

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Кулжанов Арман Галымович

«5G байланыстағы сигнал сапасын жақсарту үшін сигнал күшейткіштердің
жұмысын жетілдіру»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

ЭТЖТ кафедра меңгерушісі

техн.ғыл.канд.

Е.Таштай

2025 ж.



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «5G байланыстағы сигнал сапасын жақсарту үшін сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру»

6B06201 – Телекоммуникация

Орындаған:

Кулжанов А.Г.

Рецензент

техника ғылымдарының кандидаты,
Ғ.Дәукеев атындағы АЭЖБУ доценті
Чечимбаева К.С

« 30 » 05 2025 ж.

Ғылыми жетекші

PhD,

Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ
қауымдастырылған профессоры

Хабай Анар

« 26 » 05 2025 ж.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы

6B06201 –Телекоммуникация



БЕКІТЕМІН

ЭТжТТ Кафедра меңгерушісі

Е.Таштай

2025ж

Дипломдық жұмыс орындауға ТАПСЫРМА

Білім алушы Кулжанов Арман Галымович

Тақырыбы «5G байланыстағы сигнал сапасын жақсарту үшін сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру»

Университет ректорының «29» қаңтар 2025ж. №26 бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «30» сәуір 2025 ж.

Дипломдық жұмысқа арналған бастапқы деректер: 1) 5G технологиясының ерекшеліктері жоғары жылдамдық, төмен кешігу, кең жиіліктік диапазонына шолу; 2) Сигнал күшейткіштерінің негізгі параметрлері (қуат тиімділігі, сызықтылық, шу деңгейі); 3) 5G байланысындағы сигнал күшейткіштердің қолданыстағы түрлері мен олардың параметрлеріне шолу; 4) Таратылған антенналық жүйелердің (DAS – Distributed Antenna System) мүмкіндіктерін қарастыру.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі: 1) Күшейткіштердің тиімділігін арттырудың негізгі әдістерін анықтау (сызықтылықты жақсарту, қуат тиімділігі, шу деңгейін төмендету); 2) DAS (таратылған антенналық жүйелер) технологиясының 5G желілеріндегі сигнал сапасын арттырудағы мүмкіндіктерін зерттеу.; 3) Күшейткіштердің жұмысын модельдеу және зерттеу нәтижелерін талдау; 4) Жетілдірілген күшейткіштің тәжірибелік модельін құру және оның 5G желілерінде қолдану тиімділігін бағалау.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 1) Cripps S. C. "RF Power Amplifiers for Wireless Communications." Artech House, 2024. 2) Kazimierczuk M. K. "RF Power Amplifiers." Wiley, 2023. 3) Colantonio P., Giannini F., Limiti E. "High Efficiency RF and Microwave Solid State Power Amplifiers." Wiley, 2022. 4) ITU Recommendations on 5G Networks and Signal Amplifiers, 2023.

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
5G байланысындағы сигналдардың ерекшеліктерімен оларда қолданылатын күшейткіштерінің негізгі түрлеріне шолу	04.01.2025- 01.02.2025	<i>Орындалды</i> <i>Жаңа</i>
Күшейткіштердің тиімділігін арттырудың негізгі әдістерін анықтау (сызықтылықты жақсарту, қуат тиімділігі, шу деңгейін төмендету)	01.02.2025- 01.03.2025	<i>Орындалды</i> <i>Жаңа</i>
Күшейткіштердің жұмысын модельдеу және зерттеу нәтижелерін талдау	01.03.2025- 30.05.2025	<i>Орындалды</i> <i>Жаңа</i>

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған

қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Хабай А, PhD., ЭТжҒТ қауымдастырылған профессор	26.05.25	<i>Жаңа</i>
Теориялық ақпарат	Хабай А., PhD., ЭТжҒТ қауымдастырылған профессор	26.05.25	<i>Жаңа</i>
Норма бақылау	Досбаев Ж.М. ЭТжҒТ, PhD., аға оқытушысы	20.05.25	<i>Досбаев</i>

Ғылыми жетекшісі

Жаңа Хабай А

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

Кулжанов Кулжанов А.Г

«30» 05 2025 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста 5G желілеріндегі сигнал сапасын жақсарту үшін сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру жолдары қарастырылды. Ішкі кеңістікте радиотолқындардың таралуы, кедергілер әсері және қуат жоғалтуы зерттелді. DAS (Distributed Antenna System) технологиясы қолданылып, антенналар тиімді орналастырылды. D-Link Planner Pro бағдарламасы арқылы қамту карталары құрылып, антенналар саны мен орны оңтайландырылды. Есептеулер нәтижесінде сигнал шығыны $-50,04$ дБм деңгейінде екені анықталды. Ұсынылған тәсілдер 5G желілерін жобалауда қолданыла алады.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена улучшению работы усилителей сигнала для повышения качества связи в сетях 5G. Исследованы особенности распространения радиоволн в помещениях, влияние преград и потери мощности. Применена технология DAS, обеспечившая оптимальное размещение антенн. С помощью D-Link Planner Pro созданы карты покрытия и выбраны эффективные параметры системы. Потери сигнала составили $-50,04$ дБм, что соответствует требованиям стабильной связи. Предложенные решения могут применяться при проектировании 5G DAS.

ANNOTATION

This thesis focuses on improving signal amplifiers to enhance 5G network quality. It analyzes indoor signal propagation, obstacles, and power loss. DAS technology was used to deploy antennas effectively. Using D-Link Planner Pro, coverage maps were generated and system parameters optimized. Signal loss was measured at -50.04 dBm, meeting indoor 5G standards. The proposed solutions can be applied to future 5G DAS deployment.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 5G желілері және сигналды күшейту талаптары	8
1.1 5G технологиясының жұмыс принципі	8
1.2 5G желілерінің параметірлері	8
1.3 5G желілеріне арналған жиіліктер.	10
1.4 5G-де қолданылатын технологиялар	14
2 Күшейткіштердің жұмысын модельдеу және зерттеу нәтижелерін талдау	18
2.1 DAS технологиясын енгізу және пайдалану	18
2.2 DAS технологиясының компоненттері	19
2.3 5G DAS жүйесінің конфигурациясы	23
2.4 5G DAS жүйесінің артықшылықтары	27
2.5 5G желісін модельдеу	28
2.6 DAS технологиясында антеннаны орнату	33
3 5G желілерінде DAS технологиясын тәжірибелік анализ жасау	36
3.1 5G DAS жүйесінің бастапқы қамтуын талдау және жоспарлау	36
3.2 Fablab ғимаратындағы 5G DAS жүйесінің қамту аймағын жобалау және оңтайландыру	36
3.3 Ағымдағы қамту аймағын талдау	37
3.4 Fablab ғимаратында 5G DAS жүйесін орналастыру және қамтуды оңтайландыру	39
3.5 5G DAS жүйесін оңтайландыру	40
3.6 5G DAS жүйесіндегі сигнал деңгейінің есептік моделі	43
Қорытынды	48
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	49

КІРІСПЕ

Бүгінгі таңда ақпараттық-коммуникациялық технологиялар қарқынды дамып, олардың негізінде жоғары жылдамдықтағы мобильді байланыс жүйелеріне сұраныс артып келеді. Әсіресе бесінші буындағы (5G) байланыс жүйелері әлемдік деңгейде кеңінен енгізіліп, деректерді жоғары жылдамдықпен жеткізу, төмен кідіріс және үлкен көлемдегі құрылғыларды бір уақытта қосу мүмкіндігін ұсынып отыр.

5G желілері жаңа мүмкіндіктермен қатар, бірқатар техникалық қиындықтарды да туындатады. Солардың бірі ішкі кеңістіктегі сигнал сапасының төмендеуі. Қалың қабырғалар, металды конструкциялар және радиотолқындардың жоғары жиіліктерде таралу сипаттары сигналдың әлсіреуіне, ал кейде мүлде жетпеуіне алып келеді. Бұл өз кезегінде байланыс сенімділігіне және қызмет сапасына теріс әсер етеді.

Осы мәселені шешу үшін сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру және тиімді орналастыру аса маңызды. Бұл дипломдық жұмыста 5G байланыс жүйесінде қолданылатын сигнал күшейткіштерінің – атап айтқанда, таратылған антенна жүйесі (DAS) негізінде жұмысын оңтайландыру жолдары қарастырылады. DAS технологиясы ішкі кеңістіктегі «өлі зоналарды» жоюға және сигналды біркелкі таратуға мүмкіндік береді.

Жұмыстың мақсаты – сәулені қадағалау (ray tracing) әдісі және D-Link Planner Pro бағдарламалық жасақтамасы арқылы Fablab ғимаратында 5G сигналын тиімді таратуды зерттеу, қамту аймақтарын есептеу және жүйені оңтайландыру. Зерттеу барысында радиосигналдың таралуын модельдеу, өлшеу, талдау және инженерлік шешімдерді негіздеу жұмыстары жүргізілді.

Бұл зерттеудің нәтижелері 5G байланысының сапасын арттыруға арналған нақты техникалық шешімдер ұсынуға және болашақта басқа ғимараттарда осындай жүйелерді енгізу немесе жаңғырту үшін әдістемелік негіз жасауға бағытталған.

1 5G желілері және сигналды күшейту талаптары

1.1 5G технологиясының жұмыс принципі

Бесінші буын-5G байланыс желісі телекоммуникация саласында LTE технологиясының жалғасы ретінде дамуда. Деректер жылдамдығының жоғарылауы бұрын қолданылмаған жаңа жоғары жиілікті диапазондарды пайдалану арқылы жүреді. Мысалы, үйдегі Wi-Fi желілері 2,4 немесе 5 ГГц жиілікте жұмыс істейді, ал дәстүрлі мобильді желілер 2,6 ГГц дейінгі жиіліктерді пайдаланады. Ал 5G технологиясында біз бірнеше ондаған Гигагерц туралы айтып отырмыз, бұл деректер жылдамдығын бірнеше есе арттыруға және желідегі жүктемені азайтуға мүмкіндік береді.

Жиілік айтарлықтай өсетіндіктен, 5G жүйесі миллиметрлік толқындарды пайдаланады. Бұл толқындар әртүрлі кедергілерді жеңе алмайды, сондықтан желілік архитектура да өзгереді. Бұрын байланыс қызметтерін алыс қашықтыққа жіберілетін биік мұнаралар ұсынса, енді көптеген шағын және төмен қуатты Антенналарды орнату қажет болады.

5G желісі үш түрлі жиілік диапазонында жұмыс істейді:

Төмен жиілік диапазоны (1 ГГц-ке дейін) көбірек қамтуды және жақсы енуді қамтамасыз етеді, бірақ деректер жылдамдығы 100 Мбит/с-тан аспайды.

Орташа диапазон төмен жиілікті спектрге қарағанда жоғары жылдамдықпен кідірісті қамтамасыз етеді, дегенмен ғимаратқа ену қабілеті төмендейді. Бұл диапазонда ең жоғары жылдамдық 1 Гбит / с жетеді.

Желі сапасын жақсарту үшін операторлар Massive mimo технологиясын пайдаланады-көптеген Антенналарды бір станцияға біріктіру арқылы бірнеше пайдаланушыларды бір уақытта әртүрлі бағытталған сигналдармен қамтамасыз ету әдісі. Сонымен қатар, сәулені қалыптастыру әдісі қолданылады (beamforming): әр құрылғыға бағытталған сигнал жіберіледі және оның орны үнемі бақыланады, бұл тұрақты байланысқа мүмкіндік береді.

Жоғары жиілікті диапазон-бұл көптеген адамдар 5G туралы сөйлескен кезде назар аударатын негізгі диапазон. ол деректерді 10 Гбит/с жылдамдықпен өте төмен кідіріспен жібере алады. Алайда, оның басты кемшілігі-қамту аймағының шектеулілігі және ғимарат ішіндегі сигналдың нашар өтуі.

1.2 5G желілерінің параметрлері

3GPP ұйымы әзірлеген стандарттар мен техникалық сипаттамаларға сәйкес жаңа буын байланыс жүйелері үшін келесі негізгі көрсеткіштер анықталды:

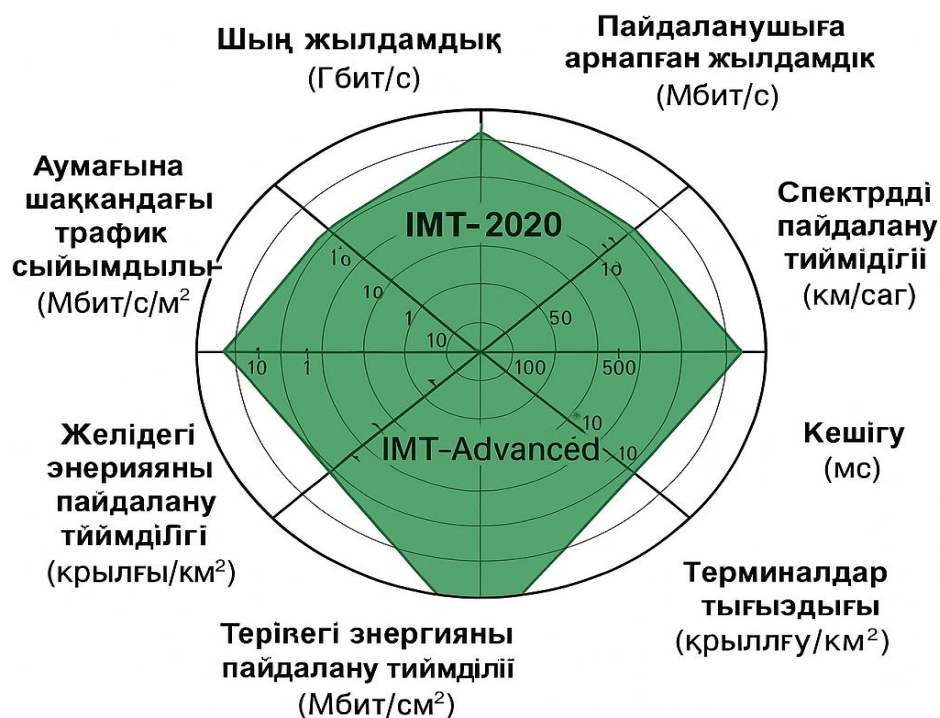
- Деректерді жүктеудің максималды жылдамдығы (Downlink) 20 Гбит/с құрайды;

- Жүктеу арнасы (Uplink) арқылы деректерді берудің максималды жылдамдығы-10 Гбит/с;

- URLLC қызметтері үшін радио жеткізудің ішкі жүйесіндегі ең аз кідіріс 0,5 мс, eMBB қызметтері үшін - 4 мс;
- Қалалық жағдайда IoT құрылғыларының максималды тығыздығы 1 000 000 құрылғыға/шаршы километрге дейін;
- Батареясыз IoT құрылғыларының қызмет ету мерзімі-10 жылға дейін;
- Жоғары жылдамдықпен қозғалатын объектілер үшін қозғалысты қолдау шегі-500 км / сағ;
- Энергияны тиімді пайдалану деңгейі жоғары болуы керек;
- Адам денсаулығы үшін қауіпсіздік талаптарын орындау.

5G желілік платформасы операторларға көптеген артықшылықтар ұсынады, олардың ішіндегі ең маңыздысы-желінің функционалдығы мен техникалық сипаттамаларының едәуір артуы және пайдаланушылардың қанағаттану деңгейінің едәуір жақсаруы (User Experience).

Төмендегі суретте IMT-Advanced (4G) жүйесінің көрсеткіштерімен салыстырылатын IMT-2020 (5G) желісінің негізгі параметрлері келтірілген.



1.1-сурет – 5G технологиясының артықшылықтары

Ең жоғары жылдамдық: 5G желісі 20 есе жоғары жылдамдықты қамтамасыз етеді

4G-мен салыстырғанда, яғни шамамен 20 Гбит/с.

Бір пайдаланушыға жылдамдық 100 Мбит/с немесе одан да көп болуы мүмкін. Спектрді пайдалану тиімділігі, мүмкін болатын ақпарат көлемі 5G желісіндегі жиілік диапазонының бірлігіне беріледі, кем дегенде үш болады.

4G желісінен бір есе жоғары. Пайдаланушының ұтқырлығы, терминалы бар пайдаланушының жылдамдығы 5G желінің қамту аймағында базалық арасында берілісті жоғалтпай жүре алады. 5G желісінің кешігуі 1 мс немесе одан азға дейін азаяды, ал 4G желісі мүмкін кем дегенде 10 миллисекундтық кідіріске жетіңіз. Бұл пайдалануға мүмкіндік береді маңызды коммуникациялар мен бейнебақылауға арналған 5G технологиясы, тактильді Интернет-қызметтер, AR / VR және т. б. 5G желісіндегі терминалдардың тығыздығы ретімен артады және жетуі мүмкін 1 шаршы км-ге бірнеше миллион құрылғы, яғни бір шаршы метр беттер бірнеше ондаған немесе тіпті жүздеген миниатюралық болуы мүмкін құрылғылар (мысалы, IoT сенсорлары). 5G желісінің энергия тиімділігі алдыңғы желіге қарағанда әлдеқайда жақсы ұрпақ.

Аудан бірлігіне арналған жұмыс сыйымдылығы, яғни деректерді беру жылдамдығы желіні қамту аймағының шаршы метрі, 5G 4G желісіне қарағанда екі ретке жоғары.

1.3 5G желілеріне арналған жиіліктер.

5G құрылғыларын дамыту жобалау кезеңінен бастап, соңғы енгізу кезеңіне дейін әртүрлі сынақтарды талап етеді. Бұл сынақтар 5G құрылғысының әртүрлі протокол стек деңгейлерінде және 5G желі деңгейінде жүргізіледі. 5G New Radio (NR) стандартының техникалық сипаттамаларына сәйкес, 5G құрылғылары мен желілерін сынау үшін қолданылатын кейбір негізгі 5G радиожиилік (RF) параметрлері төмендегідей:

- Жиілік диапазоны: Құрылғы өзінің дизайнына сәйкес FR1 (6 ГГц-ке дейінгі диапазон) және FR2 (миллиметрлік толқындар) жиіліктерін қолдауы тиіс.

- Жолақ ені: Құрылғы FR1 және FR2 үшін әртүрлі өткізу жолағын қолдауы керек, мысалы: 5 МГц, 10 МГц, 20 МГц, 100 МГц, 400 МГц және т.б.

- RSRP және RSRQ: Бұл сигналдың қуаты мен сапасын өлшейтін маңызды параметрлер.

- SNR және SINR: Әртүрлі жағдайларда сигнал сапасын бағалау үшін қолданылатын көрсеткіштер.

- Таратушы қуат (Transmit power): Бұл сынақ құрылғылардың реттеуші органдар белгілеген таратушы қуат шектерін сақтауын тексереді. Сонымен қатар, құрылғының RF сәулелену шектеулеріне және басқа да реттеуші талаптарға сәйкестігін қамтамасыз етеді.

- Қабылдағыш сезімталдығы (Receiver sensitivity): Сәтті сигнал қабылдау үшін минималды қажет сигнал деңгейін анықтайды.

- ОТА өнімділігі (OTA performance): Бұл сынақ құрылғының нақты жұмыс жағдайларындағы өнімділігін бағалау үшін эфирдегі (over-the-air) тестілеуді жүргізеді.

- Кедергі және қатар өмір сүру (Interference and coexistence): Құрылғының радиожиилік кедергілеріне төзімділігін және басқа сымсыз жүйелермен қатар жұмыс істеу қабілетін тексереді.

5G желілерінің құрылысы жақындап келеді. Бұл салада басты артықшылықты радиожілік ресурсын барынша тиімді пайдалана алатын операторлар мен компаниялар иеленеді. 3GPP өзінің 15-нұсқасында 5G-NR желілерін салу үшін алғашқы жиілік диапазондарын анықтады. Алайда, осы жұмысты жазу кезінде бұл нұсқа әлі де әзірлеу кезеңінде болғандықтан, келесі материалдарда өзгерістер мен толықтырулар болуы мүмкін.

3GPP 5G-NR радиожіліктерін екі негізгі диапазонға бөлді: FR1 (6 ГГц-ке дейінгі жиіліктер) және FR2 (6 ГГц-тен жоғары жиіліктер) – 3GPP TS 38.211 V1.2.0 (2017-11).

Кесте 1.1 – Радиожілік диапазондары:

Блок	Радиожілік диапазоны
FR1	450 MHz-6 000 MHz
FR2	24 250 MHz- 52 000 MHz

Төрт түрлі дуплекс режимі қолданылады:

-жиілікті бөлу арқылы арналар (FDD – Frequency Division Duplex);

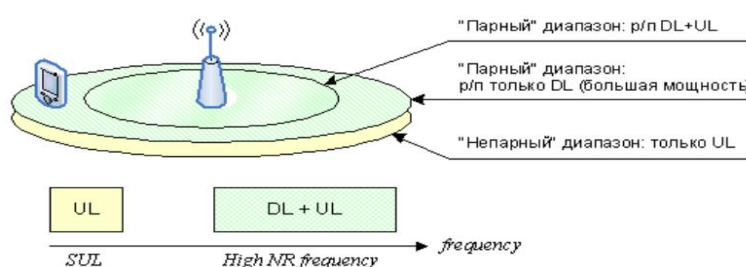
-"-жоғары" байланыс желісінің қосымша арнасы (SUL – Supplementary Uplink);

-"-төмен" байланыс желісінің қосымша арнасы (SDL – Supplementary Downlink).

Жиілікті (FDD) және/немесе уақыттық (TDD) бөлу арқылы ұйымдастырылған "жұптасқан" (DL+UL) радиоресурсқа пайдаланушы терминалына (UE) қосымша жұпталмаған "жоғары" байланыс арнасы (SUL) тағайындалуы мүмкін.

5G желісінде жоғары және төмен жиіліктерді бөлу принципі. Бұл суретте UL (жоғарғы арна), DL (төменгі арна) және DL+UL бірлесіп қолданылатын конфигурациялары көрсетілген.

кезде радиоқамтуды жақсартуға мүмкіндік береді. Мұндай жағдайда ұяшық шекарасында DL-арнада жоғары қуатты жоғары жиілікті сигнал, ал UL-арнада – жұпталмаған SUL диапазонында төмен жиілікті сигнал пайдаланылады[1].



1.2-сурет – 5G желісінде жұп және тақ жиіліктерді бөлу принципі

Кесте 1.2 – FR1 блогының радиожилік жолақтары

Блок	Tx жиілігі	Rx жиілігі	Duplex режимі	Жолақ ені
n34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD	1×15 MHz
n38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD	1×50 MHz
n39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD	1×40 MHz
n40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD	1×100 MHz
n41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD	1×194 MHz
n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD	1×5 MHz
n77	3300 MHz – 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD	1×900 MHz
n78	3300 MHz – 3800 MHz	3300 MHz – 3800 MHz	TDD	1×500 MHz
n79	4400 MHz – 5000 MHz	4400 MHz – 5000 MHz	TDD	1×600 MHz
n80	1710 MHz – 1785 MHz	N/A	SUL	+75 MHz
n81	880 MHz – 915 MHz	N/A	SUL	+35 MHz
n82	832 MHz – 862 MHz	N/A	SUL	+30 MHz

Кесте 1.3 – FR2 блогының радиожилік жолақтар

Радиожилік жолағы	"Жоғарғы" байланыс арнасы – Uplink (UL)	"Төмен" байланыс арнасы – Downlink (DL)	Дуплекс	Жолақ ені
n257	26 500 MHz – 29 500 MHz	26 500 MHz – 29 500 MHz	TDD	1×3000 MHz
n258	24 250 MHz – 27 500 MHz	24 250 MHz – 27 500 MHz	TDD	1×3250 MHz

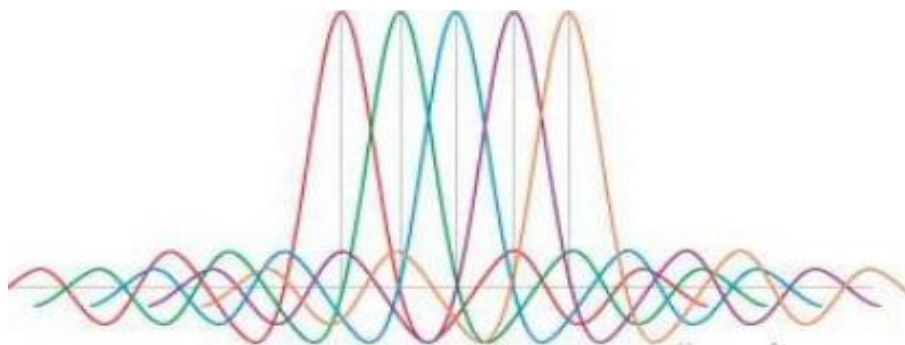
n260	37 000 MHz – 40 000 MHz	37 000 MHz – 40 000 MHz	TDD	1×3000 MHz
n261	27 500 MHz – 28 350 MHz	27 500 MHz – 28 350 MHz	TDD	1×850 MHz

1.4 5G-де қолданылатын технологиялар

Сымсыз байланыстың үнемі өсіп келе жатқан қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін "жаңа 5g радиосы" (5G NR) деп аталатын жаңа стандарт жасалды. 5G nr технологиясы толығымен жаңа болды және бесінші буын желілеріне қойылатын талаптарды ескере отырып, ең жақсы шешімдер мен инновацияларды біріктірді. Осы себепті 5G nr жүйесі соңғы буын модуляция әдістерін, толқындарды қалыптастыру және радио тарату технологияларын (RAT) пайдаланады. Бұл шешімдер деректердің жоғары жылдамдығын қамтамасыз етіп қана қоймайды, сонымен қатар 5G құрылғыларының батареясының қызмет ету мерзімін ұзартады.

5G nr радиотехникасының негізгі ерекшеліктеріне мыналар жатады:

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) ортогональды жиілікті бөлу мультиплекстеу технологиясының оңтайландырылған нұсқасы. Бұл әдіс 4G LTE желілерінде де сәтті қолданылады. А. OFDM модуляция мен мультиплекстеуді біріктіреді: дәстүрлі мультиплекстеу әртүрлі көздерден тәуелсіз сигналдарды біріктіруді қамтиды, ал OFDM технологиясында әрбір жеке сигнал бір негізгі сигналдың құрамдас бөлігі ретінде қарастырылады.



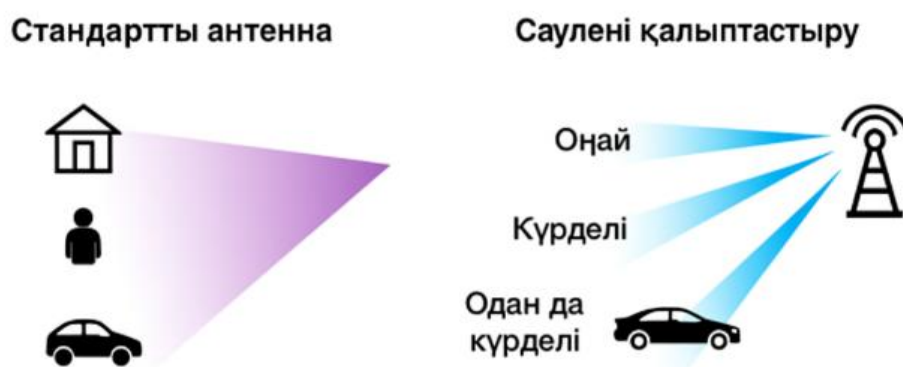
1.3-сурет – Ортогональды тасымалдаушылармен қабаттасатын жиіліктер

OFDM технологиясының ең маңызды ерекшелігі-қарапайым радио сигналды бірнеше параллель жиілік арналарына бөлу әдісінен айырмашылығы, топтық спектрдегі медианың ортогональдылығы.

Ортогоналдылықтың физикалық мәні синусоидалы фаза 90 градусқа сысқан әр тасымалдаушыдағы синусоидалы тербелістердің арнайы маркерін кодтау болып табылады (яғни ортогональды функциялар қолданылад

Сәуленің пайда болуы (Beamforming).

Энергия тұтынуды азайту және сигналдың таралу қашықтығын арттыру үшін сәулені қалыптастыру технологиясы қолданылады. Бұл әдіс әр пайдаланушы үшін арнайы бағытталған радио сәулеленуді динамикалық түрде жасауға мүмкіндік береді. Базалық станция сигналдың қай бағыттан және қай уақытта келгенін тіркейді (тек телефоннан ғана емес, сонымен қатар кедергілерден де көрінетін сигналдарды ескереді) және триангуляция әдістерін қолдана отырып, құрылғының шамамен орналасқан жерін есептейді. Осы мәліметтер негізінде базалық станция сигналдың ең тиімді бағытын анықтайды және қалыптастырады. Алайда қабылдау құрылғысының жағдайын үнемі бақылау қажеттілігі статикалық және мобильді қолдану жағдайлары арасында белгілі бір айырмашылықтарды тудырады, бұл өз кезегінде әртүрлі қолдану сценарийлерінде көрінеді [2].



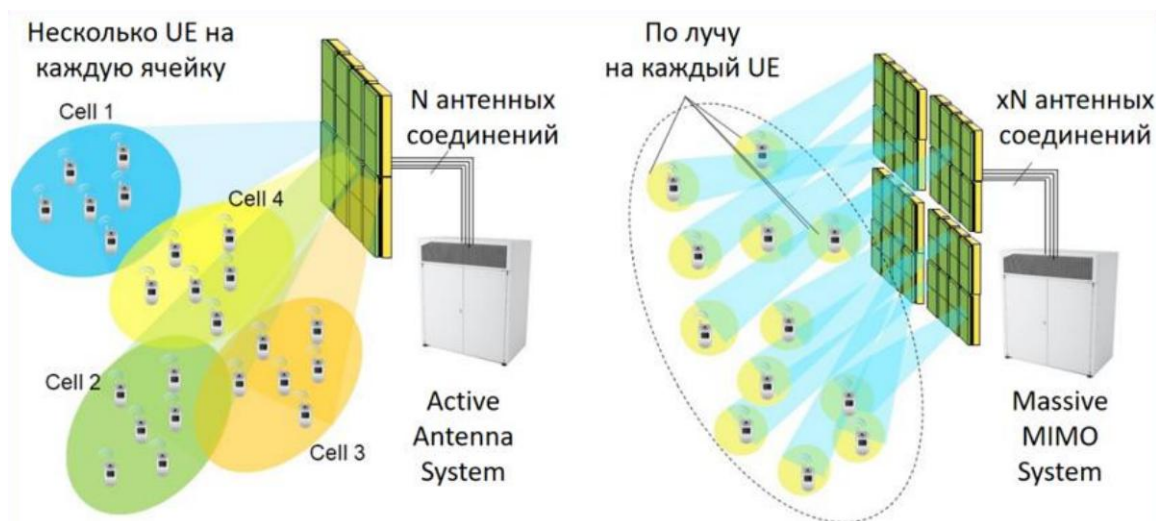
1.4-сурет – Beamforming сәулелерін қалыптастыру

MIMO (Multiple Input Multiple Output) бірнеше кіріс және бірнеше шығыс арналары арқылы сигнал беру әдісі. Бұл технология арнаның өткізу қабілетін арттыру үшін кеңінен қолданылады, сонымен қатар Wi-Fi және 4G желілерінде енгізілді. 5G желісінде mimo айтарлықтай жақсарды, әсіресе mimo (MU-MIMO) технологиясын дамыту маңызды болды.

5G базалық станциялары (gNB) көптеген сәуле шығаратын элементтерден тұратын антенна матрицаларымен жабдықталған. Бұл әрбір жеке пайдаланушыға бағытталған сигнал деңгейін арттыруға және бір уақытта басқа пайдаланушылар үшін туындауы мүмкін кедергілерді азайтуға мүмкіндік береді [3].

Антенналарға негізделген сәулені қалыптастыру идеясы жаңа емес: AAS (Active Antenna System) сияқты белсенді антенна жүйелері нарықта бұрыннан бар. AAS mimo антенналары базалық станцияларға орнатылып, қамту аймағын бірнеше ұяшықтарға бөледі, бұл спектрдің тиімділігі мен арналар санының артуына әкеледі.

Алайда, қазіргі уақытта желілер жүктемесінің өсуіне байланысты Цифрлық сәулелердің динамикалық қалыптасуы қажет, бұл спектрді одан да тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.



1.5-сурет – 2D mimo антеннасы (сол жақта) және Massive mimo антеннасы (оң жақта)

FR2 миллиметрлік диапазонында mimo антенналарын пайдалану барған сайын өзекті бола түсуде, өйткені миллиметрлік радиотолқындар жақсы бағыттаушы қасиеттерге ие. Бұл қасиет антеннадағы сәулелену элементтерінің көбеюімен қамтамасыз етіледі [6].

256 немесе одан да көп антенна элементтерін біріктіру арқылы үлкен mimo антенна торы жасалады. Сигналдардың фазасы мен амплитудасын бақылау арқылы мұндай антенна динамикалық түрде белгілі бір құрылғылар бағытында бірнеше күшті және жұқа сәулелер жасай алады.

Спектрді бөлісу технологиялары (Spectrum Sharing).

Көптеген таратылған радиожилік спектрлері толығымен тиімді пайдаланылмайды. Бұл мәселені шешу үшін спектрді бірлесіп қолдану әдістері жасалды.

Жиілік аралық үйлесімді дизайн (unified design across frequencies).

5G nr стандартына көптеген жаңа жиілік диапазондары қосылғандықтан, арналарды әртүрлі жиіліктер арасында ауыстырған кезде тұрақты байланыс интерфейсін қамтамасыз ету өте маңызды. Бұл мәселені жиілік аралық үйлесімділік технологиясы тиімді шешеді.

Кішкентай ұяшықтар (кішкентай ұяшықтар).

Кішкентай жасушалар сәуленің пайда болуымен бірге тезірек және аз кешіктіретін жабынды қамтамасыз етеді.

Шағын ұяшықтарға макро базалық станциялар, метро ұяшықтары, ішкі және сыртқы DAS жүйелері (бөлек антенна жүйелері), шағын ұяшықтар және басқа элементтер кіреді. Бұл барлық элементтер бірге жұмыс істейтін гетерогенді желіні жасайды.

5G желісі жоғары жиілікте жұмыс істейтіндіктен, шағын ұяшықтар маңызды рөл атқарады. Себебі жоғары жиілікті сигналдар қабырғалар мен ғимараттар арқылы өте алмайды. Мұндай ұяшықтарды қамту радиусы 500 метрден аспайды.

Кейбір жағдайларда, әсіресе көп қабатты ғимараттарда, қамтуды DAS жүйесі арқылы қамтамасыз етуге болады. DAS жүйесінде әр бөлмеде антенналар мен радио блоктар орнатылады және байланыс сапасы айтарлықтай жақсарады. Бір базалық станция мен das инфрақұрылымын бірнеше операторлар бір уақытта қолдана алады.

SRS технологиясы (sounding Reference Signal).

Бұл технология сәуленің пайда болуын толықтырады. Базалық станция арна сапасы туралы ақпаратты арнайы құрылғы жіберген SRS сигналдарының арқасында алады. Әдетте, құрылғылар SRS-ті тек негізгі антенна арқылы жібереді, ал базалық станция тек сол антеннадан алынған деректерді пайдаланады. Бірақ антеннаны таңдау технологиясының көмегімен сіз барлық антенналардың арнасы туралы ақпарат ала аласыз. Бұл өз кезегінде базалық станцияға сәулені пайдаланушы құрылғысына (UE) ең тиімді бағытта жіберуге мүмкіндік береді.

Нәтижесінде UE үшін деректер жылдамдығы күрт артады және базалық станциядан немесе орташа қашықтықтан алыс жерлерде жылдамдық 40% - ға дейін жақсаруы мүмкін.

Желіні кесу (Network Slicing).

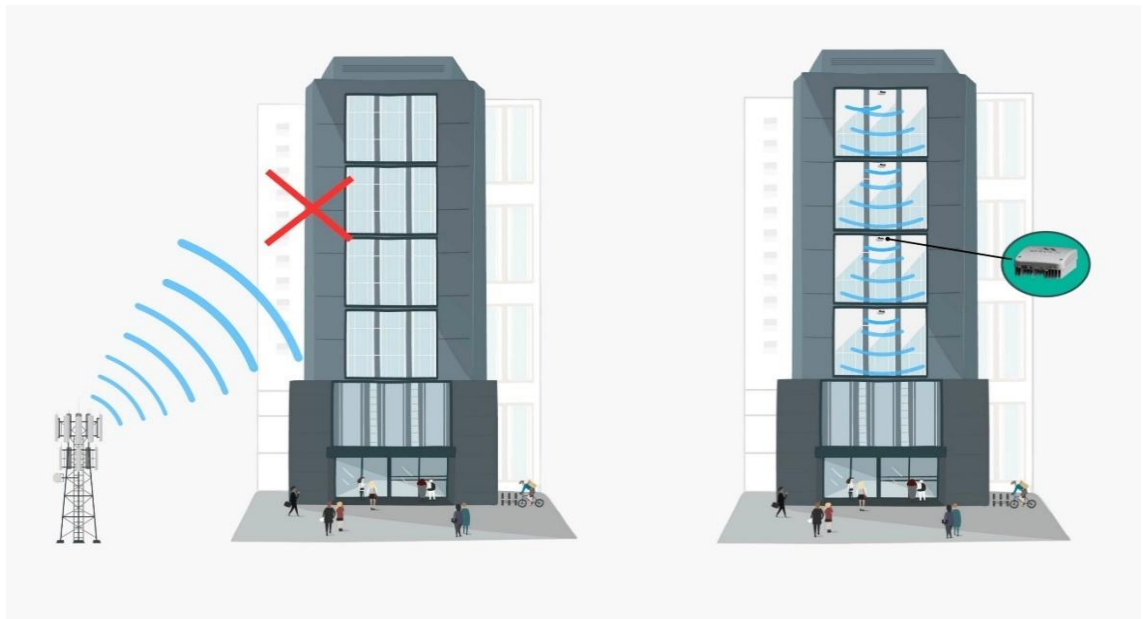
Бұл тұжырымдама операторларға желіні бірнеше тәуелсіз виртуалды қабаттарға бөлуге мүмкіндік береді. Әр қабат бөлек оқшауланған күйде жұмыс істейді. Бұл тәсіл әртүрлі қолдану сценарийлерінің нақты талаптарына сәйкес 5G желісінің икемді құрылысына жағдай жасайды.

Алайда, мұндай мүмкіндіктерді жүзеге асыру үшін жаңа буын желісінің ядролық архитектурасына көшу қажет.

2 Күшейткіштердің жұмысын модельдеу және зерттеу

2.1 DAS технологиясын енгізу және пайдалану

Таратылған антенна жүйелері (DAS) бесінші буындағы желілердің инфрақұрылымының маңызды бөлігі болып табылады, әсіресе ішкі кеңістіктерде тұрақты әрі біркелкі радиоқамтуды қамтамасыз ету тұрғысынан. Ғимараттардың маңызды аймақтарында немесе оларға жақын аумақтарда бірнеше антенналарды орнату арқылы DAS жүйелері сигналды тиімді таратып, әлсіз қамту аймақтарын азайтады. Бұл жерасты қабаттары, лифт шахталары және техникалық бөлмелер сияқты дәстүрлі антенналар қиындыққа тап болатын жерлер үшін аса маңызды.



2.1-сурет – 5G желілерінде DAS жұмыс принципін визуализациялау

2.1-суретте қалалық ортада 5G мобильді байланыс контексінде сигнал таралуының екі түрлі сценарийі көрсетілген. Сол жақта базалық станция мен ғимарат ішіндегі қолданушы арасындағы тікелей байланыс кедергілердің салдарынан (қызыл айқышпен белгіленген) жүзеге аспайтыны көрсетілген. Оң жақта болса, DAS (таратылған антенна жүйесі) қолданылған оңтайландырылған жүйе бейнеленген: ғимарат ішінде бірнеше антенналар орнатылған, бұл сигналдың кедергілерді айналып өтіп, ішкі кеңістіктерде тұрақты қамтуды қамтамасыз етуіне мүмкіндік береді. Ғимараттың әртүрлі қабаттарына орнатылған антенналар DAS жүйесіне қосылып, сигналдың барлық бөлмелерге біркелкі таралуын қамтамасыз етеді.

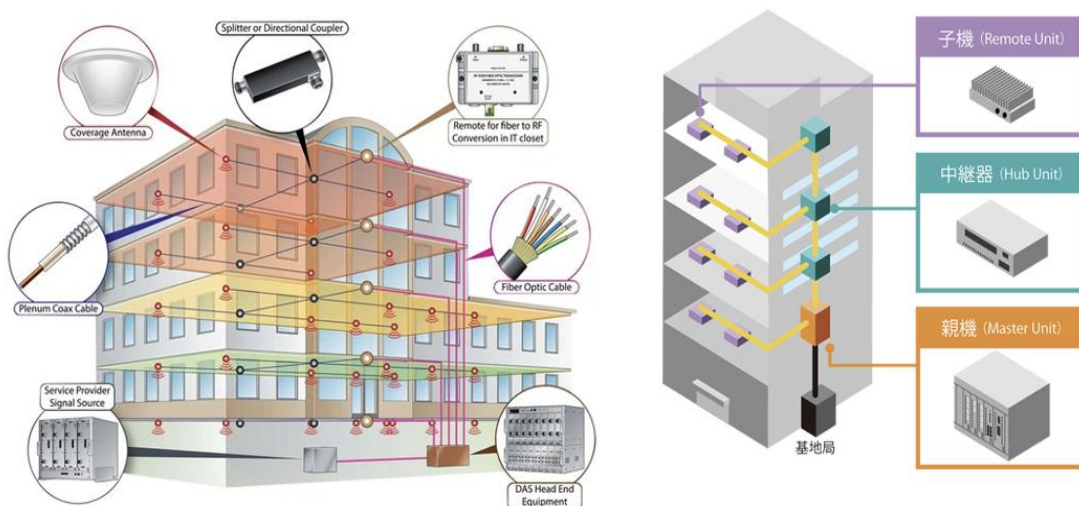
5G желілерін толыққанды енгізу үшін макродеңгейде өткізу қабілетін арттырумен қатар, жергілікті қамтуды да оңтайландыру қажет, бұл әсіресе тығыз құрылысты және күрделі сәулеттік ерекшеліктері бар ғимараттарда аса маңызды. Таратылған антенна жүйелері (DAS) жоғары сапалы ішкі байланыс үшін негізгі шешім болып табылады. DAS технологиясын пайдалану 5G сигналын біркелкі

таратып, лифт шахталары, жерасты қабаттары және көлеңкелену деңгейі жоғары ішкі кеңістіктер сияқты қиын жететін аймақтардағы қамтуды жақсартуға мүмкіндік береді.

DAS жүйесі ғимараттың немесе аумақтың бүкіл периметрі бойынша жүйелі түрде таратылған шағын антенналарды орнатуға негізделген. Бұл антенналар бір орталық сигнал көзіне қосылады. Әрбір антенна жергілікті аймақта сигналды күшейтіп, тарату қызметін атқарады. Осылайша, физикалық кедергілерге байланысты сигнал жоғалтуларын азайтып, жалпы желінің өткізу қабілетін арттыруға болады, себебі әрбір құрылғы өзіне ең жақын антеннаға қосылады.

2.2 DAS технологиясының компоненттері

Таратылған антенна жүйесі (DAS) кең әрі тұрақты желілік қамтуды қамтамасыз ету үшін бірлесе жұмыс істейтін бірнеше негізгі компоненттерден тұрады. Әрбір компонент сигналды беру, күшейту және тарату үдерістерінде өзіне тән міндетті атқарады.



2.2-сурет – DAS негізгі элементтері

Таратылған антенна жүйесінің (DAS) құрылымы бірнеше негізгі компоненттен тұрады, олардың әрқайсысы желінің тұрақты әрі кең қамтылуын қамтамасыз ету үшін өзара үйлесімді жұмыс істейді. Бұл компоненттер сигналды қабылдау, өңдеу, күшейту және тарату сияқты маңызды функцияларды атқарады.

Басты тарату торабы (Head-End Unit) DAS жүйесінің жүрегі болып табылады. Ол базалық станциядан (BTS) немесе басқа сигнал көзінен келіп түсетін сигналды қабылдайды, оны әрі қарай тарату үшін түрлендіреді және бүкіл жүйеге таратады. Сонымен қатар, бұл торап жүйені басқару және оның жұмысын бақылау қызметін атқарады. Заманауи DAS жүйелерінде сигнал көбіне

оптикалық талшықтар арқылы негізгі тораптан қашықтағы модульдерге жеткізіледі. Оптикалық байланыс сигналдың жоғалуын азайтып, үлкен нысандарда деректерді жоғары жылдамдықпен тасымалдауға мүмкіндік береді.

Қашықтағы модульдер (Remote Units) негізгі тораптан алыста орналастырылады және оптикалық сигналды қабылдап, оны радиожілік (RF) сигналына айналдырады, кейін антенналарға таратады. Бұл модульдер жүйенің икемділігін арттырып, үлкен аумақтарды қамтуға мүмкіндік береді.

Антенналар жүйенің соңғы нүктелері болып табылады және белгіленген аймақтарда сигналды таратуға жауапты. DAS жүйелерінде нысанның талаптарына байланысты әртүрлі типтегі антенналар қолданылады:

- Барлық бағытта тарататын антенналар кеңістікті біркелкі қамту үшін.
- Бағытталған антенналар нақты аймақтарда сигнал күшін арттыру үшін.
- Панельді антенналар үлкен ашық кеңістіктерде қолдану үшін.

Сигнал күшейткіштері (Signal Amplifiers) жүйе арқылы өтетін сигналдың қуатын арттыру үшін қолданылады. Бұл әсіресе үлкен қашықтықтар мен кедергілер тығыз орналасқан жерлерде сенімді байланысты қамтамасыз ету үшін қажет.

Жүйе контроллері (System Controller) DAS-тың барлық элементтерін басқаруға жауап береді. Ол мониторинг жүргізіп, диагностика жасап, сигналдың таралуын оңтайландырады және пайда болған мәселелерді жоюға көмектеседі.

Кабельдік инфрақұрылым DAS жүйесінің маңызды бөлігі болып табылады. Ол төмендегі элементтерден тұрады:

- Радиожілік сигналын тарату үшін коаксиалды кабельдер.
- Ұзақ қашықтықтарға деректерді жоғалтусыз жеткізу үшін оптикалық талшықты кабельдер.

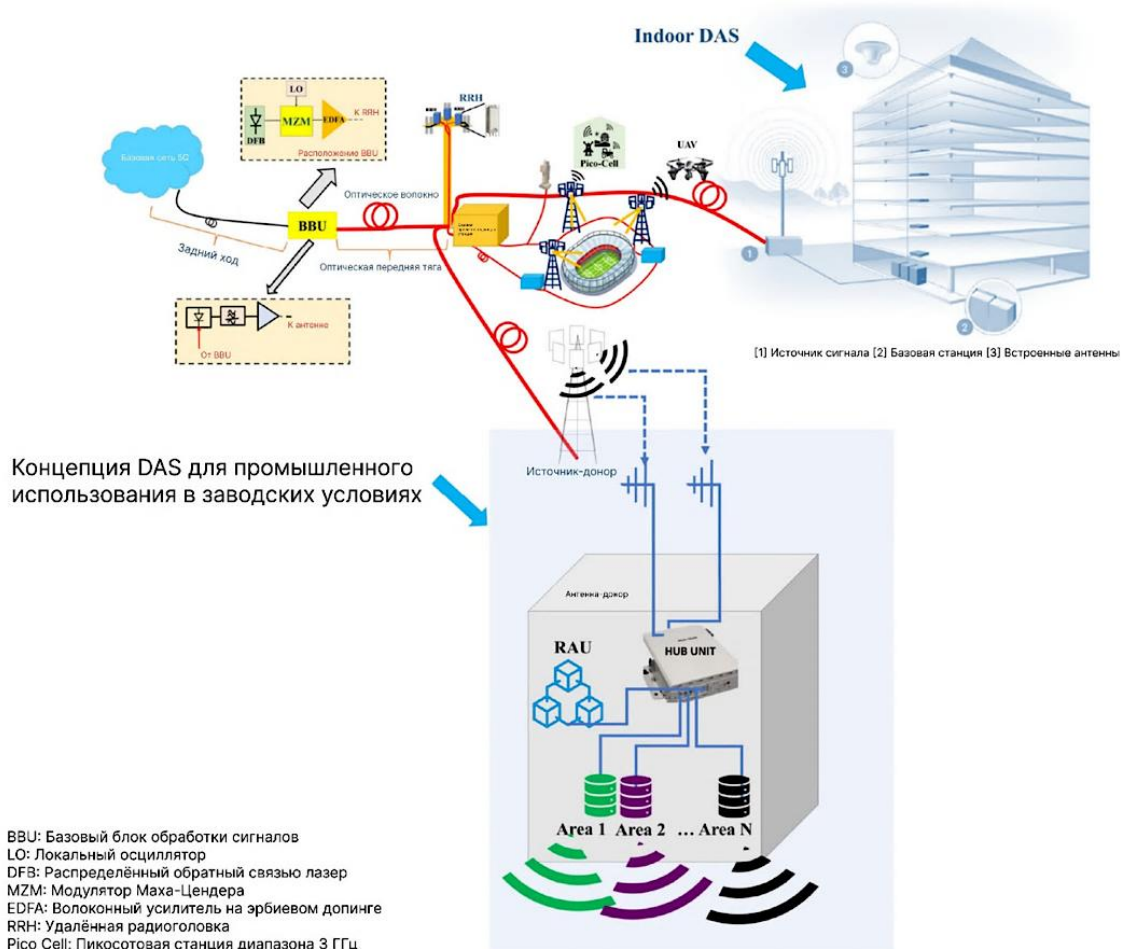
Кабельдер жүйенің барлық элементтерін өзара байланыстырып, сенімді сигнал жеткізілуін қамтамасыз етеді.

Дәстүрлі базалық станциялар сигналды бір нүктеден бағыттап тарататын болса, DAS жүйелері сигналды көптеген антенналар арқылы таратып, кең әрі сапалы қамтуды қамтамасыз етеді. DAS жүйесі оңай кеңейтіледі жаңа антенналар мен интерфейс модульдерін қосу арқылы қамту аймағын ұлғайтуға немесе өткізу қабілетін арттыруға болады. DAS әртүрлі ұялы байланыс операторларының сигналдарын қолдай алады, бұл оны қоғамдық ғимараттар мен коммерциялық нысандар үшін тиімді шешімге айналдырады. Әрбір антеннаның қуатын басқару мүмкіндігі интерференцияны азайтып, тұрақты байланыс сапасын қамтамасыз етеді.

5G желілері жоғары жылдамдық пен сапаға қойылатын жаңа талаптарды алға тартады, ал DAS жүйелері сигнал таралуын нақты басқару мүмкіндігі арқылы бұл талаптарға тиімді жауап бере алады. 5G желілерінде деректер миллиметрлік диапазонды қоса алғанда, жоғары жиіліктерде беріледі, бұл ғимарат ішіндегі сигналды ұстап тұру үшін антенналардың тығыз орналастырылуын қажет етеді. DAS осы қажеттілікті қамтамасыз ететін инфрақұрылымды ұсынып, күрделі сәулеттік құрылымы бар нысандарда да жоғары өнімділікті қамтуды қамтамасыз етеді.

5G желілері жоғары спектрлік тиімділікпен ерекшеленеді. Бұл жетістік күрделі модуляция әдістерін қолдану, жиілік арналарын кеңейту және жиілік бойынша көпқолданысты (OFDMA) технологиялары арқылы жүзеге асады. Деректерді төмен кідіріспен беру мүмкіндігі нақты уақыттағы жауап беруін талап ететін қосымшалар үшін өте маңызды. Сонымен қатар, 5G желісінде құрылғыларды қосу тығыздығы бұрынғы буындармен салыстырғанда әлдеқайда жоғары, бұл миллиардтаған IoT құрылғыларын бір экожүйеде біріктіруге мүмкіндік береді.

DAS-ты 5G желілерінде қолдану тек ғимарат ішіндегі сигнал сапасын арттырып қоймай, байланыс сенімділігі мен тұрақтылығын да едәуір күшейтеді. DAS енгізу антенналардың орнын мұқият жоспарлауды және 5G талаптарына сай келетін жабдықты таңдауды қажет етеді. Радио сигналды оптикалық талшық арқылы тасымалдауға мүмкіндік беретін заманауи Radio over Fiber (RoF) технологиясы инфрақұрылым шығындарын азайтып, жүйенің икемділігін арттырады.



2.3-сурет – 5G үшін өнеркәсіптік DAS схемасы

2.3-суретте өндірістік ортада қолдануға арналған таратылған антенна жүйесінің (DAS) тұжырымдамасы көрсетілген [3]. Бұл жүйе екі негізгі бөліктен тұрады: Outdoor (сыртқы) және Indoor (ішкі). Әрқайсысы өндірістік нысандарда тұрақты сымсыз байланысты қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады.

1. Outdoor (сыртқы) бөлігіне мыналар кіреді:

-5G базалық станциясы жүйенің негізгі сигнал көзі, ол барлық деректерді бастапқы түрде таратады.

-BBU (Baseband Unit) радиожиілік сигналының базалық өңдеуін жүзеге асыратын құрылғы, ол сигналды әрі қарай тасымалдауға дайындайды.

-LO (локалды осциллятор) және MZM (Маха-Цендер модуляторы) сигналды оптикалық форматқа түрлендіру үшін қолданылатын модуляция құрылғылары.

-DFB (кері байланысы бар лазер) оптикалық талшық арқылы тарату үшін тұрақты лазерлік сигнал генерациясын қамтамасыз етеді.

-Оптикалық талшықты кабельдер базалық станциядан қашықтағы модульдерге дейінгі сигналды жоғалтусыз жеткізуді қамтамасыз етеді.

-RRH (Remote Radio Head) — оптикалық сигналды қабылдап, оны қайтадан радиожиілік сигналына айналдырады және оны антенналарға таратады.

-Pico Cell (пикосоттық станция) 3 ГГц жиілік диапазонында сигналды күшейтіп, оны шектеулі аймаққа таратады.

2. Indoor (ішкі) бөлігі келесі компоненттерден тұрады:

-Ішкі антенналар ғимараттың әртүрлі бөліктеріне орналастырылып, ішкі кеңістікте біркелкі қамтуды қамтамасыз етеді.

-HUB UNIT және RAU (Radio Access Unit) оптикалық талшық арқылы келіп түскен сигналды ғимараттың әр аймағына таратады.

-Жұмыс аймақтары (Area 1, Area 2, ..., Area N) зауыт ішіндегі әртүрлі өндірістік аймақтар, олардың әрқайсысы тұрақты сымсыз байланыспен қамтамасыз етіледі.

Суреттің оң жақ жоғарғы бұрышында ішкі таратылған антенна жүйесімен (Indoor DAS) жабдықталған ғимараттың кескіндемесі берілген. Бұл диаграмма сигналдың ғимарат ішінде қалай таралатынын бейнелейді. DAS жүйесі тек қызметкерлерді ғана емес, сонымен қатар ұялы құрылғыларды, ұшқышсыз басқарылатын аппараттарды (UAV) және өндірістік жабдықтарды да сенімді байланыспен қамтамасыз етеді.

Берілген сұлба 5G DAS жүйесінің кеңейтілген инфрақұрылымын көрсетеді. Антенналар ғимараттың әр қабатында орнатылып, коаксиалды және оптикалық кабельдер арқылы орталық модульдермен байланысқан. Бұл шешім сигналдың сапасын барынша арттырып, үлкен қашықтықтарда да оның жоғалуын азайтуға мүмкіндік береді.

DAS жүйесі оптикалық технологиялар арқасында сигналды 20 км-ге дейінгі қашықтыққа жеткізе алады және 5G стандарттарына сәйкес келетін жоғары дерек тарату жылдамдығын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, жүйе масштабталатын және икемді, бұл оны өндірістік кәсіпорындардың өсіп жатқан

талаптарына бейімдеуге мүмкіндік береді. Осылайша, өндіріс процесінің барлық кезеңдерінде жабдық пен персоналға сенімді байланыс қамтамасыз етіледі.



2.4-сурет – 5G das жүйесінің желісін құру тұжырымдамасы

2.4-суретте коммерциялық мақсаттағы жылжымайтын мүлік ғимаратында 5G DAS жүйесін енгізу сұлбасы көрсетілген. Суреттен ғимараттың әртүрлі қабаттарына орнатылған таратылған антенналық жүйелерді байқауға болады, бұл ішкі кеңістікте тұрақты және толық қамтуды қамтамасыз етеді.

Бұл сұлба заманауи байланыс технологияларын ғимарат ішіне тиімді түрде интеграциялау мүмкіндігін айқын көрсетеді. Мұндай шешімдер күрделі сәулеттік құрылымдарға қарамастан, жоғары жылдамдықтағы мобильді интернеттің сапасы мен қолжетімділігін арттыруға мүмкіндік береді, әсіресе ірі кеңсе кешендері мен сауда орталықтарында.

2.3 5G DAS жүйесінің конфигурациясы

5G DAS жүйесінің конфигурациясы келесі негізгі компоненттерден тұрады:

1) Негізгі блок (Main Unit) бұл жүйенің орталық элементі. Ол базалық станциядан радиожиліктегі сигналды қабылдайды, оны оптикалық сигналға түрлендіріп, оптикалық талшықты кабель арқылы қашықтағы модульге жібереді. Бұл түрлендіру сигналдың ұзақ қашықтықтарға жоғалтусыз жеткізілуін қамтамасыз етеді.

2) Қашықтағы блок (Remote Unit) бұл модуль Негізгі блоктан келіп түскен оптикалық сигналды қабылдайды, оны қайтадан радиожилік сигналына айналдырады және әрі қарай антенна-фидерлік жүйеге (АФЖ) береді. Осылайша сигнал ғимарат ішіне немесе жабық аймақтарға тиімді таралады.

3) Антенна-фидерлік жүйе (АФЖ)ғимараттың төбесіне әр жиілік диапазонына арналған мамандандырылған қабылдаушы антенналар орнатылады. Бұл антенналар базалық станциялардан келетін сигналдарды қабылдайды. Әрбір антеннадан шыққан сигнал ұялы байланыс күшейткішінің сәйкес кірісіне жеке коаксиалды кабель арқылы жеткізіледі. Бұл тәсіл сигнал сапасының төмендеуін болдырмай, тұрақты таралуын қамтамасыз етеді.

Төменде 2.1 және 2.2-кестелерде әр құрылғының техникалық сипаттамалары көрсетілген.

Кесте 2.1 – Қабылдау модулінің техникалық сипаттамалары

Құрылғы	Параметр	Мәні
Қабылдау модулі (Main Unit)	Жұмыс істеу жиілігі	800: 832-862 МГц 900: 880-912 МГц 1800: 1710-1785 МГц 2100: 1920-1980 МГц 2600: 2500-2570 МГц
	Ең жоғары шығыс қуаты	90±2 дБм
	Ең жоғары күшейту коэффициенті	30±2 дБм
	Күшейтуді реттеу диапазоны	1-31 дБ, с шагом 1 дБ
	Талшықты-оптикалық кабельдің ең ұзын ұзындығы	20 км
	Пайдалану температурасы	-25... +55°C
	Қуат көзі	АС: 220 В, 50 Гц
	Габариттік өлшемдері	500*440*187 мм
	Брутто/нетто салмағы	42 кг / 28 кг
	Тұтыну қуаты	150 Вт
	Қорғаныс дәрежесі	IP65

Кесте 2.2 – Таратушы модулінің техникалық сипаттамалары

Құрылғы	Параметр	Мәні
1) Таратушы модулі (Remote Unit)	Жұмыс істеу жиілігі	800: 791-821 МГц 900: 925-960 МГц 1800: 1805-1880 МГц 2100: 2110-2170 МГц 2600: 2620-2690 МГц
	Ең жоғары шығыс қуаты	43±2 дБм
	Ең жоғары күшейту коэффициенті	90±2 дБм

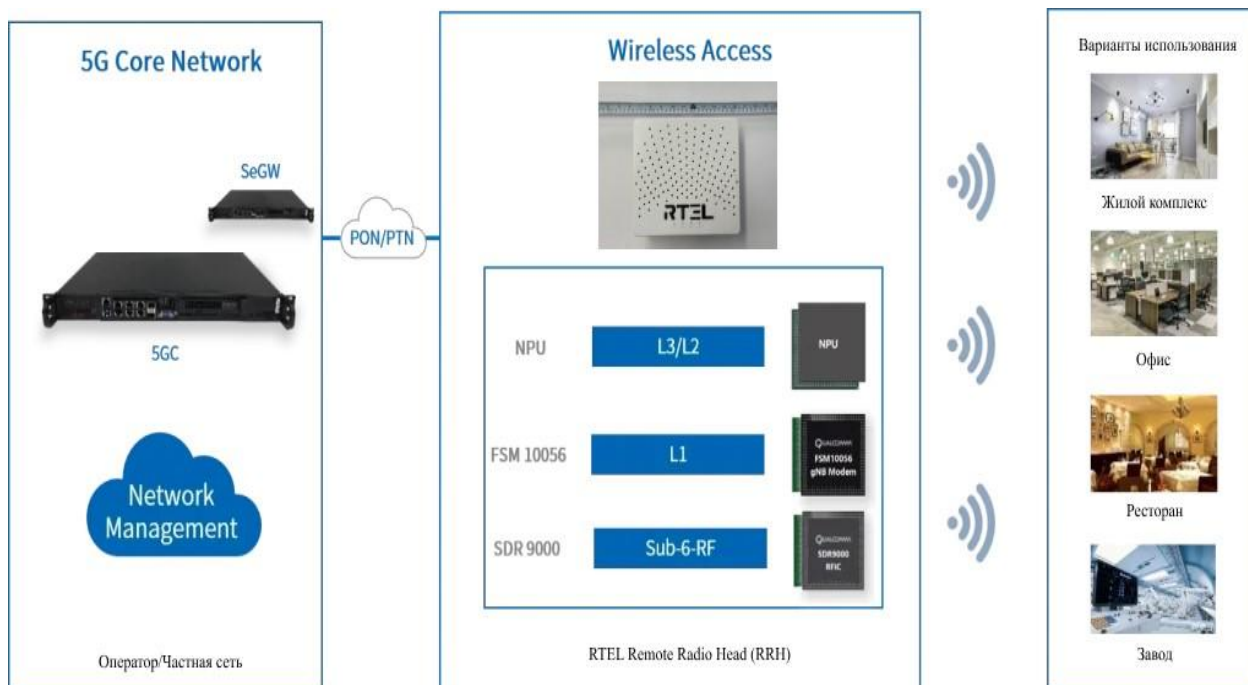
	Күшейтуді реттеу диапазоны	1-31 дБ, с шагом 1 дБ
	Талшықты-оптикалық кабельдің ең ұзын ұзындығы	20 км
	Пайдалану температурасы	-25... +55°C
	Қуат көзі	АС: 220 В, 50 Гц
	Габариттік өлшемдері	510*460*190 мм
	Брутто/нетто салмағы	542 кг / 28 кг
	Тұтыну қуаты	350 Вт
	Қорғаныс дәрежесі	IP65

Оңтайлы ішкі қамту жүйесін таңдауда 5G Indoor базалық станциясы мен 5G DAS жүйесінің айырмашылықтарын түсіну маңызды. Осы мақсатта екі технологияны салыстыру арқылы олардың техникалық ерекшеліктері мен қолдану салаларындағы басты айырмашылықтарды анықтауға болады. Бұл өз кезегінде нақты жағдайға сәйкес келетін тиімді шешімді таңдауға мүмкіндік береді.

Техникалық параметрлер бойынша салыстыру:

1) Жұмыс істеу принципі мен жүйелік құрылымы:

5G Indoor базалық станциялары бұл сигналды ғимарат ішіндегі пайдаланушы құрылғыларына тікелей жеткізетін бір орталықтан басқарылатын құрылғылар. Олар, әдетте, шектеулі аймақты бір нүктеден қамтуға бағытталған.



2.5-сурет – базалық станцияның 5g Indoor жұмыс принципі

2.5-суретте 5G Indoor базалық станциясының жұмыс істеу құрылымы көрсетілген. Бұл схема үш негізгі бөлікке бөлінеді:

1) 5G Core Network (5G желісінің ядросы) Бұл бөлімде желінің басты функцияларын орындайтын құрылғылар бейнеленген. Мысалы, қауіпсіздік шлюзі (SeGW) және 5G басқару сервері (5GC) сияқты құрылғылар желідегі трафикті басқару мен ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз етеді.

2) Wireless Access (Сымсыз қолжетімділік) Бұл желінің пайдаланушы құрылғыларымен сымсыз байланыс орнатуға арналған бөлігі. Суретте маршрутизатор (немесе кіру нүктесі) және оның астында орналасқан желілік процессор (NPU), L3/L2 деңгей блоктары, L1 деңгейі және Sub-6-RF модулі көрсетілген. Бұл модуль, үлкен ықтималдықпен, 6 ГГц-тен төмен жиіліктермен жұмыс істейді.

Жалпы алғанда, бұл диаграмма 5G технологиялары мен құрылғыларының өзара байланысуы арқылы қалай бірыңғай желі құруға болатынын көрсетеді, мұндай желі әртүрлі қолдану сценарийлерін қолдай алады, бұл пайдаланушы қажеттіліктері мен ғимараттың ерекшеліктеріне байланысты икемделеді.

Ал 5G DAS жүйесі көптеген шағын антенналардан тұратын құрылым ретінде жұмыс істейді. Бұл антенналар ғимараттың түрлі бөліктеріне орналастырылып, бір ортақ сигнал көзіне қосылады. Нәтижесінде үлкен аумақты біркелкі қамтумен қамтамасыз етеді. DAS жүйесінің архитектуралық құрылымы 1.3-суретте егжей-тегжейлі көрсетілген.

2.4 5G DAS жүйесінің артықшылықтары

5G DAS (таратылған антенна жүйелері) заманауи байланыс инфрақұрылымында бірқатар маңызды артықшылықтарға ие. Бұл жүйелер ірі әрі күрделі нысандарда тұрақты және сапалы сымсыз байланысты қамтамасыз ету үшін оңтайлы шешім бола алады. Төменде олардың негізгі артықшылықтары келтірілген:

1. Кең әрі біркелкі қамту аймағы

5G DAS жүйелері үлкен аумақтарда тұрақты және теңгерімді байланыс қамтуын қамтамасыз ете алады. Бұл әсіресе стадиондар, әуежайлар, сауда орталықтары мен көпқабатты ғимараттар сияқты нысандар үшін өте маңызды, себебі барлық аумақта бірдей сапалы байланыс қажет.

2. Жоғары трафикті өңдеу қабілеті

5G DAS-тың басты артықшылықтарының бірі көп пайдаланушы жүктемесін тиімді түрде басқару. Көптеген антенналар арқылы жүктеме біркелкі таралып, байланыс жүйесінің тұрақтылығы жоғары деңгейде сақталады.

3. Жүйені оңай кеңейту (масштабталу)

DAS жүйелері құрылымының икемділігі арқасында жаңа антенналарды немесе қамту аймақтарын қосу оңай, әрі бұл үшін жүйеге үлкен өзгерістер енгізудің қажеті жоқ. Бұл оларды болашақта кеңейту мүмкін нысандар үшін тиімді етеді.

4. Қолданыстағы инфрақұрылыммен үйлесімділігі

DAS жүйелерін ғимараттардың қазіргі инфрақұрылымына бейімдеу оңай. Бұл орнату шығындарын азайтып, құрылыс құрылымына айтарлықтай өзгерістер енгізбей-ақ жүйені енгізуге мүмкіндік береді.

5. Сигнал сапасының жоғары болуы

Таратылған антенна құрылымы сигналдың тұрақтылығын сақтап, кедергілер көп ортада да (қалың қабырғалар, металл құрылымдар) жоғары сапалы байланысты қамтамасыз етеді.

6. Ұзақ мерзімді үнемділік

Бастапқы орнату шығындары жоғары болғанымен, DAS жүйелері ұзақ мерзімде тиімді болып табылады. Олардың қызмет көрсетуге қажеттілігі аз және жұмыс тиімділігі жоғары.

7. Жоғары сенімділік

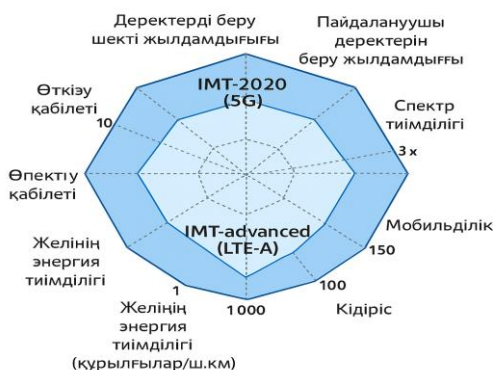
DAS жүйелерінде көптеген антенналар қолданылады, әрқайсысы өз аймағын қамтиды. Бір антенна істен шыққан жағдайда да жалпы жүйе жұмысын жалғастыра береді.

8. Қолдану икемділігі мен жан-жақтылығы

5G DAS жүйелері әртүрлі типтегі нысандарға бейімделе алады биік кеңсе ғимараттарынан бастап, жер асты автотұрақтарына дейін. Жүйені нақты нысан талаптарына сәйкес оңай бейімдеуге болады.

2.5 5G желісін модельдеу

5G желілерін жабық кеңістіктерде модельдеу радиотолқындардың таралу сипаттамаларын талдаудан басталады. Бұл процессте қолданылатын антенналардың түрлері, олардың орналасуы мен орнату биіктігі сияқты көптеген факторларды ескеру маңызды. Зерттеу аясында бағытталмаған антенналар қолданылып, олардың модельдеуі FEKO бағдарламалық қамтамасыз етуі арқылы жүргізілді. Антенналар әртүрлі биіктіктерде 0.8 м, 1.5 м және 2.5 м-де тексеріліп, максималды қамтуды қамтамасыз ететін оңтайлы жағдайлар анықталды [5].



2.6-сурет – 4G және 5G сипаттамаларының салыстырмасы

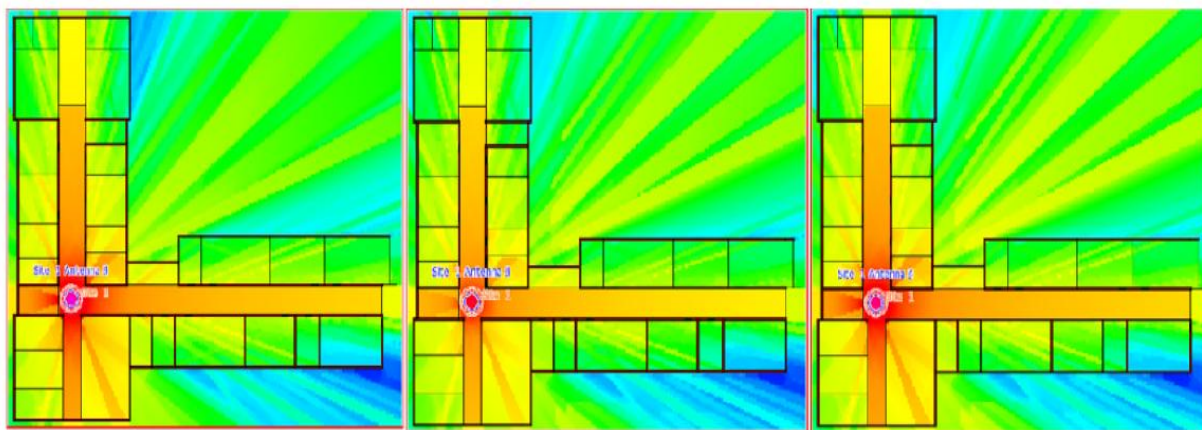
2.5.1 Сигналды қамтуға әсер ететін факторлар

Модельдеу барысында талданған негізгі параметрлер:

Қамту аймағы 2.6-суретте көрсетілгендей, ұяшықтың қамту аймағын зерттеу барысында оның өлшемі антеннаның орнату биіктігі мен күшейту коэффициентіне тәуелді екені анықталды. Антенна биіктігі артқан сайын қамту аймағы азаяды, бұл жабық кеңістіктегі сигналдың таралу ерекшеліктерімен байланысты, мұнда сигналдың қабырғалар мен басқа кедергілерден қайта шағылуы маңызды рөл атқарады [5].

2.7-суретте көрсетілгендей, желі қамтуы 5G ішкі желілерін орналастыруды жоспарлау кезінде маңызды аспект болып табылады. Қамту тиімділігі желінің барлық жұмыс көрсеткіштеріне әсер етеді, соның ішінде байланыс сапасына, дерек жіберу жылдамдығына және пайдаланушылардың жалпы қанағаттануына

Сонымен қатар, антеннаның күшейту коэффициенті ұяшықтың көлеміне тікелей әсер етеді, яғни сигнал таралу радиусын қажеттілікке қарай ұлғайтуға немесе қысқартуға мүмкіндік береді. Жоғары күшейту коэффициенті бар антенналар кеңірек қамтуды қамтамасыз ете алады, бірақ сонымен бірге сигналдарды қабылдау аймағы кеңейгендіктен, кедергілерге ұшырау ықтималдығы да артады.



2.7-сурет – Қамту аймағы

2.5.2 Сигналдың таралу кезіндегі шығындар

Сигналдың таралу кезіндегі шығындар 2.3-суретте көрсетілгендей, бұл параметр ғимарат материалдары мен базалық және мобильді станциялар арасындағы қашықтыққа байланысты. Трассадағы жоғалтулар ғимарат ішіндегі байланыс сапасына айтарлықтай әсер етуі мүмкін [5].

2.3-суретте бейнеленгендей, сигналдың таралу кезіндегі шығындар – ішкі байланыс желілерін, әсіресе жоғары өткізу қабілеті мен төмен кідірісті талап ететін 5G желілерін жобалау кезінде аса маңызды параметр болып табылады. Бұл жоғалтулар мобильді байланыстың сапасы мен сенімділігіне тікелей әсер етеді,

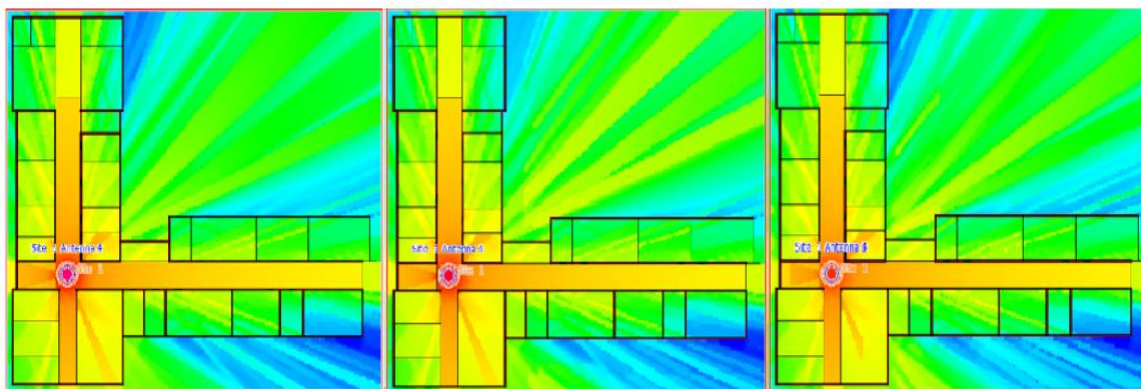
сондықтан оларды бақылау және азайту желі инженерлері үшін маңызды міндет саналады.

Сигналдың таралу кезіндегі шығындар бірнеше негізгі факторлар әсер етеді, соның ішінде ғимарат салынған материалдар және базалық станция мен мобильді құрылғылар арасындағы қашықтық. Бетон, металл және шыны тәрізді материалдар, әсіресе 5G желілерінде қолданылатын жоғары жиіліктерде, радиотолқындардың өтуін едәуір қиындатады. Бұл сигнал жоғалтуының артуына әкеліп, байланыс сапасын едәуір нашарлатуы мүмкін.

Бұл параметрдің маңыздылығы тығыз құрылыс жағдайында және көптеген құрылымдық элементтердің пайдаланылуында артады, өйткені олар «өлі аймақтар» тудыруы мүмкін – мұндай жерлерде байланыс тұрақсыз немесе мүлдем жоқ болады.

Инженерлер трассадағы жоғалтулар туралы мәліметтерді базалық станциялар мен антенналардың орналасуын оңтайландыру, қажетті қуат пен сезімталдық деңгейі бар жабдықты таңдау, сондай-ақ желі параметрлерін түзету үшін қолдана алады. Бұл сигнал жоғалтуларын өтеуге және байланыс сапасын жақсартуға көмектеседі.

Сигналдың таралу кезіндегі шығындар азайту және желі тиімділігін арттыру үшін түрлі техникалық шешімдерді қолдануға болады. Мысалы, қосымша ретрансляторлар орнату немесе сигналды белгілі бір бағытта бағыттап күшейтуге мүмкіндік беретін beamforming технологиясын пайдалану.



2.8-сурет – Жоғалуы.

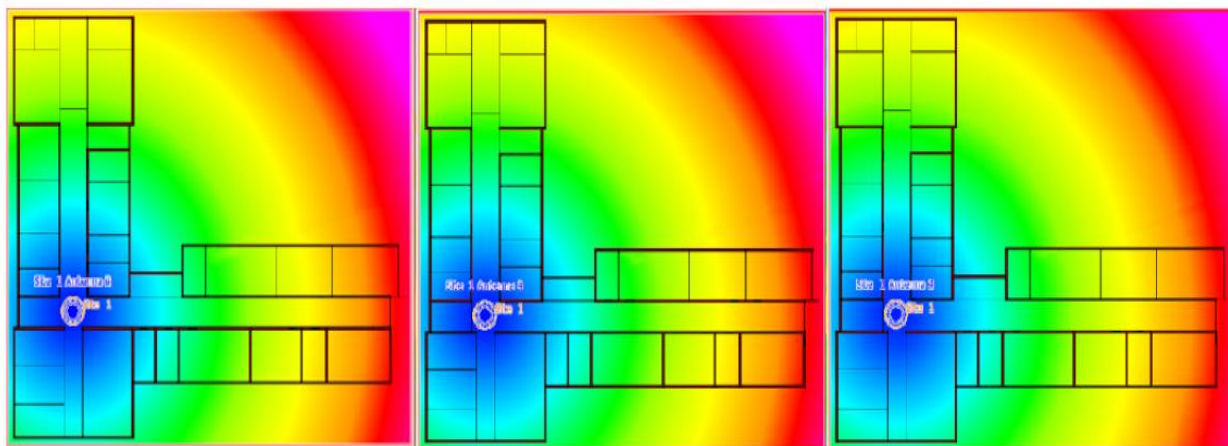
2.5.3 Сигналдың кідірісі

Сигналдың кідірісі бағытталған антенналарды пайдалану контекстінде зерттелді. Нәтижелер көрсеткендей, бағытталған антенналар кідіріс шашырауын азайтуға көмектеседі, бұл жабық кеңістіктердегі байланыс сапасын жақсартады [5].

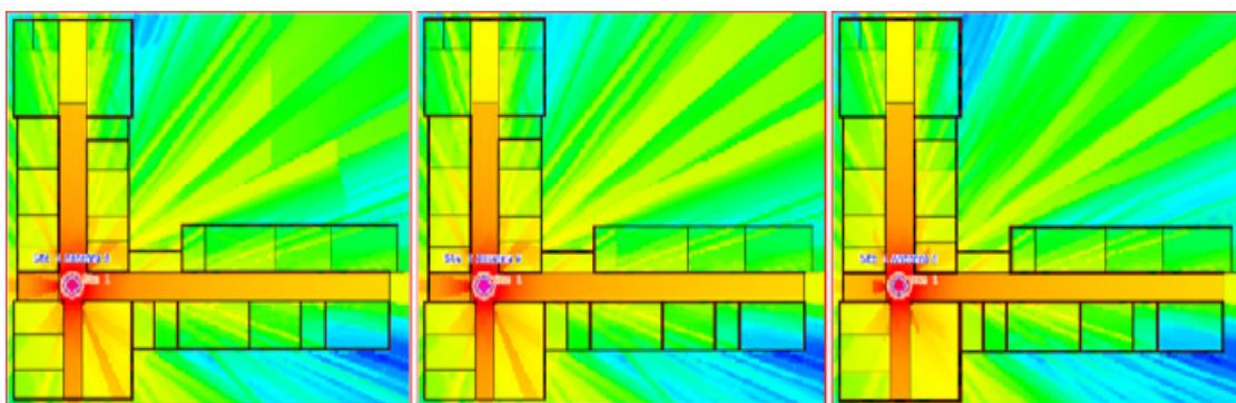
Сигналдың кідірісі байланыс сапасын қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады, әсіресе жоғары өткізу қабілеті мен төмен латенттілік талап етілетін ортада – мысалы, видеостриминг, онлайн ойындар немесе жоғары өзара

әрекеттестік деңгейі бар операцияларда, соның ішінде телемедицина мен қашықтан басқару жүйелерінде.

2.9-суретте көрсетілген зерттеу 5G желілерінде жабық кеңістіктерде бағытталған антенналарды қолдану жағдайында сигналдың кідірісін талдауға бағытталған.



2.9-сурет – Сигнал кідірісі



2.10-Сурет – Антенна биіктігі 1.5 м болған жағдайда қамту аймағы

2.10-суретте антенна 1.5 метр биіктікте орнатылған кездегі қамту аймағының визуалды бейнесі ұсынылған. Бұл биіктік параметрі кездейсоқ таңдалмаған – ол мобильді құрылғылармен, әсіресе әдетте қолданушының қол деңгейінде орналасатын смартфондармен тұрақты байланысты қамтамасыз ету үшін оңтайлы деп есептеледі.

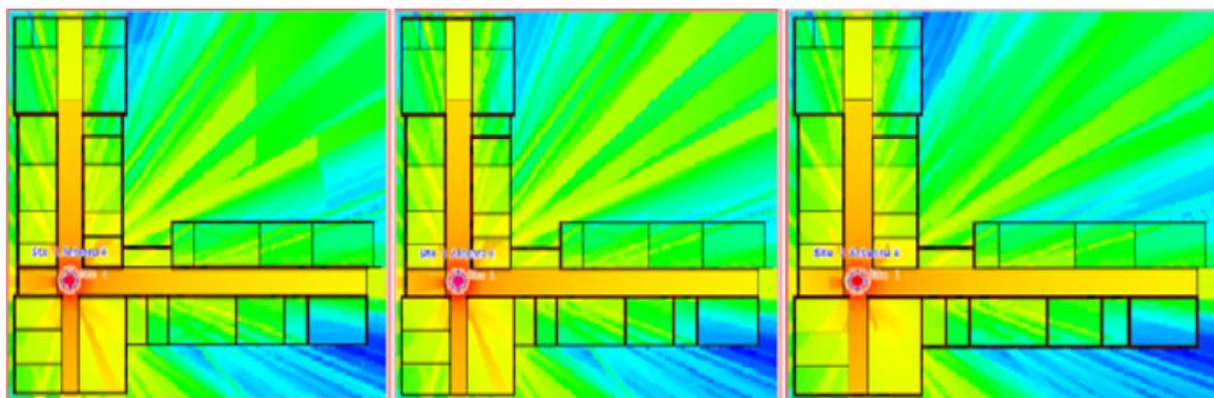
Антенналарды осындай биіктікте орнату шешімі кеңсе мен басқа да ішкі кеңістіктердегі мобильді құрылғыларды пайдалану статистикасына негізделген, онда пайдаланушылар құрылғыларды көбіне қолында ұстайды немесе үстел үстіне қояды.

Антенналарды 1.5 метр биіктікте орнату қамту аймағын дәл сол жұмыс және қоғамдық аймақтарға бағыттауға мүмкіндік береді, мұндай жерлерде мобильді байланысқа деген сұраныс жоғары. Мұндай орналастыру ғимараттың

немесе бөлменің сәулеттік ерекшеліктерінен туындайтын сигналдың әлсіреуіне немесе толық жоғалуына алып келетін «өлі аймақтардың» санын азайтуға көмектеседі.

Сонымен қатар, бұл биіктік сигналдың еденнен немесе төбеден шағылу ықтималдығын азайтып, оның біркелкі таралуына ықпал етеді және трассадағы жоғалтуларды төмендетеді. Сондай-ақ бұл биіктікте антенналар сигналдың металл жиһаздар мен кеңсе техникасы сияқты кедергі келтіретін нысандармен тікелей қиылысуын болдырмайды, бұл да кедергілер мен қосымша шағылуларды азайтады.

Мұндай орналастыру стратегиясын қолдану байланыс сапасын айтарлықтай жақсартады, бұл пайдаланушылардың қанағаттануын арттырып, кеңседегі мобильді құрылғыларды тиімді пайдалану деңгейін жоғарылатады. Өз кезегінде, бұл қызметкерлердің жұмыс өнімділігін арттырады, себебі жақсартылған байланыс сапасы деректерді жіберу кезіндегі күту уақытын азайтып, компанияның ақпараттық ресурстарына және интернетке жылдам қол жеткізуге мүмкіндік береді.



2.11-сурет – Әртүрлі жағдайларда трассадағы жоғалтулар

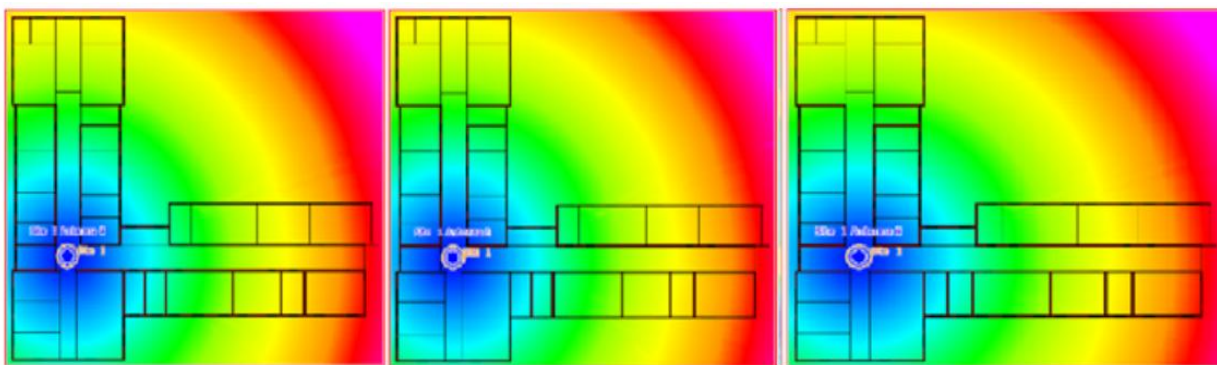
2.11-сурет әртүрлі трассалардағы сигнал жоғалтулары көптеген факторларға байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін екенін көрсетеді. Бұл факторларға қабырға материалдары, антенналардан қашықтық, сондай-ақ бөлме ішіндегі жиһаз және басқа кедергілер жатады. Мұндай трассадағы жоғалтуларды талдау жүйелік инженерлер мен желі жоспарлаушылар үшін құнды ақпарат береді олар антенналардың орналасуын оңтайландырып, олардың сипаттамаларын максималды қамту мен минималды сигнал жоғалтуларын қамтамасыз ету үшін бейімдей алады.

Бұл жоғалтуларды ескеру – әсіресе күрделі сәулеттік жағдайларда, мысалы, қалың қабырғалы ескі ғимараттарда немесе металл құрылымдары көп биік ғимараттарда — сенімді әрі тиімді желілерді жобалауға мүмкіндік береді. Мұндай талдау деректерін пайдалана отырып, антенналарды орнатудың оңтайлы орындарын ғана емес, сонымен қатар қосымша сигнал күшейткіштер немесе ретрансляторлар қажет болатын аймақтарды да анықтауға болады.

Анализ барысында анықталған проблемалық аймақтарды антенналардың түрін өзгерту арқылы жақсартуға болады. Мысалы, сигналды белгілі бір бағытта шоғырландыратын бағытталған антенналарды қолдану арқылы жоғалтуларды азайтып, сигнал таралу аясын кеңейтуге болады. Сонымен қатар, заманауи модуляция және сигнал кодтау технологияларын пайдалану да маңызды – олар сигналдың кедергілерге төзімділігін арттырып, жоғалтулар жоғары болған жағдайда да тұрақты байланыс қамтамасыз етуге көмектеседі.

2.6 DAS технологиясында антеннаны орнату

Нәтижесінде, антенналардың орналасуын оңтайландыру және олардың техникалық сипаттамаларын түзету арқылы байланыс сапасын жақсарту тек пайдаланушылардың қанағаттануын арттырып қана қоймай, сонымен қатар желі ақауларының санын азайтып, жиі техникалық қызмет көрсету қажеттілігін төмендету арқылы желіні ұстауға кететін шығындарды да қысқартады. Бұл әсіресе байланыс сапасы мен сенімділігіне жоғары талап қоятын корпоративтік клиенттер үшін аса маңызды.



2.12-сурет – Антенналардың әртүрлі конфигурацияларындағы сигнал кідірістері

2.12-суретте сигнал кідірістері әртүрлі антенна конфигурацияларын қолдану жағдайларында қалай өзгередіні көрсетілген. Бұл параметрді түсіну — видеоконференциялар немесе бұлтты есептеулер сияқты жоғары өткізу қабілеті мен төмен кідірісті талап ететін қосымшалар үшін аса маңызды.

RTEL компаниясының кеңсесінде бөлінген антенна жүйелерін (Distributed Antenna Systems – DAS) оңтайландыру үшін ғимараттың физикалық ерекшеліктері мен пайдаланушылардың қажеттіліктерін жан-жақты түсіну қажет. Модельдеу нәтижелері антенналардың орналасуын, түрін және орнату биіктігін жоспарлау үшін пайдалануға болатын құнды деректерді ұсынады бұл максималды қамтуды қамтамасыз етіп, сигналдың кідірістері мен жоғалтуларын азайтуға көмектеседі.

Осы зерттеулер нәтижелерін қолдану стандартты шешімдер тиімсіз болатын ғимарат ішіндегі мобильді байланыс сапасын айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде пайдаланушылардың қанағаттануын арттырып, жұмыс процестерін оңтайландырады, ал бұл – тұрақты және жылдам мобильді байланысқа тәуелді бизнес үшін өте маңызды.

Ішкі 5G бөлінген антенна жүйелерін модельдеу тиімді және бейімделетін телекоммуникациялық желілерді құру стратегиясының негізгі элементі болып табылады. Осы зерттеу аясында атқарылған жұмыс модельдеу технологияларының желі жоспарлау процесін, әсіресе RTEL тәрізді кеңселердің күрделі ішкі жағдайларында, қалай жақсартылатынын көрсетеді. Сигналдардың таралу принциптерін және олардың қоршаған ортамен өзара әрекетін түсіну заманауи телекоммуникация саласының ажырамас бөлігі саналатын неғұрлым тиімді және сенімді желілерді құруға мүмкіндік береді.

2.3-кестеде 5G желілері үшін ішкі бөлінген антенна жүйелерінің (DAS) модельдерін талдау барысында қолданылған негізгі параметрлер мен сипаттамалар көрсетілген. Бұл кесте зерттеу барысында алынған мәліметтерді жүйелеуге және жоспарлауды оңтайландыруға көмектеседі.

Кесте 2.3 – Ішкі DAS 5G моделдеуге арналған параметрлер

Параметрі	Мағынасы	Ескертулер
Антенна түрі	Бағыт/Омни	Таңдау керек аймақты қамтуға байланысты
Антенналарды орнату биіктігі	0.8 м, 1.5 м, 2.5 м	Оптималды биіктік алдын ала сынақтар негізінде таңдалады
Бөлме материалдары	Бетон, стекло, металл	Сигнал жоғалтуы мен шашырауына әсері
Жиілік диапазоны	3.5 ГГц, 5 ГГц	Желінің спецификацияларына және өткізу қабілеті талаптарына байланысты
Күшейту коэффициенті	3 dB, 6 dB, 12 dB	Қажетті сигнал сапасын қамтамасыз ету үшін таңдалады
Ең жоғары қуат	20 Вт, 30 Вт, 50 Вт	Қамту аймағының көлеміне және антеннаның орналасуына байланысты
Антенналардың орналасуы	Ішкі/Сыртқы	Сигналдың тығыздығына және таралуына әсер етеді

Бұл кесте инженерлер мен жоспарлаушыларға ғимарат ішіндегі әрбір нақты аймақ үшін оңтайлы параметрлерді анықтауға көмектеседі, бұл сигналдың тиімді қамтылуын және трассалардағы жоғалтуларды минимизациялауды қамтамасыз етеді. Антеннаның түрін, оның орнатылу биіктігін және басқа

параметрлерді таңдау желілік инфрақұрылымның жалпы сапасына әсер етіп, ғимарат ішіндегі тұрақты және жоғары өнімді желіні құруға ықпал етеді.

3. 5G желілерінде DAS технологиясын тәжірибелік анализ жасау

3.1 5G DAS жүйесінің бастапқы қамтуын талдау және жоспарлау

5G DAS жүйесінің тиімділігі мен қамту сапасын Fablab ғимаратында барынша арттыру үшін нақты жоспарлау мен ағымдағы жағдайды ескеру қажет.

Бастапқы қадам ретінде қамту аумағын талдау жүргізіледі, бұл үшін сигнал деңгейін көрсететін жылу картасы пайдаланылады. Бұл әдіс әлсіз немесе тым күшті сигнал байқалатын аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді. Мұндай талдау проблемалық аймақтарды дәл табуға және болашақта қандай шаралар қабылдау керектігін жоспарлауға септігін тигізеді.

Жоспарлау барысында қабырғалар, бөлімдер және жиһаз сынды физикалық кедергілердің радиосигналға әсерін ескеру маңызды. Қамтуды дәлірек болжау үшін ғимараттың құрылымдық элементтері желі жобалау бағдарламасына енгізіледі. Қажет болған жағдайда антенналар биік нүктелерге немесе кедергілері аз аймақтарға орналастырылады. Антенналарды орналастыру сигналы біркелкі таралатындай етіп ұйымдастырылады, бұл «соқыр аймақтардың» пайда болу ықтималдығын төмендетеді. Сонымен қатар, антенналар арасында кедергілер болмас үшін олардың арасындағы қашықтық оңтайлы болуы тиіс.

Антенналардың қуат деңгейін дұрыс орнату – сигналдың шамадан тыс күшеюінен болатын кедергілерді болдырмаудың негізгі шарты. Дегенмен, сигнал бүкіл қажетті аумақты қамту үшін жеткілікті деңгейде болуы керек. Сондай-ақ, радиотолқындардың шағылуы мен дифракциясын пайдалану пайдалы болуы мүмкін. Антенналарды бұрыштар мен шағылысатын беттерге жақын орналастыру арқылы сигналды қиын жететін аймақтарға да жеткізуге болады. Жүйе орнатылғаннан кейін пилоттық сынақ жүргізіліп, қамту сапасы бағаланады. Fablab қызметкерлерінен алынған кері байланыс арқылы әлсіз немесе тұрақсыз сигнал байқалатын аймақтар анықталады.

Сынақ нәтижелеріне сүйене отырып, жүйеге кезең-кезеңімен түзетулер енгізіледі. Бұл түзетулер антенналар қуатының өзгеруі, олардың жаңа орындарға ауыстырылуы немесе қосымша жабдықтың орнатылуын қамтуы мүмкін.

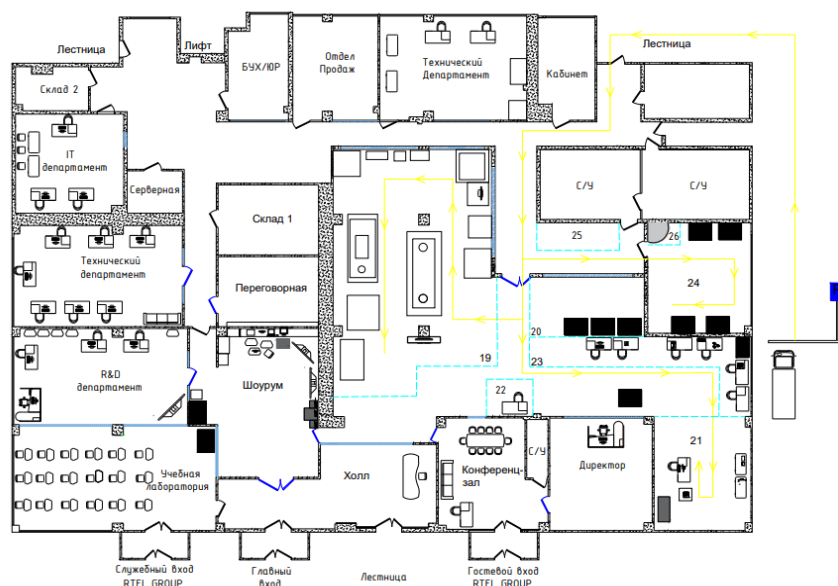
Жасалған әр өзгеріс тіркеліп, бүкіл процестің ашықтығы мен енгізілген жақсартулардың тиімділігін бағалау мүмкіндігі қамтамасыз етіледі. Мұндай тәсіл жүйені қазіргі уақытта ғана емес, болашақта жаңғырту мен жетілдіруге де мүмкіндік береді, нәтижесінде Fablab ғимаратында тұрақты әрі сапалы байланыс қамтамасыз етіледі.

3.2 Fablab ғимаратындағы 5G DAS жүйесінің қамту аймағын жобалау және оңтайландыру

5G DAS жүйесінің қамту аймағын оңтайландыру бұл мұқият жоспарлауды, нақты іске асыруды және кейінгі бақылауды талап ететін кешенді процесс.

Жоғарыда сипатталған тәсілдерді тәжірибеде қолдану желілік инфрақұрылым сапасын арттыруға, қызметкерлердің жұмыс тиімділігі мен қанағаттанушылығын жоғарылатуға мүмкіндік береді.

Төменде көрсетілген суретте Fablab ғимаратында 5G DAS (таратылған антенна жүйесі) орнатылуы жоспарланған аймақтың жоспары берілген. Жүйе барлық жұмыс аймақтарын сапалы 5G сигналымен қамту үшін арнайы жобаланады және заманауи кеңсе инфрақұрылымына қойылатын талаптарды ескере отырып іске асырылады. Антенналардың орналасуы тұрақты және сенімді байланыс қамтамасыз етілетіндей етіп оңтайландырылатын болады бұл мәжіліс бөлмелерін, жұмыс аймақтарын, конференц-залдарды және ашық кеңсе алаңдарын толықтай қамтиды.



3.1-сурет – Fablab ғимаратының жоспары

3.3 Ағымдағы қамту аймағын талдау

D-Link Planner Pro бұл сымсыз желілерді жобалау және жоспарлау үшін арналған құрал. Бұл бағдарлама көбінесе ішкі және сыртқы кеңістікте Wi-Fi кіру нүктелерін оңтайлы орналастыру жоспарын құру, сондай-ақ қажетті жабдықтарды және желілік қамтуды бағалау үшін пайдаланылады. Аталған бағдарламаның көмегімен Fablab ғимаратында 5G DAS жүйесін орналастыру жүзеге асырылады. Ғимарат жоспары жоғарыда ұсынылған.

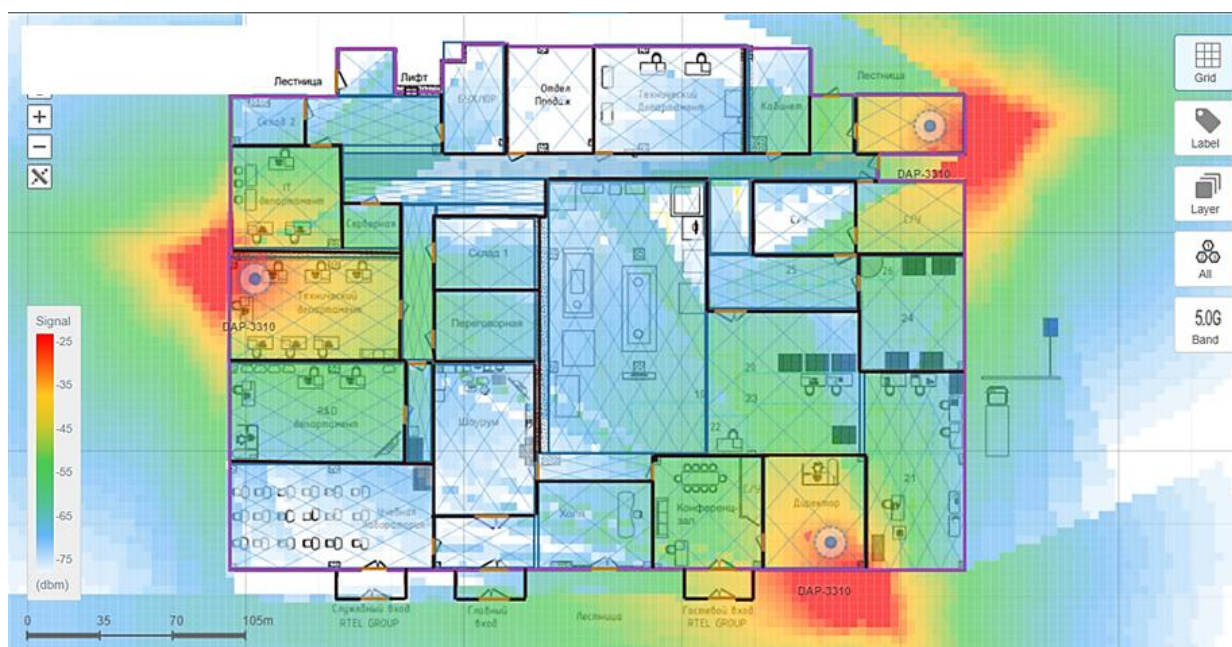
D-Link Planner Pro бағдарламасы антенналар мен қажетті жабдықтардың ең қолайлы орнын анықтауға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде Fablab ғимаратындағы барлық жұмыс және қоғамдық аймақтарда тұрақты 5G желілік қамтуын қамтамасыз етуге көмектеседі. Осы құралды қолдана отырып, біз антенналарды орнатудың ең тиімді нүктелерін дәл анықтай аламыз, бұл заманауи

жұмыс кеңістігі үшін маңызды саналатын 5G сигналының сапалы және тұрақты берілуіне кепілдік береді.

Алғашқы кезеңде 5G Indoor базалық станциясы арқылы Fablab ғимаратының қамту аймағы модельденді. Бастапқыда ғимарат 5G желісімен үш 5G Indoor базалық станция арқылы жабдықталған болатын, олар кеңістіктің шеткі бөліктеріне орналастырылған. Жоспарда әрбір станцияның қамту аймағы жылу картасы түрінде бейнеленген.

2.2-суретте ұсынылған жылу картасына сәйкес, ең күшті сигналдар (қызыл және сары түстер) базалық станцияларға жақын орналасқан аймақтарда байқалады, бұл шамамен -25 дБм-ден -35 дБм-ге дейінгі деңгейге сәйкес келеді. Станциядан қашықтық артқан сайын, сигнал деңгейі әлсіреп, картада жасыл және көк түстермен белгіленген аймақтарға ауысады, бұл шамамен -45 дБм-ден -75 дБм аралығын білдіреді. Кейбір аймақтарда, әсіресе ғимараттың орталық және жоғарғы бөліктерінде, сигнал деңгейі -75 дБм-ден төмен, яғни қамту жоқ немесе өте әлсіз екені байқалады (көк түс).

Аталған мәліметтер Fablab ғимаратындағы кейбір учаскелерде 5G желісі жақсы жұмыс істесе де, бірқатар «өлі аймақтардың» бар екенін көрсетеді. Мұндай аймақтарда сигнал деңгейінің жеткіліксіз болуы сенімді байланыс орнатуға кедергі келтіруі мүмкін. Бұл мәселені шешу үшін қосымша 5G Indoor базалық станцияларын орнату немесе қолданыстағыларын күшейту қажет болады, алайда бұл тәсіл шығынды әрі энергияны көп қажет ететін шешім болып табылады.



3.2-сурет – Fablab ғимаратындағы бастапқы 5G Indoor базалық станцияларымен қамтамасыз етілген қамту аймағы

Құрылымдық элементтер сияқты физикалық кедергілердің болуымен түсіндіріледі. 5G сигналы жоғары жиіліктерде жұмыс істейтіндіктен, деректерді

жылдам жеткізуге мүмкіндік береді, бірақ сонымен қатар қатты материалдар арқылы өту қабілеті шектеулі. Сол себепті мұндай кедергілер радиотолқындардың таралуын қиындатып, қамту сапасын төмендетеді.

3.4 Fablab ғимаратында 5G DAS жүйесін орналастыру және қамтуды оңтайландыру

Сигналдың әлсіздігін жою және бүкіл кеңістікте тұрақты байланысты қамтамасыз ету мақсатында Fablab ғимаратында 5G DAS жүйесін енгізу жоспарланып отыр. Бұл жүйе жеткіліксіз қамтылған аймақтарда қосымша антенналар орнатуды қарастырады. Антенналар ғимараттың кілттік нүктелерінде орналастырылып, сигналдың біркелкі таралуына мүмкіндік береді. Мұндай шешім «өлі аймақтардың» алдын алып, барлық пайдаланушылар үшін жоғары жылдамдықтағы тұрақты байланысты қамтамасыз етеді.

Жүйені тиімді іске асыру үшін маңызды қадамдардың бірі – дұрыс антеннаны таңдау. 5G DAS жүйесіне арналған антенналарды таңдағанда, олардың қуаттылығы мен қамту радиусынан бөлек, заманауи байланыс стандарттарын, әсіресе 5G технологияларын қолдауын ескеру қажет. Әр түрлі сипаттамаларға ие антенналар арасынан, 2.1-кестеде көрсетілген модельдер қамту аумағы мен сигнал беру қуатына байланысты ең қолайлы нұсқалар ретінде ұсынылады.

Кесте 3.1 – Антенналардың техникалық сипаттамалары

Антенна	DBA-X2830P (Omni)	DWL-6620APS (Omni)	DWL-7620AP (Omni)
Стандарттар	a/b/g/n/ac/ax	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac
2.4G қуаты	29 dBm, қамту 198.70 м²	25 dBm, қамту 157.83 м²	26 dBm, қамту 157.83 м²
5G қуаты	28 dBm, қамту 121.81 м²	25 dBm, қамту 112.81 м²	26 dBm, қамту 104.48 м²

DBA-X2830P (Omni): Бұл антенна 2.4 ГГц және 5 ГГц жиіліктерінде ең жоғары қуат пен кең қамту аумағын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, Wi-Fi 6 (802.11ax) секілді заманауи стандарттарды қолдайды. Бұл сипаттамалар оны 5G DAS жүйелеріне арналған ең тиімді шешімдердің біріне айналдырады.

DWL-6620APS (Omni): Бұл модель де 2.4 және 5 ГГц жиіліктерінде жақсы қуат пен сенімді қамтуды қамтамасыз етеді. Ол орта көлемдегі ішкі кеңістіктерде тұрақты 5G байланысын ұйымдастыру үшін тиімді нұсқа болып табылады.

DWL-7620AP (Omni): Бұл антенна жоғары қуат пен жақсы қамтуды ұсынады. Егер басты назар тұрақты қосылуға аударылса, бұл модель де қолайлы шешім бола алады.

DBA-X2830P моделі ең жоғары өнімділікті және соңғы байланыс стандарттарын қолдайды, бұл оны желіні кеңейту мен жаңғырту үшін ұзақ

мерзімді перспективада ең оңтайлы таңдау етеді. Осы себепті бұл жоба аясында дәл осы антенна түрі таңдалды.

3.5 5G DAS жүйесін оңтайландыру

Fablab ғимаратындағы желілік инфрақұрылымды жетілдіру жоспарлары аясында ең алдымен антенналарды қолмен орналастыру арқылы жұмыс аймақтарында 5G сигналының сапалы қамтылуын қамтамасыз ету көзделіп отыр. Таратылған антенналар жүйесін қолмен орналастыру процесі 2.2-суретте көрсетілген.

Антенналар кеңсе кеңістігінің әрбір бөлігін, соның ішінде бұрын қамту деңгейі жеткіліксіз болған аймақтарды да сапалы сигналмен қамтитындай етіп орналастырылады. Әсіресе, бұған дейін «өлі аймақ» ретінде анықталған сату бөліміне ерекше назар аударылатын болады. Бұл аймақ сенімді байланыс пен жоғары жылдамдықтағы интернетке қол жеткізу үшін қосымша сигнал күшейтуді қажет етті.



3.3-сурет – Fablab ғимаратында 5G DAS жүйесін қолмен орналастыру нәтижесі

5G DAS жүйесінің қамтуын қолмен оңтайландыру – сигналдың кеңсе аумағында біркелкі әрі сапалы таралуына қол жеткізудің маңызды кезеңі болып табылады. Ағымдағы қамту жағдайы мұқият талданып, алынған нәтижелер негізінде антенналар қайта орналастырылады. Бұл әлсіз сигнал аймақтарын жойып, Fablab ғимаратының әр бұрышында сенімді байланыс пен жоғары жылдамдықты интернетке қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Жүйені жетілдіру барысында негізгі назар жұмыс процестері жиі жүзеге асырылатын аумақтарға аударылды. Бұрын байланыс проблемалары байқалған орындар ерекше бақылауға алынып, антенналардың орналасуы мен параметрлері тиімді радиожиілік ресурстарын пайдалану принциптеріне сәйкес мұқият реттелді. Мұндай тәсіл кеңсе кеңістігінің барынша тиімді қамтылуын қамтамасыз етуге бағытталған.

Осы атқарылған жұмыстардың нәтижесі 3.4-суретте ұсынылған жаңартылған сигналдың жылу картасында көрсетіледі. Бұл карта жақсартылған қамту аймақтарын көрнекі түрде бейнелеп, жүйенің әрі қарай жетілдірілуі үшін нақты бағыт береді.



3.4-сурет – Fablab ғимаратында 5G DAS жүйесін қолмен оңтайландыру нәтижесі

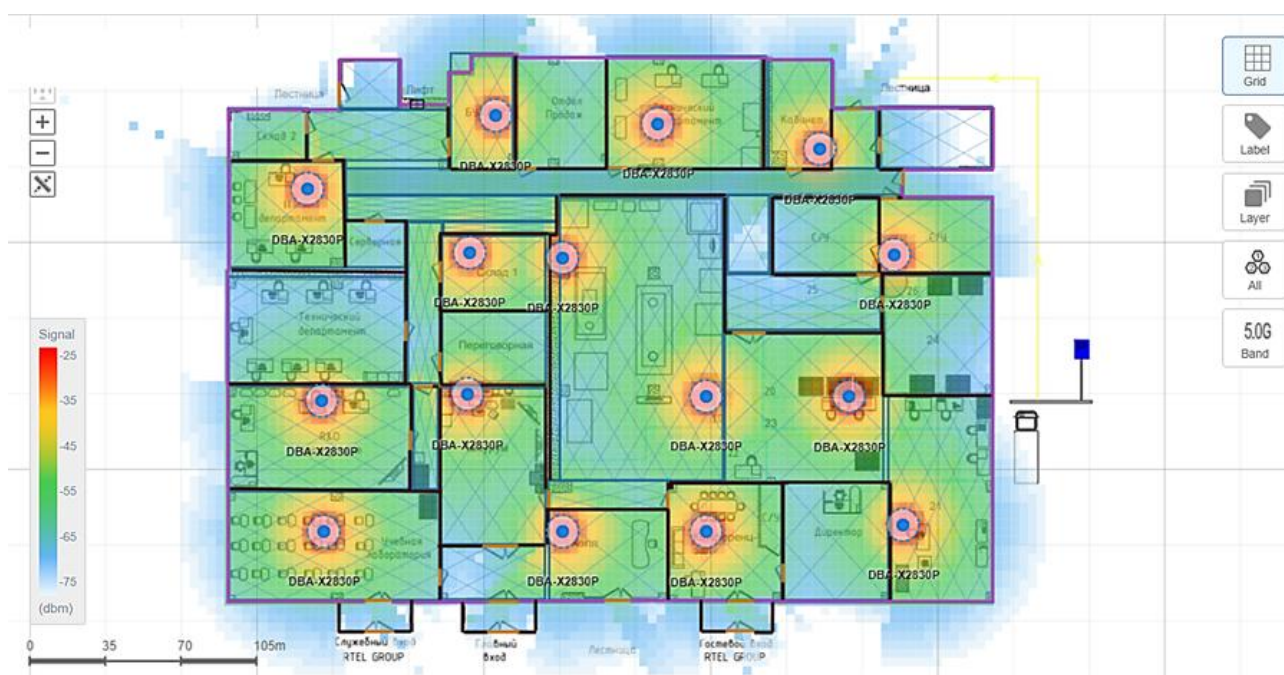
3.4-суретте Fablab ғимаратында 5G DAS жүйесіне арналған антенналарды қолмен оңтайландыру нәтижесі бейнеленген. Жүргізілген жұмыс нәтижесінде айтарлықтай жақсартуларға қол жеткізілгенімен, кейбір аймақтарда сигнал деңгейі әлі де жеткіліксіз болып отыр. Бұл әсіресе көк түстермен белгіленген аумақтарда байқалады – бұл сигнал деңгейінің -75 дБм-ден төмен екенін көрсетеді және қамтудың әлсіздігін білдіреді.

Мұндай аумақтар көбіне бұрыштарда немесе физикалық кедергілердің артында орналасқандықтан, қосымша назарды талап етеді. Осы жағдайларды ескере отырып, жүйені әрі қарай оңтайландыру мақсатында арнайы D-Link Planner Pro бағдарламалық жасақтамасын қолдану жоспарлануда. Аталған құрал сигнал таралуын кеңістікте нақтырақ модельдеуге мүмкіндік береді, бұл антенналардың қуаты мен орналасуын тиімдірек реттеуге және жүйеге қажетті

түзетулер енгізуге көмектеседі. Нәтижесінде, кеңсе кеңістігінің барлық жұмыс аймақтарында тұрақты және сапалы қамтуға қол жеткізіледі.

Бастапқыда 5G DAS жүйесін қолмен жобалау барысында Fablab ғимаратына 13 антенна орнату жоспарланған болатын. Алайда қамтудың әлсіз аймақтарын мұқият зерттеп, қолмен оңтайландыру жүргізілгеннен кейін, тағы бір антенна қосу туралы шешім қабылданды. Осылайша, орнатылған антенналардың жалпы саны 14-ке жетті. Бұл өзгеріс тұрақты байланысты қамтамасыз ету үшін қажетті шара болды.

Келесі кезеңде D-Link Planner Pro бағдарламасы арқылы жүйені тереңірек талдау және оңтайландыру процесін автоматтандыру жүзеге асырылады. Бұл бағдарлама ғимараттың архитектуралық ерекшеліктерін ескеріп, сигнал таралуына әсерін дәл модельдеуге мүмкіндік береді. Осы арқылы қажетті антенналар санын және олардың тиімді орналасуын есептеп, ресурстарды үнемді әрі тиімді пайдалануға болады. Жүйе ұсынған нәтижелер мен қолмен жасалған бастапқы шешімдер салыстырылып, олардың тиімділігі бағаланады.



3.5-сурет – Fablab ғимаратындағы 5G DAS жүйесін D-Link Planner Pro арқылы оңтайландыру нәтижесі

3.5-суретте Fablab ғимаратында 5G желісінің қамтуын арнайы бағдарламалық жасақтама арқылы оңтайландыру нәтижелері көрсетілген. Жүйені оңтайландыру барысында орнатылған антенналардың саны 14-тен 16-ға дейін артты. Бұл қосымша антенналар мен 5 ГГц жиілігінде олардың жұмыс параметрлерін нақты реттеу нәтижесінде ғимарат ішіндегі желілік қамту сапасы айтарлықтай жақсарды.

Жаңартылған жылу картасын талдау нәтижелері көрсеткендей, енді кеңсе кеңістігінің басым бөлігінде сигнал деңгейі жоғары диапазонда орналасқан.

Бұрын байқалған –75 дБм-ден төмен сигнал деңгейі бар аймақтар енді сирек кездеседі. Қазіргі орташа сигнал деңгейі –60 дБм шамасында немесе одан да жоғары, бұл желі сапасының артқанын білдіреді.

Мұндай жетілдірулер әсіресе жоғары сапалы байланыс талап етілетін аймақтарда маңызды — мысалы, келіссөз бөлмелерінде, ашық жұмыс кеңістіктерінде және сату бөлімінде, мұнда тұрақты байланыс күнделікті операциялардың тиімділігі үшін аса қажет.

Жүргізілген тәжірибе 5G DAS жүйесінің бастапқыда 5G Indoor базалық станцияларымен қамтамасыз етілген қамтуға қарағанда әлдеқайда жоғары тиімділігін көрсетті. Осы оң нәтижеге сүйене отырып, Fablab ғимаратының бірінші қабатындағы тәжірибені үш қабатты қамтитын толық масштабтағы жүйеге дейін кеңейту жоспарлануда.

Жүйенің негізгі элементі – Main Unit (басқару блогы), ол бірінші қабаттағы шоурумда орнатылады. Бұл орталық блок сигналды басқару және бүкіл жүйе бойынша оны тарату функцияларын орындайды. Әр қабатта Remote Unit (қашықтағы блоктар) орналастырылады, олар өз деңгейіндегі 5G сигналын таратуға жауап береді. Барлық Remote Unit құрылғылары Main Unit-пен оптикалық талшық арқылы қосылады, бұл деректерді жоғары жылдамдықпен жеткізу мен сигнал кідірісін барынша азайтуға мүмкіндік береді. Осылайша, ғимараттың барлық аумағында тұрақты және сапалы 5G қамтуды қамтамасыз ететін бірыңғай интеграцияланған жүйе қалыптасады.

3.6 5G DAS жүйесіндегі сигнал деңгейінің есептік моделі

Осы бөлімде алдыңғы тарауларда сипатталған сәулелерді бақылау алгоритміне негізделген есептеулер келтірілген. Бұл есептеулердің басты мақсаты радиосигналдың ғимарат ішіндегі таралуындағы жалпы шығындарды анықтау, соның ішінде радиотолқындардың енуі мен шағылуына байланысты ерекшеліктерді ескеру.

Жоғары дәлдікке қол жеткізу және жабдыққа кететін шығындарды барынша азайту мақсатында ғимараттың сәулеттік жоспары мен қабырғалардың материалдары туралы ақпарат негізінде қамту аймағын болжауға мүмкіндік беретін модель пайдаланылды.

Есептеулер радиотолқын ұзындығы, сканерлеу бұрышы, кедергілерге дейінгі арақашықтық және материалдардың диэлектрлік қасиеттері секілді алдын ала берілген сәуле параметрлеріне негізделді. Зерттеу барысында есептеу дәлдігін сақтай отырып, уақыт пен қаржыны үнемдеуге баса назар аударылды.

Төменде сигналдың әртүрлі құрылыс материалдары арқылы өту кезіндегі шығындарын ескеретін әдістер мен жабдықты орналастырудың оңтайлы нүктелерін анықтауға арналған формулалар ұсынылған.

Сигнал деңгейін есептеу келесі радиотолқын таралуындағы жалпы шығындар формуласымен анықталады [4]:

$$L_{06} = 10 * \lg \frac{P_T}{P_0} [dBm] + L_0 [dB] + \dot{T} [dB], \quad (1.1)$$

мұндағы P_T – сәуле шығаратын көздің таратқыш қуаты;

P_0 – анықтамалық (эталондық) қуат деңгейі;

L_0 – бос кеңістіктегі таралу шығындары;

$\dot{T}$ – кешенді өтімділік коэффициенті (радиотолқындардың түрлі орталар арқылы таралу сипаттамаларын ескеретін коэффициент).

$$L_0 = 20 * \lg \frac{\lambda}{4 * \pi * d} \quad (1.2)$$

мұндағы λ – толқын ұзындығы, мұнда $\lambda = 12 \times 10^{-2}$ м;

d – кедергіге дейінгі арақашықтық.

$$\dot{T} = \frac{(1 - R_c^2) * e^{(-i * 2 * \delta)}}{1 - R_c^2 * e^{(-i * 2 * \delta)}} (\text{өткізу коэффициенті}) \quad (1.3)$$

$$\delta = \sqrt{\eta - (\sin \theta)^2} * \frac{2 * \pi * d}{\lambda} \quad (1.4)$$

мұндағы d – құрылыс материалының қалыңдығы;

η – кедергі материалының диэлектрлік өтімділік коэффициенті (мысалы, гипсокартон үшін);

θ – сканерлеу сәулесінің кедергі бетіне түсу бұрышы.

$$R_c = \frac{(R_n + R_p)}{2} (\text{шеңберлі поляризация}) \quad (1.5)$$

$$R_n = \frac{(\cos \theta - \sqrt{\eta - (\sin \theta)^2})}{(\cos \theta + \sqrt{\eta - (\sin \theta)^2})} \quad (1.6)$$

R_n – шағылу жазықтығына перпендикуляр бағытталған Е-өрісінің компоненті.

$$R_p = \frac{(\cos \theta - \sqrt{\frac{\eta - (\sin \theta)^2}{\eta^2}})}{(\cos \theta + \sqrt{\frac{\eta - (\sin \theta)^2}{\eta^2}})} \quad (1.7)$$

R_p – шағылу жазықтығына параллель бағытталған Е-өрісінің компоненті.

$$T_{db} = 20 * \log (|\dot{T}|) \quad (1.8)$$

1.1–1.8 формулалар тізбегімен берілген сканерлеу сәулесінің бағытында ішкі кеңістіктегі сымсыз желінің қамту аймағын есептеу алгоритмін қолдана отырып, есептеу жүргізіледі.

$$L_{06} = 10 * \lg \frac{28}{0,1} [dBm] + (-73.91)[dB] + (-0.6)[dB] = -50,04 dB;$$

Біздің жағдайда: $P_T = 28$ (таратқыштың қуаты, дБм);
 $P_0 = 0.1$ (анықтамалық қуат, Вт).

$$2) L_0 = 20 * \lg \frac{12 * 10^{-2}}{4 * 3.14 * 47.4} = -73.91 dB;$$

Орташа қашықтықты (**d**) есептеу үшін әрбір антеннадан ең жақын кедергіге дейінгі арақашықтықты өлшеп, барлық мәндерді қосу арқылы жалпы антенна санына бөлу қажет.

Өлшеу нәтижесінде антенналардан кедергілерге дейінгі арақашықтықтар анықталды, бұл мәндер 4.3-кестеде келтірілген.

Кесте 3.2 – d параметрі мәндері

Антенна нөмірі	Ең жақын кедергіге дейінгі арақашықтық
1	53.5 м
2	39.5 м
3	35.5 м
4	28.5 м
5	29.5 м
6	39.5 м
7	45 м
8	59.9 м
9	29.5 м
10	92.4 м
11	75.5 м
12	40 м
13	37 м
14	49 м
15	70 м
16	34.5 м

$$d_{\text{орташа}} = \frac{759.8}{16} = 47.4 \text{ м}$$

$$3) \dot{T} = \frac{(1-0^2) * e^{(-i * 2 * 0.93)}}{1-0^2 * e^{(-i * 2 * 0.93)}} = -0.2 - 0.9i;$$

$$4) \delta = \sqrt{2 - (\sin 0)^2} * \frac{2 * 3.14 * 0,0125}{12 * 10^{-2}} = 0,93;$$

$$5) R_c = \frac{(-0,17 + 0,017)}{2} = 0;$$

$$6) R_n = \frac{(\cos 0 - \sqrt{2 - (\sin 0)^2})}{(\cos 0 + \sqrt{2 - (\sin 0)^2})} = -0,17;$$

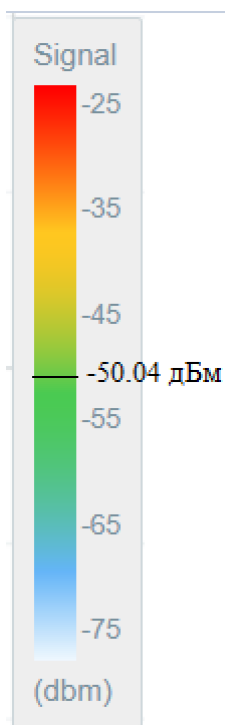
$$7) R_p = \frac{(\cos 0 - \sqrt{\frac{2 - (\sin 0)^2}{2^2}})}{(\cos 0 + \sqrt{\frac{2 - (\sin 0)^2}{2^2}})} = 0.17;$$

$$8) T_{ab} = 20 * \log(|-0,5 + 0,8i|) = -0.6$$

Сәулені қадағалау алгоритмі негізінде сымсыз желінің қамту аймақтарын есептеу нәтижелерін талдау қорытындысы бойынша, Fablab ғимаратында радиосигналдың жалпы таралу шығыны $-50,04$ дБ деңгейінде анықталды. Бұл нәтиже кеңсе кеңістігінің барлық аймақтарында сигналдың жоғары деңгейде екенін және энергия шығынының минималды екенін көрсетеді. Мұндай көрсеткіш енгізілген қамту жүйесін оңтайландыру шараларының тиімді болғанын және сымсыз байланыс сапасына қойылатын талаптарға сай келетінін дәлелдейді.

Жүргізілген өлшеулер мен есептеулерге сүйене отырып, сигнал көздерін орналастыруға арналған әдістеме мен қамту аймақтарын есептеу тәсілі оңтайлы болғанын айтуға болады. Бұл шаралар 5G сигналының кеңсе кеңістігі бойынша біркелкі және тұрақты таралуын қамтамасыз етті.

Қамтудың жылу картасында (3.6-сурет) $-50,04$ дБ мәндері жасыл түспен белгіленген, бұл әдетте сигнал сапасының жоғары деңгейін және сенімді байланыс бар екенін білдіреді. Бұл көрсеткіштер желіні жобалау барысында қабылданған инженерлік шешімдердің дұрыс екенін және кеңсе кеңістігінің күрделі архитектуралық жағдайларында сымсыз инфрақұрылымның тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ете алатынын растайды.



3.6-сурет – $50,04$ дБм деңгейіндегі сигнал қуатының түсті индикатор шкаласы

Осылайша, алгоритм жұмысының нәтижелері мен олардың эксперименттік өлшеулер арқылы тексерілуі теориялық есептеулердің дұрыстығын ғана емес, сонымен қатар қолданылған радиосигналды оңтайландыру әдістерінің нақты тиімділігін де растады. Бұл тәсілді ұқсас жағдайлары бар басқа ғимараттарда 5G DAS жүйесін орналастыру немесе жаңғырту барысында да тиімді қолдануға болатынын көрсетеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыста 5G байланыс желілеріндегі сигнал сапасын жақсарту мақсатында сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру жолдары қарастырылды. Жоғары жиілікті радиосигналдардың құрылыс элементтері арқылы таралуы кезінде әлсіреу мәселесін шешу үшін DAS (Distributed Antenna System) технологиясы негізінде ішкі кеңістіктегі қамтуды оңтайландыру әдістері қолданылды.

Fablab ғимаратын зерттеу нысаны ретінде алып, 5G сигналын ғимарат ішіне тиімді таратудың инженерлік шешімдері ұсынылды. DAS жүйесінің көмегімен антенналар кеңістікте стратегиялық тұрғыдан орналастырылып, әлсіз сигнал аймақтары жойылды. Сәулені қадағалау алгоритмі және D-Link Planner Pro бағдарламалық жасақтамасы арқылы қамту аймағының нақты моделі құрылып, сигналдың таралуы жоғары дәлдікпен есептелді.

Жүргізілген оңтайландыру нәтижесінде сигнал деңгейі орта есеппен – 50,04 дБм көрсеткішіне жетті, бұл тұрақты және сапалы байланыс үшін жеткілікті мән болып табылады. Қосымша антенналар орнату арқылы қамту тиімділігі артып, әсіресе маңызды аймақтарда – келіссөз бөлмелері, сату бөлімі мен ашық кеңселерде – сенімді 5G байланысы қамтамасыз етілді.

Зерттеу нәтижелері DAS технологиясын 5G желілерінде сигнал сапасын жақсартудың тиімді құралы ретінде қолдануға болатынын дәлелдеді. Бұл тәсіл болашақта басқа да күрделі ғимараттарда 5G инфрақұрылымын енгізу немесе жаңғырту кезінде инженерлік негіздеме ретінде пайдаланылуы мүмкін.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Радиочастоты для сетей 5G.// <https://itechinfo.ru/node/129> (қаралған күні: 08.03.2025).
- 2 Christofer Larsson. 5G Networks Planning, Design and Optimization 1st Edition/ Academic Press, 2018. - 418 стр
- 3 Hussain Sk.S. et al. An overview of massive MIMO system in 5G // International Science Press, I J C T A. 2016. P. 4957-4968.
- 4 Чугунов, А.В. Методика расчета координаты заданной зоны покрытия для беспроводной сети внутри помещений, сооружений для произвольного луча сканирования от источника излучения до приемника // Вестник СГТУ. 2015. № С. 164–171.
- 5 Повещенко, М.И. Моделирование сетей 5G внутри помещений // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. № 5. С. 8–11. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-5-8-11.
- 6 И.Степанец, Г.Фокин. особенности реализации Massive MIMO в сетях 5G/ Первая миля., 2018 – 50

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы студенті
Кулжанов Арман Галымович
Дипломдық жұмысқа
СЫН-ПІКІР

Тақырыбы: «5G байланыстағы сигнал сапасын жақсарту үшін сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру»

Дипломдық жұмыс «5G байланыстағы сигнал сапасын жақсарту үшін сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру» тақырыбындағы жұмыс 5G желісіндегі сигнал сапасын арттыру мақсатында сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіруге арналған. Студент зерттеу барысында ішкі кеңістіктегі радиосигнал таралуының ерекшеліктерін, кедергілер әсерін және қуат шығынын жан-жақты талдай отырып, DAS технологиясын қолдану арқылы антенналарды тиімді орналастыру, сигналдың қамту аймағын кеңейту секілді нақты инженерлік шешімдер негізделген.

Сонымен қатар D-Link Planner Pro бағдарламасының көмегімен қамту аймағының картасы құрылып, антенна саны мен орналасуы оңтайландырылған. Теориялық есептеулер мен модельдеу нәтижелері нақты өлшеу деректерімен растаған. Ішкі кеңістікте сигнал таралуындағы шығын $-50,04$ дБм деңгейінде екені анықталған. Бұл көрсеткіш тұрақты және сапалы 5G байланысын қамтамасыз ету үшін жеткілікті екенін дәлелдейді. Студент қойылған ғылыми-техникалық тапсырманы толық көлемде орындап, жобалауға қажетті практикалық және теориялық білімін көрсетті. Жұмыстың мазмұны өзекті, құрылымы жүйелі, техникалық талаптарға сай орындалған.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТК талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғары дәрежеде жазылған.

Жалпы, дипломдық жұмысқа «өте жақсы» (95%) деген баға, ал студент Кулжанов Арман Галымович 6B06201 Телекоммуникация білім беру бағдарламасының «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар бакалавры» дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Пікір беруші:

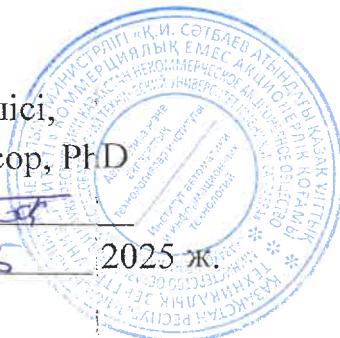
Ғылыми жетекшісі,
қауымд.профессор, PhD

Хабай А.

«26»

05

2025 ж.



6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы студенті
Кулжанов Арман Галымович
Дипломдық жұмысқа
СЫН-ПІКІР

Тақырыбы: «5G байланыстағы сигнал сапасын жақсарту үшін сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру»

Дипломдық жұмыстың тақырыбы «5G байланыстағы сигнал сапасын жақсарту үшін сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру» – заманауи телекоммуникациялық технологиялардың маңызды бағыты болып табылады. Бұл зерттеу 5G желілеріндегі сигналдардың таралу сапасы мен тұрақтылығын арттыру мәселесіне бағытталған және техникалық тұрғыдан өте өзекті.

Жұмыста 5G технологиясының негізгі сипаттамаларды жоғары жылдамдық, төмен кешігу, жоғары жиілікті диапазондар қарастырылған. Осы шеңберде сигнал күшейткіштердің ролі ерекше атап өтіледі. Зерттеуде күшейткіштердің негізгі параметрлері сызықтылық, қуат тиімділігі және шу деңгейі нақты талданып, оларды жетілдіру әдістері ұсынылған.

Жұмыс теориялық және практикалық тұрғыдан да жеткілікті тереңдікте орындалған. Автор заманауи әдебиеттерге сүйеніп, сонымен қатар имитациялық модельдеу арқылы өз ұсыныстарын дәлелдеген. Сызбалық және графиктік материалдар жеткілікті, тақырыпқа сай және түсінікті форматта орындалған.

Жалпы, дипломдық жұмысқа «өте жақсы» (92%) деген баға, ал студент Кулжанов Арман Галымович 6B06201 Телекоммуникация білім беру бағдарламасының «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар бакалавры» дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Пікір беруші

Алматы энергетика және

байланыс университеты

профессоры. т.ғ.к.,

Чечимбаева К.С.

«___» _____ 2025 ж.



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Кулжанов Арман Галымович

Тақырыбы: 5G байланыстағы сигнал сапасын жақсарту үшін сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру

Жетекшісі: Сұңғат Марксұлы

1-ұқсастық коэффициенті (30): 8.4

2-ұқсастық коэффициенті (5): 4.5

Дәйексөз (35): 4.6

Әріптерді ауыстыру: 1

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 12

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2025-05-13

Күні



Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Кулжанов Арман Галымович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: 5G байланыстағы сигнал сапасын жақсарту үшін сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 8.4

Коэффициент Подобия 2: 4.5

Микропробелы: 12

Знаки из других алфавитов: 1

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-13

Дата



Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Кулжанов Арман Галымович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: 5G байланыстағы сигнал сапасын жақсарту үшін сигнал күшейткіштердің жұмысын жетілдіру

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 8.4

Коэффициент Подобия 2: 4.5

Микропробелы: 12

Знаки из здругих алфавитов: 1

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-13

Дата



Сұңғат Марксұлы

проверяющий эксперт