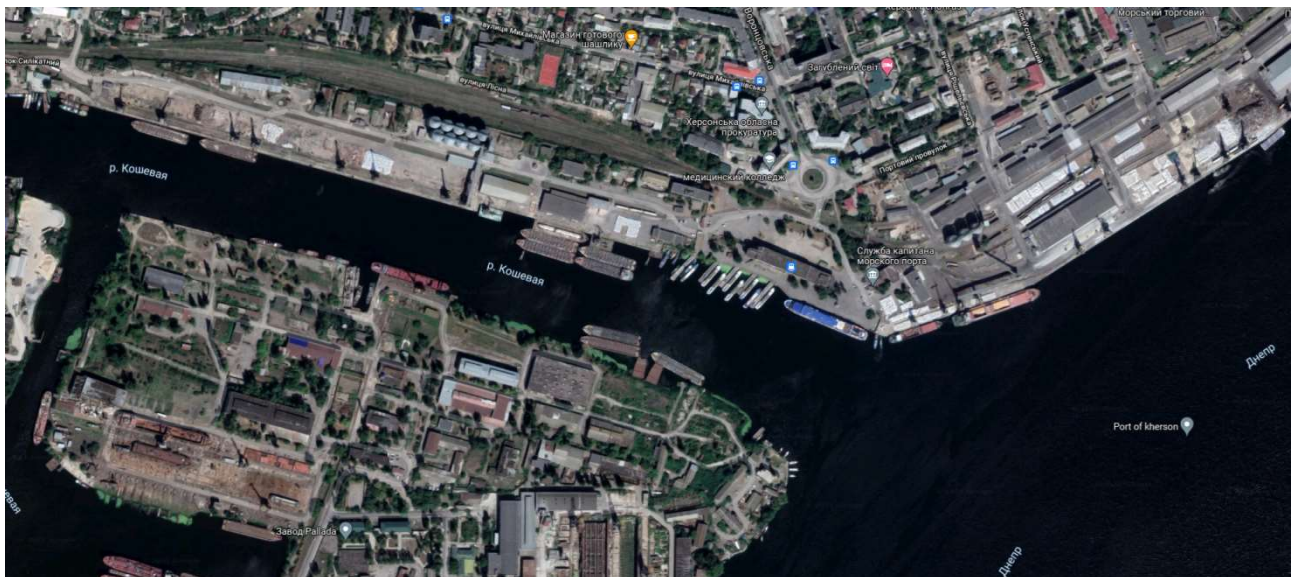


Рисунок 1.5 - Річково-морський порт м. Херсон

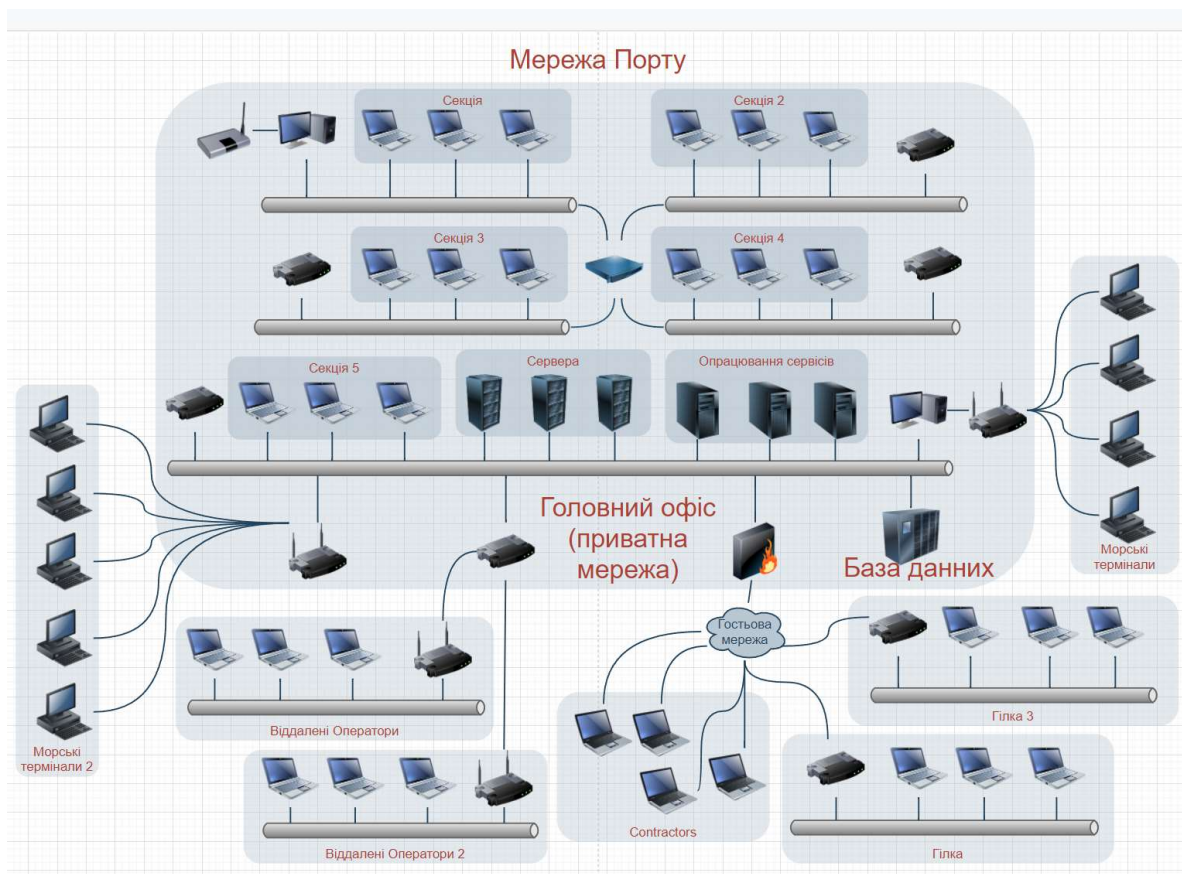


Рисунок 1.6 – Структурна схема мережі порту

1.3.1 Загальний процес роботи порту



Рисунок 1.7 – Вигляд промислового порту

Взявши для прикладу розвантаження вантажу, процес роботи порту в основному включає:

1. У зоні обробки вантажів причалові контейнерні крани переміщують контейнери з суден на горизонтальні транспортні засоби, такі як AGV, внутрішні контейнеровози та перевізники.

2. Засоби горизонтального транспортування переміщують контейнери від причальних контейнерних кранів у зоні обробки вантажів до контейнерного майданчика. Козлові крани знімають контейнери з горизонтальних транспортних засобів і розміщують їх на контейнерному майданчику.

3. Зовнішні контейнеровози в'їжджають через шлюзи на контейнерний майданчик. Козлові крани на контейнерному майданчику завантажують контейнери на зовнішні контейнеровози, які виходять через шлюзи та перевозять контейнери до місця призначення.

Ефективність є основою портової галузі, яка вимагає цілодобової безперервної роботи 24/7. Оренда великого судна є дорогою і оплачується щодня, і лише одна година очікування або додаткової операції означає даремну втрату десятків тисяч умовних одиниць і навіть втрати клієнтів. Низька ефективність перевезення вантажів призведе до прямих економічних збитків для портів і вантажовласників. Перевищення запасів лайнера лише на один день означає втрату сотень тисяч і навіть мільйонів умовних одиниць. З цієї причини підвищення ефективності перевезення вантажів є основною вимогою до обслуговування портів. Перевезення вантажів здебільшого здійснюється на контейнерних майданчиках та причальних зонах контейнерних кранів. Дистанційне керування вертикальними транспортними засобами та безпілотне керування горизонтальними транспортними засобами є основними сценаріями, де може застосовуватися бездротовий зв'язок.

1.3.2 Автономний та інтелектуальний порт

Порти в усьому світі стикаються з загальними проблемами, пов'язаними зі збільшенням вартості робочої сили, великою інтенсивністю праці, суворими умовами праці та недостатністю персоналу. Зменшення витрат і підвищення ефективності за допомогою автоматизації стали головною метою галузі. Цифрові інновації та штучний інтелект (AI), великі дані, Інтернет речей (IoT), 5G та автономне водіння дають новий поштовх для автоматизації портів. Автоматизація вищого рівня була використана для контейнерних терміналів для підвищення продуктивності та ефективності та забезпечення конкурентоспроможності. За даними сайту Міжнародної морської інформації:

- Майже 75% портових операторів вважають, що автоматизація має вирішальне значення для підтримки конкурентоспроможності протягом наступних трьох-п'яти років.
- 65% портових операторів розглядають автоматизацію як важіль безпеки роботи.
- Респонденти з оптимізмом оцінили загальну рентабельність інвестицій. Близько третини вважає, що автоматизація може підвищити продуктивність на 50%, тоді як приблизно кожен п'ятий сказав, що автоматизація може знизити експлуатаційні витрати більш ніж на 50%.

На даний момент по всьому світу існують десятки автоматизованих контейнерних портів. Оскільки пропускна здатність судноплавства з кожним роком зростає, глобальні порти зазнають реконструкції для досягнення більш високого рівня автоматизації.

Трансформація та інновації сучасних портів

На тлі того, що глобальні порти рухаються до 5G і поступово прискорюють модернізацію та інновації, інтелектуалізація та побудова інформатизації портів розглядаються як важливий засіб підвищення основної конкурентоспроможності портів. Це також ключ до зниження логістичних

витрат і підвищення ефективності логістики. У цьому контексті багато портів намагалися застосувати інформаційні технології, такі як Інтернет речей, великі дані, хмарні обчислення та геоінформаційна система (ГІС) для роботи портів. Деякі автоматизовані порти введені в експлуатацію.

Висновки до розділу 1

Нові стандарти бездротових мереж пропонують нові можливості для користувачів, в той час як нові додатки та сервіси роблять очікування користувачів вищим за існуючі можливості мереж. Розвиток бездротових технологій супроводжується покращенням якості зв'язку, збільшенням пропускної спроможності та показниками мобільності. Але в той же час, нові стандарти вимагають операторів зв'язку адаптуватися до вимог та нової архітектури, що впливає на швидкість масштабування майбутньої мережі. Очевидно, що мережа 5G повинна запропонувати новий підхід до формування архітектури мережі, у якому б покращення мережі та введення нових технологій могло б супроводжуватися без значної зміни архітектури. В той же час, оператори зв'язку зацікавлені у використанні нових технологій лише на той час, та в тому місті, де це є необхідним згідно попиту користувачів.

2 ОСНОВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРЕВАГИ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G

Даний розділ дипломної роботи буде мати виключно теоретичну основу та теоретичні розрахунки, виходячи із офіційно представлених матеріалів торговельних та інженерних компаній.

Оскільки питання планування мереж 5G, недостатньо вивчені та за відсутністю практичного досвіду та недостатньої кількості експериментальних даних.

2.1 Порівняння поколінь мобільного зв'язку

Вбудовування технологій 5G та цифрові технології мають вирішальне значення для вирішення цих викликів та трансформації портових операцій для забезпечення сталого розвитку.

Мережі 5G та цифрові технології мають вирішальне значення для вирішення цього виклику та трансформації портових операцій.

Передбачається, що 5G мережа повинна вирішувати шість задач, які не ефективно вирішуються з 4G, а саме: впровадження більш високої ємності, більш високої швидкості передачі даних, меншою затримки між користувачами, масивним підключенням пристроїв, зменшенням вартості та послідовності забезпечення якості досвіду. Нещодавно введені стандарти IEEE 802.11ac, 802.11ad та 802.11af дуже корисні та служать будівельними блоками на шляху до 5G. Технічне порівняння між цими стандартами наведено в таблиці 2.1 та детальне порівняння бездротових поколінь наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Покоління систем мобільного зв'язку

Покоління	Найменування стандарту
0G	PTT, MTS, IMTS, AMTS, Mobitex, Autotel/PALM, ARP
1G	NMT, AMPS, Hicap
2G	GSM, iDEN, D-AMPS, IS-95, PDC, CSD, GPRS, HSCSD, Widen
2.75G	EDGE/EGPRS, CDMA2000 (1xRTT)
3G	UMTS (W-CDMA, FOMA), CDMA2000, TD-SCDMA, WiMAX
3.5G	UMTS (HSPA, HSDPA, HSUPA), CDMA2000 Rev.A)
3.75G	UMTS (HSPA+), CDMA2000 (EV-DO Rev.B/3xRTT)
4G	WiMAX, LTE
5G	WiMAX, LTE, CDMA

Таблиця 2.2 – Покоління систем мобільного зв'язку

Порівняння	2G	3G	4G	5G
Рік	1993	2001	2009	2018
Технологія	GSM	WCDMA	LTE, WiMAX	MIMO, mmWAVES
Система доступу	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA	OFDM, BDMA
Вид переключення	Circuit switching	Packet switching, окрім	Packet switching	Packet switching
Інтернет послуги	Narrowband	Broadband	Ultra broadband	Wireless World Wide Web
Пропускна здатність	25 MHz	25 MHz	100 MHz	30 GHz to 300 GHz
Переваги	Підтримка мультимедіа	Висока захищеність, інтернаціональний роумінг	Висока швидкість	Висока швидкість, низька затримка
Послуги, що підтримуються	Голосові дзвінки, короткі повідомлення	Відеоконференції, GPS	Високошвидісні додатки	Підтримка відеостримінгу, віддалене керування роботами

ДРУГЕ ПОКОЛІННЯ (2G)

2G відноситься до другого покоління мобільних мереж на основі GSM. Радіосигнали, які використовувала мережа 1G, були аналоговими, а мережі 2G були цифровими. Можливості 2G були досягнуті, дозволивши кільком користувачам на одному каналі за допомогою мультиплексування. Під час 2G мобільні телефони використовувалися для передачі даних разом із голосом. Деякі з ключових особливостей 2G:

- Швидкість передачі даних до 64 кбіт/с
- Використання цифрових сигналів замість аналогових
- Увімкнені послуги, такі як SMS і MMS (мультимедійні повідомлення)
- Забезпечує кращу якість голосових дзвінків
- Він використовував смугу пропускання від 30 до 200 кГц

ТРЕТЄ ПОКОЛІННЯ (3G)

Стандарт 3G використовує універсальну мобільну телекомунікаційну систему (UMTS) як архітектуру основної мережі. Мережа 3G поєднує аспекти мережі 2G з новими технологіями та протоколами для забезпечення значно більшої швидкості передачі даних. Використовуючи комутацію пакетів, оригінальну технологію було вдосконалено, щоб забезпечити швидкість до 14 Мбіт/с. Він використовував широкосмугову бездротову мережу, що підвищувала чіткість. Він працює в діапазоні 2100 МГц і має смугу пропускання 15-20 МГц. Деякі з основних особливостей 3G:

- Швидкість до 2 Мбіт/с
- Збільшена пропускна здатність і швидкість передачі даних
- Відправляти/отримувати великі електронні повідомлення
- Велика потужність і широкосмуговий доступ

International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) — це специфікації Міжнародного союзу електрозв'язку для мережі 3G; теоретично 21,6 Мбіт/с – це максимальна швидкість HSPA+.

ЧЕТВЕРТЕ ПОКОЛІННЯ (4G)

Основна відмінність між 3G і 4G - це швидкість передачі даних. Існує також величезна різниця між технологіями 3G і 4G. Ключовими технологіями,

які зробили можливим 4G, є MIMO (багато вхідних і множинних виходів) і OFDM (мультиплексування з ортогональним частотним поділом). Найважливішими стандартами 4G є WiMAX і LTE. Хоча 4G LTE є значним покращенням швидкості 3G, технічно це не 4G. Яка різниця між 4G та LTE?

Навіть після того, як він став широко доступним, багато мереж не досягали необхідної швидкості 4G. 4G LTE – це «довгострокова еволюція четвертого покоління», здатна забезпечити дуже швидке та безпечне інтернет-з'єднання. По суті, 4G є заздалегідь визначеним стандартом для підключення до мобільної мережі. 4G LTE – це термін, позначений для шляху, яким потрібно пройти, щоб досягти цих наперед визначених стандартів. Деякі функції 4G LTE:

- Підтримка інтерактивних мультимедіа, голосу, відео.
- Висока швидкість, висока ємність і низька вартість за біт

(швидкість до 20 Мбіт/с або більше.)

- Глобальні та масштабовані мобільні мережі.
- Спеціальні та багатострижні мережі.
- Нижче наведено порівняння швидкостей 4G та 5G:

Таблиця 2.3 Теоретична швидкість 5G проти 4G

Мережа	Пікова швидкість	Середня швидкість
5G	10 Гігабіт/с	400 Мбіт/с
4G	1 Гігабіт/с	50 Мбіт/с

Таблиця 2.4 Тест швидкості 5G і 4G в реальному часі, проведений за допомогою програми RantCell

Мережа	Пікова швидкість	Середня швидкість
5G	264 Мбіт/с	72,37 Мбіт/с
4G	45 Мбіт/с	17,5 Мбіт/с

П'ЯТЕ ПОКОЛІННЯ (5G)

Мережі 5G працюють у рідко використовуваних радіоміліметрових діапазонах в діапазоні від 30 ГГц до 300 ГГц . Тестування діапазону 5G в mmWave дало результати приблизно в 500 метрах від вежі. Використовуючи

невеликі осередки, розгортання 5G з несучими на основі міліметрових хвиль може покращити загальну зону покриття. У поєднанні з формуванням променя маленькі осередки можуть забезпечити надзвичайно швидке покриття з низькою затримкою.

Низька затримка є однією з найважливіших характеристик 5G. У 5G використовується масштабована структура мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM). 5G виграє від цього і може мати затримку всього в одну мілісекунду з реалістичними оцінками приблизно від 1 до 10 секунд. За оцінками, 5G буде в 60-120 разів швидше, ніж середня затримка 4G.

Активна антена 5G, інкапсульована з масивним MIMO 5G, використовується для забезпечення кращих з'єднань і покращення роботи користувача. Великі антени решітки 5G розгортаються для отримання додаткової інформації про формування променя та усунення проблем розповсюдження, які виникають у діапазонах частот мм хвиль.

Крім того, мережі 5G, об'єднані архітектурою розділення мережі, дозволяють операторам зв'язку пропонувати своїм користувачам індивідуальне підключення на вимогу, яке дотримується Угоди про рівень обслуговування (SLA). Такі налаштовані можливості мережі включають затримку, швидкість передачі даних, затримку, надійність, якість, послуги та безпеку.

Зі швидкістю до 10 Гбіт/с 5G буде в 10 разів швидше, ніж 4G.

2.2 Основні складові мереж 5G

2.2.1 Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC)

Наднадійний зв'язок із низькою затримкою (URLLC), представлений у випуску 15 3GPP для задоволення вимог ITU-R M.2083, є одним із ключових

стовпів нового радіо 5G (NR). Як основна функція, необхідна для підтримки щільних сенсорних сіток кінцевих точок IoT, вона є основним фактором для ряду унікальних випадків використання у сферах виробництва, передачі енергії, транспорту та охорони здоров'я. Оскільки необхідно підтримувати наскрізні затримки до 5 мс, бюджет затримки для окремих інтерфейсів може становити лише 1 мс. Це означає, що оптимізація повинна проводитися на кожному кроці процесу передачі по висхідній і низхідній лінії зв'язку. Хоча за межами специфікацій 3GPP потреба скоротити час відповіді на обробку даних також призводить до появи стратегій високорозподілених граничних обчислень.

Технічна специфікація (TS) 38.912 3GPP провела дослідження нової технології радіодоступу (NR), яка створила основу для стандартних специфікацій треків, таких як TS 38.201-202 і TS 38.2011-215. У цих документах детально описано фізичні канали та методи модуляції, які використовуються в кадрах 5G. Багато з цих технологій або безпосередньо звертаються до комунікацій з низькою затримкою, або визначають підходи, які підтримують співіснування даних з низькою затримкою та інших характеристик трафіку, які зазвичай називають мультиномерологією. У 5G є п'ять фіксованих діапазонів номерів OFDM (розміщення піднесучих), перша (0) дозволяє співіснувати з поточним радіо 4G/LTE, і всі з них можна змішувати на передавачі для додаткової гнучкості. Використовуючи класичне визначення діапазону номерів, параметр інтервалу піднесучих можна безпосередньо співвіднести з подією розгортання. Впровадження нового радіо 5G (NR) обіцяє гнучкість та адаптивність для обслуговування широкого спектру послуг. Одним із ключових компонентів для досягнення таких вимог є використання кількох діапазонів номерів. Ця універсальність приносить разом із собою деяку складність з точки зору розподілу ресурсів за допомогою мультиплексованих неортогональних діапазонів номерів. Іншим ключовим фактором є концепція скорочених TTІ/міні-слотів для вирішення додатків з низькою затримкою.

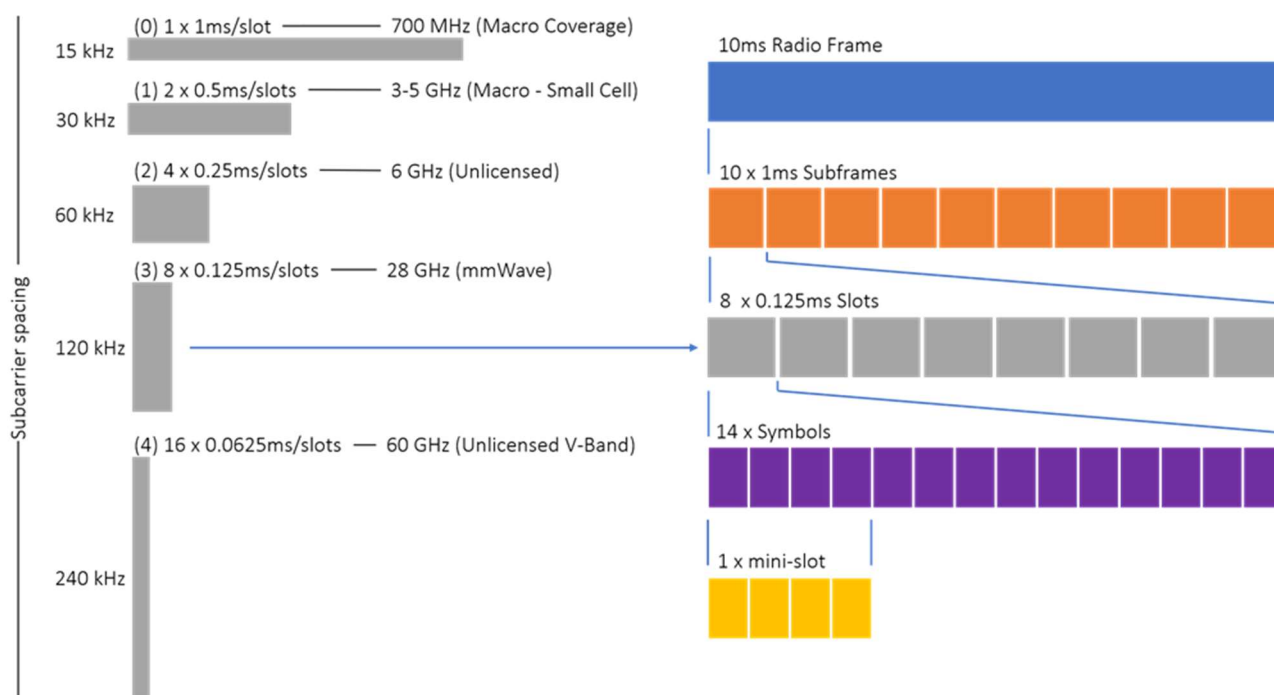


Рисунок 2.1 – Діапазони номерів для несучих в New radio 5G

Спеціально вирішуючи проблему зв'язку з низькою затримкою, нове радіо дозволяє використовувати змінний інтервал часу передачі (TTI), який може масштабуватися від 1 мс, (сумісне) налаштування, фіксоване в LTE, до ~ 140 мікросекунд, залежно від того, чи є спектральна ефективність (eMBB) або низька затримка (URLLC) є метою. Максимальна кількість повторних передач також може бути встановлена відповідно до типу трафіку (наприклад, 2 для URLLC і 4 для eMBB). Крім того, як бонус, NR дозволяє мультиплексувати різні TTI на одній і тій же частоті, тому спектр можна використовувати без затримок, чутливий трафік застряг у очікуванні завершення повільних передач. Методи, що використовуються для включення антенних решіток MIMO, також підтримують прогрес у зменшенні затримок,

Існує ще одна модифікація структури кадру NR, описана в TS 38.912, яка значно сприяє доставці URLLC. Кожен слот передачі містить 14 символів OFDM, і кожен символ OFDM представляє окремий бітовий потік, що використовує квадратурну фазову маніпуляцію (QPSK / 4-QAM) або 16, 64 або 128 сузір'їв квадратурної амплітудної модуляції (QAM). Завдяки нумерології,

що використовує ширші піднесучі та вищі порядки модуляції QAM, специфікації 5G дозволяють нам створити міні-слот із піднабору (наприклад, 2 або 4) окремих символів OFDM. Це надає можливість обслуговувати критичні потоки трафіку з тонкою деталізацією планування, щоб зменшити затримку передачі. Чим нижча швидкість передачі, тим меншим стає інтервал піднесучих і тим менше міні-слотів на слот ми можемо створити.

2.2.2 Enhanced Mobile Broadband (eMBB)

Розширений мобільний широкосмуговий зв'язок (eMBB) – він підтримує випадки використання на основі пропускної здатності, які вимагають високої швидкості передачі даних, щоб забезпечити швидший і кращий досвід роботи користувача.

2.2.3 Massive Machine-Type Communications (mMTC)

Масова машинне взаємодія. mMTC - це сценарій міжмашинної взаємодії, коли вплив людини мінімально, а майже всі процеси певною мірою автоматизовано. До таких пристроїв відносяться: лічильник води, газу, електроенергії, контролер вуличного освітлення, датчик паркувального місця та багато іншого зі світу IoT. Для цього сценарію немає необхідності у високих швидкостях та низьких затримках, але є необхідність в автономності та підтримці великої кількості підключених пристроїв. Це так звані пристрої з низьким енергоспоживанням (LPWA) - прості та досить дешеві пристрої з надзвичайно низьким енергоспоживанням, батареї яких здатні працювати до 10 років. Інтерес операторів мобільного зв'язку полягає в тому, що не вимагає великих інвестицій.

2.3.3 Типовий сервіс Smart Port

Аналіз сценарію

На основі всебічних опитувань, обговорень та аналізу з партнерами портової галузі визначено чотири типових сценарії інтелектуальних портів, які мають вимоги до бездротового зв'язку та можуть бути включені 5G у майбутньому:

- Дистанційне керування козловими кранами
- Дистанційне керування причальними контейнерними кранами
- Управління транспортними засобами IGV
- Відеоспостереження та розпізнавання AI

Дистанційне керування козловими кранами

На контейнерних терміналах рейкові козлові крани (RMG) і козлові крани з гумовими шинами (RTG) є типами козлових кранів, що найбільш широко використовуються. Кран RMG переміщається рейками на контейнерному майданчику, а кран RTG оснащений шинами і може гнучко переміщати контейнери дворами. В даний час RTG крани більш широко використовуються і складають значну частку на існуючих терміналах, тоді як крани RMG популярні на нових терміналах. Козловий кран має висоту близько 30 метрів, а кабіна оператора знаходиться у верхній частині козлового крана. Дивись рисунок 2.3.

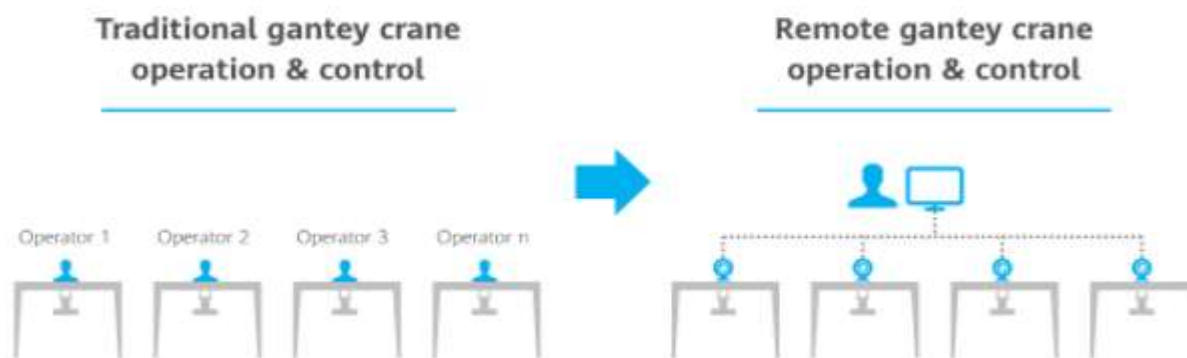


Рисунок 2.2 - Модернізація традиційного керування козловим краном операторами на віддалене керування

Реструктуризація на користь дистанційного керування призвела до попиту на традиційні козлові крани для задоволення високого попиту на ручну працю. Оператори козлового крану працюють у кабінах висотою близько 30 метрів, де умови складні, а експлуатація на місці може легко призвести до втоми, що є небезпекою. Щоб забезпечити 24-годинну безперебійну роботу, кожен козловий кран чергується трьома операторами, що означає сотні операторів козлового крана на контейнерний термінал. За допомогою дистанційного керування камери та програмовані логічні контролери (ПЛК) встановлюються на козлових кранах, щоб оператор міг виконувати операції на козловому крані (наприклад, точне переміщення кранів або підйомних пристроїв і підбір контейнерів) віддалено з центральної диспетчерської за допомогою відеоспостереження. Один оператор може керувати трьома-шістьма козовими кранами, працюючи в сприятливих умовах, що значно знижує витрати на оплату праці та покращує експлуатаційну безпеку.

Один козловий кран повинен завантажувати 5–16 каналів відеоспостереження, а для відео 1080p потрібна пропускна здатність близько 30 Мбіт/с. Крім того, для зв'язку ПЛК між центральною диспетчерською та козовим краном потрібна затримка мережі менше 30 мс. За типовим сценарієм на площі 1 км² розміщено близько 60 козових кранів.

У цьому сценарії 5G може забезпечити високу пропускну здатність і низьку затримку для достатньої підтримки завантаження відео та надійного

зв'язку ПЛК для дистанційного керування козовими кранами, значно знижуючи витрати та знижуючи поріг реструктуризації.

Дистанційне керування причальними контейнерними кранами

Основною обслуговуючою одиницею в районі набережної є причальний контейнерний кран. Висота причального контейнерного крана 60-70 метрів. Бездротові мережі необхідні для забезпечення покриття мережі в зонах експлуатації. Набережні контейнерні крани мають вимоги до зв'язку як для дистанційного керування, так і для моніторингу. У сценарії дистанційного керування на одному причальному контейнерному крані встановлено понад 20 камер, а пропускна здатність висхідної лінії зв'язку оцінюється в 200 Мбіт/с. Крім того, розміщення причальних контейнерних кранів є відносно щільним. Як правило, 8-12 кранів розгортаються вздовж 1 км берегової лінії порту. Крім того, вертикальні та горизонтальні швидкості переміщення кожного причального контейнерного крана вищі, ніж у козового крана, і, отже, дистанційне керування причальними контейнерними кранами має вищі вимоги до затримки.

Оскільки більшість контейнерних терміналів побудовано вздовж морського узбережжя, причали повинні бути достатньо занурені у воду і можуть бути обладнані боллардами та крилами. З цієї причини пристрої бездротової мережі повинні служити цілям виробництва та моніторингу причальних контейнерних кранів і компонентів термінальної операційної системи (TOS), а також у деяких випадках забезпечувати мережеве покриття для причальних суден.

Інтелектуальне керування транспортним засобом (IGV).

З розвитком автоматизації портів еволюція від AGV до IGV також є очевидною тенденцією. Найближчим часом IGV також можуть інтегрувати щонайменше чотири камери, і попит на пропускну здатність висхідної лінії зв'язку досягне 10–20 Мбіт/с на IGV або AGV. Очікується, що 5G забезпечить кращу мережеву підтримку для цих програм. Якщо, наприклад, IGV застряг у робочому полі, оператору необхідно вивчити навколишнє середовище за

допомогою бортових камер, виявити несправності та дистанційно керувати IGV, щоб вийти з цільової зони. Наразі AGV, що працюють у порту, оснащені камерами спостереження для визначення місцезнаходження, визначення та координації дистанційного керування.

Відеоспостереження та розпізнавання AI

Відеоспостереження можна застосувати в таких сценаріях порту:

- Ідентифікація ідентифікаторів контейнерів на основі штучного інтелекту за допомогою камер крана та автоматичного підрахунку вантажу
- Захист безпеки: інтелектуальний аналіз виразів обличчя та статусу операторів із сигналізацією про втому та сонливість
- Керування операцією: розпізнавання номерних знаків, розпізнавання обличчя та розпізнавання вантажу
- Інтелектуальна перевірка: швидка та інтелектуальна перевірка за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) і роботів



Рисунок 2.3 - Відеоспостереження в порту

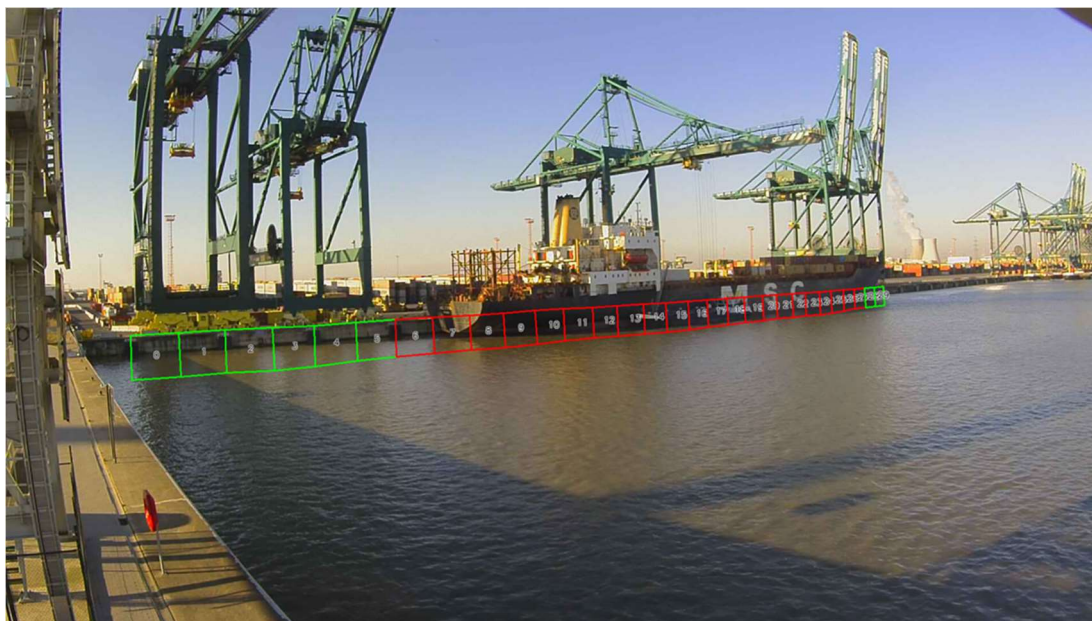


Рисунок 2.4 - Використання комп'ютерного зору

Наразі оптичні волокна не можуть бути розгорнуті в багатьох районах порту. Однак бездротова передача зв'язку з її гнучким розгортанням, легким налаштуванням та низькими витратами може служити гарною альтернативою оптичному зв'язку в сценаріях тимчасового розгортання та мобільного зв'язку. Велика пропускна здатність 5G і великі можливості підключення ефективно підтримують передачу багатоканального відео високої чіткості (HD) і даних датчиків. У поєднанні з периферійними обчисленнями та штучним інтелектом 5G може допомогти синхронізувати та координувати портові пристрої та виробничі системи. Розгортання 5G разом із штучним інтелектом та периферійними обчисленнями дозволяє автоматично виконувати більше завдань, покращуючи інтелект та ефективність роботи портів.[2]

2.4.1 Вимоги до бездротової мережі

У наступній таблиці наведено чотири типові вимоги до застосування портів у бездротових мережах 5G.

Таблиця 2.5 - Зведення вимог до застосування портів у бездротовій мережі 5G

Застосування	Опис сценарію виконання	Загальні вимоги	Вимоги до мережі		
			Затримка	Пропускна здатність	Надійність
Дистанційне керування на основі відеосигналу	Дистанційне керування	Низька латентність, висока надійність, і низькою пропускну здатністю	< 30 мс	50–100 Кбіт/с	99.999%
	Відео потік	Низька затримка, висока надійність і велика пропускна здатність		30–200 Мбіт/с	99.9%
IGV/AGV	Автономні вантажівки	Низька затримка висока надійність	< 50 мс	10–20 Мбіт/с	99.9%
Відеоспостереження	Відеоспостереження з більшою пропускну здатністю	Великий пропускну здатності і мультитік даних	< 200 мс	2–4 Мбіт/с	90%
Збір даних датчиків	Збір даних з низьким енергоспоживленням	Масивний паралелізм	Негарантовано	Негарантовано	90%

Інші технології, такі як оптичний кабель, хвилеводи, і Wi-Fi, які раніше використовувалися в поточних портах, мають технічні проблеми, проблеми з вартістю, обслуговуванням і безпекою.

Ці нестільникові технології мають наступні технічні недоліки:

- можливості захисту від перешкод Wi-Fi і покриття недостатньо для задоволення вимог до інтелектуальних портів, і тому вони не можуть підтримувати велику кількість користувачів.

– Передача з використанням хвилеводів, кабелів із витокон та оптичних волокон потребує компромісу на системному рівні в загальній конструкції системи, наприклад, скорочення безпечної відстані та зниження швидкості руху пристрою.

– Окрім цих технічних проблем, порти мають більше труднощів з адаптацією нестільникових технологій. Вартість одиниці існуючих бездротових технологій або кабельної котушки становить десятки тисяч умовних одиниць (залежно від складності фактичного будівництва порту). Як наслідок, велика кількість традиційних портових операторів не можуть дозволити собі нові інфраструктури зв'язку з такими нестільниковими технологіями. Крім того, такі технології вимагають, щоб кожен порт підтримував професійну мережу та команду комунікаційних функцій, що додає додаткових витрат на обслуговування та складності.

Таблиця 2.6 - Порівняння між стільниковою мережею та технологією Wi-Fi

Аспект порівняння	Стільникова мережа	Wi-Fi
Спектр	Ліцензійний спектр	Неліцензійний спектр, складні перешкоди
Мобільність	Комплексні заходи керування мобільністю, такі як передача обслуговування, повторний вибір стільника та роумінг	Без механізму передачі обслуговування та лише між точками доступу повторний вибір виконується зі значною затримкою.
Багатокористувацький потенціал/перешкоди	Відмінно Механізм забезпечення QoS заснований на централізованому плануванні кількох користувачів і підтримує одночасний доступ великої кількості користувачів.	Немає механізму планування. Крім того, коли є велика кількість користувачів, які звертаються, ймовірність зіткнення велика і продуктивність погіршується.
Безпека	Двонаправлена автентифікація	Тільки однонаправлена автентифікація. Неавторизовані користувачі можуть легко

		отримати доступ до мережі як точки доступу.
QoS	QoS класифікації	None

Першу версію міжнародного стандарту (3GPP Release 15) для 5G було завершено, а розширена версія (Release 16) знаходиться на стадії розробки та має бути завершена до березня 2020 року. етап ініціювання та планування проекту.

Висока швидкість передачі даних 5G, широкі можливості підключення та низька затримка означають, що він може відповідати вимогам майбутнього Інтернету всього (IoE) і сприяти розвитку промислових потужностей. З точки зору високої швидкості передачі даних, Enhanced Mobile Broadband (eMBB) може досягати пікової швидкості 10 Гбіт/с із середньою пропускну здатністю в сотні Мбіт/с. Що стосується масового підключення, то Massive Machine-Type Communications (mMTC) підтримує 1 мільйон з'єднань в одній комірці. З огляду на низьку затримку, Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC) може забезпечити затримку ефірного інтерфейсу в 1 мс. Переваги в 10-100 разів більші, ніж у 4G. Випуск 15, як базова версія стандарту 5G, спершу дозволить додатки eMBB. У випуску 16 будуть представлені URLLC і mMTC, щоб всебічно уможливити цифрове будівництво галузей.

Рішення для приватної мережі порту 5G

Мобільні оператори зв'язку надають клієнтам повсюдне мережеве з'єднання. Приватні портові мережі мають різні вимоги щодо ємності, покриття та затримки для різних сценаріїв обслуговування. Також у деяких випадках для збереження даних у мережі портів потрібен локальний розрив. Щоб задовольнити ці вимоги, пропонується концепція мобільної приватної мережі, що включає два варіанти архітектури мережі: гібридна мережа та автономна мережа.

Гібридна мережа

У цьому сценарії в порту розгорнуті виділена мережа радіодоступу (RAN) і пограничні обчислення з багатьма доступом (MEC). Функції плоскості управління мережею виконуються в мережах загального користування. Весь трафік площини даних може бути або локально завершений у порту, або відправлений у загальнодоступній мережі, якщо потрібно.

Архітектура мережі

Як рішення для розгортання Huawei запропонувала 5G VCN як гібридну архітектуру для забезпечення мобільних приватних мереж для розумних портів на основі публічних мереж телекомунікацій .

В архітектурі 5G VCN одна телекомпанія резервує виділену частину спектру загальнодоступної мережі для створення виділеної осередку з незалежним ідентифікатором доступу для надання послуг VCN. На основі архітектури розділення площини керування/користувача (CU) базової мережі в порту встановлюється незалежний локальний шлюз для забезпечення локального розриву.

Архітектура 5G VCN має такі особливості:

Гармонія приватної та загальнодоступної мережі: можливості мережевого обладнання та спектр розподіляються між приватними та загальнодоступними мережами, які повністю ізольовані. Приватна мережа за версією та функціями повністю синхронізована з публічною мережею.

Він підтримує ідентифікацію користувачів і розрізнення як приватних, так і публічних мереж.

Він підтримує мережу як послугу на вимогу з повною настройкою.

Локальний розрив даних робить затримку передачі найкоротшою та забезпечує локалізацію даних.

Це дозволяє ефективно надавати виділені мережеві послуги для телекомунікацій.

Він надає операторам портів легкі виділені мережеві послуги 5G економічно ефективним способом, в той час як телекомунікаційні компанії можуть вивільнити всю потужність свого спектру та мережевих активів для

обміну зростаючими доходами.

1. Для клієнтів визначено ідентифікатор виділеної мережі на порту і для них створюються незалежні SIM-карти.

2. Для порту створено незалежний локальний шлюз на основі архітектури розділення базових мереж 3GPP CU.

3. Незалежний осередок (один несучий LTE або певний спектр 5G) визначено для порту або на дворежимних базових станціях 4G/5G в неавтономній (NSA) архітектурі, або лише на базових станціях 4G/5G в автономних (SA) архітектура.

4. У базовій станції ідентифікатор мережі, специфічний для порту, використовується для спеціальної клітинки, що стосується порту. Для інших комунікацій загального користування, які обслуговуються тією ж базовою станцією, використовується ідентифікатор наземної мобільної мережі загального користування (PLMN).

5. Спеціальна клітинка використовує ідентифікатор суб-PLMN та код області відстеження (TAC) як ідентифікатор мережі для порту. Якщо розділення стане доступним пізніше, ідентифікатор суб-PLMN і TAC можна змінити на ідентифікатор фрагмента. Загальна мережа/функція та бізнес-логіка залишаються незмінними.

6. Користувачі можуть отримати доступ до виділеної мережі або загальнодоступної мобільної мережі за допомогою різних SIM-карт.

7. Спеціальна комірка надає незалежну локальну статистику продуктивності.

Дорожня карта розвитку

Основні переваги приватної мережі інтелектуальних портів 5G: Порти можуть визначати власну назву мережі.

Він може надавати гарантовані послуги.

Користувачі публічної мережі не можуть отримати доступ до портової приватної мережі.

Модель трафіку користувачів всередині приватної мережі відносно

стабільна.

Затримка та пропускна здатність у приватній мережі стабільні та передбачувані.

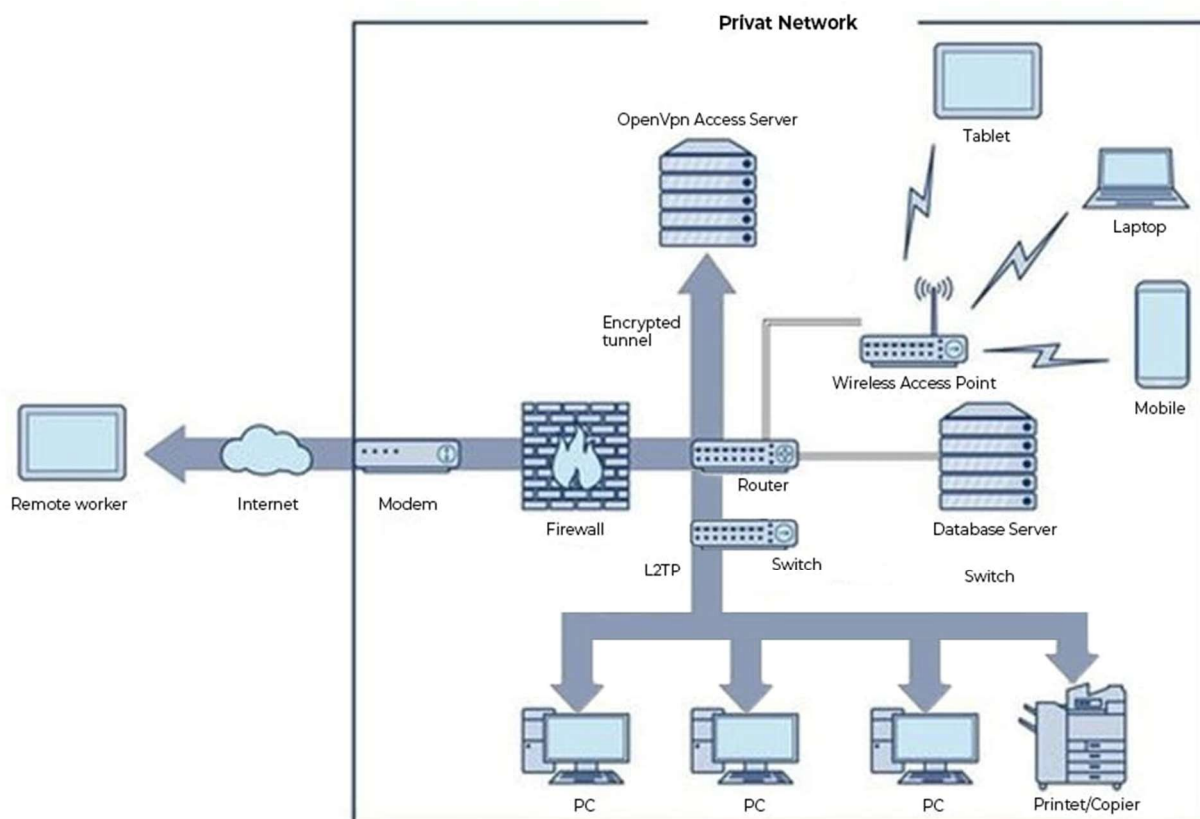


Рисунок 2.5 – Модель трафіку приватної мережі

Були використані такі протоколи приватної мережі, як:

- Безпека Інтернет-протоколу (IPSec): - Безпека Інтернет-протоколу, відома як IPSec, використовується для захисту Інтернет-зв'язку в мережі IP. IPSec захищає зв'язок за протоколом Інтернету, перевіряючи сеанс і шифрує кожен пакет даних під час з'єднання.

- IPSec працює в 2 режимах:

- (i) Вид транспорту

- (ii) Тунельний режим

- Робота транспортного режиму полягає в шифруванні повідомлення в пакеті даних, а режим тунелювання шифрує весь пакет даних. IPSec також

можна використовувати з іншими протоколами безпеки для покращення системи безпеки.

- Layer 2 Tunneling Protocol (L2TP) - L2TP означає "Протокол тунелювання другого рівня", він був розроблений компаніями Microsoft та Cisco. VPN на основі протоколу L2TP поєднується з іншим протоколом, що забезпечує безпечніше з'єднання. При протоколі L2TP формується тунель між двома точками підключення L2TP, і навіть з іншого протоколу, наприклад IPsec, проводиться шифрування даних.

- L2TP діє подібно до PPTP. Головна схожість - відсутність шифрування та основа на протоколі PPP. Різниця ж - це захист та збереження даних. VPN на основі L2TP забезпечують більш безпечне та надійне з'єднання

- SSL та TLS
- (i)SSL – це протокол захищених сокетів,
- (ii)TLS – безпека на транспортному рівні.
- Вони працюють як один протокол. Обидва використовуються для створення VPN. У цьому підключенні веб-браузер працює як клієнт, користувач отримує доступ до спеціальних програм замість всієї мережі. SSL та TLS використовуються в онлайн-продажах. SSL та TLS надають захищену сесію від браузера до сервера з програмою. Браузер легко перемикається на SSL, не вимагаючи жодних додаткових дій користувача. Абсолютна більшість сучасних браузерів вже включає SSL і TLS. SSL-підключення містить https замість http на адресі.

- MPLS VPN
- VPN-сервіси з підтримкою технології багатопроTOCOLЬНОЇ комутації з використанням міток (MPLS) найкраще використовувати для підключень типу сайт-до-сайту. Все тому, що MPLS - це найбільш гнучкий варіант з максимумом можливостей для адаптації. MPLS ґрунтуються на певних стандартах, що використовуються для прискорення розподілу мережних пакетів за безліччю протоколів. VPN-сервіси з підтримкою MPLS — це системи, що є VPN-сервісами, налаштованими для роботи з інтернет-

провайдерами, коли два або більше сайтів можуть об'єднатися між собою, формуючи VPN, використовуючи для цього потужності одного і того ж інтернет-провайдера. Втім, найбільшим мінусом VPN-сервісів з підтримкою MPLS є той факт, що таку мережу налаштувати набагато складніше, ніж інші VPN. Складніше і вносити модифікації.

- Hybrid VPN

- Гібридна мережа VPN поєднує MPLS і IPSec. Обидва типи використовуються окремо на різних вузлах. Однак іноді вузол допускає одночасне підключення обох типів протоколів. Це робиться з метою підвищення надійності MPLS за допомогою IPSec.

- IPSec, як згадувалося раніше, вимагають наявності певного устаткування. Зазвичай, це роутер або багатоцільовий пристрій безпеки. За його допомогою дані шифруються та утворюють VPN-тунель. MPLS використовуються на каналі передачі за допомогою передавального обладнання.

- Для з'єднання цих двох типів VPN встановлюється шлюз, де усувається IPSec та здійснюється підключення до MPLS із збереженням безпеки даних.

- Гібридні VPN використовуються компаніями, тому що MPLS часто не підходить для їх вузлів. MPLS забезпечує безліч переваг у порівнянні із загальним підключенням, проте ціна висока. За допомогою гібридної мережі можна підключитися до центрального вузла через віддалений. Гібридні VPN найдорожчі, але при цьому дуже гнучкі в налаштуванні.

Ключові завдання при моделюванні мережі

Перед початком розгортання комерційної мережі потрібно широке та ефективне моделювання мережі. Метою моделювання мережі є вирішення наступних ключових завдань:

- Необхідно вирішити задачу частотно-територіального планування, щоб забезпечити мінімальну кількість міжсистемних перешкод, при максимальній зоні обслуговування, забезпечуючи необхідну якість передачі інформації та

ЕМС з існуючим радіобладнанням;

- перевірити характеристики наявної мережі;

- оптимізувати методи перетворення та передачі інформації по майбутній мережі;

- Оптимізувати параметри пристроїв, що працюють у цій мережі. Для вирішення вищезгаданих проблем моделювання бездротової мережі необхідні такі вихідні дані:

- карта місцевості, необхідна для адекватного опису умов поширення сигналу в регіоні при використанні моделі в автоматизованих комп'ютерних системах;

- інформація про розподіл абонентів (трафіку) в області, що оцінюється, та їх характеристики (питоме Ерлангове навантаження), аналітично визначена або представлена у форматі взаємозамінних картографічних даних;

- технічні характеристики майбутньої мережі (технології передачі та обробки інформації, діапазон частот, необхідний рівень ЗСШ тощо), що залежать від стандарту, що використовується;

- Показники майбутнього обладнання;

- Координати та технічні характеристики радіобладнання, що працює у розглянутому регіоні, необхідного для розрахунку показників ЕМС, спроектованих та експлуатованих у цьому регіоні мереж.

Сучасні підходи до планування мереж 5G

Проектування мережі 5G відрізняється від процесів проектування попередніх стандартів. Справа в тому, що обладнання для 5G, а також і сама архітектура мережі значно змінюється. Як говорилося раніше, 5G стає більш віртуальною, ніж апаратною. Тобто навіть процес обробки даних у дата центрі змінюється.

Створення максимально можливої зони покриття забезпечуючи необхідну ємність мережі - є основним підходом до проектування мережі наступного покоління на ранніх стадіях розвитку. Ці поставлені завдання найчастіше є суперечливими один одному. Так наприклад у місті з щільною забудовою

покриття мережі набагато менше, ніж вони повинні бути, але при цьому зберігається хороша пропускна здатність. А в приміській зоні все навпаки, зона покриття більша і покривають великі території, але пропускна спроможність значно нижча.

Сьогодні існує кілька підходів до планування мережі 5G:

1. Планування мережі "з нуля": мережа розгортається в новій області, без опори на існуючі мережі (4G). Такі мережі називаються автономними.

2. Мережа 5G будується поступово з максимальним використанням існуючих мереж 4G (за допомогою модернізації). У цьому випадку доцільно встановити перші базові станції 5G, в місцях, де мережа 4G не справляється з обслуговуванням трафіку і вирішувати проблему не покриття, а насамперед, нарощування ємності мережі.

3. Мережа 5G будується з використанням інфраструктури існуючої мережі 3G шляхом заміни базових станцій 3G/HSPA (також програмного забезпечення в них) на 5G та відповідно зміцнення транспортної інфраструктури (за допомогою модернізації). Це дороге рішення, яке потребує значних разових інвестицій. Цей варіант також розглядається, оскільки важливість мережі 3G знижується з кожним роком, і багато країн оголосили про намір відмовитися від мережі третього покоління.

Проектування мережі включає наступні етапи:

- підготовчий етап, на ньому відбувається збір інформації про заплановану мережу, тобто ємність майбутньої мережі, зона покриття, готуються необхідні ресурси та проводять моделювання.

- Номінальне та детальне планування, яке включає вибір та використання різних методів планування. Він включає налаштування моделі розподілу, визначення порогових значень із запланованого ресурсу, створення докладного плану радіомережі на основі порогових значень, перевірку швидкості передачі з більш докладною оцінкою трафіку, налаштування планування, параметри планування gNB;

- визначення ключових показників ефективності та параметрів

планування використання параметрів та лічильників gNB, які визначають ефективність ключових показників та цілей на основі постачальника обладнання, контроль ключових показників ефективності та цілей за допомогою планування, а також оптимізація до та після запуску мережі.

Перспективи модернізації мереж зв'язку від LTE до 5G

Як уже згадувалося, сучасні мережі 4G не відповідають вимогам, викладені у нових сценаріях застосування. Крім щільності з'єднання, ширини смуги радіозв'язку тощо, затримки в мережах 4G щодо великі. Затримки складаються із затримок у частині радіозв'язку та в частині інфраструктури, та сьогодні досягають десятків мілісекунд. У довгостроковій перспективі для повноцінних мереж 5G, включаючи підтримку Slicing та URLLC, знадобиться нова мережева інфраструктура NGCN (конвергентна мережа наступного покоління) та оновлення мережі радіодоступу.

Консорціум 3GPP спочатку врахував складність розгортання нових мереж та використовував сценарії переходу від стандартної конфігурації LTE мереж до 5G. Впровадження 5G пропонується спочатку проводити поверх існуючої інфраструктури LTE EPC у режимі NSA (Non-Standalone), як це робили оператори мобільного зв'язку весь 2019 рік. У такій конфігурації затримки на радіочасті скоротяться, але причини обмежень LTE ядра EPC, загальний показник затримки буде далеким від вимог URLLC. Головний сенс такої конфігурації в іншому — у радіочастині ми отримаємо значне підвищення пропускної здібності достатніх для більшості існуючих додатків eMBB, а також стабільність з'єднання при великій кількості людей, що підключилися абонентів однією базову станцію.

Нова технологія радіодоступу для 5G називається «NR» і замінює «LTE», а нова базова станція називається gNB (або gNodeB) і замінює eNB (або eNodeB або Evolved Node B).

Таблиця 2.7 – Порівняння назви базових станцій

Покоління	Радіотехніка	Назва базової станції
2G	GSM	BTS (базова приймальна станція)
3G	UMTS	NodeB
4G	LTE	eNB, розвинений NodeB
5G	NR	gNB, gNodeB

“Network Slicing” в 5G

Як правило, в мережах 5G, ієрархічна архітектура вважається якщо захоплює мережі і обчислювальні інфраструктури в вузлах доступу, метро і ядро / транспортні мережі. Зріз мережі або “Network Slicing” використовує комунікаційні та обчислювальні ресурси з усіх сегментів мережі як показано на рисунку 2.6. Завдяки розділенню мережі кожен фрагмент може мати власну архітектуру, керування та безпеку для підтримки конкретного випадку використання. Хоча функціональні компоненти та ресурси можуть використовуватися спільно між мережевими сегментами, такі можливості, як швидкість передачі даних, ємність, підключення, якість, затримка, надійність та послуги, можуть бути налаштовані в кожному сегменті відповідно до певної Угоди про рівень обслуговування (SLA).

Автоматизація буде критичним компонентом розділення мережі, оскільки очікується, що MNO (Mobile network operators) повинні будуть розробляти й підтримувати сотні чи тисячі мережеских фрагментів. MNO не можуть керувати цим обсягом фрагментів вручну зі швидкістю, яку вимагають їхні клієнти. Замість цього необхідно використовувати наскрізну автоматизацію для динамічного керування життєвим циклом без дотику в масштабі та в режимі реального часу, коли змінюються навантаження на трафік, вимоги до обслуговування та мережескі ресурси. Однак, коли ця здатність буде на місці, вона відкриє багато нових можливостей для отримання доходу для MNO.

Завдяки 5G MNO тепер можуть інтегрувати хмарні додатки у свої мережі, уникаючи прихильності до постачальників і забезпечуючи більш низьку вартість розробки, покращення можливостей модифікації та оновлення, а також розширену вертикальну або горизонтальну масштабованість. MNO повинні настійно розглянути можливість впровадження хмарних програм для нарізки, щоб скористатися перевагами цієї переваги та забезпечити підтримку стандартів 5G, що розвиваються.

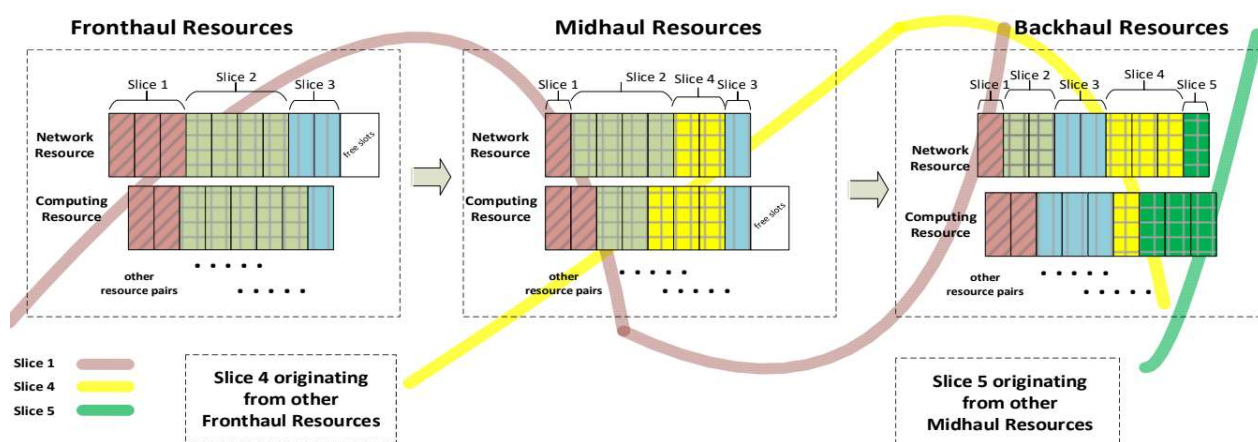


Рисунок 2.6 – Схематичне розподілення ресурсів в “Network Slicing” для 5G

Висновок до розділу 2

Порівнюючи особливості 5G з іншими поколіннями мережами можна сказати, що технологія п'ятого покоління має більше пропускну здатність, може підключати пристроїв на квадратний кілометр, має нижчу затримку що дозволяє виконувати віддалені дії в режимі реального часу. Завдяки цій низькій затримці та збільшеній кількості датчиків можна керувати технікою промислового підприємства, керувати логістикою чи дистанційним транспортом, хірургічними операціями, під час яких лікар може втрутитися пацієнту, який перебуває на іншому кінці світу. допомога точних контрольованих вимірювальних приладів, керованих дистанційно, або повний контроль дистанційних транспортних систем, автоматизованих і без водія .5G також

дозволяє впроваджувати віртуальні мережі (нарізання мережі), створювати підмережі, щоб забезпечити підключення, більш пристосоване до конкретних потреб. Створення підмереж надасть специфічні характеристики частині мережі, будучи програмованою мережею, і дозволить визначити пріоритети з'єднань, як це може бути надзвичайним ситуаціям перед іншими користувачами, застосовуючи, наприклад, різні затримки або встановлюючи їх пріоритет у підключенні до мережі, щоб на них не вплинули можливі перевантаження мобільної мережі.

3 ВИБІР УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ КАНАЛОУТВОРЕННЯ

В цьому розділі дипломної роботи ми керуючись розрахунками з першого розділу виберемо устаткування для моделюємої радіомережі, для цього візьмемо рекомендоване обладнання компанією Ericsson

Маршрутизатор 6371 — розроблений для забезпечення високоякісного мережевого обслуговування доставки, водночас знижуючи експлуатаційні витрати. Має такі особливості, як механічну конструкцію без вентиляторів. Це надає інтерфейси GE та 10GE з , невеликою площею і чудові функції синхронізації. Він підтримує VPN послуги через мережі IP/MPLS, SDN постачальника послуг, послуги експозиція з використанням NETCONF/YANG та високої якості особливості обслуговування.

Маршрутизатор 6371 має потужні функції безпеки, такі як IPSec, забезпечення облікових даних прийому та аутентифікації програмного забезпечення постачальника безпека даних навіть у незахищеному середовищі.

Маршрутизатор 6371 є частиною серії Ericsson Router 6000, а радіо інтегрована, постачальник послуг SDN включений і абонент сімейство продуктів для транспортування IP.

Маршрутизатор 6371 забезпечує комутаційну здатність 32 Гбіт/с продуктивність, необхідна для повної підтримки LTE, LTE Advanced, 5G, доступ до сайтів на довгі роки. Ericsson Router 6000 Series є важливим компонентом радіосистеми тісно інтегрованим з Ericsson Радіо для забезпечення високої потужності мобільного зв'язку з безпрецедентною якістю. Усі маршрутизатори серії Ericsson Router 6000 підтримують IP Операційна систему (IPOS), що забезпечує прискорену доставку функцій та операційна ефективність. Ericsson Network Manager (ENM) керує повною наскрізною мережею як для мобільного, так і для фіксованого розгортання: радіо, Metro та Backhaul, мобільне ядро та центр обробки даних. Це дозволяє безперебійні

можливості plug and play для радіо та маршрутизатора монтаж та експлуатація мережі



Рисунок 3.1 . Зовнішній вигляд маршрутизатору 6371

Таблиця 3.1 – Зовнішні габарити маршрутизатору 6371

Вага, кг	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм
4,3	315	200	63

Air5G

Airspan Open RAN GE Air5G (RU's) забезпечує зовнішній доступ 5G-NR Sub-6 ГГц або mmWave, що складається з радіоблоку (RU) з інтегрованою масивною антенною решіткою MIMO розміром до 128×128. Вони дозволяють операторам надавати користувальницький досвід із використанням кількох Гбіт/с, використовуючи широкі розподіли каналів і масивні MIMO в частотах суб-6 ГГц або mmWave.



Рисунок 3.2 - Air5G Sub-6 і Air5G mmWave

Airspan Open RAN GE AirSpeed (RDU) — це рішення 5G-NR Sub-6GHz на вулиці. Складається з радіоблоку (RU) і розподіленого блоку (DU), що працює в єдиному компактному і легкому корпусі на основі архітектури 3GPP split 2. AirSpeed пропонує гнучкість розгортання та ущільнення для різноманітних мереж і підвищує швидкість пропускної здатності.



Рисунок 3.3 - AirStrand

Унікально розроблений Open RAN GE AirStrand (RDU) Airspan — це рішення для зовнішнього монтажу 5G-NR Sub-6GHz, яке використовує DOCSIS 3.1 для зворотного зв'язку. Він містить як радіоблок (RU), так і розподілений блок (DU) в єдиному компактному корпусі, має інтелектуальну променеву антену (SBA) і отримує живлення від мереж HFC. Це дозволяє операторам

забезпечувати згущення мережі при швидкому масштабуванні зовнішнього покриття та потужності в різноманітних середовищах, отже, підвищуючи рентабельність інвестицій.



Рисунок 3.4 - AirVelocity

Airspan Open RAN GE AirVelocity 2700 (RU) забезпечує покриття 5G-NR Sub-6 ГГц в приміщенні. Задовольняючи попит на підключення всередині приміщень, це ідеальне та потужне рішення для забезпечення чудового доступу до мережі, підвищуючи пропускну здатність на швидкості до 2,4 Гбіт/с. Він підтримує O-RAN split 7.2x для гнучкості розгортання в архітектурі відкритого інтерфейсу.



Рисунок 3.5 – AirStar

Airspan AirStar складається як з радіоблоку (RU), так і з розподіленого блоку (DU) в одному компактному пристрої. Він працює на основі архітектури 3GPP split 2, що дозволяє операторам адаптуватися до мережі. AirStar 1200 забезпечує розширене покриття та пропускну здатність мережі «внутрішнє приміщення» та «внутрішнє приміщення». AirStar, все-в-одному gNB 5G-NR, нижче 6 ГГц для внутрішніх приміщень, що дозволяє операторам адаптуватися до мережі. Використовуючи технологію розумної антени, AirStar забезпечує розширене покриття та пропускну здатність мережі від приміщення до приміщення та від приміщення до зовні.



Рисунок 3.6 - AirStar

Open RAN GE DU (ORDU) Airspan забезпечує локальну, зосереджену, загартовану та захищену архітектуру DU O-RAN, що забезпечує технології мультирадіодоступу, розділення мережі та ефективне керування спектром в одній коробці. ORDU дозволяє операторам надавати багато Гбіт/с для користувачів, одночасно використовуючи оптимізоване управління ресурсами кількох RU одним DU, таким чином зменшуючи CAPEX.



Рисунок 3.7 – OpenRan

Внутрішня радіосистема RD 4442 підходить для широкого діапазону сценаріїв внутрішньої радіозв'язку. Завдяки своїй прозорій, ненав'язливій передній частині він непомітно поєднується зі стінами та стелями, тому його можна встановити практично в будь-якому місці. Його задня сторона характеризується термічно оптимізованою конструкцією для ефективного розсіювання тепла. Він монтується інтуїтивно за допомогою байонетної системи блокування. При заміні пристрою монтажні елементи можна використовувати повторно.



Рисунок 3.8 - RD 4442

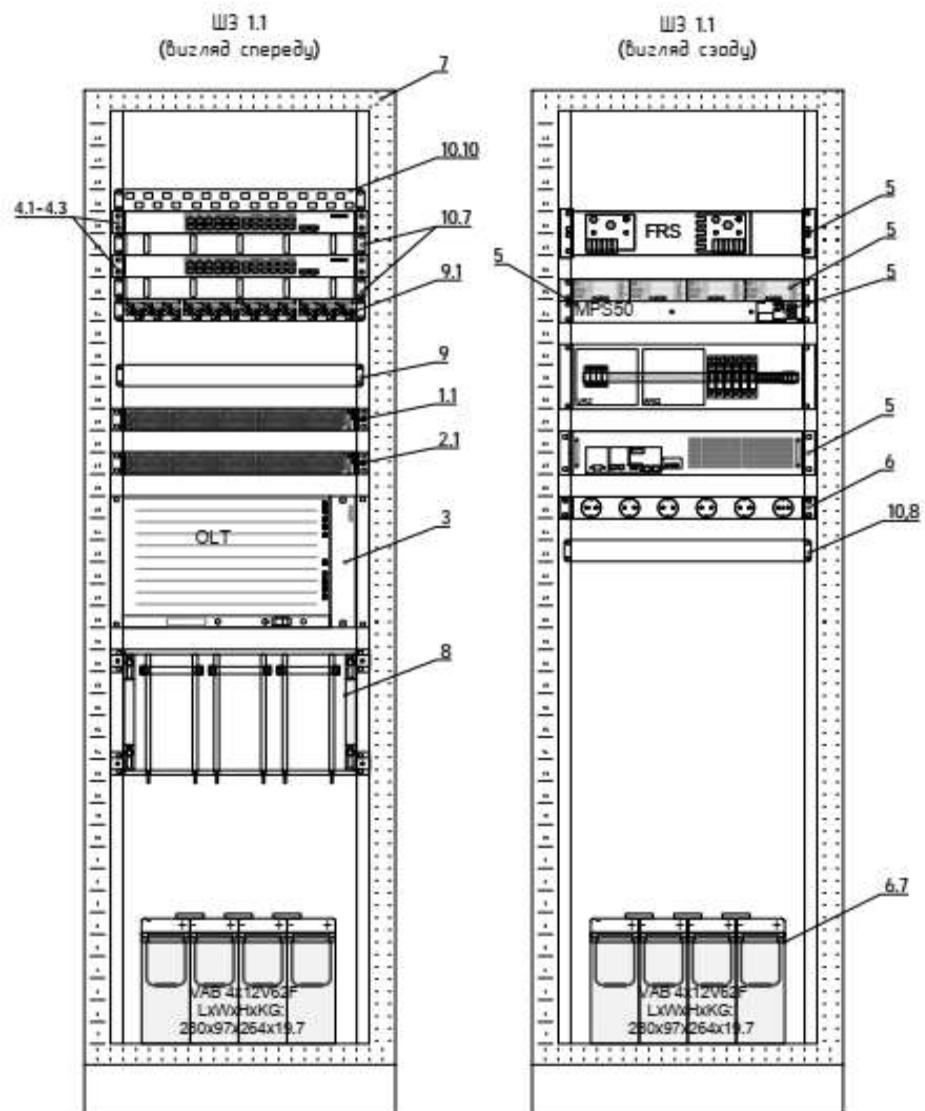


Рисунок 3.8 – Устаткування шафи

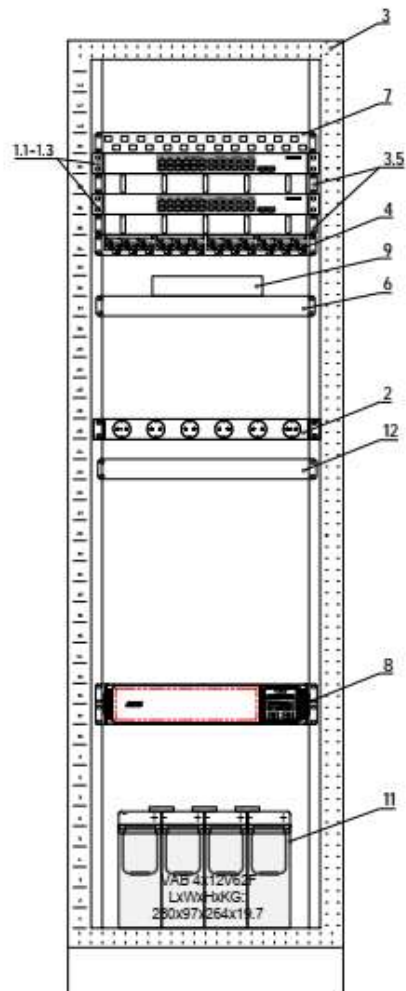


Рисунок 3.9 – Устаткування шафи 2

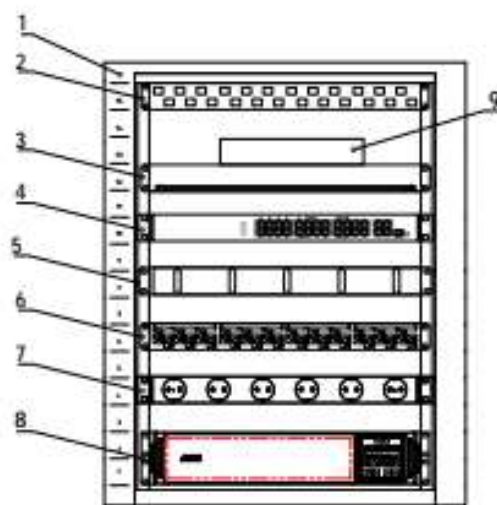


Рисунок 3.10 – Устаткування шафи 3

4 ПЛАНУВАННЯ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ ТА ОЦІНКА ЇЇ ХАРАКТЕРИСТИК

Доцільність планування радіочастотної мережі

Радіочастотне планування або планування радіочастотної мережі – це процес стратегічного розподілу радіочастот місцеположенням передавача для отримання належного покриття в контексті бездротового мобільного зв'язку. Оскільки належне покриття мережі є основою бізнесу постачальників послуг бездротової мережі, це, безумовно, один з найважливіших компонентів планування бездротових мереж, особливо під час планування розгортання або розширення нової мережі.

Розглянемо деякі з основних переваг планування радіомережі:

1. Ситуація може обернутися дуже погано для операторів мобільного зв'язку, якщо вони йдуть на розширення без належного планування. Користувачі мобільного зв'язку мінливі й змінюють попит відповідно до послуг та цінності, яку вони отримують. Інструменти планування, а також інструменти, які займаються аналітикою даних, допомагають оцінити досвід клієнтів для операторів бездротового зв'язку, щоб потім повернутися до кращих рішень для оптимізації.

2. Інструменти RF(радіо планування)-планування виконують найважливішу роботу з аналізу покриття, щоб існуючі мережі могли визначити прогалини в покритті та безперешкодно інтегрувати їх вирішення в процес планування з самого початку. Отримання реальної інформації за допомогою тестів накопичувачів або тестування дисків, як це більш відомо в галузі, допомагає побудувати приблизну оцінку якості проектування мережі, яка, у свою чергу, може бути використана для екстраполяції загального аналізу продуктивності і навіть для детальних прогнозів.

3. Потужні інструменти планування мережі використовують автоматизацію для спрощення суворого процесу дослідження мережі, аналізу

спектру, параметрів вимог до якості, планування радіочастотного тракту та оптимального розподілу радіочастотних ресурсів. Ця автоматизація скорочує людино-години, витрачені на аналіз, а також знижує загальні витрати.

4. Використання хорошого інструменту планування є галузевим стандартом для бездротових технологій, особливо коли йдеться про багатоточкові мережі, оскільки вони також допомагають усунути неполадки. Наприклад, втрату шляху під час сценаріїв впровадження можна завчасно ідентифікувати й усунути в ідеальних сценаріях розгортання задовго до фактичної реалізації. Не тільки економічна ефективність такого проактивного тестування та усунення несправностей висока, але це також допомагає в безперебійному, бездоганному розгортанні, коли проекти фактично запущені або заплановані.

Говорючи прямо й прямо, сфера використання інструментів планування радіочастотної мережі велика для бездротових мереж. Такі інструменти планування та аналітики пропонують безліч переваг для постачальників мережевих послуг; переваги, які значно переважають час, гроші або зусилля, вкладені в навчання радіочастоті для використання цих важливих інструментів.

Для перевірки реалізації концепту «розумного порту» проведено моделювання радіопланування за технологією 5G NR на території міста Херсон. Взято карту з відкритих джерел, яка охоплює частину міста що охоплює собою площу 4 км². Необхідно розрахувати базові параметри для цієї мережі та енергетичний бюджет радіолінії для мережі 5G NR, обрати обладнання та перевірити відповідність результату щодо поставлених завдань.

4.1 Розрахунок параметрів 5G NR

4.1.1 Початкові дані для розрахунку

Для розрахунку беремо базові дані, які необхідні для радіо моделювання, тобто частоту розгортання мережі, смугу частот одного радіоканалу й проводимо необхідні розрахунки.

Загальна кількість каналів:

$$n_k = \text{int}\left(\frac{F}{\Delta f_k}\right), \quad (4.1)$$

де F – смуга частот, виділена оператору за умовами ліцензії для розгортання системи, МГц;

Δf_k – смуга частот одного радіоканалу, МГц.

Визначимо кількість частотних каналів для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника:

$$n_{\text{чкс}} = \text{int}\left(\frac{n_k}{M \bullet C}\right), \quad (4.2)$$

Де M – кількість секторів в стільнику;

C – розмір кластера.

4.1.2 Вибір обладнання для 5G мережі

На цьому етапі, оскільки обладнання для 5G мережі є тільки набирає популярність у промислових середовищах, а для використання усюди використовується рідко, будемо вибирати ті що є у кількох компаній

виробників у світі та із варіантів які приблизно задовольняють потреби. Після вибору обладнання, перейдемо до розрахунків, щоб знайти радіус стільника і відповідно кількість обладнання/абонентів, яку зможемо обслуговувати. Знайдені дані, такі як радіус, висота підвісу, та кути нахилу враховуються в кінцевому моделювання в безкоштовній програмі RadioPlanner.

4.1.3 Розрахунок основних параметрів мережі

Визначаємо пропускну здатність БС в секторі (з врахуванням каналного кодування і наявності циклічної приставки) R , Мбіт/с:

$$R = \frac{n_{чк_с} \cdot N_{рб} \cdot n_{нн} \cdot N_{сим}^{рб} \cdot V_{сc} \cdot m}{T_{рб}}, \quad (4.3)$$

Де $N_{рб}$ – кількість ресурсних блоків у виділеній смузі частот;

$n_{нн}$ – кількість носійних частот в ресурсному блоці;

$N_{сим}^{рб}$ – кількість символів OFDM в часовому слоті, що утворює ресурсний блок;

$V_{сc}$ – швидкість каналного коду, $V_{сc} = 1/3$

m – кількість рівнів модуляції, біт/символ;

$T_{рб}$ – тривалість часового слоту, що утворює ресурсний блок,

Кількість рівнів модуляції m визначимо з виразу:

$$m = k \cdot \log_2 M',$$

Де M' – кількість можливих станів модуляції (максимальна пропускна здатність буде при 64 – QAM, отже $M' = 64$);

k – коефіцієнт, що враховує застосування технології MIMO (для схеми MIMO 2x2 $k = 2$, за відсутності технології MIMO $k=1$)

$$m = 16 \cdot \log_2 64. \quad (4.4)$$

Визначаємо кількість абонентів в стільнику:

$$N_{аб_c} = \frac{M \cdot R}{R_{аб}} \cdot k_{os} \quad (4.5)$$

Де $R_{аб}$ – гарантована швидкість для одного абонента, Мбіт/с

k_{os} – коефіцієнт, який враховує, що для заданого виду трафіку кількість користувачів може бути збільшено через конкурентний доступ до середовища.

Далі розрахуємо чутливість приймачів БС і МС :

$$P_{np} = N + 10 \lg(\Delta f_k) + NF + SNR, \quad (4.6)$$

Де N – спектральна густина потужності теплового шуму приймача

Δf_k – смуга частот радіоканалу; на лінії вниз відповідає смузі для передавання 2 ресурсних блоків у рамках SC-FDMA;

NF – внутрішній шум приймача;

SNR – допустиме відношення сигнал-шум.

Знайдемо втрати в радіолінії в напрямках від БС L_{DL} і до БС L_{UL} :

$$L_{DL} = P_{пер_БС} + G_{БС} + G_{МС} - P_{пр_МС} - L_{фід} \quad (4.7)$$

$$L_{UL} = P_{пер_МС} + G_{АС} + G_{БС} - P_{пр_БС} - L_{фід} \quad (4.8)$$

Запас на внутрішньосистемні завади і втрати на проникнення в будівлі, максимально допустимі втрати складають $L_{дон}$:

$$L_{дон} = L_{UL} - M_{зат} - M_{ви} - L_{буд} + M_h \quad (4.9)$$

$M_{зат}$ – запас на затінення

$M_{ви}$ – запас на внутрішньосистемні завади

$L_{буд}$ – втрати на проникнення в будівлі

M_h – запас на хендовер

З даної моделі знайдено радіус стільника для подальшого визначення кількості базових станцій.

Визначаємо кількість базових станцій:

$$N_{BC} = \frac{2S}{R_{cm}^2 3\sqrt{3}} \quad (4.10)$$

та кількість сенсорів та приладів, що можна обслуговувати:

$$N_A = N_{BC} N_{ab_c} \quad (4.11)$$

4.2 Моделювання мережі 5G NR

4.2.1 Результати розрахунку параметрів мережі

Для розрахунку беремо базові дані, які необхідні для радіо моделювання, тобто частоту розгортання мережі, смугу частот одного радіоканалу й проводимо необхідні розрахунки.

Загальна кількість каналів:

$$n_k = \text{int}\left(\frac{F}{\Delta f_k}\right) = \frac{60}{9} = 6.66 \approx 7$$

де F – смуга частот, виділена оператору за умовами ліцензії для розгортання системи, МГц;

Δf_k – смуга частот одного радіоканалу, МГц

Визначимо кількість частотних каналів для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника:

$$n_{ккс} = \text{int}\left(\frac{n_k}{M \bullet C}\right) = \frac{3}{3 \bullet 1} = 1$$

Де M – кількість секторів в стільнику;

C – розмір кластера.

4.2.2 Результати розрахунку основних параметрів мережі

Визначено пропускну здатність БС в секторі R, Мбіт/с:

$$m = 16 \log_2 64 = 96$$

$$R = \frac{n_{чк_с} \cdot N_{рб} \cdot n_{ни} \cdot N_{сум}^{рб} \cdot V_{сс} \cdot m}{T_{рб}} = \frac{1 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 7 \cdot \frac{1}{3} \cdot 96}{0.5 \cdot 10^{-3}} = 268.8 \text{ Мбіт/с.}$$

Визначаємо кількість абонентів в стільнику:

$$N_{аб_с} = \frac{M \cdot R}{R_{аб}} \cdot k_{ос} = \frac{3 \cdot 268.8}{1.5} \cdot 50 = 26880$$

Далі розрахуємо чутливість приймачів БС і МС :

$$P_{np_BC} = N + 10 \lg(\Delta f_k) + NF + SNR = -110 \text{ дБ}$$

$$P_{np_MC} = N + 10 \lg(\Delta f_k) + NF + SNR = -99.5 \text{ дБ}$$

Знайдемо втрати в радіолінії в напрямках від БС L_{DL} і до БС L_{UL} :

$$L_{DL} = P_{nep_BC} + G_{BC} + G_{MC} - P_{np_MC} - L_{фід} = 40 + 18 + 0 + 99.5 - 0.4 = 157.1 \text{ дБ}$$

$$L_{UL} = P_{nep_MC} + G_{AC} + G_{BC} - P_{np_BC} - L_{фід} = 23 + 0 + 18 + 110 - 0.4 = 150.6 \text{ дБ}$$

Запас на внутрішньосистемні завади і втрати на проникнення в будівлі,

максимально допустимі втрати складають $L_{дон}$:

$$L_{дон} = L_{UL} - M_{зат} - M_{вн} - L_{бюд} + M_h = 150.6 - 6 - 2 - 13 + 2.5 = 132.1 \text{ дБ}$$

Визначено радіус стільника та кількість базових станцій:

$$R_{см} = 0.4 \text{ км}$$

Кількість сенсорів та приладів, що можна обслуговувати:

$$N_A = N_{BC} N_{аб_с} = 26880 \cdot 3 = 80640$$

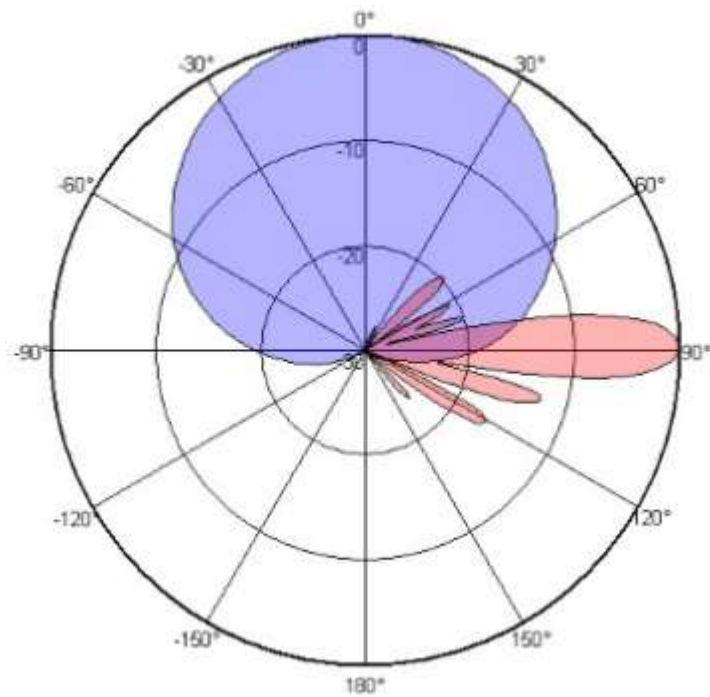


Рисунок 4.3 - Діаграма спрямованості антени

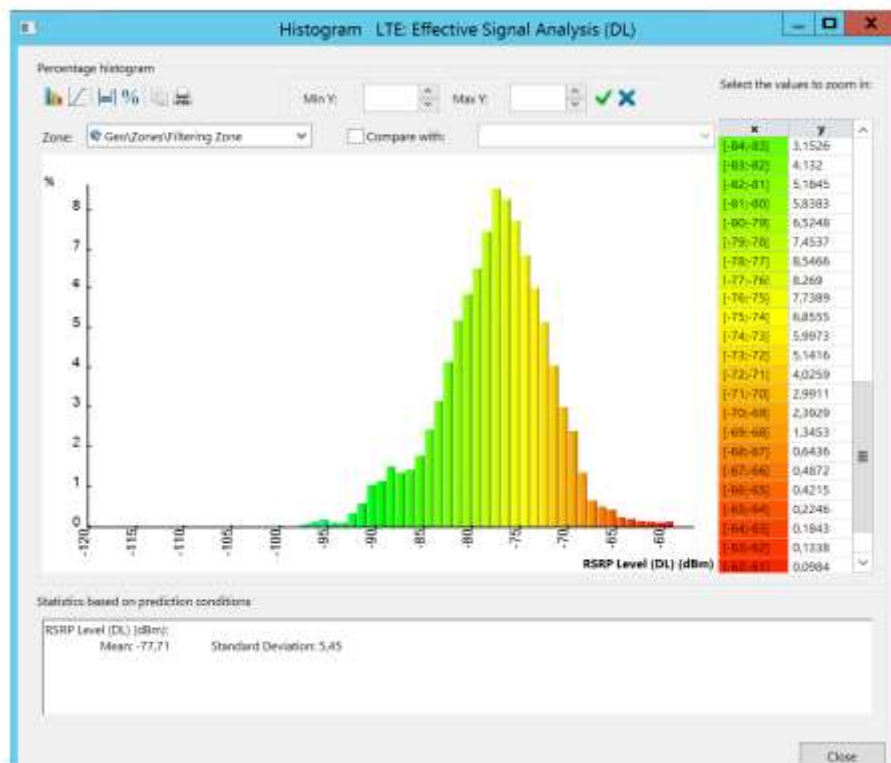


Рисунок 4.4 - Гістограмна візуалізація розрахунків покриття 5G NR

За результатами, можна зробити такі висновки: покриття мережі задовільним рівнем сигналу є досить значним (більше 80%) та охоплює всю фактичну зону розгортання, з чого можна зробити висновок, що більшість користувачів, представлених у вигляді датчиків й пристроїв в даній місцевості, матимуть доступ до мережі з швидкістю, яка відповідає даному типу категорії. Для розгортання мережі за результатами розрахунків необхідно 3 БС. Результати моделювання можна вважати позитивними, адже даний тип мережі має передбачати досить високу мобільність абонента – у разі використання системи в рамках «розумного транспорту» має бути забезпечений максимальний радіус покриття при належній швидкості, інші сфери «розумного порту» також цілком задовільно забезпечуються даним типом мережі, з чого можна робити висновок про можливість успішного використання 5G NR в рамках концепції «розумного порту».

4.3 IP Проектування

4.3.1 Розподіл адресного простору та логічна структуризація мережі

Мережа є багаторівневою. Складається з Ядра та точок доступу які розташовані локально поруч з кожною БС та робочими місцями операторів Додаток А.

Таблиця 4.1 – Розподіл Адресного простору

Назва пристроїв	Кількість	Мережа	Маска
Автоматизоване робоче місце (АРМ)	2000	192.168.1.x	/20
ІР- камери	2000	192.168.2.x	/20
Датчики, сенсори	30 000	10.0.1.x	/16

та роботизовані пристрої			
IP-телефони	100	192.168.4.x	/24

Оскільки за концепцією «Розумний порт» місця операторів на кожному козловому крані замінюються камерами, кількість АРМів зменшується та заміщується камерами

Адресний простір між пристроями та користувачими вибирається автоматично за допомогою DHCP серверу у певному діапазоні адресів (DHCP pool)

Моделювання мережі виконується в програмному пакеті Packet Tracer ver. 8.0.1, оскільки налаштування комутаторів майже однакові

Модель буде складатися як показано у Додатку А з :

- Enterprise gateway
- Ядра мережі;
- Умовної Бази даних;
- Коммутаторів в портовому контрольному центрі;
- Коммутаторів на робочих місцях або підключення до мережі

бездротово;

- Firewall для відділення приватної мережі порту від публічної, для захисту чутливої інформації.

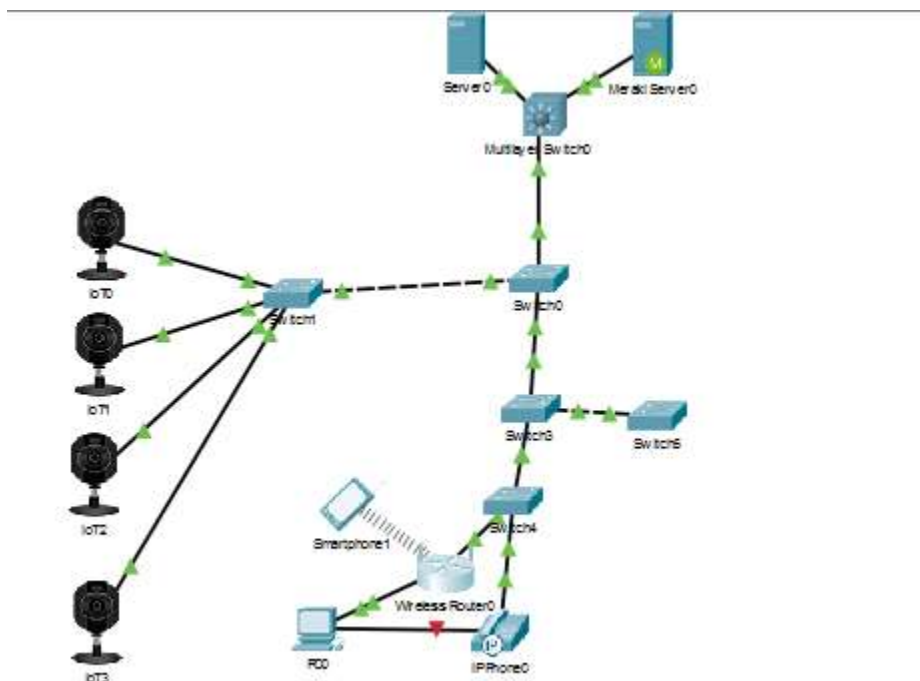


Рисунок 4.5 – Модель мережі (частково)

Приклад налаштування DHCP pool

Налаштуємо маршрутизатор, який видаватиме DHCP мережу 192.168.1.0/20 починаючи з 192.168.1.11.

```
R1#configure terminal
```

Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.

```
R1(config)#ip dhcp excluded-address 192.168.1.1 192.168.1.10
```

Ми просимо маршрутизатор не видавати адреси з 192.168.1.1 до 192.168.1.10. Так як перша адреса буде використовуватися самим маршрутизатором (шлюз), а решта дев'яти має сенс зарезервувати під різні сервери в цій мережі. Серверам не варто видавати адреси по DHCP – до них часто звертаються, тому адреса має бути вбита статично і ніколи не змінюватися. У нашому прикладі, наприклад, є сервер з адресою 192.168.1.5, який убитий статикою. Тепер створюємо пул:

```
R1(config)#ip dhcp pool MY-POOL
```

```
R1(dhcp-config)#network 192.168.1.0 255.255.240.000
```

```
R1(dhcp-config)#default-router 192.168.1.1
```

```
R1(dhcp-config)#domain-name my-domain.com
```

```
R1(dhcp-config)#-server 192.168.1.5
```

```
R1(dhcp-config)#exit
```

Видаватимуться адреси з мережі 192.168.1.0/24 (крім тих, що ми виключили раніше), як шлюз видаватимемо 192.168.1.1 – наш маршрутизатор. Саму цю адресу треба ще налаштувати:

```
R1(config)#interface fa0/0
```

```
R1(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
```

```
R1(config-if)#no shutdown
```

```
%LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
```

```
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0,  
changed state to up
```

```
R1(config-if)#exit
```

```
R1(config)#exit
```

```
R1#
```

```
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
```

Після того, як комп'ютер отримав адресу, можна перевірити список виданих адрес:

```
R1#show ip dhcp binding
```

IP address	Client-ID/ Hardware address	Lease expiration	Type
192.168.1.11	000A.F337.2447	--	Automatic

Висновки до розділу 4

В цьому розділі дипломної роботи була розроблена IP – модель проектованої мережі та показані деякі приклади конфігурацій

ВИСНОВКИ

Метою цієї роботи є дослідження продемонструвати можливості технології 5G для підтримки роботи промислового порту в реальному часі та підтримки інтеграції автономних активів у логістичному центрі.

В першій главі проведений аналіз об'єкту проектування та визначені характеристики послуг що будуть надаватись працівникам порту. Послуги мережі були розбиті на 4 групи. Розрахована приблизна кількість пристроїв та абонентів в порту. Наведені базові параметри навантаження мережі та розрахункове навантаження. Розроблена структурна схема мережі порту і ознайомлення з загальним процесом роботи порту

В другій главі були описані ключові властивості технології п'ятого покоління мобільного зв'язку у порівнянні з іншими поколіннями були наведені таблиці та проведені тести швидкості за допомогою спеціальних програм. Описані основні складові мережі та вимоги до неї при проектуванні, а також наведені приклади практичного використання мережі п'ятого покоління в промисловому порту

В третій главі обрані та продемонстровані необхідні компоненти для побудови і реалізації мережі.

В четвертому розділі було наведено доцільність планування радіочастотної мережі, як частина стратегічного планування за місцеположенням. Також були наведені переваги планування радіомережі. Були прораховані параметри моделювання. Розрахунки показали що при використанні мобільної мережі п'ятого покоління на території в 4км² буде потрібно 3 базові станції, які зможуть обслуговувати близько 81 тисячі пристроїв, але при цьому радіус покриття зменшується втричі у порівнянні з четвертим поколінням В кінці цього розділу також був наведений приклад IP - налаштувань

Заклучна глава описує основні заходи з охорони праці.

Підводячи підсумок можна сказати, що використання 5G , на тих частотах що є зараз, може покривати невелику ділянку з великою кількістю пристроїв, що робить використання в автоматизованій промисловості доцільним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0012-07#Text>
2. https://www.feem.it/m/publications_pages/ericsson-portofthefuture-report-screen-aw1.pdf <https://ips.ligazakon.net/document/MU02257>
4. 5G Smart Port White Paper <https://gsacom.com/paper/5g-smart-sea-port-hamburg-authority-nokia-white-paper/>
5. <https://www.huawei.com/en/technology-insights/industry-insights/outlook/mobile-broadband/xlabs/insights-whitepapers/5g-smart-port-whitepaper>
6. Jonathan Rodriguez. Fundamentals of 5G Mobile Networks 1st Edition/ Wiley., 2015 – 334 стор.
7. Christofer Larsson. 5G Networks Planning, Design and Optimization 1st Edition/Academic Press. 2018 – 418 стор.
8. О.М. Степутін, А.Д. Миколаїв. Мобільний зв'язок за маршрутом 6G. Інфра Інженерія. 2017 – стор. 415
9. Hussain Sk.S. та ін. На заголовку масивної системи MIMO в 5G // International Science Press, ICT A. 2016. P. 4957-4968.
10. І.Степанець, Г.Фокін. особливості реалізації Massive MIMO у мережах 5G/ Перша миля., 2018 – 50
11. Тихвінський В.О. Можливості технології 5G для створення мереж широкопasmового бездротового доступу в малих та середніх населених пунктах
- 7 Mahesh K Choudhary. Building Fully Connected Intelligent LATAM with 5G. 2019-20 стор.
12. Pat Hindle, Randy Oltman, Bror Peterson. 5G Semiconductor Solutions - Infrastructure and Fixed Wireless Access / 2018 - 35стор
13. Huawei lampsite, Digital Indoor Solution / Huawei products, 2020 року - електронна версія стаття на сайті <https://e.huawei.com/se/products/wireless/lampsite> 10 Ericsson radio dot system/ Ericsson products, 2020 – електронна версія статті на сайті

<https://www.ericsson.com/en/portfolio/networks/ericsson-radio-system/radio/indoor/radio-dot-system>

14. Huawei's Intelligent Operation Center Solution – електронна версія статті на сайті <https://e.huawei.com/en/solutions/industries/government/smart-city/ioc>

15. Гольдштейн, Б.С., Кучерявый, А.Е. Сети связи пост-NGN / Б.С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый. – СПб: БХВ-Петербург, 2014.- 160 с.: ил.

16. Беделл, П. Сети. Беспроводные технологии / П. Беделл; пер. с англ. Р.М.Евтеев. – М.: НТ Пресс, 2008.- 441 с.: ил.

17. Інформаційний ресурс [Електронний ресурс] https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2021/06/Service-performance-measurement-methods-over-5G-experimental-networks_08052021-Final.pdf

18. Інформаційний ресурс [Електронний ресурс] <https://www.digi.com/blog/post/5g-network-architecture>

19. Інформаційний ресурс [Електронний ресурс] <https://www.astroman.com.pl/?mod=magazine&a=read&id=2582&printer=true>

20. Інформаційний ресурс [Електронний ресурс] <https://uadoc.zavantag.com/text/16766/index-1.html>

21. Ericsson Mobility Report November 2019

22. I. Chih-Lin, J. Huang, R. Duan, C. Cui, J. X. Jiang, L. Li, “Recent progress on C-RAN centralization and cloudification”, IEEE Access, Vol. 2, pp. 1030-1039, 2014.

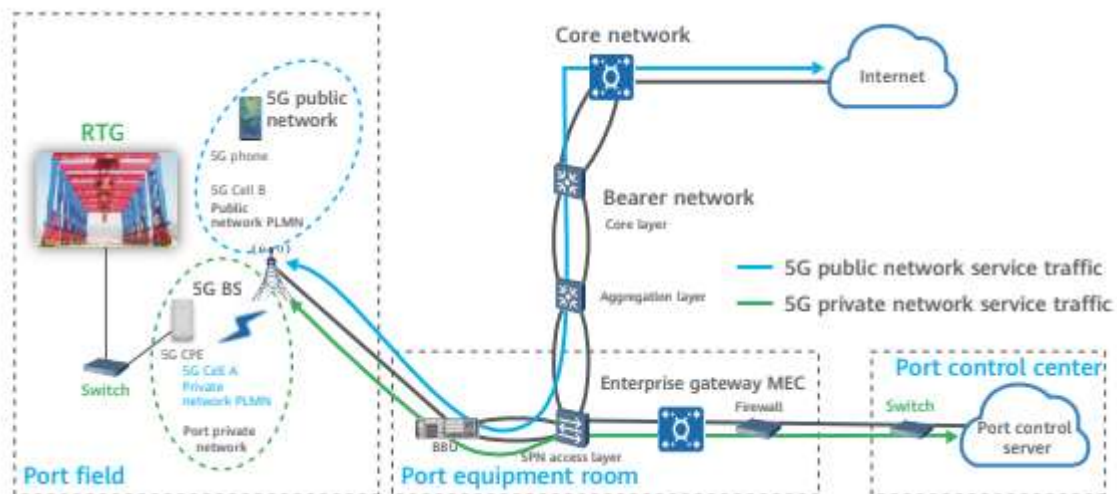
23. L. Velasco, A. Castro, A. Asensio, M. Ruiz, G. Liu, C. Qin, R. Proietti, S. J. B. Yoo, "Meeting the requirements to deploy cloud RAN over optical networks", IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, Vol. 9, No. 3, pp. B22-B32, 2017.

24. X. Liu, N. Deng, M. Zhou, Y. Wang, M. Tao, L. Zhou, S. Li, H. Zeng, S. Megeed, A. Shen, F. Effenberger, "Enabling Technologies for 5G Oriented Optical Networks", IEEE Optical Fiber Communication Conference (OFC), 2019.

25. L. Larsen, A. Checko, and H. L. Christiansen. "A survey of the functional splits proposed for 5G mobile crosshaul networks", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol 21, No. 1, pp. 146-172, 2018.
26. T. Taleb, K. Samdanis, B. Mada, H. Flinck, S. Dutta, D. Sabella, "On Multi-Access Edge Computing: A Survey of the Emerging 5G Network Edge Cloud Architecture and Orchestration", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 19, No. 3, pp. 1657-1681, 2017.
27. M-CORD, www.opennetworking.org/solutions/m-cord/, last accessed on January 2017.
28. S. Vassilaras, L. Gkatzikis, N. Liakopoulos, I. N. Stiakogiannakis, M. Qi, L. Shi, G. Paschos, "The algorithmic aspects of network slicing", IEEE Communications Magazine, Vol. 55. No. 8, pp. 112-119, 2017.
29. P. Han, L. Guo, Y. Liu, X. Wei, J. Hou, X. Han, "A new virtual network embedding framework based on QoS satisfaction and network reconfiguration for fiber-wireless access network", IEEE ICC, 2016.
30. F. Musumeci, E. Silva, M. Tornatore, "Enhancing RAN Throughput by Optimized CoMP Controller Placement in Optical Metro Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 36, No. 11, pp. 2561-2569, 2018.

ДОДАТОК А

Мережа «розумного порту»



ДОДАТОК Б – ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Б.1 Характеристика умов праці науково-дослідного відділу підприємства

Робочим приміщенням, у якому розташовано науково-дослідний відділ, є кімната розмірами 4 метрів на 3 метри. У приміщенні розташовані 2 комп'ютери потужністю 0,5 кВт/год., 2 монітори потужністю 0,1 кВт/год., 2 ноутбук потужністю 0,07 кВт/год., 2 принтери потужністю 0,4 кВт/год., генератор сигналів потужністю 0,06 кВт/год., осцилограф потужністю 0,05 кВт/год., паяльна станція потужністю 0,6 кВт/год., 6 лабораторних блоків живлення потужністю 0,15 кВт/год., 1 кондиціонер потужністю 3,5 кВт/год.

Приміщення знаходиться на 6-ому поверсі адміністративного будинку 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 друкуючої 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 6 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 наявної, 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, шийі, 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 шийі, 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 адреналіну 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 мало ймовірно, 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.

Б.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 одnobічним 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 ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) 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 1050x590 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 вентильовання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{Б.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

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

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

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_{\sigma} \cdot 860, \quad (\text{Б.3})$$

P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_{σ} – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{УСТ}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_{\sigma} \cdot 860 = \\ &= [2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 7157 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{\text{ПЕР}} = n \cdot g = 3 \cdot 100 = 300 \text{ ккал/год}, \quad (\text{Б.4})$$

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

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{ОСВ}} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год}, \quad (\text{Б.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м².

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

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

де F – площа віконних прорізів (3х2,5=7,5 м²); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{\text{ОСЛ}}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}} = 7157 + 300 + 315 + 195 = 7967 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot \rho \cdot (t_B - t_H)} = \frac{7967}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2747 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування і вентилявання має продуктивність 2747 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 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 ($a=4$ м), ширина ($b=3$ м), висота ($h=3$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м.. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3 - 0,4 = 2,6 \text{ м.}$$

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:

$$h = h_0 - h_p = 3 - 0,4 = 2,6 \text{ м.}$$

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

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,6 = 1,9 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{4 \cdot 3}{1,9^2} = 3,3.$$

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

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_z \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_z – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світлового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

б) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{4 \cdot 3}{3 \cdot (4 + 3)} = 0,6.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

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

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

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 ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

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

Б.3 Пожежна безпека

Найважливішою умовою роботи будь-якого підприємства є дотримання правил пожежної охорони. У приміщенні 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 захащувати. 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 мають у 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.

Б.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 пожеги 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 протияварійний 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 захащувати. 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 необхідності 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 факторів 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:

$$l = 1,5 \cdot \sqrt{P} = 1,5 \cdot \sqrt{7} = 4 \text{ м}, \quad (\text{Б.7})$$

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 знаходитесь 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.