

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему «Удосконалення та дослідження мережі мобільного оператора на базі станції UR0885 із підтримкою стандарту LTE-2300»

Виконав: студент 6 курсу, групи 601-ТТ
спеціальності 172 «Телекомунікації та
радіотехніка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Бібік М.В. 
(прізвище та ініціали)

Керівник Шефер О.В. 
(прізвище та ініціали)

Рецензент Падун Ю.О.
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2023 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти - Магістр
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики,
електроніки та телекомунікацій


 _____ О.В. Шефер
 « 04 » _____ 09 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Бібіка Миколи Володимировича

1. Тема проекту (роботи) **«Удосконалення та дослідження мережі мобільного оператора на базі станції UP 0885 із підтримкою стандарту LTE-2300»**
керівник проекту (роботи) **Шефер Олександр Віталійович, д.т.н., проф.**
затверджена наказом вищого навчального закладу від «04» вересня 2023 року № 986-фа
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.12.2023 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Робочий проект «Модернізація мережі мобільного оператора ПрАТ "Київстар". Базова станція UP0885 (GSM-900/DCS-1800/LTE-1800/UMTS-2100/LTE-2300/LTE-2600) в м. Кременчук».
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно дослідити)
 Загальні принципи роботи систем мобільного зв'язку та типи діапазонів частот.
 Розвиток мобільної мережі та поколінь мобільного зв'язку в Україні
 Технологія LTE. Основні характеристики та параметри
 Стандартна інфраструктура та обладнання базової станції (БС).
 Розширення до підтримки стандарту LTE-2300 БС UP0885, м. Кременчук.
 Розробка схеми підключення та підбір проектного обладнання.
 Визначення гранично-допустимого рівня електромагнітного поля поблизу антен БС.
 Висновки та рекомендації по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) Загальні принципи роботи систем мобільного зв'язку. Типи діапазонів частот. Приклади застосування базових станцій (БС) різних діапазонів частот.
 - 2) Розвиток мобільної мережі та поколінь мобільного зв'язку в Україні.
 - 3) Технологія LTE. Основні характеристики та параметри.
 - 4) Основні типи антено-щоглових споруд (АЩС) базових станцій (вежа, щогла, опора, трубостійка).
 - 5) Стандартне АФО базової станції, основні типи антен (панельні, РРЛ), блоків RRU, кабелів, елементи кріплення.

- 6) Стандартне АФО базової станції, основні типи антен (панельні, РРЛ), блоків RRU, кабелів, елементи кріплення.
- 7) Стандартна інфраструктура базової станції на прикладі БС UP0885 (технологічний контейнер з обладнанням, дизель-генераторна установка, несуча опора, АФО).
- 8) Модернізація БС UP0885 з підтримкою стандарту LTE-2300. Вибір обладнання.
- 9) Модернізація БС UP0885 з підтримкою стандарту LTE-2300. Схема та спосіб підключення технологічного обладнання.
- 10) Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС). Загальні дані.
- 11) Аналіз впливу на навколишнє середовище БС UP0885.
- 12) Загальні висновки по магістерській роботі.

6. Дата видачі завдання 02.10.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Предмет та об'єкт дослідження. Актуальність, мета та завдання МР	18.10.23	I	30%	Плакат 1
2	Загальні принципи роботи систем МЗ. Типи діапазонів частот. Приклади застосування				Плакат 2
3	Розвиток мобільної мережі та поколінь МЗ в Україні.				Плакат 3
4	Технологія LTE. Основні характеристики	21.11.23	II	70%	Плакат 4
5	Основні типи АЦС БС				Плакат 5
6	Стандартне АФО БС, основні типи антен, блоків RRU, кабелів, елементи кріплення				Плакат 6
7	Стандартна інфраструктура БС на прикладі БС UP0885 (контейнер, ДГУ, несуча опора, АФО)				Плакат 7
8	Модернізація БС UP0885 з підтримкою стандарту LTE-2300. Вибір обладнання				Плакат 8
9	Модернізація БС UP0885. Схема та спосіб підключення технологічного обладнання				Плакат 9
10	Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС). Загальні дані	13.12.23	III	100%	Плакат 10
11	Аналіз впливу на навколишнє середовище БС UP0885				Плакат 11
12	Загальні висновки по магістерській роботі				Плакат 12
13	Оформлення магістерської роботи				ПЗ

Магістрант

(підпис)

Бібік М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Шефер О.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ. ТИПИ ДІАПАЗОНІВ ЧАСТОТ.....	6
1.1 Принцип функціонування систем мобільного зв'язку.....	6
1.2 Розвиток мобільної мережі та поколінь мобільного зв'язку в Україні.....	9
1.3 Технологія LTE. Основні характеристики та параметри.....	11
Висновки до розділу 1.....	17
2 СТАНДАРТНА ІНФРАСТРУКТУРА БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ	18
2.1 Системний модуль	18
2.2 Радіомодулі R8998G.....	20
2.3 Секторні антени.....	24
2.4 Радіорелейна станція.....	25
2.5 Блок акумуляторний.....	27
2.6 Антени омні (GSM).....	27
Висновки до розділу 2.....	29
3 РОЗШИРЕННЯ ДО ПІДТРИМКИ СТАНДАРТУ LTE-2300 БС UR0885	31
3.1 Технологічна частина.....	31
3.2 Електроживлення обладнання базової станції.....	43
3.3 Блискавкозахист та захисне заземлення.....	45
3.4 Організація обслуговування базової станції.....	47
Висновки до розділу 3.....	49
4 ОЦІНКА ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.....	50
4.1 Передумови дослідження електромагнітного поля поблизу антен базової станції UR0885.....	50
4.2 Розташування та кліматичні особливості району розміщення базової станції	52
4.3 Загальна характеристика об'єкту проектування і господарської діяльності в зоні його впливу.....	54
4.4 Розрахунок санітарно-захисних зон та зон обмеження забудови.....	57
Висновки до розділу 4	72
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	73
Список використаних джерел	74
ДОДАТОК А – Розділ 1 (англійська версія).....	76
ДОДАТОК Б – Визначення гранично-допустимого рівня електро-магнітного поля поблизу антен базової станції (стаття).....	83
ДОДАТОК В – Презентаційний матеріал.....	89
ДОДАТОК Г – Технічні характеристики антен.....	103

ВСТУП

Люди завжди відчували потребу в спілкуванні з іншими людьми або групами. Ця необхідність призвела до глобального розвитку стільникових мереж, однією з яких є мережа LTE, запуск якої в Україні відбувся весною 2018 року. Очевидні переваги мережі LTE призвели до зростання кількості абонентів телекомунікаційних послуг. Користувачі можуть досягти більш високих швидкостей передачі даних і ширшого спектру послуг з високим рівнем якості наданих послуг, тому це потребує кращої загальної продуктивності мережі. Збільшення кількості користувачів у мережі вимагає, щоб оператори турбувалися про спроможність системи передавати таку кількість трафіку, одночасно підтримуючи збалансовану завантаженість мережі.

Актуальність роботи. В наш час обмін інформацією наявний у багатьох галузях і є найважливішою складовою ефективного функціонування будь-яких підприємств та виробництв. Швидкий розвиток безпроводної мережі Інтернет, запровадження нових приладів зв'язку, що підтримують новітні технології, вимагають постійного вдосконалення мобільної мережі та технологій.

Об'єктом дослідження є принципи формування та розвитку мережі LTE стільникового зв'язку.

Предметом дослідження є мережа LTE-2300 стільникового зв'язку.

Задачею роботи є дослідження роботи базових станцій та роботи мобільного зв'язку, удосконалення мережі мобільного зв'язку стандарту LTE-2300, встановлення та підключення додаткового антенно-фідерного обладнання, визначення рівня електромагнітного поля поблизу базової станції.

Метою роботи є забезпечення району міста стійким радіосигналом мережі LTE, надання користувачам доступу до мобільного Інтернету, збільшення швидкості передачі даних та підвищення щільності, якості сигналу, а також надійності, стабільності та гнучкості мережі.

1. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ. ТИПИ ДІАПАЗОНІВ ЧАСТОТ.

1.1. Принцип функціонування систем мобільного зв'язку

Мобільна мережа один з провідних винаходів сучасності, що сприяє розвитку цілих галузей різноманітної діяльності людей. З самого початку ця технологія стрімко розвивалась і лише за останні роки зазнала цілого ряду змін.

Мобільна мережа працює за наступним принципом: територія, на якій забезпечується з'єднання абонентів, поділена на окремі ділянки, так звані «стільники», де працює певна базова станція (БС). При цьому, в кожному стільнику абонент отримує однаковий набір послуг, тому сам користувач не помічає перетин цих віртуальних меж стільників.

Базова станція складається з таких компонентів як технологічний контейнер з обладнанням та антен, які розміщуються на спеціально побудованій антено-щогловій споруді (АЩС, див. рис. 1.1).

Самі АЩС можуть розміщуватись як на землі (даний тип застосовується переважно в сільській місцевості або в районах міст, де у оператора є можливість орендувати вільну земельну ділянку) так і на покрівлі існуючих будівель (даний тип поширений в містах, де є наявна щільна висотна забудова).

Кожна базова станція залежно від типу місцевості та наявності перешкод, в середньому, «ловить» сигнал від мобільних пристроїв на відстані до 35 кілометрів.

Мобільний телефон, який перебуває у мережі, прослуховує ефір та знаходить сигнал найближчої до нього базової станції. У SIM-карту телефону, окрім процесора й оперативної пам'яті, також влаштований унікальний ключ, що дозволяє авторизуватися в мобільній мережі. Зв'язок телефону зі станцією може ґрунтуватися на різних цифрових протоколах, наприклад, GSM, UMTS, CDMA чи LTE.



Рисунок 1.1 – Приклади антено-щоглових споруд базових станцій:

а, б – вежі; в – щогла; г – комбінована опора

В Україні для забезпечення роботи мобільних мереж виділені три діапазони частот – 900 МГц, 1800 МГц та 2600 МГц. Частота 900 МГц покриває найбільшу територію з представлених діапазонів, але має меншу ємність. Частота 2600 МГц має найменшу дальність дії, але має велику ємність та пропускну здатність. Частота 1800 МГц займає проміжне значення, в наслідок чого є найбільш популярна. Враховуючи вищевказані характеристики частотних діапазонів, їх

використання обґрунтоване типом задачі, яку оператори намагаються вирішити на певній території (в певному стільнику). Наприклад, частоту 900 МГц використовують в малонаселених пунктах чи зонах (села, ліси, степи), бо абонентів там не багато й даного діапазону достатньо для задоволення клієнтських потреб. Разом з тим, діапазон 900 МГц дозволяє створювати «стільники» великих розмірів, тому оператору потрібно встановити меншу кількість базових станцій у порівняно з іншими частотними діапазонами та економніше витратити ресурси (Рис 1.2.)

Діапазон 2600 МГц обслуговує дуже незначну за площею територію, проте дозволяє підтримувати великі потужності мережі, такі як ємність та пропускна спроможність. Цей діапазон ставлять в великих містах з великою кількістю людей, наприклад, поблизу стадіонів та торгових центрів.

У всіх інших випадках, коли не потрібно підтримувати надвелику кількість пристроїв, але і надвелику територію підтримувати немає можливості, оператори використовують 1800 МГц діапазон.

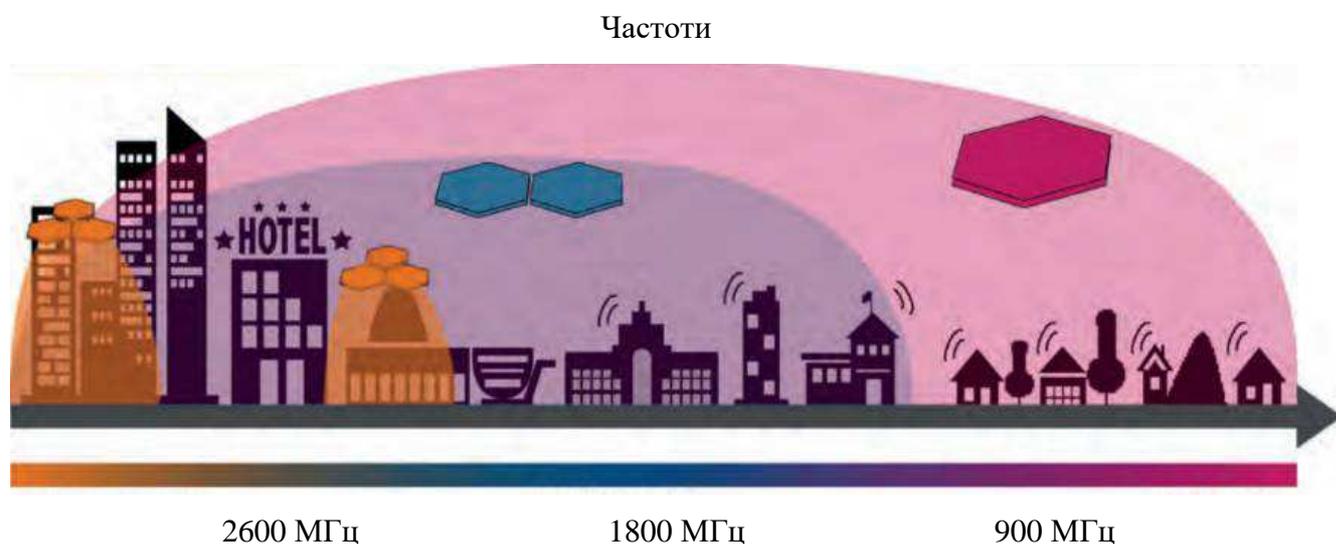


Рисунок 1.2 – Приклад застосування базових станцій різних діапазонів частот.

У ході розвитку мобільної мережі технології пережили кілька генерацій: від повільних аналогових систем до цифрових з великою швидкістю передачі даних.

1.2 Розвиток мобільної мережі та поколінь мобільного зв'язку в Україні

В кінці 2014 року Україна займала лише 101 місце у світі за розвитком мобільного зв'язку широкопasmового доступу. Це негативно впливало на всі галузі життя країни. У лютому 2015 року відбувся тендер з отримання ліцензій на користування радіочастотним ресурсом (РЧР) для 3G в смугах радіочастот 1920–1935/2110–2125 МГц; 1950–1965/2140–2155 МГц; 1965–1980/2155–2170 МГц, які отримали ТОВ «Астеліт», ПрАТ «ВФ Україна» та ПрАТ «Київстар».

До недавнього часу послуги 3G в Україні надавав національний оператор телекомунікацій ТОВ «ТриМоб», засновником й учасником якого є ПАТ «Укртелеком». Це стало поштовхом до поступового впровадження й технологій 4-го покоління (4G), початком якого став тендер з отримання ліцензій на частоти для LTE в 2017 році. Неможливість безпосереднього переходу на технологію LTE пояснюється нестачею діапазону частот 1800 МГц, на якому будується переважна більшість стільникових мереж, які в Україні використані під мобільний зв'язок стандарту GSM. Оскільки вже 80 % користувачів мають абонентські пристрої 3G, очікується швидка «міграція» трафіка передачі даних і частково голосового трафіка на 3G. Відомо, що до 4-го покоління (4G) відносять технології, які забезпечують швидкість передачі даних на рівні 100 Мбіт/с у русі (від 120 км/год) та на рівні 1 Гбіт/с у стаціонарному положенні. У 2012 році Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) офіційно визнав технологію LTE Advanced (стандарт 3GPPRelease10) та технологію Mobile WiMAX Release2.0 (стандарт IEEE802.16m), відому ще як Wireless-MAN-Advanced, WiMAX2 або WiMAX-Advanced, бездротовими стандартами зв'язку 4G, присвоївши сертифікат «IMT-Advanced (вдосконалена система міжнародного рухомого зв'язку)» — офіційний статус мереж четвертого покоління. Це єдині технології, які отримали цей статус. Останні версії цих технологій (стандарти IEEE802.16e та 3GPP Release8) хоча й мають умовну назву 4G, але не забезпечують заявлену пропускну здатність, тобто є практично 3,9G-стандартами [1].

Мобільні мережі WiMAX за стандартом IEEE 802.16e з'явилися в нашій країні вперше в 2009 році. Ці мережі не отримали належного розвитку в Україні, але вони заслуговують на увагу. Завдяки появі нових функцій в технологіях, про іде мова, їх розробникам вдалося виконати вимоги, які висуваються до 4G. Як йдуть справи з мобільним зв'язком у світі та на що варто звернути увагу для подальшого розвитку мобільних технологій у нашій країні? Нині ці питання є надзвичайно актуальними для України. У процесі еволюції мобільні мережі пережили кілька поколінь: від аналогових систем до цифрових з великими швидкостями передачі даних (Рис. 1.3).

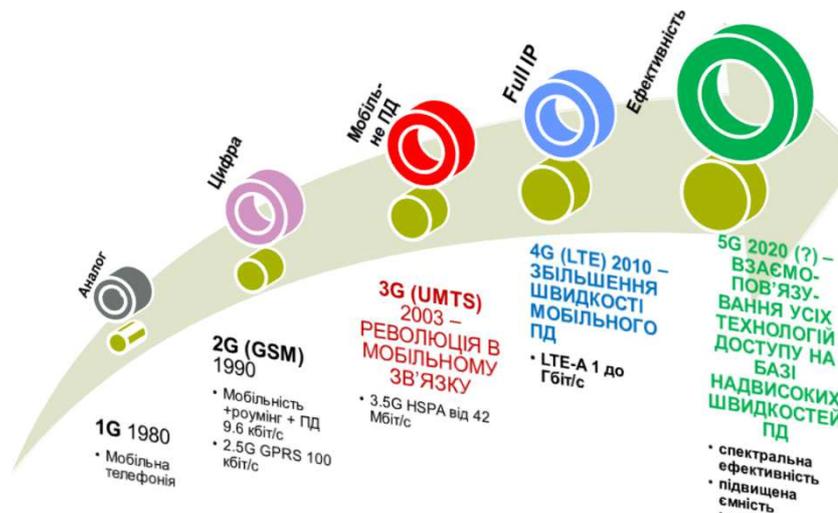


Рисунок 1.3 – Розвиток поколінь мобільного зв'язку в Україні.

В Україні налічується понад 50 мільйонів абонентів мобільного зв'язку при населенні близько 42 млн осіб (згідно даних за 2019 рік). Тобто багато українців мають кілька карток мобільних операторів. Також багато гаджетів зараз використовують мобільну мережу для своєї роботи і доступу до інтернет - банківські термінали, системи сигналізації, системи розумного дому, смарт годинники, планшети тощо.

Лідерами покриття мобільної мережі є Київстар, Vodafone і Lifecell. На них припадає 26,4 млн, 19,8 млн і 6,9 млн користувачів відповідно. Спільною рисою всіх 3-х компаній є значна частка іноземних капіталовкладень. Це пояснюється тим, що ринковий сектор вимагає масштабних інвестицій, які не можуть бути забезпечені лише українськими учасниками ринку. Як національні лідери в сфері покриття 3G, усі троє взяли на себе зобов'язання забезпечити зв'язок 4G. Загальною негативною рисою ринку є нерівномірне покриття або його відсутність у сільській місцевості.

1.3 Технологія LTE. Основні характеристики та параметри

Абревіатура LTE розшифровується як Long Term Evolution (англ., Довгострокова еволюція). Коли в рамках проекту 3GPP вдосконалювали технологію 3G (UMTS, WCDMA), то розраховували на перше чи друге. Деякі почали «покращувати» 3G до HSPA: це були незначні поліпшення радіо інтерфейсу при збереженні основи - принципу кодового поділу каналів (CDMA). Але рано чи пізно всі користувачі забажають збільшити швидкість мобільних мереж. Це стало поштовхом до еволюції від 3G до LTE.

LTE включає в себе мережу радіодоступу (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN) та вдосконалене пакетне ядро (Evolved Packet Core, EPC).

Сукупність БС eNB, будує собою мережу LTE (Evolved NodeB або eNodeB), а інтерфейсом X2 між собою з'єднуються сусідні eNB. Завдяки інтерфейсу S1 eNB підключаються до EPC. На рис.1.4 відображено нові елементи які співпрацюють в мережі S-GW (Serving Gateway) – що займається обслуговуванням шлюзів, в яких міститься ПО по керуванням ММ (MME - Mobility Management Entity).

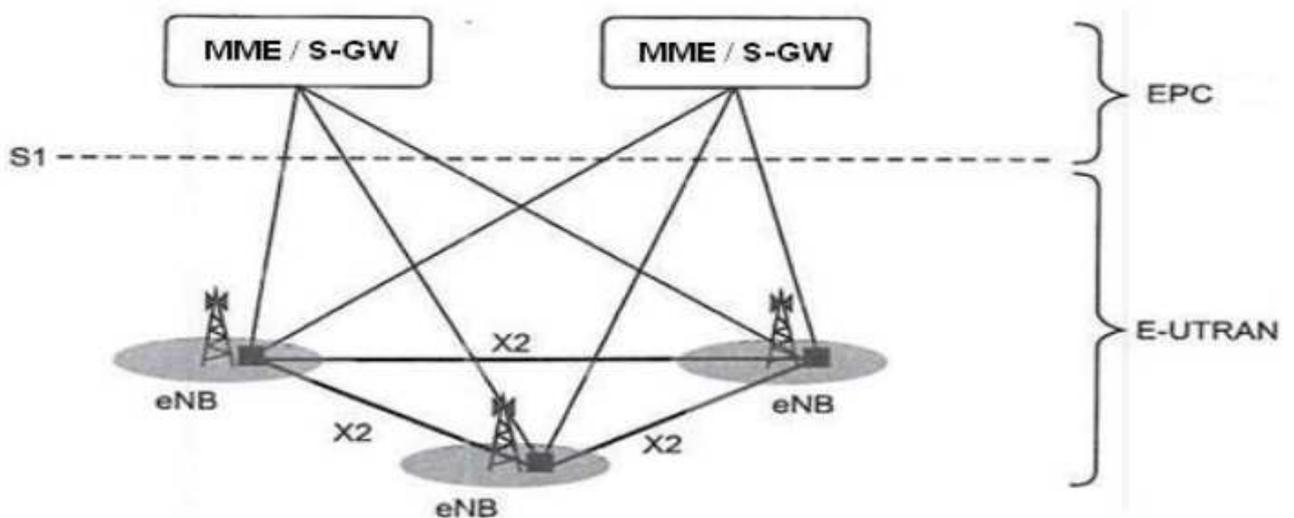


Рисунок 1.4 – Спрощене представлення мережі LTE

У мережі радіодоступу радіо-інтерфейс між UE і eNB націлений на використання технології ортогонального частотного рознесення OFDMA. Робота EPC базується на технології IP. Дану технологію пов'язують до All-IP Network(AIPN).

Активна структура мережі LTE приведена на рис. 1.5. Мережне ядро EPC (Evolved Packet Core) складається з S-GW (Serving Gateway), шлюзу, основною задачею якого є доступ до пакетних мереж P-GW (Packet Data Network Gateway), структура управління відповідно до управління мобільністю Протокол MME (Mobility Management Entity), підключений до S-DW і eNodeB за допомогою сигнальних інтерфейсів.

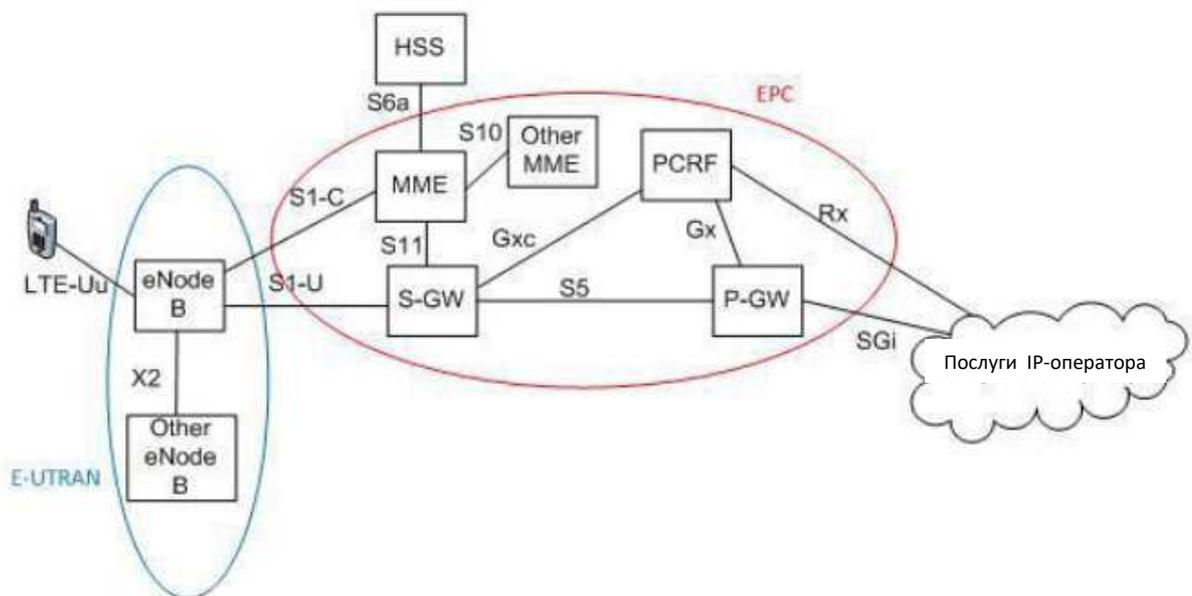


Рисунок 1.5 – Побудова мережі LTE

Функції eNodeB (Evolved NodeB)

eNodeB метод який в собі сполучає контроллери мереж 3- покоління та БС:

- Відповідає за передачу трафіку й сигналізації по радіоканалу,
- Керує розподілом радіоресурсів,
- Відповідає за канал трафіку до S-GW,
- Контроль рівня перешкод в стільниках, синхронізація передач,
- Відповідає за цілісність передач на радіоканалах та їх оцифровку,
- Відмова від заголовків IP-пакетів,
- Забезпечує використання мультимедійного мовлення.

Саме потік даних від S-GW й сигналізації через протокол MME підтримує S1 інтерфейс. Технологія eNB має можливість бути з'єднана з кількома S-GW.

Інтерфейс X2 застосовують щоб забезпечити організацію хендовера з сусідніми БС, для балансування навантаження між цими БС. Завдяки тому, що інтерфейси X2 мають здатність бути логічними, для того щоб їх синхронізувати з eNB не потрібне фізичне з'єднання [2].

Перевага LTE на відміну від інших стандартів мобільного зв'язку, полягає в тому що LTE не прив'язаний до якогось конкретного діапазону частот. Розробники (3GPP) визначили понад 30 діапазонів частот, а виробники можуть виготовляти стандартне радіообладнання LTE для цих діапазонів частот. До них входять частоти, які зараз використовуються іншими стандартами, такими як 900, 1800 (GSM), 2100 (UMTS), 2500 (WiMAX) та «нові», такі як 700-800 МГц (так званий «цифровий дивіденд»). Очевидно, не всі можливі діапазони будуть широко поширені по всьому світу, тому діапазон «виживання», ймовірно, не перевищує 4-5 діапазонів.

-800 МГц (3GPP Band 20) - виділено / заплановано для LTE в майже всіх європейських країнах; що вигідно з точки зору вартості забезпечення постійного покриття; пристрій виробляється усіма провідними виробниками.

-2,5 ГГц (3GPP діапазон 7) - призначений або запланований для LTE майже у всіх європейських та азійських країнах; обладнання виробляється усіма провідними виробниками.

-1800 МГц (діапазон 3GPP 3) - буде випущений в міру зменшення кількості мобільних телефонів лише з GSM та збільшення покриття 3G (отже, Голосовий переклад); Він добре працює у забезпеченні балансу між пропускною спроможністю мережі й покриттям; повторним використанням інфраструктури (приймачі, антени), що отримує мережевий доступ, забезпечить операторам GSM можливості економії.

Зазвичай нелегко вибрати правильний діапазон для розвитку LTE. В нижньому діапазоні з покриттям все нормально. Проблема в тому, щоб знайти достатньо широку пропускну здатність для повного LTE. Вищі зазвичай мають

гарний частотний ресурс, але БС потрібно розміщувати через кожні 400-500 метрів, що коштуватиме чимало. Більшість мереж LTE, як-от GSM, можуть бути дводіапазонними.

Національний телеком оператор почав використовувати у тестовому режимі технологію мобільної передачі даних LTE 2300-TDD. Завдяки новій мобільній технології оператори планують збільшити пікову швидкість передачі даних та розвивати послуги зв'язку у регіонах, де стрімко зростає дата-трафік.

У другому кварталі 2022 року національний телеком-регулятор (НКЕК) виділив трьом мобільним операторам лінії радіочастот в діапазоні 2100 МГц для збільшення ємності діючих мереж 3G або поліпшення покриття мереж LTE/4G.

3GPP рекомендує використовувати для систем LTE діапазона 2300 МГц (2300-2400 МГц,) 100 МГц.

LTE TDD використовує єдиний частотний діапазон обміну даними. Тут використовуються часові інтервали замість різних частотних діапазонів: спочатку пристрій передає дані базової станції, а потім приймає. Оскільки відрізки (слоти) прийому й відправки змінюють один одного з високою швидкістю, абонентські пристрої сприймають передачу даних як безперервну, хоча вона насправді є дискретною.

На період дії військового стану національний телеком-регулятор видав дозвіл компанії «Київстар» на тимчасове підключення радіообладнання в діапазоні 2300 МГц. Завдяки цьому компанія планує збільшити ємність мобільної мережі на прикордонних територіях й містах, в які під час війни мігрувала велика кількість жителів з інших регіонів країни. Зокрема, за аналітичними даними Київстару, після 24 лютого 2022 року понад 4 млн. абонентів переїхали на Захід України.

Особливістю нової мобільної технології є те, що прийом й передача даних здійснюється на тих самих частотах. Це дозволяє оператору ефективніше керувати пропускнуою спроможністю мережі. "Пікова" швидкість мобільної передачі даних за технологією LTE 2300-TDD при ширині смуги частот 40 МГц в ідеальних умовах може сягати 600 Мбіт/с [3].

Для клієнтів використання нової мобільної технології означає якісніші послуги мобільного інтернету в місцях високої концентрації трафіку, якісну трансляцію потокового відео, більше можливостей для здійснення фінансових операцій в онлайн-режимі, швидкий запуск «дистанційних робочих місць» тощо.

Наприклад, в Тернополі вже встановлено перші дві з трьох базових станцій, що працюють за новою технологією. До кінця 2022 року оператор планує встановити близько 100 таких базових станцій.

Розвиток нових мобільних технологій в Україні став можливим завдяки сприянню державних відомств – Національного центру оперативного-технічного управління телекомунікаційними мережами (НТЦ), Національного регулятора (НКЕК) та Міністерства цифрової трансформації, Держспецзв'язку. У реалізації цього проекту також активно допомагають іноземні вендори (постачальники) радіомережевого обладнання – Huawei, ZTE, Ericsson та Nokia

Принцип тимчасового поділу впроваджується в 4G-мережах повільно: лише невеликий відсоток операторів віддають перевагу стандартам LTE TDD. Проте сама по собі технологія є перспективною:

- Використання однієї смуги частот значно скорочує необхідну смугу частот та дозволяє її більш ефективно використання;
- Базові станції TDD дешевші для оператора, бо потребують простого обладнання. Вартість обладнання TDD зазвичай нижча, ніж FDD;
- Принцип поділу часу дозволяє ефективно перерозподіляти пропускну здатність між каналами Uplink й Downlink без зміни ширини виділеної смуги частот.

Однак принцип TDD має й низку недоліків:

- Мережі TDD мають нижчу пропускну здатність, оскільки прийом-передача відбуваються по черзі на одній частоті;
- Базові станції TDD мають меншу дальність дії. Тому для покриття певної площі потрібно більше базових станцій, ніж при використанні FDD;
- Для надійної роботи TDD потрібна більш чітка синхронізація часу й наявність захисних часових інтервалів між прийомом та передачею.

Висновки до розділу 1

В даному розділі був проведений аналіз:

- принцип функціонування систем мобільного зв'язку та роботи базової станції;
- розвиток мобільної мережі та поколінь мобільного зв'язку в Україні;
- ознайомлення з технологією LTE, її характеристиками та параметрами.

Технологія LTE - це вдосконалений та зручний стандарт, який дозволяє мешканцям приватних будинків легко вдома отримувати доступ до бездротового Інтернету.

Національний телеком-оператор у тестовому режимі почав використовувати технологію мобільної передачі даних LTE 2300-TDD.

Завдяки новій мобільній технології оператори мобільного зв'язку планують збільшити пікові швидкості передачі даних та розвивати послуги зв'язку в регіонах зі стрімко зростаючим трафіком даних.

Особливістю нової мобільної технології є те, що прийом і передача даних здійснюються на однакових частотах. Це дозволяє оператору ефективніше керувати пропускнуою здатністю мережі. За ідеальних умов «пікова» швидкість передачі мобільних даних за технологією LTE 2300-TDD із смугою пропускання 40 МГц може сягати 600 Мбіт/с.

Базові станції TDD дешевші для оператора, бо вимагають простого обладнання. Вартість обладнання TDD зазвичай нижча, ніж FDD; базові станції TDD мають менший радіус дії. Тому, для покриття певної території потрібно більше базових станцій, ніж при використанні FDD.

Проведено аналітичний огляд мережі LTE. Виявлено особливості її архітектури й реалізації, які показали можливість реалізації мережі 4G на частотах 2300 МГц.

2. СТАНДАРТНА ІНФРАСТРУКТУРА БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ

2.1. Системний модуль

Для швидкого розвитку мобільних технологій, оператори мобільного зв'язку постійно розширюють та пропонують сьогодні нові технології для створення ефективних, багатофункціональних й орієнтованих на майбутнє та рентабельних мобільних мереж. Компанія ZTE розробила базові станції серії ZXTRANV9200, які розроблені на базі високопродуктивної платформи й використовують оптимізовану апаратну та програмну архітектуру. Завдяки вдосконаленій модульній конструкції ці базові станції можуть працювати в кількох режимах. Вони легко оновлюванні, мають високу пропускну спроможність та екологічні.

Системний модуль V9200 (Рис. 2.1) підтримує кілька режимів радіодоступу, включаючи GSM, UMTS, LTE, NB-IoT і 5G. Усі RAT мають спільні ресурси керування й передачі. Є можливість реалізувати плавний перехід від GSM/UMTS/LTE до 5G за допомогою відповідних плат чи конфігурації програмного забезпечення. V9200 з однією стійкою підтримує до 90 «комірок» 2T2R/2T4R/4T4R/8T8R 20MHz LTE або 30 «комірок» 64T64R 100 МГц Massive MIMO 5G. Якщо кількість користувачів збільшується, ємність V9200 можна розширити, додавши плати для збільшення кількості користувачів.

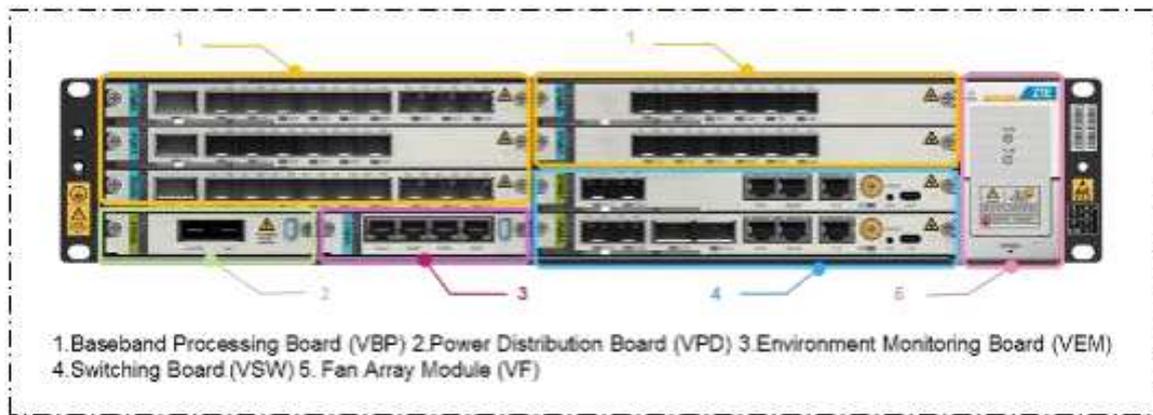


Рисунок 2.1 (а, б) – Системний модуль BBUV9200

Як зазначено в таблиці 2.1 V9200 складається з плати розподілу живлення (VPD), плати обробки основної смуги (VBP), плати моніторингу середовища (VEM), плати комутації (VSW) і модуля FanArrayModule (VF).

Таблиця 2.1 – Плати BBUV9200

Board Name	Function Description
VSWc0	Switching Board Type c0 for 2G/3G/4G multi-mode
VSWc2	Switching Board Type c2 for 2G/3G/4G/5G multi-mode
VSWd1	Switching Board Type d1 for 2G/3G/4G /5G multi-mode
VSWd2	Switching Board Type d2 for 2G/3G/4G /5G multi-mode
VBPC0	Baseband Processing Board Type c0 for 2G/3G/4G multi-mode
VBPC1	Baseband Processing Board Type c1 for 2G/3G/4G multi-mode
VBPC5	Baseband Processing Board Type c5 for 5G single-mode
VBPC7	Baseband Processing Board Type c7 for 2G/3G/4G multi-mode
VBPd0	Baseband Processing Board Type d0 for 4G/5G multi-mode
VBPd1	Baseband Processing Board Type d1 for 2G/3G/4G/5G multi-mode

Системний модуль V9200 реалізує наступні основні функції:

- Підтримує функції базової смуги базової станції GSM/UMTS/LTE/NB-IoT/5G.
- Підтримує функції керування, включаючи керування конфігурацією, керування несправностями управління, управління продуктивністю й управління безпекою.
- Підтримує гнучкі режими встановлення, включно зі встановленням на стіні, у 19-дюймовій стандартній шафі та зовнішній шафі для встановлення.
- Підтримує джерело живлення -48 В постійного струму або 110/220 В змінного струму через зовнішній перетворювач змінного (постійного) струму.
- Підтримує моніторинг навколишнього середовища, сигналізацію й звітність.
- Підтримує локальну та дистанційну роботу та обслуговування.
- Підтримує синхронізацію GNSS, IEEE1588, 1PPS+TOD і SyncE

2.2 Радіомодулі R8998G

Базова станція BBUV9200 використовує віддалені радіочастотні модулі, та відповідає вимогам розбудови мереж щодо збільшення пропускної спроможності, гнучкості встановлення та модернізації.

Радіомодулі розглядаються як одна ціла система, яка складається з модуля BBUV9200, що є розподіленою базовою станцією від ZTE. Як базова станція системи мобільного зв'язку BBUV9200 складається з блоку обробки базової частоти BBU та віддаленого радіочастотного блоку RRU. Радіочастотний блок RRU підтримує роботу двох або чотирьох радіопередавачів. RRU – блок передачі електроенергії антени, що використовується для встановлення всередині приміщень, так і зовні, а також забезпечує роботу модулів зміни електричного кута нахилу секторних антен. Пристрій також має фізичні інтерфейси для підключення до RET і BBUV9200.

Пристрій можна встановлювати на опорах, вежах або трубостійках на даху безпосередньо біля секторних антен для зменшення втрат фідерного сигналу.

Блок RRU R8998G наведено на Рис. 2.2.



Рисунок 2.2 (а, б) – Радіомодулі R8998G (LTE-2300)

Для з'єднання блоків RRU і BBUV9200 використовується оптичний та силовий кабелі. Від RRU прокладається фідер 1/2 для з'єднання з панельною антеною. Це дозволяє значно скоротити витрати на створення апаратної, монтаж обладнання та його експлуатацію. Модуль RRU підключається до встановлених в модулі BS BBUV9200 плат. Це забезпечує роботу RRU8998, моніторинг інтерфейсу передачі даних по оптичному кабелю протсе у встановленні та експлуатації. RRU - виносний радіочастотний блок. Забезпечує обробку сигналів основних частот та радіочастотних сигналів. Один RRU виконує функцію 2-х приймачів. Якщо в стійці встановлено 2 RRU, вони діють як 4 приймачі. Можливе різноманітне розміщення RRU та BBUV9200 залежно від заданих вимог та умов комплектації.

BBU:

- в приміщенні технологічного контейнеру або в клімат-шафі;
- на стійці RAN19".
- в середині спеціально відведених приміщень (апаратна);

BBUV9200 має такі переваги:

- RRU підтримує каскадне з'єднання трьох модулів RRU;
- чутливість вхідного каналу становить -113 дБм;
- потужність RRU досягає 40 Вт (900 МГц) або 30 Вт (1800 МГц) (в окремих випадках потужність радіомодуля може сягати 160 Вт);
- максимальна конфігурація до 12 сот і підтримка багато смужової мережі;
- підтримується розподілена передача.

Можливості організації мережі:

При роботі системи синхронізації в режимі тільки внутрішніх коливань система може працювати без перерви протягом цілого тижня. Також є підтримка різних режимів синхронізації: підтримка синхронізації з виділеним з інтерфейсу сигналом синхронізації, підтримка синхронізації з системою GPS, синхронізація із зовнішнім джерелом 2 МГц. RRU працює в діапазоні від 900 МГц до 2600 МГц і має високу адаптивність до умов оточуючого середовища.

RRU - це обладнання, що може працювати в різних умовах навколишнього середовища. Модуль характеризується адаптивністю до умов зовнішнього середовища. RRU має закриту інтегровану конструкцію. За рівнем водонепроникності відповідає стандарту (IP65). Заходи захисту від вологи, цвілі та сольових бризок відповідають специфікаціям класу 1. Діапазон робочих температур RRU: від -40 С° до +50 С°. RRU може працювати в широкому діапазоні робочих напруг: від -36 В до -57 В (номінальна напруга -48 В). Джерело живлення, яке використовується, перетворює 220 В, отримане від мережі, на -48 В для роботи RRU. Модуль має підтримку антен з Remote Electric Tilt (RET). Використання модулів (блоків) RET для антен дозволяє налаштувати мережеве покриття шляхом регулювання кута нахилу антен дистанційно. Це дозволяє заощадити витрати на експлуатацію й обслуговування (налаштувати та підвищити КРІ мережі дистанційно без фізичного виїзду на об'єкт).

Перевагами використання цих модулів є роздільне використання BBU і RRU, компактна конструкція і розподілений монтаж дозволяють економити місце на ділянці й монтувати BBU практично в будь-якому місці. Розподілена установка також забезпечує зручність при транспортуванні та швидке розгортання мережі. RRU можна встановити будь-де на стіні чи бетонній основі. Також RRU встановлюється всередині BTS, пристроїв передачі або в енергосистемі, якщо встановлено на відкритому повітрі. Оптимальний варіант, коли RRU встановлюється поблизу антен. Це дозволяє економити на придбанні та монтажі додаткових кабелів та фідерів. Дане рішення критично чутливе до довжини фідерної траси BBU-RRU, оскільки через фізичний опір в фідерах/джамперах втрачається потужність і якість зв'язку, тому вкрай бажано RRU розміщувати максимально близько до антен, до 2-3 м.

Висока надійність роботи системи забезпечується завдяки тому, що кожен RRU забезпечує 2 високошвидкісних порти CPRI для забезпечення зв'язку між RRU і BBU в кільцевій топології. Один додатковий порт CPRI забезпечує резервний канал між BBU та RRU. 2 модулі RRU можуть бути встановлені в одній крейті для підтримки розподіленої передачі, забезпечення більшої ємності. Якщо один з робочих модулів RRU виходить з ладу, резервна копія надає послуги в «комірці».

2.3 Секторні антени

Для функціонування мобільної мережі використовують панельні антени, що найчастіше мають діаграму спрямованості 120° (інші кути 90° , 60° , 30° зустрічаються досить рідко). Приклад організації рівномірного покриття у всіх напрямках наведено на рисунку 2.3.

Секторна антена у всіх робочих напрямках її діаграми спрямованості має приблизно однакове посилення сигналу. У цьому полягає перша відмінність секторних антен від звичайно спрямованих антен, у яких є яскраво виражений максимум, що зменшується до її меж.

Антени базової станції ширококугові, допускають роботу в 1-му, 2-х або 3-х діапазонах частот. Починаючи з мереж UMTS, на відміну від GSM, антени базових станцій можуть змінювати площу радіопокриття залежно від навантаження, яке приходить на мережу. Один методів управління потужністю випромінювання - це керування електричним кутом нахилу антени, таким методом змінюється площа роботи діаграми спрямованості.



Рисунок 2.3 (а, б) – Панельні антени

Антени можуть мати фіксований (механічний) кут нахилу, або мають функцію дистанційного керування за допомогою програмного забезпечення, який розташований в блоці управління БС, і вбудованих фазообертачів.

Також існують рішення, які дозволяють змінювати зону обслуговування, від загальної системи управління мережі передачі даних. Це дозволяє регулювати зону обслуговування всього сектора базової станції.

У антенах базових станцій застосовується як механічне управління діаграмою, так і електричне. Простіше реалізується механічне управління, але це часто призводить до спотворення форми діаграми спрямованості через вплив конструктивних частин. Більшість антен БС має електричну систему регулювання кута нахилу, що встановлена безпосередньо всередині антени.

2.4 Радіорелейна станція

РРЛ - радіорелейна (кругла) антена використовуються для зв'язку об'єктів, які знаходяться на відстані, в одну мережу; в ситуаціях, коли не можливо пов'язувати віддалені комп'ютерні мережі, або ж коли прокладання оптоволоконних магістралей не вигідно, а також для створення магістральних каналів опорної мережі для операторів зв'язку. При встановленні 2-х таких антен важливо щоб вони були направлені одна на одну, тому що навіть при мінімальному відхиленні антен, зменшується пропускна здатність. РРЛ антени можуть мати різний діаметр (від 30 см до 2,5 м) та працювати в різних частотних діапазонах залежно від відстані, типу місцевості та потреб оператора.



Рисунок 2.4 (а, б) – Антени РРЛ

Переваги радіорелейних ліній зв'язку:

- швидке розгортання ліній зв'язку при невеликих фінансових інвестиціях;
- можливість безперешкодного проходження мережі над транспортними магістралями, над водними поверхнями;
- ефективне використання смуги частот;

- відновлення зв'язку в районах стихійних лих при рятувальних операціях.
- низька вартість експлуатації мереж;
- результативна організація якісного зв'язку у складних географічних та кліматичних умовах;

2.5 Блок акумуляторний

У випадку відключення світла, базові станції мобільного оператора, що забезпечують зв'язок та доступ до інтернету, можуть продовжувати працювати завдяки акумуляторам та генераторам. В середньому акумуляторні батареї (АКБ) при умові повної зарядки можуть забезпечувати автономну роботу базової станції від 2 до 5 годин (залежно від стану їх зношеності).

Для забезпечення автономної роботи базової станції при більш тривалих відключеннях світла використовують окремі дизельні генераторні установки.

Повне зарядження акумуляторів триває 12 годин, але розряджаються вони набагато швидше. Після того як акумулятори розряджаються, обладнання підключається до дизель генераторів, які нажалі є не на всіх базових станціях.

Всі БС працюють на 48В, хоча ввід електромережі 220-380 В, для цього є спеціальна електроживильна установка. Акумулятори 12В, з'єднуються послідовно по 4 штуки або дві пари по 4 штуки, ємність кожного 100-150 Аh в залежності від виробника.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд акумуляторних блоків

2.6 Антени омні, антени GPS

Омні антени – антени діаграма спрямованості в горизонтальній площині яких складає 360 градусів.

Основне застосування спрямованих антен в мережах стільникового зв'язку - збільшення покриття та можливість застосування повторного використання частот. Останнє дозволяє збільшити пропускну здатність мережі в цілому. У порівнянні з омні антенами коефіцієнт посилення у спрямованих антен трохи більше на кілька дБ. (На 5-10 дБ), що дозволяє збільшити зону обслуговування соти в порівнянні з омні антенами. Оскільки антена такого типу концентрує випромінювання в певному напрямку, це дає можливість контролювати інтерференційну обстановку.

На рисунку 2.6 наведено приклад встановлення та підключення омні антени.



Рисунок 2.6 – Приклад встановлення та підключення омні антени

GPS - антена спеціально розроблена для цілей навігації. Вона отримує сигнали від кількох супутників у групі GPS та використовує ці сигнали для обчислення точного місцезнаходження та швидкості користувача. На відміну від антен GSM, антени GPS не передають жодних сигналів. Натомість вони зосереджені виключно на отриманні сигналів від супутників, що обертаються

навколо Землі. GPS-антени зазвичай використовуються в навігаційних пристроях, системах стеження за транспортними засобами й смартфонах для надання точних даних про місцезнаходження.

На відміну від антен GSM, антени GPS зазвичай мають вузьку спрямованість. Це означає, що вони мають вузьку діаграму спрямованості й призначені для прийому сигналів тільки з певного напрямку (як правило, зверху). Спрямованість антени допомагає усунути перешкоди та підвищити точність визначення місця розташування GPS.

Антени GPS мають менші розміри порівняно з антенами GSM через необхідність одночасного прийому сигналів від різних супутників кількома елементами. Таким чином, антени GSM та антени GPS служать різним цілям бездротового зв'язку. Антени GSM підтримують передачу голосу та даних у стільникових мережах, а антени GPS приймають сигнали зі супутників для визначення точного розташування. Конструкція, спрямованість та сумісність цих антен значно різняться. Розуміння відмінностей між антенами GSM та GPS необхідно для прийняття обґрунтованих рішень при виборі або проектуванні систем бездротового зв'язку.

Місце установки GPS-антени слід визначати відповідно проекту. Для базової станції, встановленої на вежі, антену рекомендується встановлювати у верхній частині кімнати з обладнанням. Якщо антену необхідно встановити на вежі, оскільки немає належного місця для встановлення у верхній частині кімнати з обладнанням, її слід встановити на відстані 5–10 м від нижньої частини корпусу вежі, а не на платформі вежі. Стовп установки GPS-антени повинен знаходитися на відстані не менше 1,5 м від корпусу вишки.

Для базових станцій стандарту CDMA обов'язким є наявність GPS, що необхідно для реалізації принципу «handover» («перекидання») абонента з однієї базової на іншу без переривання дзвінка.

Висновки до розділу 2

Стільниковий зв'язок використовує радіохвилі для з'єднання смартфонів із мережею. Базові станції роблять можливим це з'єднання. Звичайно, головний елемент БС - це антени та інше антенно-фідерне обладнання.

Антени лише передають та приймають сигнал. Головне їх завдання передати сигнал в заданому напрямку, щоб стільника з одного боку мала досить широке охоплення, але при цьому не заважала сусіднім станціям.

З іншого боку, антени мають приймати сигнал від смартфонів. Головна складність полягає в тому, що цей сигнал дуже малий: це мільйонні частки вата. Це можна порівняти з тим як розглядати зірки в денному небі - треба докласти неабияких зусиль.

Антени стільникового зв'язку, які ще називають панельними або секторними, легко побачити на будинках та стільникових вежах.

Панельні антени стільникового зв'язку не працюють самі. Щоб обробити прийнятий сигнал та передати його назад до смартфонів, потрібні радіомодулі чи, по-іншому, радіоблоки.

Головне завдання радіомодуля – перенесення сигналу в потрібний частотний діапазон. Паралельно працюють не лише різні оператори, а й різні стандарти стільникового зв'язку. Щоб не заважати "сусідам", кожен має працювати у своїй смузі – в своєму частотному каналі.

Радіомодуль повинен перенести сигнал стільникового зв'язку в точно задану ділянку частотного спектра. У бік прийому радіомодуль також переносить сигнал із заданого частотного діапазону. Він також виконує завдання щодо фільтрації й відновлення форми сигналу.

Крім антен та радіомодулів у класичній базовій станції обов'язково присутній системний блок. Його основне завдання сформувати сигнал, що передається в ефір, а також виділити з прийнятого антеною й радіомодулем сигналу передану смартфоном інформацію.

3. РОЗШИРЕННЯ ДО ПІДТРИМКИ СТАНДАРТУ LTE-2300 БС UP0885

3.1 Технологічна частина

Базова станція призначена для забезпечення мобільним телефонним зв'язком абонентів мережі ПрАТ "Київстар" на прилеглий території, а також для з'єднання їх абонентами мережі стільникового мобільного зв'язку інших операторів зв'язку, з телефонною мережею загального користування, міжміського та міжнародного зв'язку. Клієнтам надаються також інші супутні послуги, які підтримуються стандартом мережі.

Базова станція UP0885 розташована за адресою: Полтавська обл., Кременчуцький р-н, м. Кременчук.

В інфраструктуру базової станції входять:

- приміщення апаратної базової станції;
- обладнання базової станції;
- система енергозабезпечення.

Проектом передбачається модернізація базової станції UP0885 стандартів GSM-900/DCS-1800/LTE-1800/UMTS-2100/LTE-2300/LTE-2600, а саме:

- демонтаж антени A194518R0v01 (DCS-1800/LTE-1800) (1 шт.);
- демонтаж блоку R8863 (DCS-1800/LTE-1800) (1 шт.);
- монтаж проекрованої трубостійки H=3,0 м (1 шт.);
- монтаж антени TDQ-172718DEI-65FT2V01 (DCS-1800/LTE-1800) (1 шт.) на поясі сталевій надставці опори;
- монтаж антени T0005L6R011 (LTE-2300) (1 шт.) на проектованій трубостійці;
- монтаж блоків R8854E (DCS-1800/LTE-1800) (2 шт.);
- монтаж блока R8998G (LTE-2300) (1 шт.);
- блоки R8854E та R8998G з'єднати з антенами за допомогою джамперів довжиною 3,0 м;
- для блоків R8842E та R8998G прокласти оптоволоконні кабелі (2 шт.) та кабелі живлення (2 шт.);

– перевикористати кабель живлення та оптичний кабель від демонтованого блока R8863 (DCS-1800/LTE-1800) (1 шт.) для одного з проєктованих блоків R8854E в існуючу стійку RAN 19" встановити проєктовані BBU V9200 (1 шт.) з платами VBPd2p (1 шт.), VBPd0p (1 шт.) та DCPD10B (1 шт.).

Передбачається використання опори Н=43,2 м на землі для розміщення антенно-фідерних пристроїв. Для розміщення технологічного обладнання БС UP0885 проєктом передбачається використання технологічного контейнера (Рис. 3.1)



Рисунок 3.1 (а, б) – Загальний вигляд опори ПрАТ «Київстар» та приміщення апаратної (роміщено в розташованій поруч будівлі)

Згідно ДСТУ Б В.1.1.36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» апаратне приміщення БС (апаратна) відноситься до категорії "Д".

При модернізації БС необхідно враховувати:

- забезпечення оптимальної відстані між обладнанням та антенами;

- виключення будинків, що екранують зі спрямованості поля антен;
- розрахунок санітарно-захисних зон і зони обмеження забудови;
- розрахунки несучої спроможності елементів споруди.

Таблиця 3.1 – Приймально-передавальне станційне обладнання RBS

Тип RBS	Кількість передавачів, шт.	Потужність передавача, (dBm)	Стандарт	Сектор	Азимут
BBU8200/ BBUV9200	6	13.33	GSM-900	A	20°
	6	13.33		B	190°
	6	13.33		C	290°
	8/1	10/80	DCS-1800/ LTE-1800	A	20°
	20/2	20/40		B	190°
	8/1	10/80		C	290°
	3	26.67	UMTS-2100	E	20°
	3	26.67		F	190°
	3	26.67		G	290°
	1	160	LTE-2300	C	290°
	1	80	LTE-2600	B	190°
	1	80		C	290°

Зв'язок базової станції з центром комутації (MSC) здійснюється через радіорелейну мережу доступу. Розміри і маса проектного обладнання вказані у таблиці 3.2-3.3. Загальний вигляд проектованих радіомодулів R8854E та R8998G рис. 3.2-3.3.

Таблиця 3.2 – Розміри і маса проектного обладнання

Назва	Розміри (мм)			Маса, кг	Загальна маса, кг
	Ширина	Глибина	Висота		
RRU R8854E (2 шт.)	296	145	415	20,0	40,0
RRU R8998G (1 шт.)	400	128	480	21,0	21,0
Антенa TDQ-172718DEI-65FT2V01 (1 шт.)	320	105	1360	19,0	19,0
Антенa T0005L6R011 (1 шт.)	420	165	2680	42,2	42,2

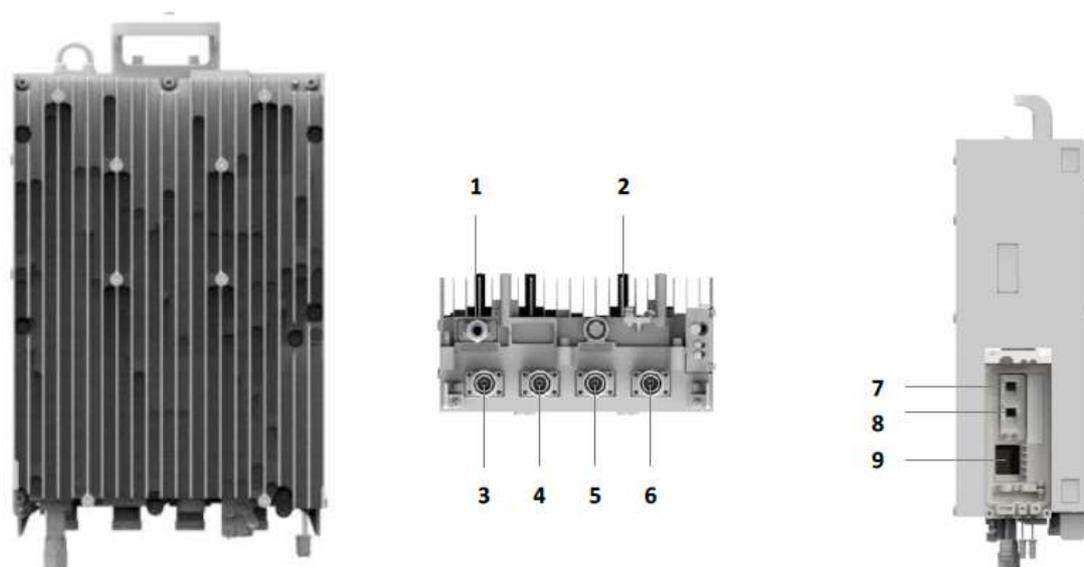


Рисунок 3.2 (а, б, в) – Загальний вид радіомодуля R8854E

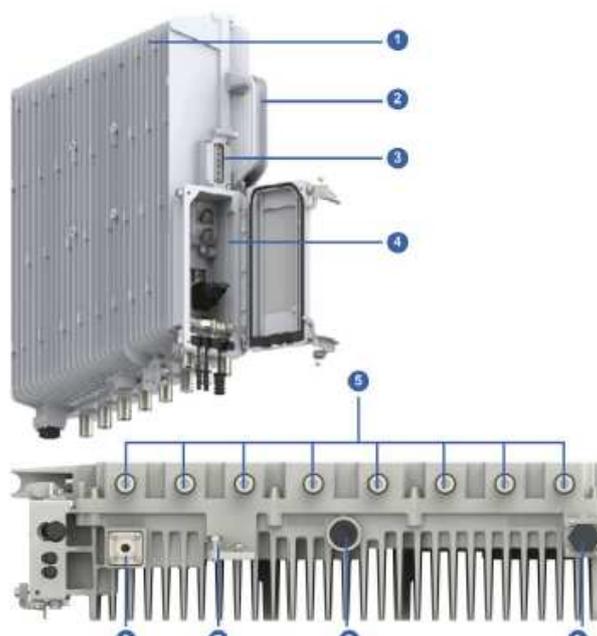


Рисунок 3.3 – Загальний вид R8998G

Таблиця 3.3 – Опис інтерфейсу радіомодуля R8854E

No.	Label	Interface	Interface Type/Connector
1	AISG/MON	AISG equipment interface MON external monitoring interface LMT O&M Ethernet interface	DB15 connector
2	GND	Protective grounding interface	16 mm ² yellow-green round terminal
3	ANT1 (TX/RX)	TX/RX antenna interface Built-in NSBT	50 Ω DIN-mode connector
4	ANT2 (TX/RX)	TX/RX antenna interface	50 Ω DIN-mode connector
5	ANT3 (TX/RX)	TX/RX antenna interface	50 Ω DIN-mode connector
6	ANT4 (TX/RX)	TX/RX antenna interface	50 Ω DIN-mode connector
7	OPT1	Communication between RRU and BBU, or RRU cascading interface	LC-type optical interface (IEC 874)
8	OPT2	RRU cascading interface	LC-type optical interface (IEC 874)
9	PWR	Power input interface	2-pin customized connector

Антенне обладнання

До складу антенних пристроїв БС UP0885 входять три антени K742265 (Дод А), дві антени K742236 (Дод. Б), одна антена TDQ-172718DEI-65FT2V01 (Дод В), одна антена T0005L6R011 (Дод. Г) та дві антени TDQ-172718DE-65Fv02 (Дод. Д). Технічні характеристики представлені в табл. 3.4-3.5:

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики (початок)

№	Найменування	Технічна характеристика		
1.	Тип передавача	R88563 (GSM900) (1 шт.)		
2.	Позначення передавача	Сектор А	Сектор В	Сектор С
3.	Кількість передавачів	6	6	6
4.	Робоча потужність передавача, Вт	13,33	13,33	13,33
5.	Робочий діапазон частот передавачів	935-960 МГц		
6.	Азимут випромінювання, °	20	190	290
7.	Тип антени	K742265	K742265	K742265
8.	Коефіцієнт підсилення антени, дБі	16,0	16,0	16,0
9.	Висота фаз. центру антени: - над рівнем землі, м	31,8	31,8	31,8
10.	Довжина ВОК, м	-	-	-
11.	Сумарні втрати, дБ	0,35	0,8	0,8
12.	Електричний кут нахилу, град.	0	0	0
13.	Механічний кут нахилу, град.	4	2	2
14.	Сумарний кут нахилу, град.	4	2	2
15.	Координати: X, м/Y, м	0/0	0/0	0/0
16.	Тип передавача	R8854E (DCS-1800/LTE-1800) (2 шт.), R8863 (DCS-1800/LTE-1800) (2 шт.)		
17.	Позначення передавача	Сектор А	Сектор В	Сектор С
18.	Кількість передавачів	8/1	20/2	8/1
19.	Робоча потужність передавача, Вт	10/80	20/40	10/80
20.	Робочий діапазон частот передавачів	1805-1880 MHz		
21.	Азимут випромінювання, °	20	190	290
22.	Тип антени	TDQ- 172718DEI- 65FT2V01	K742236	K742236
23.	Коефіцієнт підсилення антени, дБі	17.0	17.8	17.8
24.	Висота фаз. центру антени: - над рівнем землі, м	42.0	42.0	42.0

25.	Довжина ВОК, м	-	-	60
26.	Сумарні втрати, дБ	0,491	0,491	0,491
27.	Електричний кут нахилу, град.	4	5	5
28.	Механічний кут нахилу, град.	0	2	2
29.	Сумарний кут нахилу, град.	0	7	7
30.	Координати: X, м/У, м	0/0	0/0	0/0
31.	Тип передавача	R8863 (UMTS-2100) (1 шт.)		
32.	Позначення передавача	Сектор Е	Сектор F	Сектор G
33.	Кількість передавачів	3	3	3
34.	Робоча потужність передавача, Вт	26.67	26.67	26.67
35.	Робочий діапазон частот передавачів	2155-2170 MHz		
36.	Азимут випромінювання, °	20	190	290
37.	Тип антени	K742265	K742265	K742265
38.	Коефіцієнт підсилення антени, дБі	18,0	18,0	18,0
39.	Висота фаз. центру антени: - над рівнем землі, м	31,8	31,8	31,8
40.	Довжина ВОК, м	-	-	-
41.	Сумарні втрати, дБ	0,51	0,51	0,51
42.	Електричний кут нахилу, град.	4	4	4
43.	Механічний кут нахилу, град.	4	2	2
44.	Сумарний кут нахилу, град.	8	6	6
45.	Координати: X, м/У, м	0/0	0/0	0/0
46.	Тип передавача	R8998G (LTE-2300) (1 шт.)		
47.	Позначення передавача			Сектор С
48.	Кількість передавачів			1
49.	Робоча потужність передавача, Вт			160
50.	Робочий діапазон частот передавачів	2490-2690 MHz		
51.	Азимут випромінювання, °			290
52.	Тип антени			T0005L6R011
53.	Коефіцієнт підсилення антени, дБі			17,3

54.	Висота фаз. центру антени: - над рівнем землі, м			32,4
55.	Довжина ВОК, м			60
56.	Сумарні втрати, дБ			0,53
57.	Електричний кут нахилу, град.			4
58.	Механічний кут нахилу, град.			0
59.	Сумарний кут нахилу, град.			4
60.	Координати: X, м/Y, м			0/0
61.	Тип передавача	R8854 (LTE-2600) (2 шт.)		
62.	Позначення передавача		Сектор В	Сектор С
63.	Кількість передавачів		1	1
64.	Робоча потужність передавача, Вт		80	80
65.	Робочий діапазон частот передавачів	2490-2690 MHz		
66.	Азимут випромінювання, °		190	290
67.	Тип антени		TDQ- 172718DE -65Fv02	TDQ- 172718DE- 65Fv02
68.	Коефіцієнт підсилення антени, дБі		18.0	18.0
69.	Висота фаз. центру антени: - над рівнем землі, м		37.0	37.0
70.	Довжина ВОК, м		-	-
71.	Сумарні втрати, дБ		0,71	0,71
72.	Електричний кут нахилу, град.		2	2
73.	Механічний кут нахилу, град.		2	2
74.	Сумарний кут нахилу, град.		4	4
75.	Координати: X, м/Y, м		0/0	0/0
76.	Режим роботи	Цілодобово		

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики РРС

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип ЦРРС	RTN 310 23G BandB 422M LO
2	Діапазон частот передавача, ГГц	23 GHz
3	Тип модуляції	512QAML
4	Потужність передавача (dBm)	19
5	Коефіцієнт підсилення ант. (dBi)	39.3
6	Напрямок випромінювання	-
7	Азимут випромінювання	315,15°
8	Висота фазового центру (м)	39.50
9	Діаметр антени (м)	0.6

До проєктованих радіоблоків прокладаються пара кабелів - оптоволоконний і електроживлення 2x6 мм² (проект.) Рис. 3.4. Від радіоблоків до антен прокладаються перехідні кабелі (джампери), кабелі мають на кінцях з'єднувачі, зі сторони антен та радіоблоків використовуються прями з'єднувачі.



Рисунок 3.4 – Загальний вид прокладанної фідерної траси

Кінці джамперів повинні бути промарковані з позначенням номера джамперу відповідно до схеми підключення обладнання (див. розділ ТХ).

Спосіб нанесення маркування повинен забезпечити стійкість маркування щодо погодних умов і виключати втрату маркування під час проведення монтажних і експлуатаційних робіт.

Монтаж роз'ємів на кабелі здійснюється у відповідності з монтажно-технологічною документацією, що надається фірмою-постачальником кабелів. Після закінчення монтажу роз'ємів проводиться перевірка якості з'єднання, яка здійснюється візуально, а також за допомогою приладу Site Master. Величина КСХ в будь-якій точці траси (крім точки підключення антени) не повинна перевищувати 1,3.

В місці вводу в технологічне обладнання антенні фідери, волоконно-оптичні кабелі та кабелі електроживлення повинні мати від'ємний кут нахилу (петля) для запобігання затіканню води.

Кабелі одного призначення, що прокладаються по одній трасі, повинні формуватися в кабельні пакети. Кабелі в пакетах повинні бути скріплені бандажами з полівінілхлориду товщиною 1 мм, шириною 10 мм. Відстань між бандажами – не більш 500 мм.

При прокладці та закріпленні кабелів на кабельростах необхідно керуватися рекомендаціями фірми-виробника.

Підключення кабелів до технологічного обладнання базової станції виконується згідно документації фірми-виробника.

Основні дані для монтажу наведені в таблиці 3.6:

Таблиця 3.6 – Вимоги прокладання кабелів

Позначення	Марка	Крок закріплення, мм		Мінімум радіус згину, мм	Мінімум радіус розвороту, мм
		Норма	Мах		
Оптоволокно		300-400	500	60	180
Джампер	RU jumpers DMI-DMI	500-600	750	70	210

Необхідно дотримуватися вимог щодо прокладання кабелів:

- Кабелі живлення постійного струму прокладаються по кабельросту в коробі окремо від низьковольтних кабелів;

- Високочастотні кабелі, які передають сигнали з різним рівнем потужності, прокладаються на відстані не менше 100 мм один від одного;

- Кабелі низькочастотних ланцюгів з низьким рівнем потужності, а також ланцюгів керування, блокування, сигналізації та захисту прокладаються на відстані не менше 100 мм від кабелів електроживлення та кабелів низької частоти з високим рівнем потужності. Кабельні надлишки довжиною понад 5-ти метрів, як правило, необхідно розміщувати у ящиках кабельного запасу. В якості ящиків кабельного запасу можуть використовуватись ящики кабельні, що за своїми конструктивними характеристиками найбільше придатні для викладення надлишків (запасу) волоконно-оптичних кабелів. Ящики кабельного запасу, в залежності від умов експлуатації, можуть бути встановлені як в стійці, так і поза нею, в місцях, які (по можливості) недосяжні для сторонніх осіб. Допускається використовувати один ящик кабельного запасу для надлишків декількох кабелів. При відсутності ящиків кабельного запасу, як виняток, дозволяється, укласти сформовані бухти кабелю у технологічному контейнері у вільному від обладнання місці.

Розміщення планованого проектного обладнання представлено на рис. 3.5:

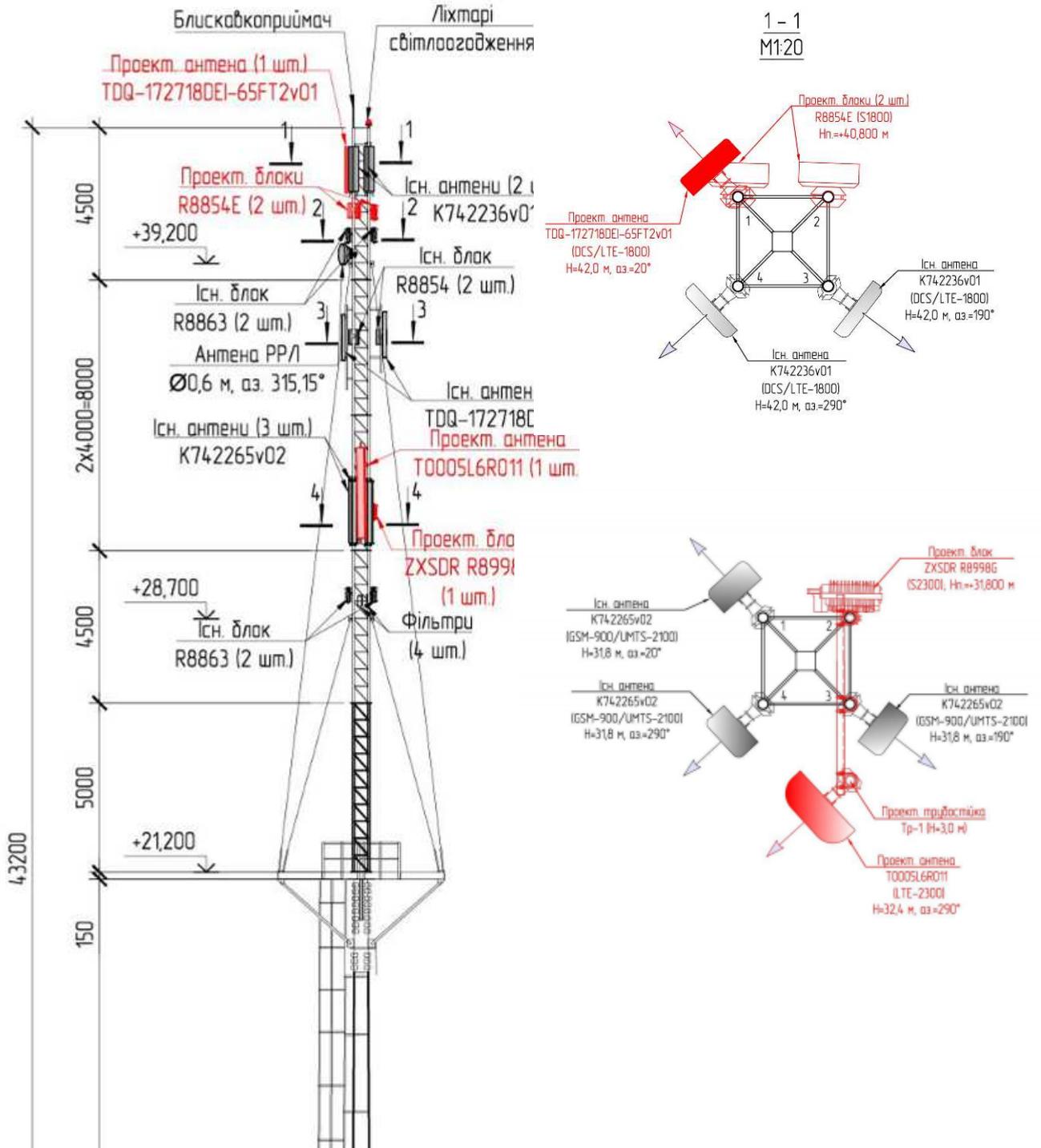


Рисунок 3.5 – Схема розміщення проектного обладнання

Розроблена схема підключення обладнання представлена на рис 3.6.

3.2 Електроживлення обладнання базової станції

Згідно класифікації ПУЕ базова станція відноситься до споживачів III категорії надійності електропостачання. Монтажні роботи необхідно виконувати згідно СНиП 3.05.06-85. Зовнішнє електропостачання базової станції здійснюється згідно робочого проекту на будівництво БС, виконаного підрядною організацією.

Напруга мережі живлення складає 220/380 В з частотою 50Гц. Облік спожитої електроенергії базовою станцією здійснюється за допомогою електронного електролічильника. На ввіді в апаратну для енергозабезпечення передбачено щит обліку та розподільчий пристрій. Розподільчий щит обладнано автоматичними вимикачами, які забезпечують захист кожного кола електроустановок від перевантажень та струмів короткого замикання.

Розподіл електроенергії з розподільчого щита здійснюється, як безпосередньо на обладнання базової станції через стійку гарантованого живлення, так і на допоміжне обладнання. Переключення на резервне електроживлення (переносний дизель-генератор) здійснюється за допомогою автоматичного перемикача.

При модернізації передбачено перевикористання існуючої стійки Huawei.

Електроживлення проектного технологічного обладнання постійною напругою -48 В здійснюється від існуючого модуля DCPD7 (1 шт.) та проектного DCPD10B (1 шт.) через 8 герметичних акумуляторних батарей ВВ Ватеру FTB100-12 з внутрішньою рекомбінацією газів, які працюють в режимі автоматичного підзаряду. В аварійному режимі базова станція живиться від акумуляторних батарей. Час роботи станції в такому режимі живлення до чотирьох годин. Корпуси електрообладнання підлягають заземленню. В щитку встановлено групу автоматичних однофазних вимикачів. Схему розміщення системного обладнання в апаратній наведено на рис. 3.6:

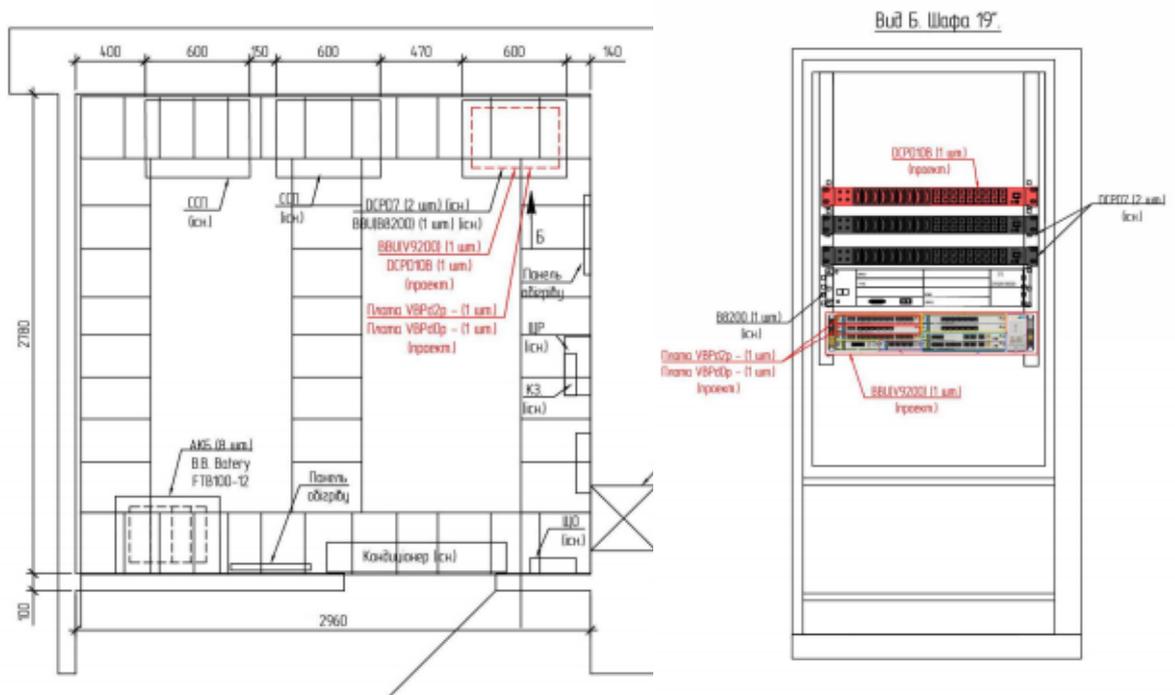


Рисунок 3.6 – План розміщення обладнання в апаратній та шафі 19

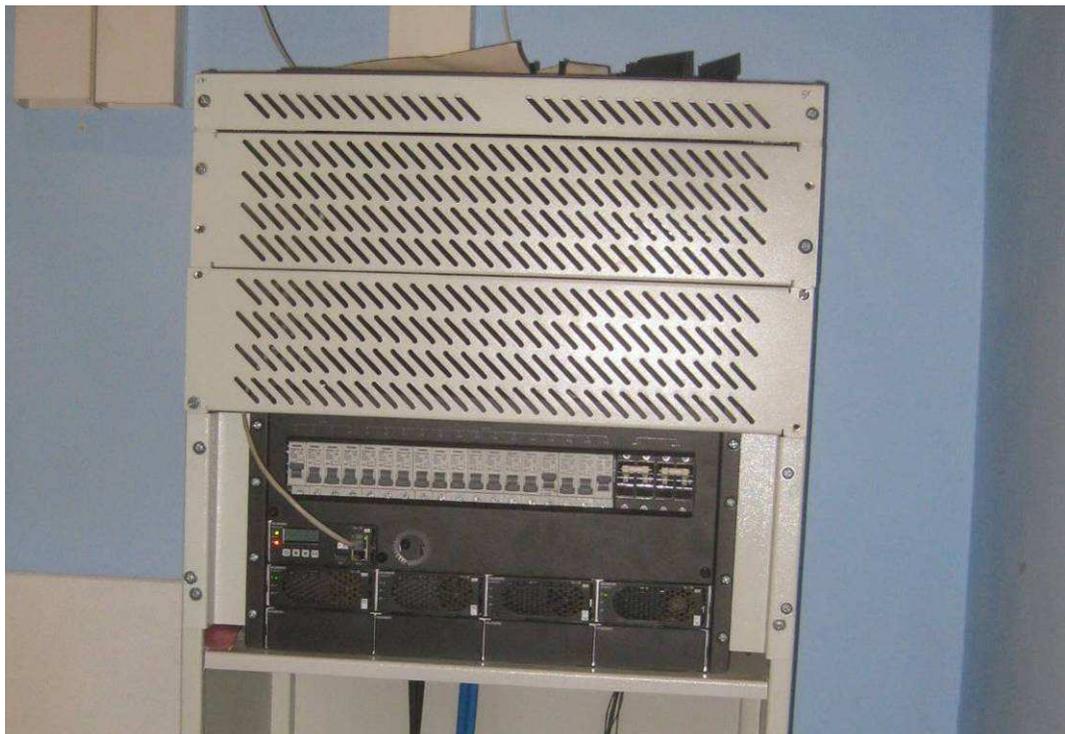


Рисунок 3.7 – Електроживильна установка ETR48400 -48V (фірми HUAWEI)

Комерційний облік електроенергії здійснюється шляхом застосуванням лічильника обліку електроенергії прямого включення.

Відповідно до вимог державних стандартів України і нормативних документів проектом передбачається застосування енергозберігаючих технологій та обладнання.

Основними заходами енергозбереження споживаного струму є:

автоматичне зниження електроспоживання при зниженні навантаження в радіоканалах базової станції;

використанням для обігріву апаратної в зимовий час тепловиділень обладнання;

автоматичне відключення кондиціонеру, що забезпечує підтримку температурно-вологого режиму в приміщенні базової станції;

застосування електроприймачів з коефіцієнтом потужності не нижче 0,9.

зменшення тепловитрат за рахунок виконання ефективних огорожуючих конструкцій;

застосування терморегулятора в опалювальній системи.

Експлуатація базових станцій здійснюється виїзною бригадою, що складається не менше ніж з двох чоловік, кожний з яких повинен мати кваліфікаційну групу по електробезпеці не нижче 3. При них повинне знаходитися посвідчення, що підтверджує кваліфікаційну групу.

При виконанні робіт, на об'єкті повинне забезпечуватися проведення організаційних і технічних заходів щодо створення безпечних умов праці.

3.3 Блискавкозахист та захисне заземлення

Експлуатація БС здійснюється виїзною бригадою, яка складається не менше ніж з 2-х чоловік, кожний з яких повинен мати кваліфікаційну групу по електробезпеці не нижче 3. При них повинне знаходитися посвідчення, що підтверджує кваліфікаційну групу.

При виконанні робіт на об'єкті повинне забезпечуватися проведення організаційних та технічних заходів щодо створення безпечних умов праці.

Згідно ВСН „Інструкція по проектуванню антенно-щоглових споруд”

антенно-щоголові споруди радіоб'єктів повинні бути обладнані пристроями блискавкозахисту на всій території України, незалежно від числа годин грозової діяльності.

Захист від прямих ударів блискавки забезпечується існуючою системою блискавкозахисту БС зі стрижневим блискавкоприймачем довжиною 1000 мм.

Заземлення радіоблоків виконується проводом ПВЗ 1x16 мм² на верхній щит заземлення біля антенних трубок, заземлення корпусів секторних антен непотрібне рис. 3.8

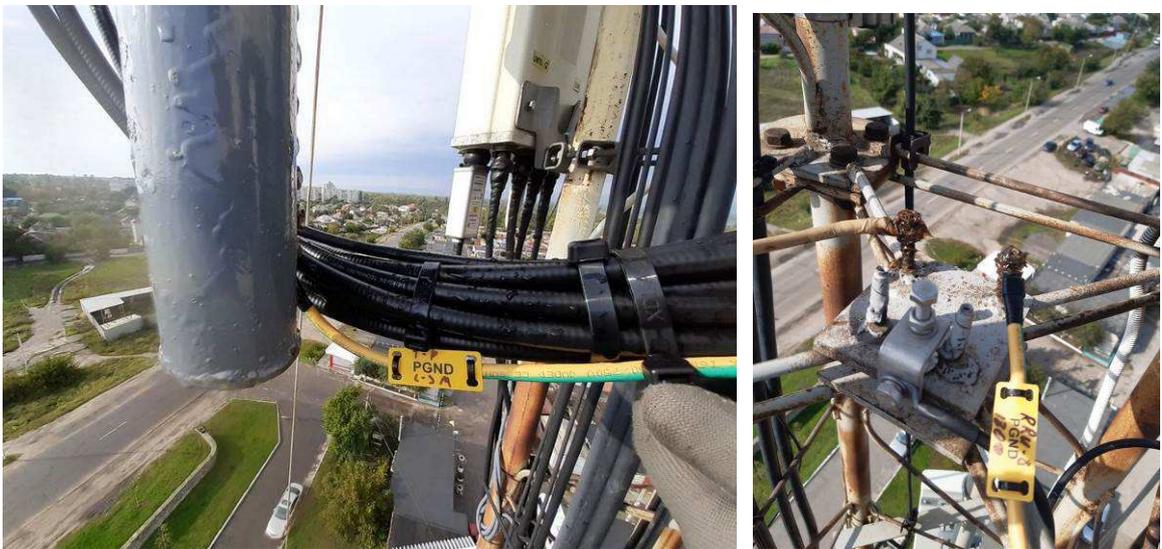


Рисунок 3.8 – Принцип заземлення обладнання

Для нормальної роботи технологічного обладнання необхідне захисне заземлення опором не більше 4 Ом. Для заземлення технологічного обладнання в приміщенні базової станції передбачається колодка захисного заземлення, під'єднана до існуючого контуру захисного заземлення опором не більше 4 Ом за допомогою кабелю ПВЗ 1×16 мм².

Опір захисного заземлення, виміряний по двохелектродній схемі в будь-якій точці на металевих неструмоведучих конструкціях, не повинен перевищувати 4 Ом (із врахуванням перехідного опору). Перехідний опір в місцях з'єднань не повинен перевищувати 0,01 Ом. Заземлення всіх металевих неструмоведучих частин обладнання виконується ізольованим дротом

перетином не менше 10 мм². Отвори у колодці мають бути діаметром не менше 10 мм, щоб забезпечити підключення провідників перетином 16, 25, 35 мм². Конструкція колодки заземлення має забезпечити можливість в подальшому підключення додаткового обладнання без відключення вже існуючого.

До колодки захисного заземлення приєднується обладнання базової станції.

Технологічне обладнання проекрованої базової станції передбачається обслуговувати виїзними бригадами без організації постійних робочих місць. Технічний відділ мережі рухомого зв'язку ПрАТ «Київстар» знаходиться в м. Полтава.

Постійний контроль за станом обладнання здійснюється в автоматичному режимі з пульту керування, що встановлений в центрі комутації мережі ПрАТ «Київстар».

Доставка техперсоналу до базової станції здійснюється автотранспортом генпідрядної організації.

3.4 Організація обслуговування базової станції

Технологічне обладнання проекрованої базової станції передбачається обслуговувати виїзними бригадами без організації постійних робочих місць. Технічний відділ мережі рухомого зв'язку ПрАТ «Київстар» знаходиться в м. Полтава.

Постійний контроль за станом обладнання здійснюється в автоматичному режимі з пульту керування, що встановлений в центрі комутації мережі ПрАТ «Київстар».

Доставка техперсоналу до базової станції здійснюється автотранспортом ГПО.

Всі роботи по монтажу і обслуговуванню обладнання, встановленого на металевій конструкції, виконуються спеціалізованою організацією у відповідності з вимогами «Правил техніки безпеки при експлуатації радиорелейних ліній передачі»:

- розташування антен базової станції повинно виключати можливість перебування людей в межах зони електромагнітного випромінювання вище допустимих норм;
- проводити ремонтні та профілактичні роботи з антенами при вимкнених передавачах з вивішуванням попереджувальних знаків;
- інструктувати персонал про безпеку опромінення і заходи техніки безпеки при проведенні робіт з врахуванням даних про рівні опромінення в зоні антен об'єкту.

Для кожної категорії працівників, що займаються обслуговуванням обладнання, повинна бути розроблена і затверджена інструкція з охорони праці у відповідності із ДНАОП 0.00-4.15-98, в якій відображені обов'язки працівника, шкідливі і небезпечні чинники, які супроводжують його діяльність, правила техніки безпеки та перелік захисних засобів.

До обслуговування устаткування базової станції допускаються працівники, що знають його схеми, особливості, посадові й експлуатаційні інструкції, пройшли навчання і перевірку знань ПБЕЕС.

Працівники, що обслуговують устаткування одноосібно, повинні мати кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче IV-ї.

Технологічне обладнання базової станції передбачається обслуговувати виїзними бригадами без організації постійних робочих місць. Технічний відділ мережі рухомого зв'язку ПрАТ «Київстар» знаходиться в м. Полтава.

Постійний контроль за станом обладнання здійснюється в автоматичному режимі з пульту керування, що встановлений в центрі комутації мереж ПрАТ «Київстар».

Висновки до розділу 3

В розділі передбачається розширення базової станції UP0885 стандартів UMTS-2100/LTE-1800/LTE-2300, а саме дообладнання базової станції обладнанням з підтримкою LTE-2300.

Це дозволить забезпечити всю територію розглянутого району міста стійким радіосигналом мережі LTE та надати користувачам високоякісний мобільний доступ в мережу Інтернет, збільшити швидкість передачі даних з використанням вже існуючих систем мобільного зв'язку.

Для встановлення даного обладнання була розроблена схема та спосіб підключення проєктованого обладнання, обрано місце встановлення обладнання на висотній споруді, яке не призведе до збою роботи існуючого обладнання. Було прораховано та підбрано антено-фідерне обладнання, визначено необхідну довжину та прокладку фідерної траси для підключення обладнання.

В результаті було успішно встановлено та підключено нове проєктоване обладнання та введено в експлуатацію базову станцію з підтримкою стандарту LTE-2300.

Для визначення та розрахунку впливу електромагнітного випромінювання та відповідності вимогам діючих санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань було виконано спеціальний розрахунок в розділі 4.

4. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМОГО РІВНЯ ЕЛЕКТРО-МАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОБЛИЗУ АНТЕН БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ UP0885

4.1 Передумови дослідження електромагнітного поля поблизу антен мобільного зв'язку

Введення в експлуатацію нових пристроїв передачі, які використовують сучасні технології, вимагає вдосконалення методів розрахунку та вимірювання характеристик електромагнітного поля в рамках проблеми електромагнітної безпеки. Важливим моментом при проектуванні антенних систем, що випромінюють електромагнітне поле, є аналіз електромагнітної обстановки біля місць розташування передавальних антен та оцінка відповідності характеристик ВМЗ санітарним та екологічним нормам. Оскільки антена має певні дисперсійні властивості, аналіз електромагнітної обстановки в деяких практично важливих випадках вже не дає адекватного уявлення про реальну картину розподілу характеристик поля, яке створює антена.

Структура антенного поля ближньої зони залишається недостатньо дослідженою, незважаючи на те, що теоретичним та експериментальним дослідженням цього питання присвячено значну кількість праць українських та зарубіжних авторів. Цей напрямок є цікавим з точки зору вирішення питань електромагнітної екології, зокрема, для розрахунку біологічно безпечної зони поблизу передавальної антени. Теоретичні дослідження є фундаментальним внеском в розвиток класичних основ антенної техніки в одному з найбільш складних її розділів, що вивчає ближнє поле випромінювання електромагнітних пристроїв (ЕМП).

Вперше вирішення задачі визначення ближнього поля антени мобільного зв'язку дав у 2001 році Петровський А.А. [4].

Також значну роль в розробці даної проблеми, методичної та нормативної документації щодо електромагнітної екології належить Ю.М. Сподобаєву, А.В. Бузову, В.А. Романову. Значний інтерес представляють результати робіт

В.А. Неганова, І.В. Матвєєва, А.В. Маторіна, С.І. Емінова. Проте задачі далекі від остаточного вирішення.

У роботах Петровського А.А. проводиться аналіз полів в проміжній і ближній зоні конкретних типів панельних дротовий антен. Досліджуються кутові залежності електричного та магнітного поля антен базових станцій в залежності від відстані від антени, наводяться результати досліджень залежностей зміни напруженості поля, випромінюваного антеною, в міру віддалення від антени для проміжної та ближньої зони. Виводиться формула розрахунку усередненого значення ГПЕ в ближній зоні антен і наводяться графіки поведінки вектора Пойнтінга в проміжній і ближній зоні, як для загального випадку, так і для конкретних типів антен. [6]

Оскільки інші країни вже давно перейшли на мережі четвертого покоління, то дані дослідження набагато випереджають ситуацію в Україні. Також існуючі дослідження в цій області проведені для оцінки впливу ЕМВ на здоров'я людини. Проте дані роботи не враховували якісну роботу систем мобільного зв'язку [6].

У системах мобільного зв'язку використовуються антенно-фідерні пристрої з найбільшим розміром. Вибір такого розміру визначався не бажанням отримати високу спрямованість антени, а забезпеченням кращого узгодження з фідером. Невеликі розміри антени визначають її слабку спрямованість. Крім того, в процесі роботи системи, ДС залишається незмінною, тому що управління останньої пов'язано зі зміною її габаритів або механічним поворотом, що є практично неможливим. Тому при розробці алгоритмів обробки доводиться враховувати лише зміну параметрів радіосигналів в часі, в зв'язку з чим в системах мобільного зв'язку використовується, як правило, часова обробка.

Для збільшення перешкодостійкості систем мобільного зв'язку потрібно, не змінюючи умов розташування, підвищити рівень забезпечення роботи багатоканального антенного пристрою та передбачити можливість керування ДС останнього. Виконання поставлених вимог забезпечить значне розширення

функціональних можливостей системи обробки, дозволить створювати алгоритми, що враховують не тільки час, але і векторні параметри, що надходять в точку прийому радіосигналів.

У літературі [7, 8, 9] досить обмежені відомості як про просторову структуру ближнього поля конкретних типів антен, так і загальні тенденції, які притаманні електромагнітному полю довільних антен при переході з дальньої зони, де залежність амплітуди поля від відстані в будь-якому напрямку описується функцією $1/r$, в проміжну і, тим більше, в ближню зону. У теорії випромінювання давно і добре відомі загальні формули, що дозволяють здійснити розрахунок поля в дальній зоні (зоні Френеля). Відомо також, що для антен апертурного типу межа далекої зони в області бокового випромінювання розташовується значно ближче до антени, ніж ця ж межа в області головної пелюстки; в разі ж антен осьового випромінювання (наприклад антен типу «хвильовий канал») закономірності формування дальньої зони є протилежними. Однак отримати чітку відповідь на питання, як же з відстанню змінюються поля довільних випромінювачів, не вдається. Відомо лише, що в зоні Френеля «на монотонне спадання поля за законом $1/r$ накладається осцилююче згасаюче коливання». Виняток становлять, мабуть, тільки результати дослідження ближнього поля квадратних і круглих апертур, що детально описані, наприклад, в [10, 11].

4.2 Розташування та кліматичні особливості району розміщення базової станції

Місце розташування радіотехнічного об'єкту UP0885 за адресою:
Полтавська обл., Кременчуцький р-н, м. Кременчук (Рис 4.1).

Координати розміщення БС: N 49°01'17.0" E 33°28'19.0"

Базова станція розташована на опорі H=43,2 м.

Місце розташування базової станції не належить до території зі складними інженерно-геологічними умовами.

Рельєф місцевості навколо РТО–рівнинний. Територія розташована у 1-му кліматичному районі.



Рисунок 4.1 – Ситуаційний план розміщення базової станції

Об'єкти природно-заповідного фонду, пам'ятники архітектури, історії і культури відсутні.

Клімат району – помірно континентальний, достатньо вологий, з м'якою зимою і нежарким літом.

Згідно з класифікацією ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» дана територія має наступні кліматичні характеристики:

Таблиця 4.1 – Середня місячна та річна температура повітря, °С

Місяць												Рік
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
-5,6	-4,7	0,3	9,0	15,4	18,7	20,5	19,7	14,3	7,7	1,3	-3,4	7,8

Таблиця 4.2 – Кліматичні параметри холодного та теплого періодів

Температура повітря найхолоднішої доби забезпеченістю, °С		Температура повітря найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю, °С		Температура повітря найжаркішої доби забезпеченість 0,95, °С	Температура повітря найжаркішої п'ятиденки забезпеченість 0,99, °С
0,98	0,92	0,98	0,92	29	25
-30	-27	-25	-23		

Таблиця 4.3 – Середня добова температура повітря:

Тривалість періоду з температурою $\leq 8^{\circ}\text{C}$ та середня температура за цей період		Тривалість періоду з температурою $\leq 10^{\circ}\text{C}$ та середня температура за цей період		Тривалість періоду з температурою $\geq 21^{\circ}\text{C}$ та середня температура за цей період	
тривалість, діб	середня температура, °С	тривалість, діб	середня температура, °С	тривалість, діб	середня температура, °С
178	-0,8	195	0,0	31	20,8

Загальна кількість опадів за рік становить – 574 мм.

Також для даного району характерні наступні значення:

- снігове навантаження - 1400 Па;
- вітровий тиск - 490 Па;
- сейсмічність до 5 балів.

4.3 Загальна характеристика об'єкту та господарської діяльності в зоні його впливу

Передбачені в проекті обладнання і апаратура мають висновки державної санітарно-епідеміологічної експертизи та відповідають діючим стандартам України для наведених кліматичних умов і не впливають на інтенсивність сонячної радіації, оточуючу температуру, швидкість вітру, вологість, атмосферні інверсії, тривалість туманних періодів та інше.

В результаті будівництва, реконструкції, переоснащення об'єкту буде задоволено попит населення регіону в сучасному якісному зв'язку.

Приміщення РТО обладнано засобами автоматичного кондиціонування.

Режим роботи об'єкту – автоматичний, що виключає постійне перебування обслуговуючого персоналу. Розміщення та експлуатація обладнання РТО не потребує водоспоживання та водовідведення. Стічних вод проєктована БС не формує. Потреби у підключення до міських мереж водопроводу та каналізації не має, тому відомості про можливі джерела водопостачання та водовідведення не розглядались.

Для виїзду на РТО, з метою проведення технічного обслуговування, використовуються існуючі дороги.

Сировинні, земельні ресурси при експлуатації об'єкта не використовуються. Інших впливів, які можуть призвести до виникнення змін компонентів геологічного середовища не має.

Відповідно до постанови КМУ «Про затвердження переліку видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку» №808 від 30 серпня 2015 року споруди електрозв'язку не віднесені до об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку.

Склад технічних засобів та споруд РТО, опис можливих впливів БС у відповідності з характером планової діяльності та заходи щодо зменшення можливих впливів наведено в Таблиці 4.4.

При нормуванні дії шуму було використано нормативний акт ДСН 3.3.6.037-99. Виходячи з технологічних вимог, при будівництві РТО для підтримки мікроклімату апаратної, використовується спліт-система, що складається з внутрішнього і зовнішнього блоків. Дане обладнання має максимальний рівень шуму приблизно в 57 децибел, що відповідає вимогам нормативних актів та не перевищує максимально допустимих норм.

Таблиця 4.4 – Склад технічних засобів та споруд БС та опис можливих

ВПЛИВІВ

№ п/п	Технічні засоби та споруди	Можливі впливи на навколишнє середовище	Дані щодо технічних заходів	Заходи щодо зменшення впливів
1.	ВВU8200, блоки R8863 (4 шт.), R8854E (2 шт.), R8998G (1 шт.), R8854 (2 шт.), стійка живлення (ЕЖУ), стійка RAN19'', стійка систем передачі (ССП)	Електромагнітне (неіонізуюче) випромінювання в робочу зону	Вибране обладнання має висновки державної санітарно-епідеміологічної експертизи, сертифікати відповідності УкрСЕПРО та передбачає екранування і ізоляцію залишкових електромагнітних (неіонізуючих) випромінювань	Не передбачаються
2.	Електричний лічильник	Електромагнітне (неіонізуюче) випромінювання в робочу зону	Вибране обладнання має висновки державної санітарно-епідеміологічної експертизи, сертифікати відповідності УкрСЕПРО та передбачає екранування і ізоляцію залишкових електромагнітних (неіонізуючих) випромінювань	Не передбачаються
3.	Анени стільникового зв'язку К 742265 (3 шт.), TDQ-172718DEI-65FT2V01 (1 шт.), К 742236 (2 шт.), T0005L6R011 (1 шт.), TDQ-172718DE-65Fv02 (2 шт.), RTN310_23G_0.6 (1 шт.)	Електромагнітне (неіонізуюче) випромінювання в простір	Встановлення СЗЗ та ЗОЗ	Вибір місця розташування антен РТО згідно вимог
4.	Акумулятори (герметичні) з рекомбінацією газів	Відсутні	На об'єктах ПрАТ «Київстар» застосовуються акумулятори закритого типу з рекомбінацією газів, які можуть бути встановлені у виробничих приміщеннях загального призначення відповідно до рекомендацій фірм-постачальників (лист Держкомнагляд – охорони праці від 27.02.97 №08-6/485)	Не передбачаються
5.	Кондиціонер	Шум	Випромінюване звукове навантаження спліт-систем, які проектується в приміщеннях апаратних РТО, повинне відповідати нормам	Не передбачаються
6.	Опора	Відсутні	Конструктив будівельних споруд не передбачає впливу на навколишнє середовище	Не передбачаються

Звукове навантаження спліт-систем, які використовуються в апаратній БС, має періодичний характер, тобто при створенні необхідного мікроклімату в приміщенні апаратної спліт-система автоматично відключається.

На БС застосовуються акумулятори закритого типу з рекомбінацією газів і напругою 6 В на елемент, які можуть бути встановлені у виробничих приміщеннях загального призначення. При зарядженні акумуляторів закритого типу газу не виділяється і проведення відповідних розрахунків у частині ОВНС не потрібне.

Аналіз характеру планованої діяльності дозволив визначити, що компонентом навколишнього середовища, на який може мати вплив планована діяльність є повітряне середовище.

4.4 Розрахунок санітарно-захисних зон та зон обмеження забудови.

Аварійна ситуація під час роботи базової станції може виникнути лише при вимкненому електроживленні. При цьому робота радіотехнічного об'єкта автоматично переходить в режим живлення від акумуляторних батарей.

При відключенні електропостачання зовнішній вплив на навколишнє середовище не перевищуватиме встановленої норми. Зникнення джерела живлення не призводить до шкідливих викидів газів, підвищення температури, можливого загоряння обладнання та інших шкідливих проявів..

Конструктивом антенно-фідерного обладнання передбачені заходи щодо захисту та збереження сталості випромінюючих характеристик навіть при механічному пошкодженні споруд на яких вони встановлюються.

Під час роботи РТО на майданчику присутнє ЕМВ.

Базові станції загалом обладнані антенами направленої дії, відповідно санітарно-захисні зони і зони обмеження забудови встановлюються у напрямі випромінювання електромагнітної енергії, з врахуванням бічних і задніх пелюсток діаграми спрямованості антен. Враховується, що антени випромінюють електромагнітну енергію під певним кутом до горизонту і рівень

ЕМП міняється залежно від висоти, отже зона обмеження забудови встановлюється диференційовано по вертикалі в межах висоти житлової забудови.

Розрахунками визначено розміри і розташування зон фіксованого рівня випромінювання, розраховано рівень ЕМП, створений всіма відомими на дату обстеження території джерелами електромагнітного випромінювання на межі санітарно-захисної зони, та на межі зони обмеженої забудови.

Розміри зон фіксованого рівня випромінювання у вертикальній площині по азимуту променю направлено випромінювання та в горизонтальній площині в залежності від висоти розміщення антени наводяться в діаграмах випромінювання.

Максимальний рівень ЕМП, створений всіма джерелами випромінювання на межі санітарно-захисної зони та на межі зони обмеження забудови, на різних висотах та по азимутам направленості наведені у графіках.

Враховуючи режим, частоту і випромінювання розраховується електрична складова ЕМП, що виражаються середньоквадратичним значенням, і рівень ГПЕ, виражається середнім значенням.

Відповідно наказу МОЗ України №2760 від 30 листопада 2020 р. «Про затвердження Змін до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» гранично допустимий рівень ЕМП для РТО, що працюють у діапазонах дуже високих, ультрависоких, надвисоких та надзвичайно високих частот, встановлюється на рівні 100 мкВт/см² або 19,42 В/м.

У діапазоні частот вище 300 МГц інтенсивність випромінювання характеризується густиною потоку потужності (ГПП) або ГПЕ - густиною потоку електромагнітної енергії й вимірюється в одиницях потужності, ділених на одиницю площі Вт/м² або мкВт/см².

Розрахунок очікуваної санітарно-захисної зони та зони обмеження забудови проводиться відповідно до чинних нормативно-технічних документів, методик [12]

Граничнодопустимі рівні ЕМП, які створюють телевізійні і радіостанції в діапазоні частот від 48 до 1000 МГц, визначаються за формулою:

$$E_{ГДР} = 21 \times f^{-0.37},$$

де $E_{ГДР}$ - граничнодопустимий рівень (ГДР) ЕМП (електричної складової електромагнітного поля), В/м;

f - несуча частота оцінюваного каналу зображення або звукового супроводу, МГц.

Розрахунки електричної складової електромагнітного поля, що створюється кожною з антен, проводяться за формулою:

$$E = \frac{\sqrt{30 \times P \times G \times \eta}}{R} \times K_{\phi} \times F_{(\phi)} \times F_{(\alpha)} \times K_{\gamma},$$

де P - потужність на вході фідерного тракту, Вт;

G - коефіцієнт підсилення антени відносно ізотропного випромінювача;

η - коефіцієнт втрат в антенно-фідерному тракті;

R - відстань від геометричного центру антени до розрахункової точки;

K_{ϕ} - коефіцієнт, що враховує вплив відбиваючих поверхонь в умовах міської забудови (прийнято $K_{\phi}=1,25$);

$F_{(\phi)}$ - значення нормованої діаграми спрямованості антени у вертикальній площині. Для антени, для якої проводиться розрахунок, і для антен, вплив яких враховується, $F(\phi)$ визначається на підставі діаграми спрямованості у вертикальній площині відповідних антен;

$F(\alpha)$ - для антени, для якої проводиться розрахунок, $F(\alpha) = 1$. Для антен, вплив яких враховується, $F(\alpha)$ визначається на підставі діаграми спрямованості у горизонтальній площині;

K_{γ} - коефіцієнт, що враховує нерівномірність діаграми спрямованості антени в горизонтальній площині (прийнято $K_{\gamma}=1,0$).

Густина потоку енергії, що створює антена, визначається за формулою:

$$ГПЕ = E^2/3,77.$$

За наявності кількох джерел випромінювання, які працюють у радіочастотних діапазонах від 300МГц до 300ГГц, і мають однаковий ГДР, поверхнева густина потоку енергії, що створюється всіма джерелами на межі санітарно-захисної зони, повинна відповідати такій вимозі:

$$\text{ГПЕ} = \sum_{i=1}^n \text{ГПЕ}_i = \text{ГПЕ}_{\text{гдр}},$$

де ГПЕ_i - густина потоку енергії, створюваного i - антеною;

$\text{ГПЕ}_{\text{гдр}}$ - граничнодопустиме значення густини потоку енергії для всіх антен цього діапазону.

За наявності кількох джерел випромінювання, які працюють у радіочастотних діапазонах 5-11, наведених у таблиці, і мають різні ГДР, відносний рівень ЕМП, що створюється всіма джерелами на межі санітарно-захисної зони, повинен відповідати такій вимозі:

$$S_{\text{відн}} = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{E_i}{E_{\text{гдр}i}} \right)^2 + \frac{\text{ГПЕ}_i}{\text{ГПЕ}_{\text{гдр}i}} \right) = 1,$$

де E_i - напруженість електричного поля, створюваного i -антеною;

$E_{\text{гдр}i}$ - граничнодопустиме значення напруженості поля для цього діапазону;

ГПЕ_i - густина потоку енергії, створюваного i -антеною;

$\text{ГПЕ}_{\text{гдр}i}$ - граничнодопустиме значення густини потоку енергії для цього діапазону.

Також відповідно до пункту 1.6.3. ДСН 239-96 при наявності кількох джерел випромінювання, в тому числі тих, що працюють в різних радіочастотних діапазонах, рівень ЕМП, створюваний всіма джерелами на межі санітарно-захисної зони, повинен відповідати такій вимозі:

$$\frac{E_1}{E_{\text{гдр}1}} + \frac{E_2}{E_{\text{гдр}2}} + \dots + \frac{E_n}{E_{\text{гдр}n}} + \frac{\text{ГПЕ}_1}{\text{ГПЕ}_{\text{гдр}1}} + \frac{\text{ГПЕ}_2}{\text{ГПЕ}_{\text{гдр}2}} + \dots + \frac{\text{ГПЕ}_n}{\text{ГПЕ}_{\text{гдр}n}} = 1,$$

де:

E_n - напруженість ЕМП, створюваного 1-м, 2-м, ... n -м джерелом;

ЕГДР - гранично допустимі рівні напруженості ЕМП для 1-го, 2-го, ... n-го джерела;

ГПЕГДР - гранично допустимі рівні густини потоку енергії для 1-го, 2-го ... n-го джерела.

На території, призначеній для забудови, значення повинні бути менші, а в межах санітарно-захисної зони - більші за одиницю. Розрахунками визначено розміри і розташування зони фіксованого рівня випромінювання 100 мкВт/см², а також відношення (S/S_{доп}) на висоті 2,0 м від поверхні землі (санітарно-захисна зона) і висота найнижчої точки зони фіксованого рівня випромінювання (зона обмеження забудови). Параметри джерел впливу відображені в таблиці 4.4 з програмного комплексу РВА

Встановлено, що в основі методики лежить порівняння розрахункових значень напруженості ЕМП і гранично- допустимих рівнів (ГДР) напруженості ЕМП, а також розрахункових значень густини потоку енергії (ГПЕ) і ГДР ГПЕ.

Технічні дані передавача антенно-фідерного тракту і антен ПрАТ «Київстар» зображено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.4 – Параметри джерел впливу

№	Власник	Назва	Передавач				Тип	Коеф. підсил. дБі	Азимут випром.	Антенa			Фізичні параметри	
			Потужність	К-сть, шт.	Діапазон частот, МГц	Кут нахилу				Координати, м				
										Вт	дБм	Ел.		Мех.
Обладнання ПрАТ „Київстар”														
1	ПрАТ „Київстар”		13.33	41.3	6	935-960 GSM-900	16.0	20°0'	0°	4°0'	0	0	31.8	0.35
2	ПрАТ „Київстар”	R8863 x 1од.	13.33	41.3	6	935-960 GSM-900	16.0	190°0'	0°	2°0'	0	0	31.8	0.8
3	ПрАТ „Київстар”		13.33	41.3	6	935-960 GSM-900	16.0	290°0'	0°	2°0'	0	0	31.8	0.8
4	ПрАТ „Київстар”	R8854E x 1од.	10	4.0	8	1805-1880 DCS-1800	17.2	20°0'	4°	0°0'	0	0	4.2.0	0.4.9
5	ПрАТ „Київстар”	R8863 x 2од.	20	4.3	20	1805-1880 DCS-1800	17.5	190°0'	5°	2°0'	0	0	4.2.0	0.4.9
6	ПрАТ „Київстар”	R8854E x 1од.	10	4.0	8	1805-1880 DCS-1800	17.5	290°0'	5°	2°0'	0	0	4.2.0	0.4.9
7	ПрАТ „Київстар”	R8854E x 1од.	80	4.9.03	1	1805-1880 LTE-1800	17.2	20°0'	4°	0°0'	0	0	4.2.0	0.4.9
8	ПрАТ „Київстар”	R8863 x 2од.	40	4.6	2	1805-1880 LTE-1800	17.5	190°0'	5°	2°0'	0	0	4.2.0	0.4.9
9	ПрАТ „Київстар”	R8854E x 1од.	80	4.9.03	1	1805-1880 LTE-1800	17.5	290°0'	5°	2°0'	0	0	4.2.0	0.4.9
10	ПрАТ „Київстар”		26.67	4.4.3	3	2155-2170 UMTS-2100	18.3	20°0'	4°	4°0'	0	0	31.8	0.4.91
11	ПрАТ „Київстар”	R8863 x 1од.	26.67	4.4.3	3	2155-2170 UMTS-2100	18.3	190°0'	4°	2°0'	0	0	31.8	0.4.91
12	ПрАТ „Київстар”		26.67	4.4.3	3	2155-2170 UMTS-2100	18.3	290°0'	4°	2°0'	0	0	31.8	0.4.91
13	ПрАТ „Київстар”	R8998G x 1од.	160	52.04	1	2300-2400 LTE-2300	16.9	290°0'	4°	0°0'	0	0	32.4	0.53
14	ПрАТ „Київстар”	R8854 x 1од.	80	4.9.03	1	2430-2690 LTE-2600	18.0	190°0'	2°	2°0'	0	0	37.0	0.71
15	ПрАТ „Київстар”	R8854 x 1од.	80	4.9.03	1	2430-2690 LTE-2600	18.0	290°0'	2°	2°0'	0	0	37.0	0.71
16	ПрАТ „Київстар”	RTN310_23G_0.6	0.08	19	1	23000	4.0	315°15'	0°	0°0'	0	0	39.5	0

№ п/п	Параметр	Значення			Примітка
1	Діапазон випромінювання (несуча частота), МГц	1805-1880	1805-1880	1805-1880	
2	Тип радіомодуля	ZXSDR R8854E x 1 од.	ZXSDR R8863 x 2 од.	ZXSDR R8854E x 1 од.	
3	Кількість і потужність передавачів, п x Вт	1 x 80	2 x 40	1 x 80	
4	Коефіцієнт підсилення підсилювача, дБ	0	0	0	
5	Загальні втрати в АФТ, дБ	0.49	0.49	0.49	
6	Тип та кількість антен	TDQ-172718DEI-65FT2V01	K 742236	K 742236	
7	Коефіцієнт підсилення антени, дБі	17.2	17.5	17.5	
8	Висота встановлення фазового центра антени Z, м	42.0	42.0	42.0	
9	Координати встановлення фазового центра антени X і Y, м	(0;0)	(0;0)	(0;0)	
10	Азимут антени, °	20°0'	190°0'	290°0'	
11	Кут механічного нахилу антени, °	0°0'	2°0'	2°0'	
12	Кут електричного нахилу максимуму діаграми спрямованості у вертикальній площині,	4°	5°	5°	
13	Сумарний кут нахилу максимуму діаграми спрямованості у вертикальній площині, °	4°	7°	7°	
14	Діаграми спрямованості антени:				
15	- у горизонтальній площині				Рис.4.3, 4.5
16	- у вертикальній площині				Рис.4.4, 4.6
17	Тип модуляції	GMSK	GMSK	GMSK	
18	Тип поляризації	V	V	V	
19	ГДР ЕМП для даного діапазону, мкВт/см ²	100	100	100	

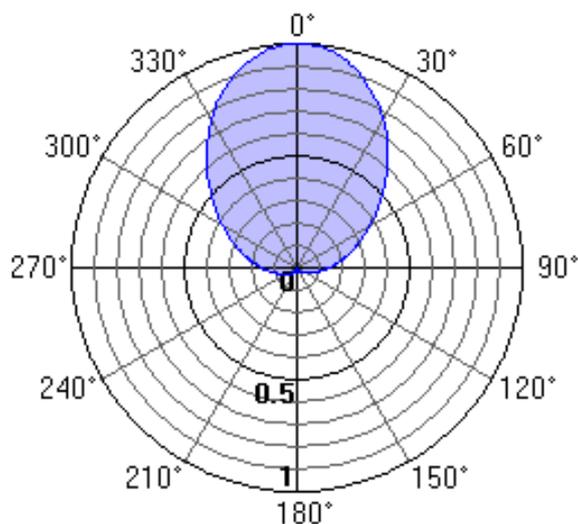


Рисунок 4.3 – Діаграма спрямованості антени "TDQ-172718DEI-65FT2V01" в горизонтальній площині (E/Emax).

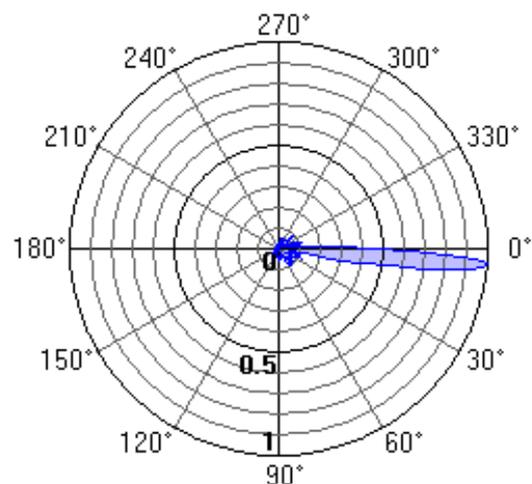


Рисунок 4.4 – Діаграма спрямованості антени "TDQ-172718DEI-65FT2V01" у вертикальній площині (E/Emax).

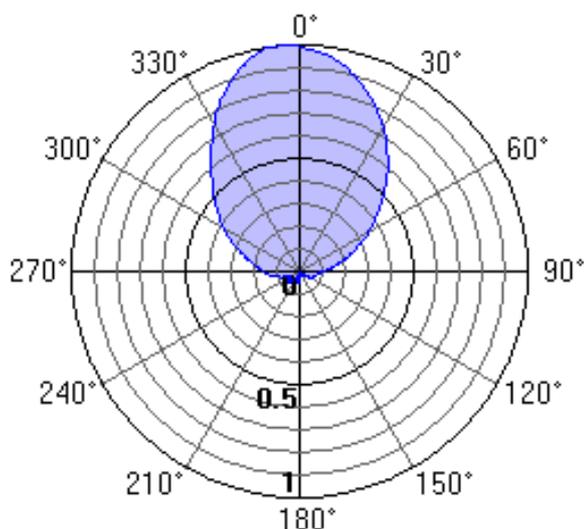


Рисунок 4.5 – Діаграма спрямованості антени "K742236" в горизонтальній площині (E/Emax).

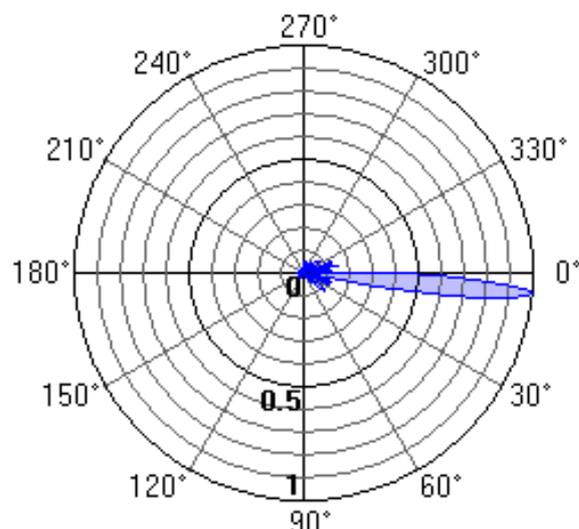


Рисунок 4.6 – Діаграма спрямованості антени "K742236" у вертикальній площині (E/Emax).

Таблиця 4.6 – Технічні дані передавача антенно-фідерного тракту і антен LTE-2300

№ п/п	Параметр	Значення	Примітка
1	Діапазон випромінювання (несуча частота), МГц	2300-2400	
2	Тип радіомодуля	ZXSDR R8998G x 1 од.	
3	Кількість і потужність передавачів, п x Вт	1 x 160	
4	Коефіцієнт підсилення підсилювача, дБ	0	
5	Загальні втрати в АФТ, дБ	0.53	
6	Тип та кількість антен	T0005L6R011	
7	Коефіцієнт підсилення антени, дБі	16.9	
8	Висота встановлення фазового центра антени Z, м	32.4	
9	Координати встановлення фазового центра антени X і Y, м	(0;0)	
10	Азимут антени, °	290°0'	
11	Кут механічного нахилу антени, °	0°0'	
12	Кут електричного нахилу максимуму діаграми спрямованості у вертикальній площині, °	4°	
13	Сумарний кут нахилу максимуму діаграми спрямованості у вертикальній площині, °	4°	
14	Діаграми спрямованості антени:		
15	- у горизонтальній площині		Рис.4.7
16	- у вертикальній площині		Рис.4.8
17	Тип модуляції	QPSK	
18	Тип поляризації	V	
19	ГДР ЕМП для даного діапазону, мкВт/см ²	100	

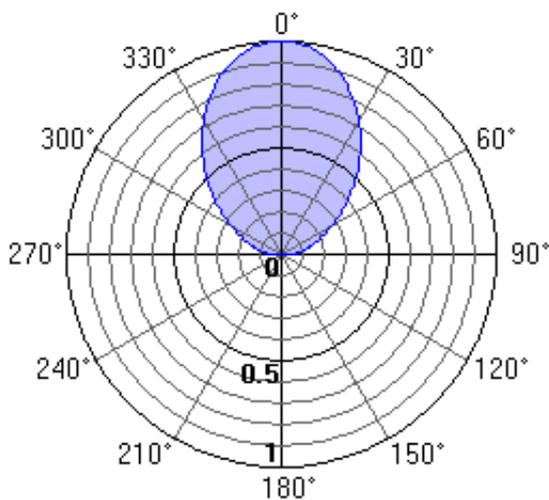


Рисунок 4.7 – Діаграма спрямованості антени в горизонтальній площині (E/E_{max}).

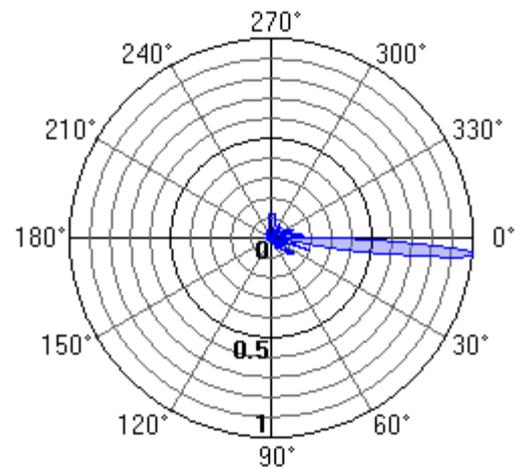


Рисунок 4.8 – Діаграма спрямованості антени у вертикальній площині (E/E_{max}).

Таблиця 4.7 – Технічні дані передавача антенно-фідерного тракту і антен
 ПрАТ «Київстар» Радіорелейна станція

№ п/п	Параметр	Значення	Примітка
1	Діапазон випромінювання (несуча частота), МГц	23000	
2	Кількість і потужність передавачів, n x дБм	1 x 19	
3	Коефіцієнт підсилення підсилювача, дБ	0	
4	Загальні втрати в АФТ, дБ	0	
5	Тип та кількість антен	RTN310_23G_0.6	
6	Коефіцієнт підсилення антени, дБі	40	
7	Висота встановлення фазового центра антени Z, м	39.5	
8	Координати встановлення фазового центра антени X і Y, м	(0;0)	
9	Азимут антени, °	315.15°	
10	Кут механічного нахилу антени, °	0°0'	
11	Кут електричного нахилу максимуму діаграми спрямованості у вертикальній площині, °	0°	
12	Сумарний кут нахилу максимуму діаграми спрямованості у вертикальній площині, °	0°	
13	Діаграми спрямованості антени:		
14	- у горизонтальній площині		Рис. 4.9
15	- у вертикальній площині		Рис. 4.10
16	Тип модуляції	512QAM	
17	Тип поляризації	V	
18	ГДР ЕМП для даного діапазону, мкВт/см ²	100	

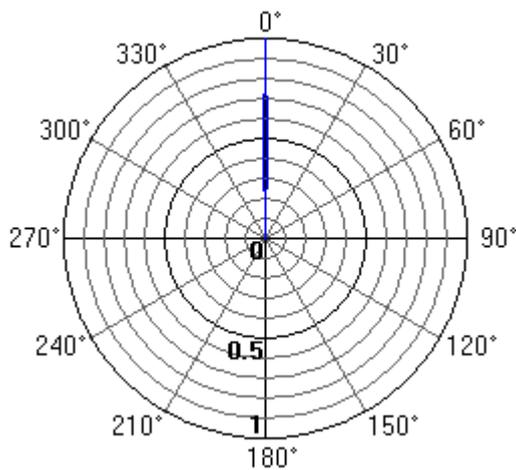


Рисунок 4.9 – Діаграма спрямованості антени в горизонтальній площині (E/E_{max}).

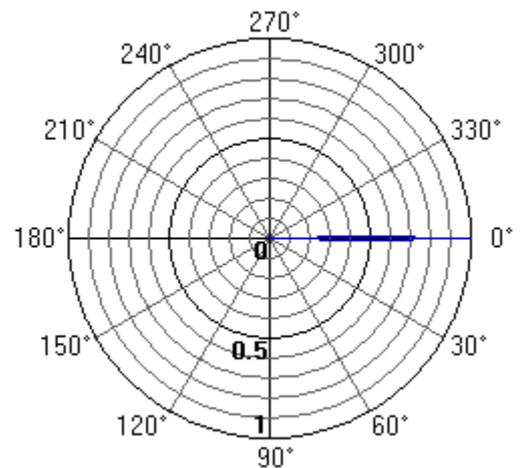


Рисунок 4.10 – Діаграма спрямованості антени у вертикальній площині (E/E_{max}).

Таким чином, в роботі запропоновано методику розрахунку та побудови санітарно-захисних зон та зон обмеження для будівництва антени базової станції мобільного зв'язку LTE 2300 з метою визначення меж біологічно безпечних для людини зон. Як приклад виконано розрахунки та побудову СЗЗ та ЗОЗ для БС та обладнання на ній. Встановлено, що методика базується на порівнянні розрахункових значень напруженості ЕМП і гранично допустимих рівнів (ГДР) напруженості ЕМП, а також розрахункових значень густини потоку енергії (ГПЕ) і ГДР ЕМП. Результати розрахунку представлені в табл. 4.8 для горизонтальної площини та зображено на рис. 4.13; та вертикальної площини табл. 4.9-4.13 та представлені на рис. 4.14-4.18.

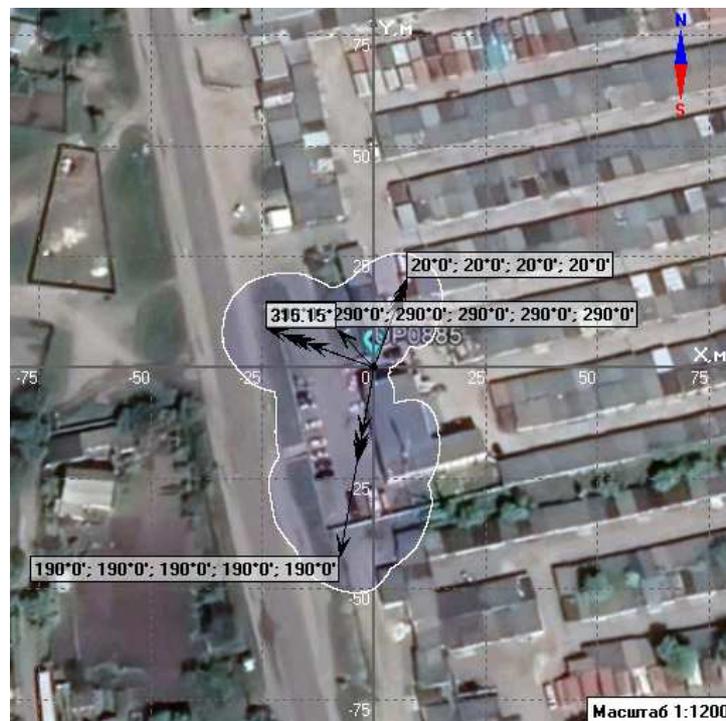


Рисунок 4.13 – Ситуаційний план місцевості із позначенням місця розташування РТО та проекція зони перевищення ГДР

Таблиця 4.8 – Вихідні дані горизонтальної площини розрахунку.

№ п/п	Параметр	Значення	Примітка
1	Мінімальна висота перевищення ГДР від поверхні землі, м	27.782	
2	Максимальна висота перевищення ГДР від поверхні землі, м	44.344	

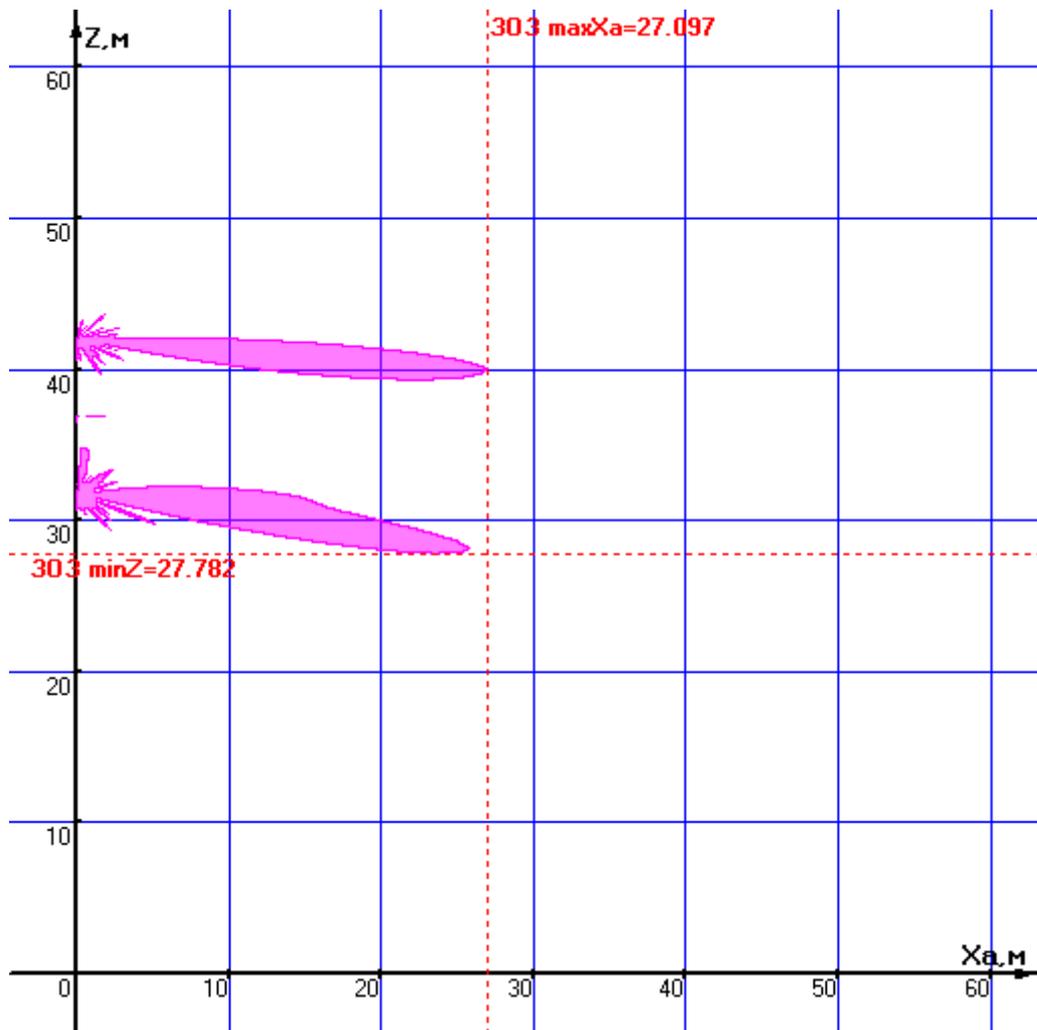


Рисунок 4.14 – Зона перевищення ГДР у вертикальній площині №1.
"TDQ-172718DEI-65FT2V01", "К 742265 (власник: ПрАТ "Київстар")

Таблиця 4.9 – Вихідні дані вертикальної площини розрахунку.

№	Параметр	Значення	Примітка
1	Азимут площини щодо центра - А, °.	20°	
2	Координати вертикальної осі (X, Y), м.	(0;0)	
3	Крок сітки по осі Xa, м.	10	Вісь Xa – відстань у напрямку азимута 20°.
4	Крок сітки по осі Z, м.	10	
5	Мінімальна висота ЗОЗ Zmin, м.	27.782	
6	Максимальна відстань ЗОЗ Xamax, м.	27.097	

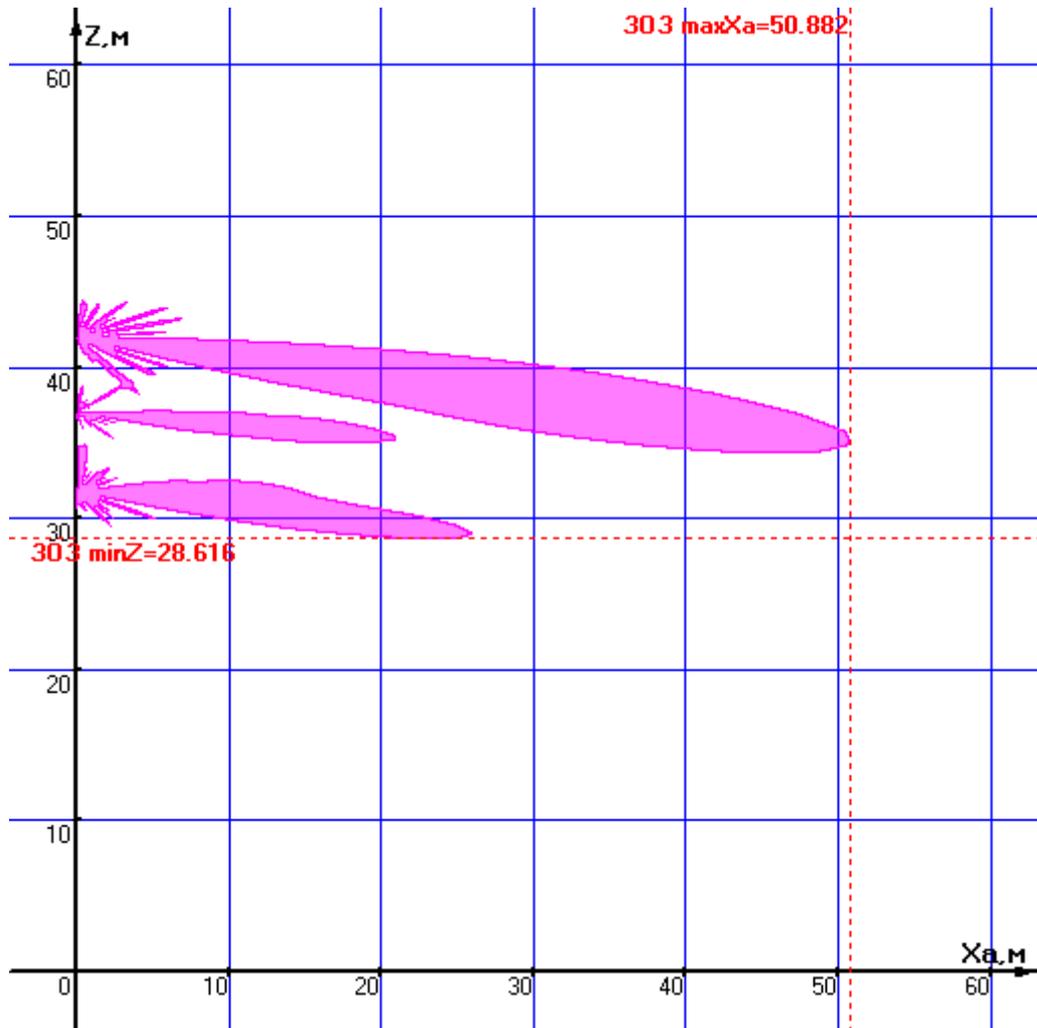


Рисунок 4.15 – Зона перевищення ГДР у вертикальній площині №2.
"TDQ-172718DEI-65FT2V01", "К 742265 (власник: ПрАТ "Київстар")

Таблиця 4.10 – Вихідні дані вертикальної площини розрахунку.

№	Параметр	Значення	Примітка
1	Азимут площини щодо центра - А, °.	190°	
2	Координати вертикальної осі (X,Y),м.	(0;0)	
3	Крок сітки по осі Xa, м.	10	Вісь Xa – відстань у напрямку азимута 190°.
4	Крок сітки по осі Z, м.	10	
5	Мінімальна висота ЗОЗ Zmin, м.	28.616	
6	Максимальна відстань ЗОЗ Xamax, м.	50.882	



Рисунок 4.16 – Зона перевищення ГДР у вертикальній площині №3.
 "К 742236", "К 742265", "Т0005L6R011", "TDQ-172718DE-65Fv02"
 (власник: ПрАТ "Київстар")

Таблиця 4.11– Вихідні дані вертикальної площини розрахунку.

№	Параметр	Значення	Примітка
1	Азимут площини щодо центра - А, °.	290°	
2	Координати вертикальної осі (X,Y),м.	(0;0)	
3	Крок сітки по осі Xa, м.	10	Вісь Xa – відстань у напрямку азимута 290°.
4	Крок сітки по осі Z, м.	10	
5	Мінімальна висота ЗОЗ Zmin, м.	28.876	
6	Максимальна відстань ЗОЗ Xamax, м.	36.769	

Таблиця 4.14 – Розподіл суми рівнів ГПЕ для всіх антен і точок у вертикальній площині з вертикальним центром, що проходить через точку $O(0;0)$, в азимуті антен "TDQ-172718DEI-65FT2V01", "К 742265" (власник: ПрАТ "Київстар") $\psi_p=20^\circ$, на висотах $h(i)$ і на відстані R від центру, мкВт/см².

R, м	h1, м 2.000	h2, м 27.000	h3, м 28.000	h4, м 31.000	h5, м 34.000	h6, м 37.000	h7, м 40.000	h8, м 44.000
0.000	0.3358	8.1545	12.4003	225.9912	159.5340	82579.171	61.7852	5.4430
10.000	0.2590	4.6949	29.2726	369.2579	6.3760	7.8663	31.9457	3.1898
20.000	0.1880	15.6690	99.2247	63.8284	6.0939	2.5438	161.7983	2.8686
30.000	0.6078	70.0202	71.2286	26.4586	6.3003	17.7469	79.6927	1.0760
40.000	0.3531	38.0385	28.2340	14.6120	6.4296	29.8842	38.6265	1.2492
50.000	0.2551	18.4472	14.2949	9.1080	11.6673	26.6357	20.6642	1.0444
60.000	0.1103	10.3467	8.4663	8.1903	14.0821	20.7114	12.6228	0.9080
70.000	0.3998	6.7486	6.2577	8.8384	13.6407	15.7624	8.3902	0.8273
80.000	0.4617	5.5449	5.9275	9.0685	12.0345	11.6760	6.0065	0.7565
90.000	0.2151	5.3565	6.0285	8.7119	10.2556	8.9184	4.5217	0.7189
100.000	0.0916	5.3688	6.0226	7.9206	8.5310	6.9034	3.5313	0.6949
110.000	0.0886	5.2757	5.7882	7.0403	7.1685	5.3891	2.8391	0.6710
130.000	0.6367	4.7075	4.9799	5.4062	4.9485	3.5352	1.9592	0.6168
170.000	1.8182	3.2539	3.2632	3.1263	2.5769	1.8106	1.1110	0.4843
180.000	1.8277	2.9237	2.9242	2.7317	2.2227	1.5739	0.9881	0.4546
190.000	1.8071	2.6346	2.6354	2.4064	1.9354	1.3805	0.8851	0.4271
200.000	1.7118	2.3863	2.3874	2.1354	1.6993	1.2207	0.7977	0.4017

Таблиця 4.15 – Розподіл суми рівнів ГПЕ для всіх антен і точок у вертикальній площині з вертикальним центром, що проходить через точку $O(0;0)$, в азимуті антен "К 742236", "К 742265", "T0005L6R011", "TDQ-172718DE-65Fv02" (власник: ПрАТ "Київстар") $\psi_p=290^\circ$, на висотах $h(i)$ і на відстані R від центру, мкВт/см² (початок)

R, м	h1, м 2.000	h2, м 27.000	h3, м 28.000	h4, м 31.000	h5, м 34.000	h6, м 37.000	h7, м 40.000	h8, м 44.000
0.000	0.3358	8.1545	12.4003	225.9912	159.5340	82579.171	61.7852	5.4430
10.000	0.3999	3.0318	13.0279	742.5351	12.1521	131.0949	260.2751	14.8187
20.000	0.1419	8.6155	15.1023	303.5607	37.8199	36.2692	171.4907	2.7480
30.000	0.6318	20.5178	47.2180	98.8087	50.7531	74.8487	44.3501	3.6874
40.000	0.5037	33.2289	62.5226	49.7599	49.6317	55.5714	15.2068	1.1245
50.000	0.5247	40.8031	53.7567	38.4313	45.2063	33.1793	7.1334	0.7246
60.000	0.1557	37.7759	41.9760	34.9894	34.4980	20.2910	4.0212	0.4019
70.000	0.1670	33.7175	35.2243	30.2533	24.7381	13.1350	2.8269	0.4401
80.000	0.4967	29.8846	29.9967	24.4323	17.7020	8.9690	2.2419	0.3349
90.000	0.4897	25.6385	24.9672	19.3021	12.8884	6.4768	1.9041	0.3064
100.000	0.3101	21.5970	20.4934	14.9422	9.5173	4.8833	1.6547	0.3215
140.000	0.2190	10.0107	8.9670	5.9854	3.6593	2.0621	1.0479	0.4287
150.000	0.3012	8.2759	7.3819	4.9236	3.0318	1.7512	0.9484	0.4263
160.000	0.4272	6.8875	6.1684	4.1040	2.5462	1.5092	0.8587	0.4187
170.000	0.5876	5.8019	5.1652	3.4488	2.1664	1.3154	0.7762	0.4080
180.000	0.7657	4.9040	4.3620	2.9293	1.8632	1.1577	0.7068	0.3933
190.000	0.9871	4.1850	3.7215	2.5145	1.6190	1.0276	0.6469	0.3763
200.000	1.2538	3.5934	3.2063	2.1795	1.4199	0.9188	0.5947	0.3595

Висновки до розділу 4

Результати розрахунків розподілу електромагнітного випромінювання на території прилеглий до місця розташування базової станції UР0885 в м. Кременчук Полтавської області показали, що:

Абсолютні сумарні рівні ЕМП на висоті 2 м від поверхні землі і на відстанях 0-200 м становлять не більше 3.0611 мкВт/см^2 , отже ГПЕ < ГПЕГДР = 100 мкВт/см^2 згідно наказу МОЗ України №2760 від 30 листопада 2020 р. «Про затвердження Змін до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань».

Тобто, зважаючи на зазначене, на висоті 2-х метрів від поверхні землі рівні електромагнітного поля не перевищують граничнодопустимі рівні встановлені “Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань”, ДСанНіП №239-96.

Такі рівні електромагнітного поля не можуть здійснювати шкідливий вплив на стан здоров'я населення і є безпечним для довкілля, а отже немає необхідності встановлювати санітарно-захисну зону (СЗЗ).

Проте, згідно розрахунків навколо даного РТО (радіотехнічний об'єкт), на висоті понад 27,782 м та на відстані до 50,882 м виникають ділянки, на яких рівні електромагнітного поля перевищують граничнодопустимий рівень. На ділянках де рівні електромагнітного поля (ЕМП) перевищують граничнодопустимі рівні поверхневої густини потоку енергії (ГПЕ ГДР), встановлюється зона обмеження забудови (ЗОЗ). На рис. 4.13 позначена зона обмеження забудови, в цю зону не потрапляють будівлі з перевищенням допустимої висоти. Зона обмеження забудови для будівель висотою нижче 37.406 м не встановлюється, отже негативний вплив електромагнітного випромінювання на стан здоров'я населення виключається.

Дані про електромагнітну ситуацію навколо даної базової станції викладені в таблиці 4.18 та нанесені на вкопювання з плану місцевості (див. Рис. 4.13).

Таблиця 4.18 – Висновки розрахунків впливу ЕМП

Азимут град.	Випромінювачі	Напт., м	Максимальний рівень ЕМП на висоті 2.0 м	Мінімальна висота ЗОЗ, м	Максимальний радіус ЗОЗ, м
ПрАТ «Київстар»					
20°	К 742265/ TDQ-172718DEI- 65FT2V01/ TDQ-172718DEI- 65FT2V01/ К 742265	31.8/ 42.0/ 42.0/ 31.8	1.8277	27.782	27.097
190°	К 742265/ К 742236/ К 742236/ К 742265/ TDQ-172718DE-65Fv02	31.8/ 42.0/ 42.0/ 31.8/ 37.0	3.0611	28.616	50.882
290°	К 742265/ К 742236/ К 742236/ К 742265/ T0005L6R011/ TDQ-172718DE-65Fv02	31.8/ 42.0/ 42.0/ 31.8/ 32.4/ 37.0	1.2538	28.876	36.769
PPC/315.15°	RTN310_23G_0.6	39.5	0.8554	29.385	30.516

Таким чином базова станція UP0885 ПрАТ “Київстар” в місті Кременчук Полтавської області, як джерело електромагнітного випромінювання відповідає вимогам санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань і може бути введена в експлуатацію.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі розглянуто задачу розширення та вдосконалення мобільної мережі LTE-2300 міста Кременчук Полтавської області.
2. В роботі досліджено загальні принципи роботи систем мобільного зв'язку, типи діапазонів частот, які використовуються, зроблено огляд розвитку мобільної мережі, стандартів та технології мобільного зв'язку в Україні та детально розглянуто основні характеристики та параметри технології LTE .
3. Наведено основні типи антенно-щоглових споруд об'єктів мобільного зв'язку, проаналізовано стандартну інфраструктуру та обладнання базової станції.
4. Удосконалено мережу мобільного зв'язку оператора на прикладі базової станції UP0885 в м. Кременчук з розширенням до підтримки стандарту LTE-2300.
5. Виконано підбір додаткового антенно-фідерного обладнання, розроблено схему його встановлення та підключення для модернізації базової станції.
6. Проаналізовано вплив на навколишнє середовище та організм людини електромагнітного випромінювання антенного обладнання базової станції за допомогою програмного комплексу RVA. Визначено гранично-допустимий рівень електромагнітного поля поблизу антен базової станції.
7. Удосконалення мережі та модернізація базової станції UP0885 з підтримкою стандарту LTE-2300 в розглянутому районі міста м. Кременчук дозволило забезпечити користувачів радіосигналом мережі LTE четвертого покоління, надати високоякісний доступ до мобільного Інтернету, збільшити асортимент послуг, швидкість передачі даних, підвищити надійність, стабільність та гнучкість мережі при використанні вже існуючих систем мобільного зв'язку.
8. Встановлення додаткового діапазону LTE-2300 дозволило підвищити щільність та якість сигналу мобільної мережі в данному районі міста.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Порівняльний аналіз технології LTE для мереж 4G та 5G. Рудницький С. В. ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 74 с.
2. Електронний ресурс: <https://duikt.edu.ua/repozitorii/mvt3.pdf>
3. Електронний ресурс: <https://chamber.ua/ua/news/kyivstar>.
4. Програма розрахунку СЗЗ і ЗОЗ. CalcSzz. Режим доступа: <https://sites.google.com/site/texnosoft/index-1/calcszz>
5. Електронний ресурс: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41883/1/Navrylenko_bakalavr.pdf
6. Бондаренко О.В. Огляд нормативно-правових документів з визначення біологічно-безпечної для населення зони випромінювання антени базової станції мобільного зв'язку / О.В. Бондаренко, Л.І. Степанова // науковий журнал «Вісник Хмельницького Національного Університету». – Хмельницький, 2016. – Вип. № 6. – С. 222 – 225.
7. Методичні вказівки щодо визначення рівнів електромагнітного поля і меж санітарно-захисної зони і зони обмеження забудови в місцях розміщення засобів телебачення та ЧМ-радіомовлення: № 3860-85. –М.: МОЗ СРСР, 1985. – 36 с.
8. Киндюк Б.В. Правове регулювання роботи базових станцій мобільного зв'язку / Б.В. Киндюк // Право і Безпека. – 2009. – № 5. – С. 167 –169.
9. Орлов В.М. Ефективність управління підприємством в галузі зв'язку: навч. посіб. / В.М. Орлов, І.В. Яцкевич, С.С. Новицька, Н.Ю. Потапова-Сінько. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2013. – 140 с.
10. Саркісова Т.М. Правові засади розміщення базових станцій систем стільникового зв'язку / Саркісова Т.М. // Адміністративне право і процес. – 2015. – Вип. №1 (11). – С. 1 – 8.
11. Про затвердження порядку прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів у сфері телекомунікації: наказ Міністерства транспорту та зв'язку України [Чинне від 27 лют. 2006 р. № 180]. Режим доступа: <http://www.rada.gov.ua>.

12. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань, затверджених наказом МОЗ України № 239. – 25 с.
13. Електромагнітні поля і охорона здоров'я [Електронне видання], 2003. Режим доступу: <http://www.techno.edu./db/sect/79-0-12>.
14. ДСТУ EN 50401:2009 «Радіостанції систем з радіодоступом базові», К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 10 с.
15. Мобільний зв'язок: стандарти, структура, алгоритми, планування. Лохвицкий М. С., Сорокин А. С., Шорин О. А., 2018р. – 264 с.
16. Степанова Л.І. Оцінки взаємодії електромагнітного поля антени мобільного терміналу з головою користувача [Електронне видання] / Л.І. Степанова // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2016. – № 6. – С. 1 – 8. Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/archive>.
17. О.В. Шефер, М.В. Бібік. Визначення гранично-допустимого рівня електромагнітного поля поблизу антен базової станції. Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика : зб. наук. пр. за матеріалами ІХ Всеукр. наук.-практ. конф., 10 листоп. 2023 р. – Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2023. – С. 78–79.

ДОДАТОК А

Розділ 1 (англійська версія)

2. GENERAL PRINCIPLES OF OPERATION OF MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS. TYPES OF FREQUENCY RANGES.

4.1. The principle of operation of mobile communication systems

The mobile network is one of the leading inventions of modern times, which contributes to the development of entire industries of various human activities. From the very beginning, this technology has developed rapidly and only in recent years has undergone a number of changes.

The mobile network works according to the following principle: the territory in which subscribers are connected is divided into separate areas, so-called "cells", where a certain base station (BS) operates. At the same time, the subscriber receives the same set of services in each cell, so the user himself does not notice the crossing of these virtual boundaries of cells.

The base station consists of such components as a technological container with equipment and antennas, which are placed on a specially built antenna-mast structure (AMS, see Fig. 1.1).

The AMS can be located both on the ground (this type is used mainly in rural areas or in city areas, where the operator has the opportunity to rent a free plot of land) and on the roof of existing buildings (this type is common in cities where there is a dense high-rise building).

Each base station, depending on the type of terrain and the presence of obstacles, on average, "catches" a signal from mobile devices at a distance of up to 35 kilometers.

A mobile phone listens to the airwaves and finds the signal of the nearest base station. In addition to the processor and RAM, the phone's SIM card also contains a unique key that allows authorization in the mobile network. The phone's communication with the station can be based on different digital protocols, for example GSM, UMTS, CDMA or LTE.

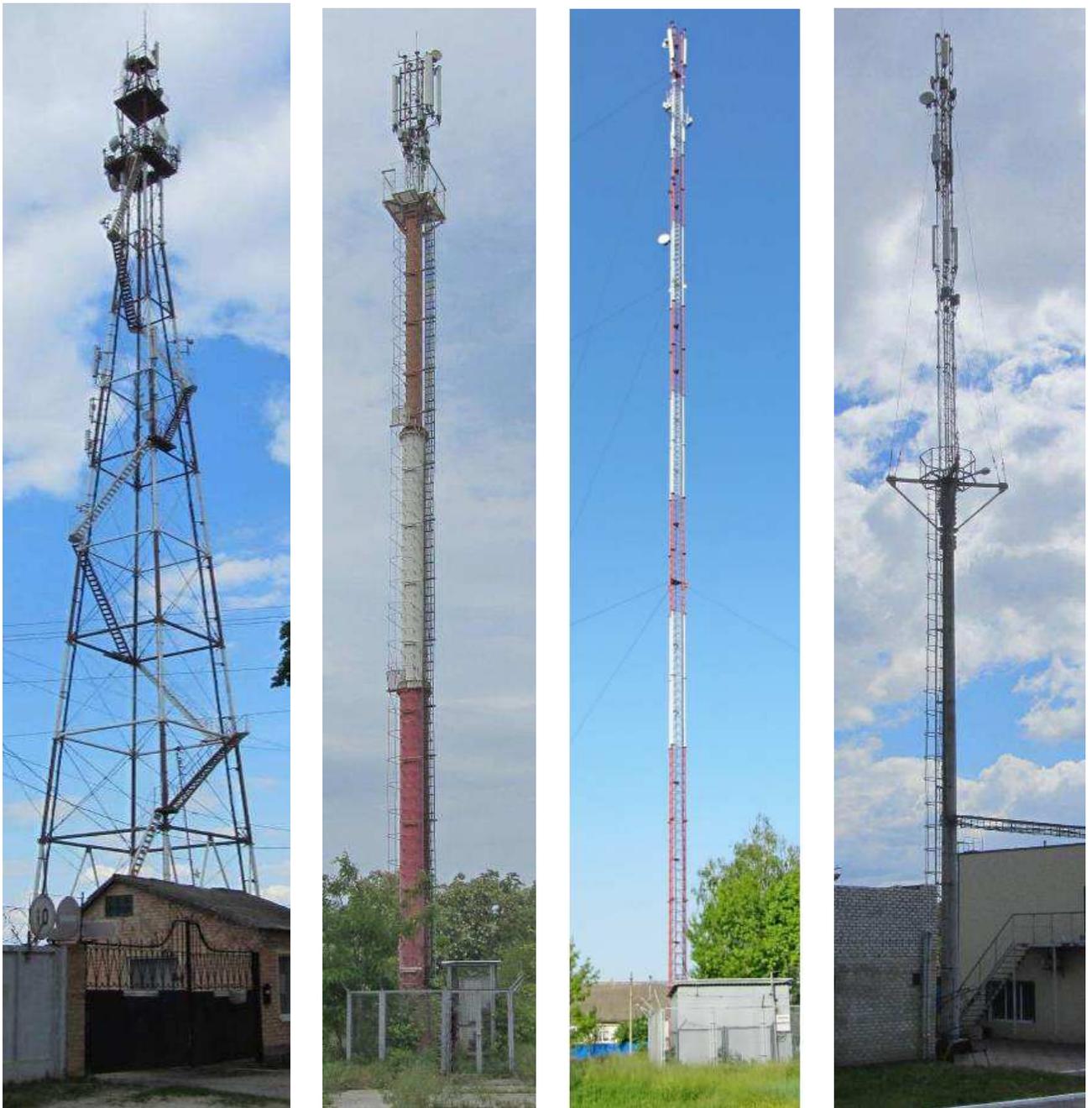


Figure 1.1 – Examples of antenna mast structures of base stations:

a, b – towers; c – mast; d – combined support

In Ukraine, three frequency bands are allocated to ensure the operation of mobile networks - 900 MHz, 1800 MHz and 2600 MHz. The 900 MHz frequency covers the largest area of the presented bands, but has a smaller capacity. The 2600 MHz frequency has the shortest range, but has a large capacity and bandwidth. The frequency of 1800 MHz occupies an intermediate value, which is why it is the most popular. Considering the above characteristics of frequency bands, their use is justified by the type of problem

that operators are trying to solve in a certain territory (in a certain cell). For example, the frequency of 900 MHz is used in sparsely populated areas or areas (villages, forests, steppes), because there are not many subscribers and this range is sufficient to meet customer needs. At the same time, the 900 MHz range allows creating large "cells", so the operator needs to install a smaller number of base stations in comparison to other frequency ranges and use resources more economically (Fig. 1.2).

The 2600 MHz band covers a very small area, but allows for large network capacities such as capacity and bandwidth to be supported. This range is placed in large cities with a large number of people, for example, near stadiums and shopping centers.

In all other cases, when there is no need to support an excessively large number of devices, but it is not possible to support an excessively large area, operators use the 1800 MHz band.

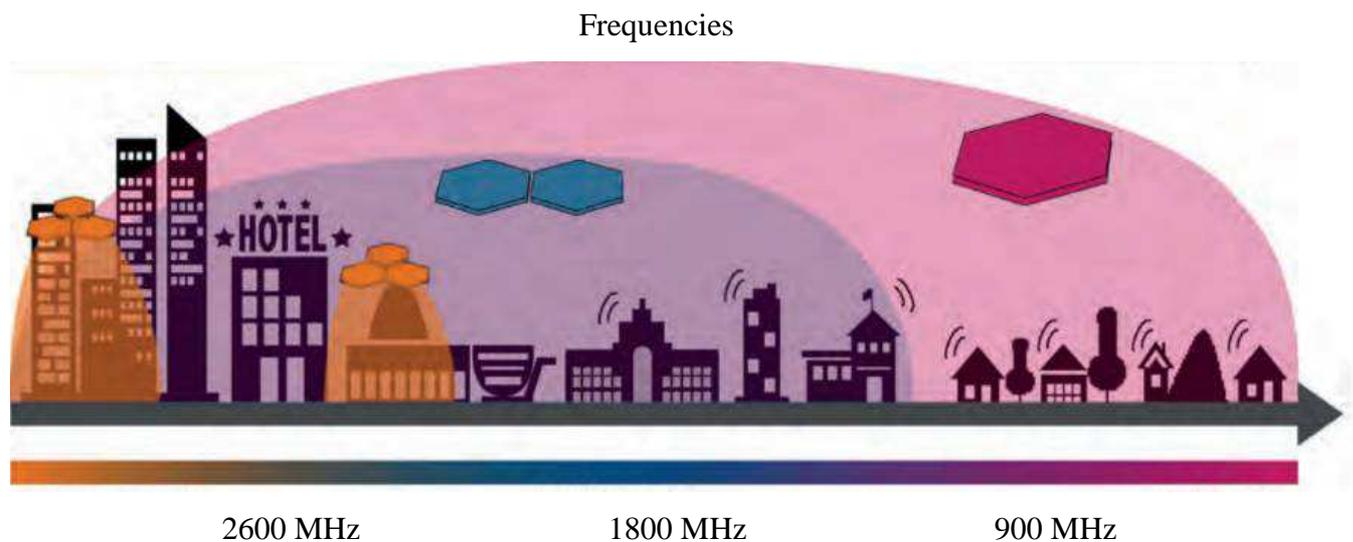


Figure 1.2 – An example of the use of base stations of different frequency ranges.

During the development of the mobile network, technologies have gone through several generations: from slow analog systems to digital systems with high data transfer rates.

1.2 Development of the mobile network and generations of mobile communication in Ukraine

At the end of 2014, Ukraine ranked only 101st in the world in terms of the development of mobile broadband access. This had a negative impact on all areas of the country's life. In February 2015, a tender was held for obtaining licenses for the use of radio frequency resources (RFR) for 3G in the radio frequency bands 1920–1935/2110–2125 MHz; 1950–1965/2140–2155 MHz; 1965–1980/2155–2170 MHz, which received LLC "Astelit", PrJSC "VF Ukraine" and PrJSC "Kyivstar".

Until recently, 3G services in Ukraine were provided by the national telecommunications operator TryMob LLC, whose founder and shareholder was Ukrtelecom PJSC. This was the start for the gradual introduction of 4th generation (4G) technologies, which began with the tender for obtaining frequency licenses for LTE in 2017. The impossibility of a direct transition to LTE technology is explained by the lack of the 1800 MHz frequency range, on which the vast majority of cellular networks are built, which in Ukraine are used for mobile communications of the GSM standard. Since 80% of users already have 3G subscriber devices, a rapid "migration" of data traffic and partially voice traffic to 3G is expected. It is known that the 4th generation (4G) includes technologies that provide a data transfer speed of 100 Mbit/s in motion (from 120 km/h) and 1 Gbit/s in a stationary position. In 2012, the International Telecommunication Union (ITU) officially recognized LTE Advanced technology (3GPP Release 10 standard) and Mobile WiMAX Release 2.0 technology (IEEE 802.16m standard), also known as Wireless-MAN-Advanced, WiMAX2 or WiMAX-Advanced, as wireless 4G communication standards, having been awarded the "IMT-Advanced (Advanced System of International Mobile Communication)" certificate — the official status of fourth-generation networks. These are the only technologies that have received this status. The latest versions of these technologies (standards IEEE 802.16e and 3GPP Release 8), although they have the conventional name of 4G, but do not provide the declared bandwidth, that is, they are practically 3.9G standards [1].

Mobile WiMAX networks according to the IEEE 802.16e standard appeared in our country for the first time in 2009. These networks have not received proper development in Ukraine, but they deserve attention. Thanks to the emergence of new functions in the technologies, their developers managed to fulfill the requirements set for 4G. How are things going with mobile communications in the world and what should we pay attention to for the further development of mobile technologies in our country? Currently, these issues are extremely relevant for Ukraine. In the process of evolution, mobile networks have survived several generations: from analog systems to digital systems with high data transfer rates (Fig. 1.3).

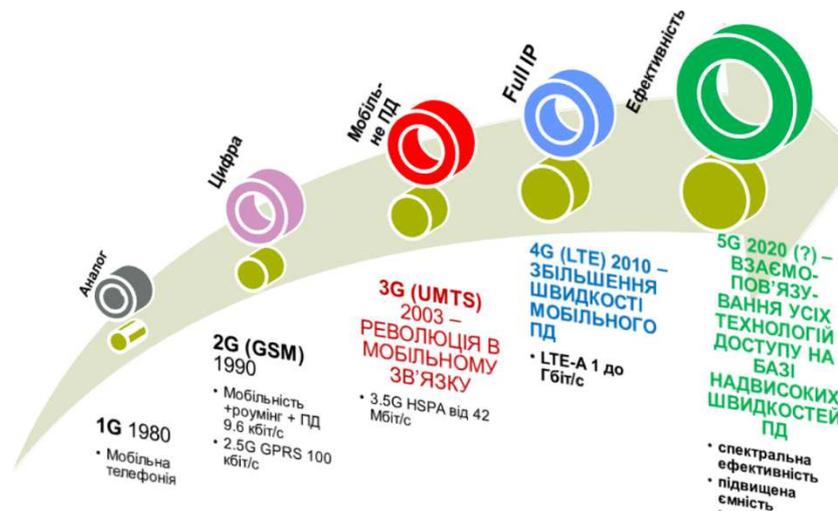


Figure 1.3 – Development of generations of mobile communication in Ukraine.

In Ukraine, there are more than 50 million mobile subscribers with a population of about 42 million people (according to data for 2019). That is, many Ukrainians have several cards of mobile operators. Also, many gadgets now use the mobile network for their work and access to the Internet - bank terminals, alarm systems, smart home systems, smart watches, tablets, etc.

Leaders in mobile network coverage are Kyivstar, Vodafone and Lifecell. They account for 26.4 million, 19.8 million and 6.9 million users, respectively. A common feature of all three companies is a significant share of foreign capital investments. This is explained by the fact that the market sector requires large-scale investments that cannot be provided only by Ukrainian market participants. As national leaders in 3G coverage, all three have committed to 4G. A general negative feature of the market is uneven coverage or its absence in rural areas

Conclusions to section 1

This section covers the following topics:

- the principle of operation of mobile communication systems and base station operation;
- development of the mobile network and generations of mobile communications in Ukraine;
- introduction with LTE technology, its characteristics and parameters.

LTE technology is an advanced and convenient standard that allows residents of private houses to easily access wireless Internet at home.

The national telecom operator started using LTE 2300-TDD mobile data transmission technology in test mode.

Thanks to the new mobile technology, mobile operators plan to increase peak data transfer speeds and develop communication services in regions with rapidly growing data traffic.

A feature of the new mobile technology is that data reception and transmission are carried out at the same frequencies. This allows the operator to manage network bandwidth more effectively. Under ideal conditions, LTE 2300-TDD mobile data transfer speed with a bandwidth of 40 MHz can reach 600 Mbps.

TDD base stations are cheaper for the operator because they require simple equipment. The equipment cost of TDD is usually lower than FDD; TDD base stations have a shorter range. Therefore, more base stations are needed to cover a certain area than when using FDD.

An analytical review of the LTE network was carried out. Features of its architecture and implementation were revealed, which showed the possibility of implementing a 4G network at frequencies of 2300 MHz.

ДОДАТОК Б

Визначення гранично-допустимого рівня електро-магнітного поля поблизу антен базової станції (стаття)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
за матеріалами ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції
«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ:
ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»
10 листопада 2023 року



Полтава 2023

УДК 004.89 + 681.51

Збірник наукових праць за матеріалами ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика», 10 листопада, 2023 р. / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Редколегія: О.В. Шефер (головний редактор) та ін. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. – 140 с.

У збірнику представлені результати наукових досліджень та розробок в області сучасних електромеханічних систем та автоматизації, електричних машин і апаратів, моделювання та методів оптимізації, енергозбереження в електромеханічних системах, управління складними технічними системами, проблем аварійності та діагностики в електромеханічних системах та електричних машинах, інформаційно-комунікаційних технологіях та засобах управління. Призначений для наукових й інженерно-технічних працівників, аспірантів і магістрів.

Матеріали відтворено з авторських оригіналів та рекомендовано до друку ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика». Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Відповідальний за випуск - д.т.н., професор О.В. Шефер.

Редакційна колегія:

О.В. Шефер – головний редактор, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Н.В. Єрмілова – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

С.Г. Кислиця – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Б.Р. Боряк – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

© Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

О. Шефер, М. Бібік ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМОГО РІВНЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОБЛИЗУ АНТЕН БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ...	78
М.А. Штомпель, С.Ю. Кальченко РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ WEB-ТЕХНОЛОГІЙ.....	80
О.І. Безверхий, В.Є. Луц ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДОПОМОГИ ЛЮДЯМ З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ.....	81
В.В. Гавриленко, І.І. Пекневич ХМАРНА ІНФРАСТРУКТУРА ЯК БАЗА ДЛЯ ПІДХОДІВ РІШЕНЬ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ.....	83
О. Шефер, А. Попенко ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОЛИКОВИМ ЗВАРЮВАЛЬНИМ СТЕНДОМ.....	85
М.О. Педан, А.В. Трет'як РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	87
В.В. Гавриленко, А.О. Блиндарук РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ВРАХУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК NURBS КРИВИХ.....	89
О. Shefer, Ya. Mykhailenko, E. Sidan METHOD FOR RADIO SIGNAL INTERFERENCE COMPENSATION BASED ON A RECURSIVE ALGORITHM WITH CORRELATION FEEDBACK.....	91
О.Г. Дрючко, В.В. Соловійов, Н.В. Бунякіна, Д.Ю. Гончар, Я.С. Пащенко РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ЗБАГАЧЕННЯ ЛІТІСВОЇ РУДНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЛІ-ІОННИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ НА РОДОВИЩАХ УКРАЇНИ.....	93
О. Shefer, О. Kushch, Ya. Sheptun ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF NONLINEARITIES ON THE DISTORTION OF THE USEFUL SIGNAL.....	96
В.М. Галай, І.О. Сілін ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ КРИВОШИПНОГО ВЕРСТАТУ ДЛЯ РУЙНІВНОГО ВИПРОБУВАННЯ ПРУЖИН.....	98
Р.Р. Кісельов, М.К. Бороздін НЕЛІНІЙНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	100

УДК 621.34

О. Шефер, д.т.н., професор,

М. Бібік, магістрант

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМОГО РІВНЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОБЛИЗУ АНТЕН БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ

Електромагнітну енергію випромінює не вся базова станція (БС), а лише приймально-передавальні та радіорелейні антени, які для забезпечення більшої зони покриття встановлюються на значній висоті щодо поверхні землі й розташовуються на спеціально побудованих антено-щоглових спорудах або на існуючих висотних будівлях, димових трубах, тощо.

Виходячи з технологічних вимог побудови системи мобільного стільникового зв'язку, антени завжди направлені таким чином, що основна енергія (понад 90%) зосереджена в доволі вузькому «промені» (подібно до світла від ліхтарика), що завжди спрямований у бік від споруди, на якій знаходяться антени БС.

Базові станції загалом обладнані антенами направленої дії, відповідно санітарно-захисні зони і зони обмеження забудови встановлюються у напрямі випромінювання електромагнітної енергії, з врахуванням бічних і задніх пелюсток діаграми спрямованості антен. Враховується, що антени випромінюють електромагнітну енергію під певним кутом до горизонту і рівень електромагнітного поля (ЕМП) міняється залежно від висоти, отже зона обмеження забудови встановлюється диференційовано по вертикалі в межах висоти житлової забудови.

Максимальний рівень ЕМП, створений всіма джерелами випромінювання на межі санітарно-захисної зони та на межі зони обмеження забудови, на різних висотах та по азимутах направленості наведені у графіках рисунок 1 (на прикладі для панельної антени T0005L6R011).

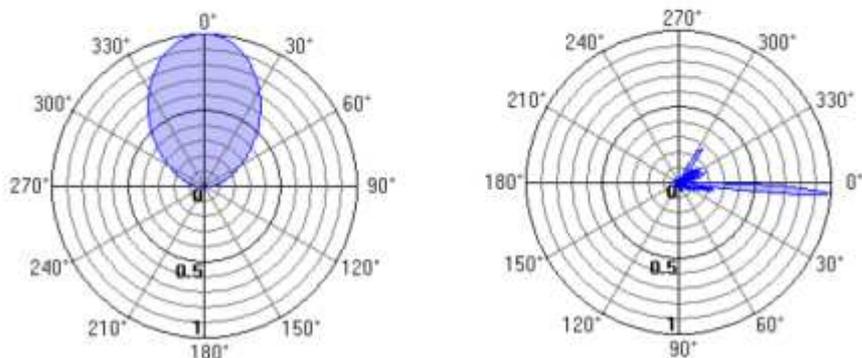


Рис. 1. Діаграми спрямованості антен у вертикальній та горизонтальній площині (для панельної антени T0005L6R011)

Враховуючи режим, частоту і випромінювання розраховується електрична складова ЕМП, що виражаються середньоквадратичним значенням, і рівень густини потоку енергії (ГПЕ), виражається середнім значенням.

Густина потоку енергії, що створює антена, визначається за формулою:

$$\Gamma_{\text{ПЕ}} = E^2/3,77.$$

За наявності кількох джерел випромінювання, які працюють у однакових радіочастотних діапазонах і мають різні ГДР, відносний рівень ЕМП, що створюється всіма джерелами на межі санітарно-захисної зони, повинен

$$\text{відповідати такій вимозі: } S_{\text{відн}} = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{E_i}{E_{\text{гдпрі}}} \right)^2 + \frac{\Gamma_{\text{ПЕ}_i}}{\Gamma_{\text{ПЕ}_{\text{гдпрі}}}} \right) = 1,$$

де E_i - напруженість електричного поля, створюваного i -антеною;

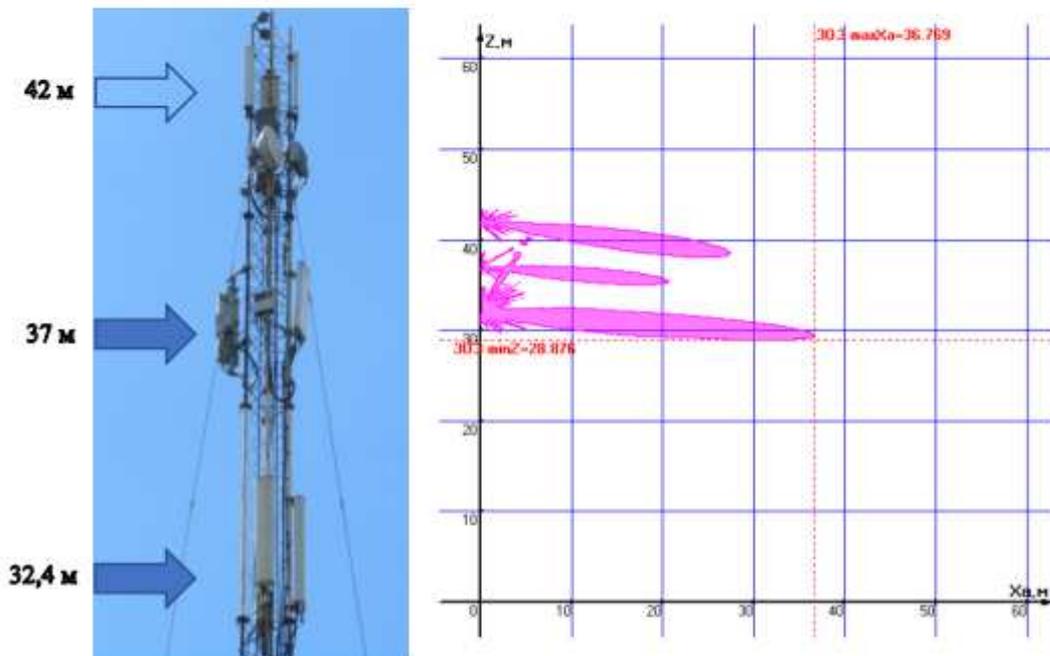


Рис. 2. Приклад перевищення ГДР у вертикальній площині на прикладі базової станції UP0885

ЛІТЕРАТУРА:

1. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань, затверджених наказом МОЗ України №239 [Чинне від 30.11.2020р.]

2. Методика розрахунку розподілу рівнів електромагнітного поля затверджених наказом МОЗ України №1040 [Чинне від 29.11.2013р.]

DETERMINATION OF THE MAXIMUM PERMISSIBLE LEVEL OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD NEAR THE ANTENNAS OF THE BASE STATION

O. Shefer, Doctor of Science, Professor,

B. Bogatirov, Master

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

ДОДАТОК В

Презентаційний матеріал

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Кваліфікаційна робота магістра

**Удосконалення та дослідження мережі мобільного оператора
на базі станції UP 0885 із підтримкою стандарту LTE-2300**

Виконав:

Студент 601-ТТ групи

Бібік М.В.

Керівник:

д.т.н. проф.

Шефер О.В.

Актуальність

В наш час обмін інформацією є найважливішою складовою ефективного функціонування будь-яких підприємств та виробництв. Швидкий розвиток безпроводної мережі Інтернет, запровадження нових приладів зв'язку, що підтримують новітні технології, вимагають постійного вдосконалення мобільної мережі та технологій.

Мета роботи

- забезпечення району міста стійким радіосигналом мережі LTE-2300;
- надання користувачам доступу до мобільного Інтернету;
- збільшення швидкості передачі даних та якості сигналу;
- підвищення надійності, стабільності та гнучкості мережі.

Задачі роботи

- дослідження роботи базових станцій та роботи мобільного зв'язку;
- удосконалення мережі мобільного зв'язку стандарту LTE-2300;
- встановлення та підключення додаткового АФО;
- визначення рівня електромагнітного поля базової станції

Об'єкт дослідження - принципи формування та розвитку мережі технології LTE

Предмет дослідження - мережа бездротового зв'язку LTE-2300.



Загальні принципи роботи систем мобільного зв'язку. Приклади застосування базових станцій (БС) різних діапазонів частот



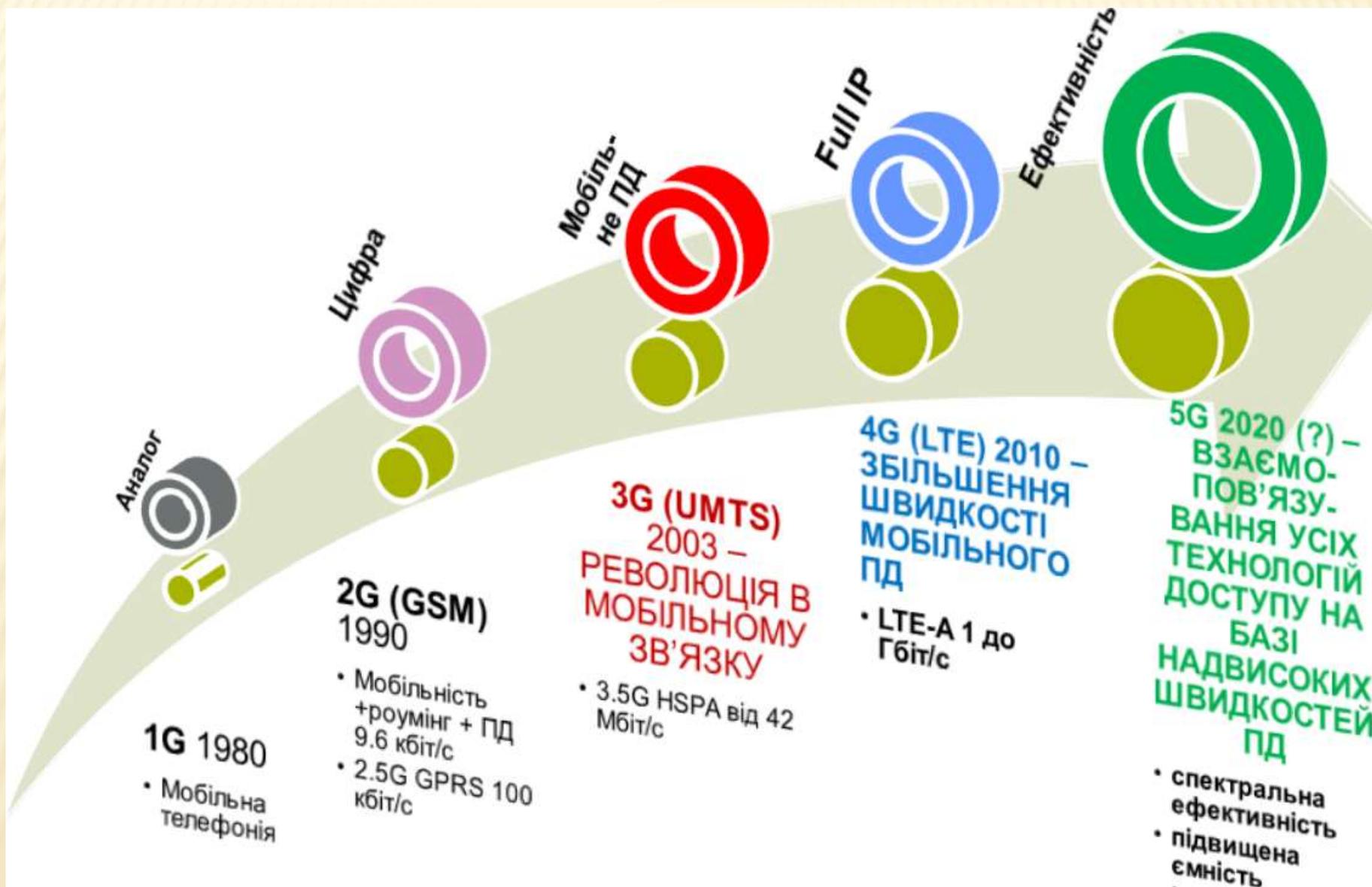
2600 МГц

1800 МГц

900 МГц

В Україні для роботи мобільних мереж виділені три діапазони частот – 900 МГц, 1800 МГц та 2600 МГц. При цьому, частота 900 МГц покриває найбільшу територію з представлених діапазонів, але має меншу ємність; частота 2600 МГц має найменшу дальність дії та має велику ємність; частота 1800 МГц займає проміжне значення, і тому є найбільш популярною.

Основними складовими мобільного зв'язку являються мобільні телефони та базова станція.



Технологія LTE-2300. Основні характеристики та параметри

5

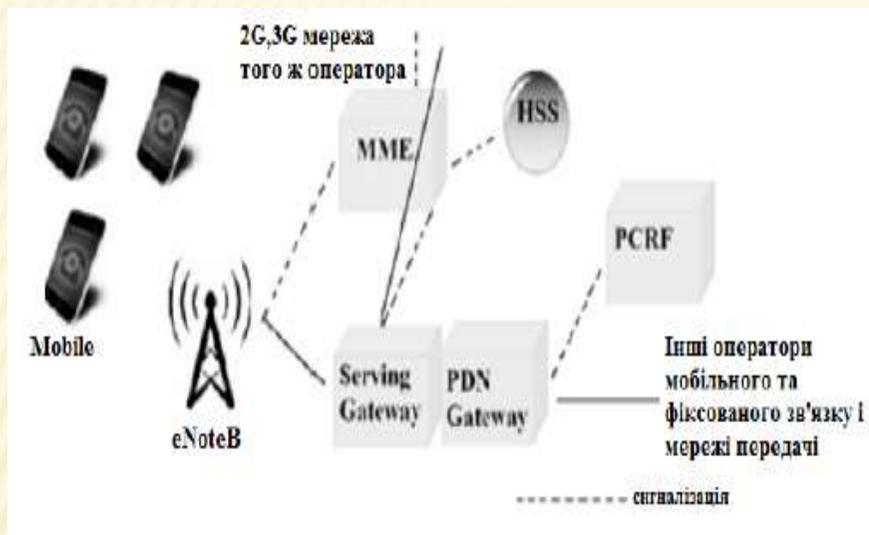


Схема мереж LTE

Назва параметра	Параметр
Uplink (UL)	DFTS-OFDM
Downlink (DL)	OFDM
Ширина частотного діапазону, МГц	1.4; 3, 5; 10; 15; 20
Мінімальний інтервал між кадрами, мс	1
Крок (частотний інтервал) між піднесучими, кГц	15
Стандартна довжина префікса CP, мкс	4,7
Збільшена довжина префікса CP, мкс	16,7
Схеми модуляції (Uplink)	BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM
Схеми модуляції (Downlink)	QPSK, 16QAM, 64QAM
Просторове мультиплексування	Один канал для UL-трафіку на кожному абонентському терміналі; До 4 каналів для DL-трафіку на кожному абонентському терміналі; MU-MIMO з підтримкою для

Нещодавно телеком регулятор також надав дозвіл компанії «Київстар» тимчасово (на період дії воєнного стану) підключити радіообладнання в діапазоні 2300 МГц. Завдяки цьому компанія планує збільшити ємність мобільної мережі на прикордонних територіях і в містах, до яких під час війни мігрувала велика кількість мешканців з інших регіонів країни.

Зі схеми мережі LTE, яка показана, вже видно, що структура мережі категорично сильно відрізняється від мереж другого та третього покоління. Великих та доволі помітних змін зазнала і підсистема базових станцій, підсистема комутації. Було змінено технологію передачі даних між обладнанням користувача та базовою станцією. Також вплинули на зміну і протоколи передачі даних між мережевими елементами. Всі дані та інформація (тобто голос, дані) передається у вигляді пакетів. Говорячи прямо, вже немає поділу на обробку даних по частинах або тільки голосову інформацію, або тільки пакетні дані.

Основні типи антено-щоглових споруд (АЩС) базових станцій

6



Вежі - (а, б)



Щогла (в)

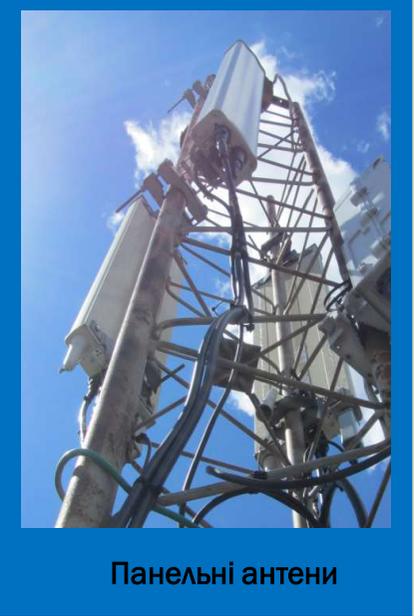


Комбінована
опора (г)



Трубостілки
на даху (д)

Стандартне АФО базової станції, основні типи антен (панельні, РРЛ), блоків RRU, кабелів, елементи кріплення



Стандартна інфраструктура базової станції на прикладі БС UR0885 (технологічний контейнер з обладнанням, дизель-генераторна установка, несуча опора, АФО)

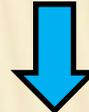
Фідерна траса



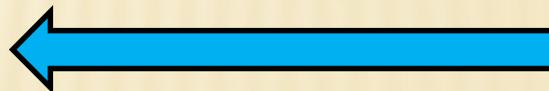
Апаратна (клімат-шафа)



ЕЖУ (електро-живильна установка)



Шафа Outdoor



Акумулятори

BBU та DCPD7



Характеристики проектаного обладнання БС UR0885 з підтримкою стандарту LTE-2300.

TONGYU TDQ-172718DEH-65Fv02

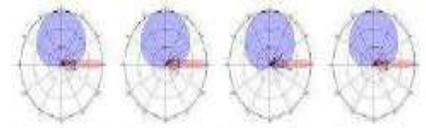
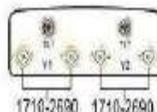
XXXXXPol 1710-2690MHz*2 65° 18dBi 0°-10° Manual or by optional RCU (Remote Control Unit) Antenna

Electrical specifications

Frequency Range(MHz)	1710-2690 x2			
	1710-1880	1920-2200	2300-2500	2600-2690
Polarization	±15°			
Gain (dBi)	17.2	17.5	17.3	18
Horizontal 3dB beamwidth (°)	85	85	85	84
Vertical 3dB beamwidth (°)	7.5	6.4	6	6.6
Front-to-back ratio (dB)	>20			
Cross-polar ratio (dB)	>15 (Typical) ±0.1° x10			
Electrical downtilt (°)	0-10			
Sidelobe suppression (dB)	0°..5°..10°	0°..5°..10°	0°..5°..10°	0°..5°..10°
(First sidelobe above main beam)	18..18..14	18..18..15	18..18..15	18..18..14
VSWR	<1.5			
Isolation: intra-system (dB)	>28			
Intermodulation IM	5-150 dBc			
Impedance (Ω)	50			
Max. power per input (W) @50°C	200			
RET Model	TV-10UB20 (Replaceable, Not Included)			
RET Protocol	AISG 2.0 SRET			
Lightning protection	DC Ground			

Mechanical specifications

Connector	4x7/16 DIN-Female
Connector position	Bottom
Height*width*depth (mm)	1380 x 320 x 80
Packing size (mm)	1700*410*185
Antenna weight (kg)	15.5
Installation kit weight (kg)	5.5
Packing weight (kg)	24
Wind load (N, at 150km/h)	614/115/74
Front/Lateral/Rear side	
Max. wind velocity (km/h)	218
Radome material	Fiberglass
Radome color	Gray
Mechanical tilt (°)	0-10
Operating temperature (°C)	-40-60
Mounting hardware (mm)	Φ90-Φ115

TONGYU T0005L6R011

XXXXXPol 1710-2690MHz*5 65° 17.5dBi 2°-10° Integrated and replaceable RCU (Remote Control Unit) Antenna

Electrical specifications

Frequency Range(MHz)	1710-2690*5			
	1710-1890	1920-2200	2300-2400	2490-2690
Polarization	±45°			
Gain (dBi)	Bottom: 17.2dBi, Top: 19.8dBi	Bottom: 17.2dBi, Top: 19.8dBi	Bottom: 17.3dBi, Top: 19.9dBi	Bottom: 17.5dBi, Top: 17.1dBi
Horizontal 3dB beamwidth (°)	82±5			
Vertical 3dB beamwidth (°)	6.8±0.5	6.1±0.4	5.4±0.4	5.1±0.3
Front-to-back ratio (dB)	>25			
Cross-polar ratio (dB)	>15 (0°)	>15 (0°)	>15 (0°)	>15 (0°)
Electrical downtilt (°)	2-10			
Sidelobe suppression (dB)	(First sidelobe above main beam)			
VSWR	<1.5			
Isolation: intra-system (dB)	>28			
Isolation: Inter-system (dB)	>25			
Intermodulation IM	≥150 dBc			
Impedance (Ω)	50			
Max. power per input (W) @50°C	250			
RET Model	TRCU-TQ10P2V0 (Replaceable, Included)			
RET Protocol	AISG 2.0 SRET			
Lightning protection	DC Ground			

Mechanical specifications

Connector	10*4.3-10 Female
Connector position	Bottom
Height*width*depth (mm)	2800*420*185
Packing size (mm)	3010*515*270
Antenna weight (kg)	33.5
Installation kit weight (kg)	6.7
Packing weight (kg)	47.5
Wind load (N, at 150km/h)	1270/60/280
Front/Lateral/Rear side	
Max. wind velocity (km/h)	218
Radome material	Fiberglass
Radome color	Gray
Mechanical tilt (°)	0-4
Operating temperature (°C)	-50-65
Mounting hardware (mm)	Φ90-Φ115



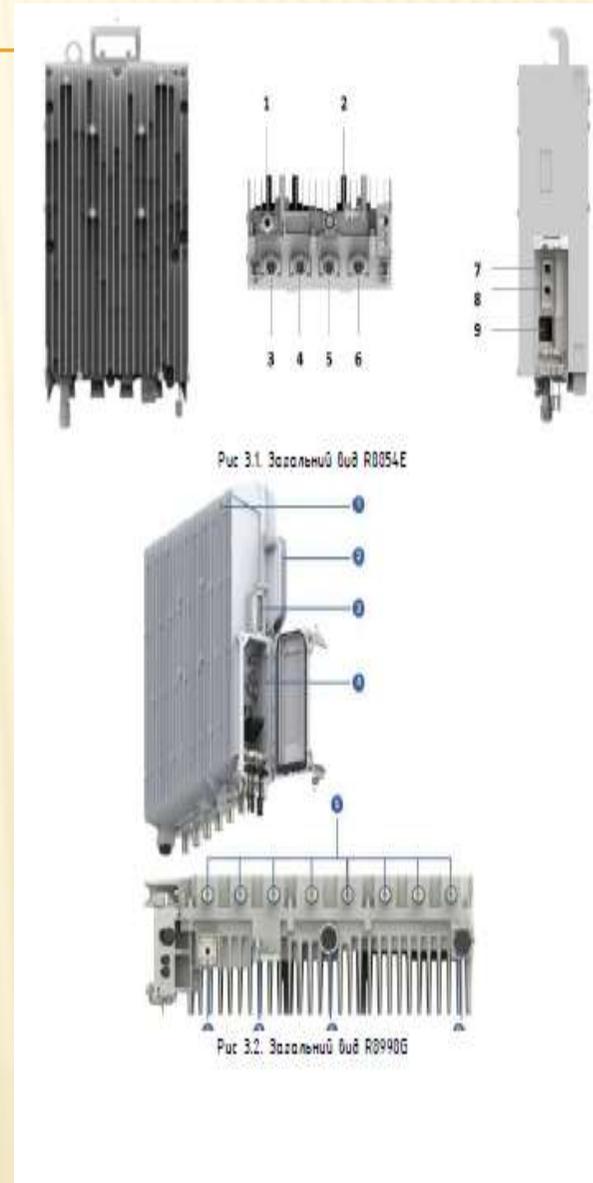
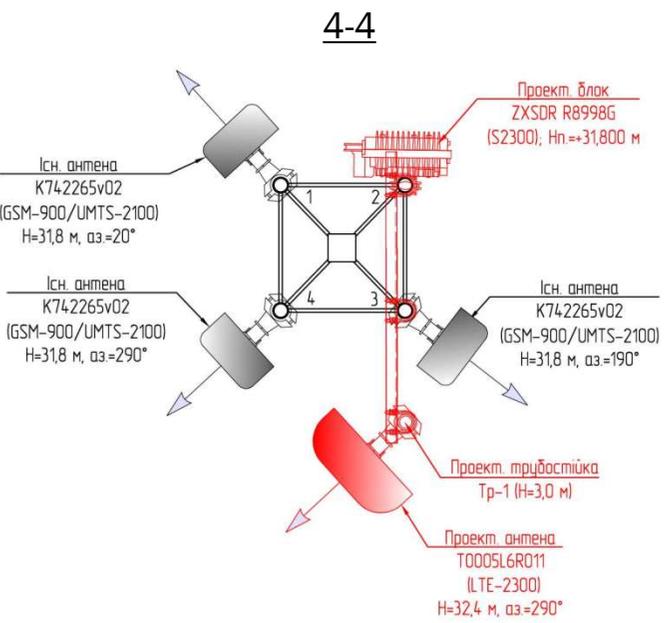
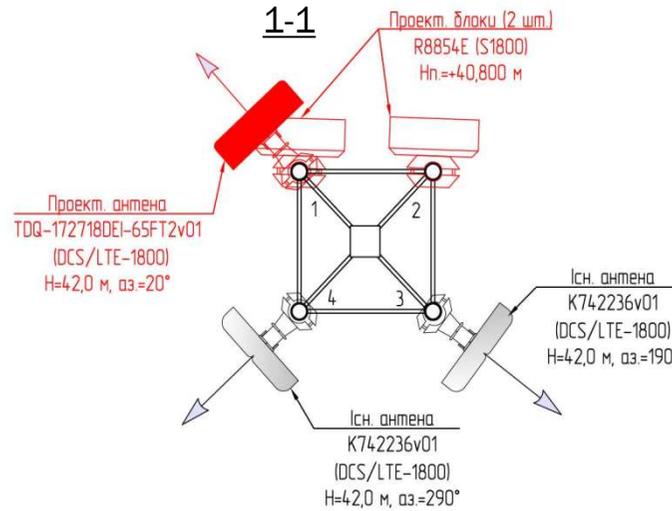
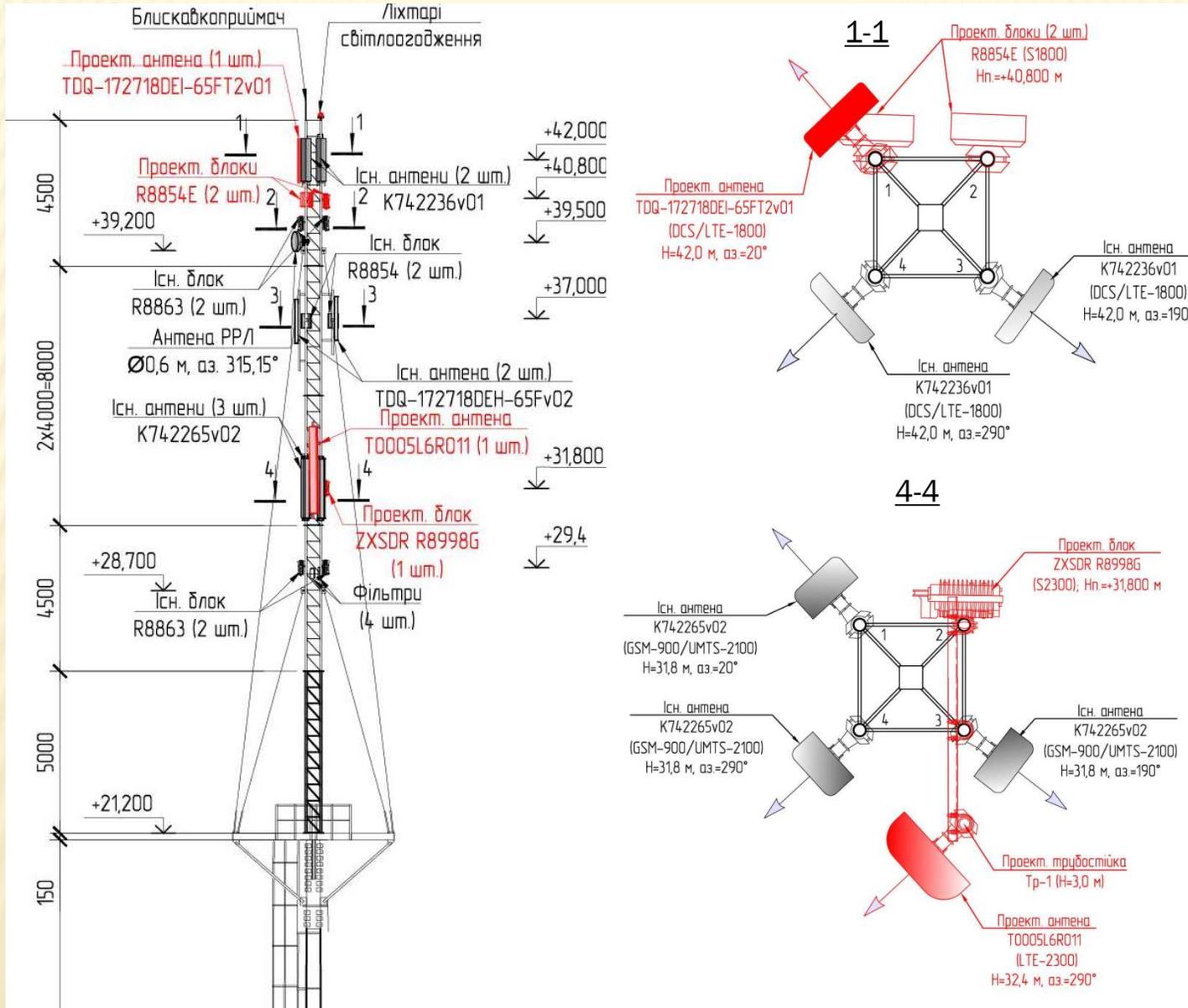
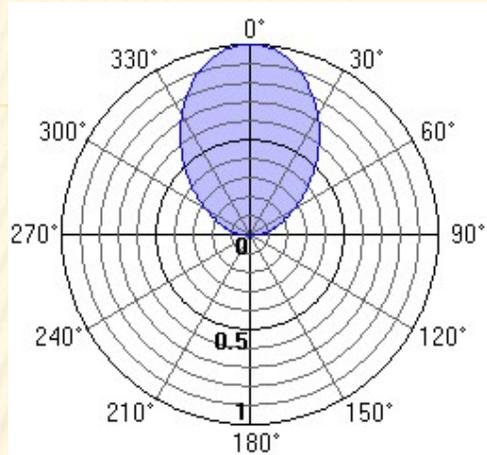



Схема розміщення проектного обладнання на опорі базової станції UR0885 (після модернізації)

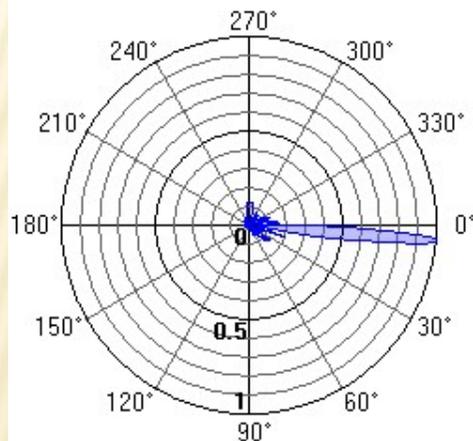


Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС)

12



Діаграма спрямованості антени в горизонтальній площині (E/E_{max}).



Діаграма спрямованості антени у вертикальній площині (E/E_{max}).

Розміри зон фіксованого рівня випромінювання у вертикальній площині по азимуту променю направлено випромінювання та в горизонтальній площині в залежності від висоти розміщення антени наводяться в діаграмах випромінювання.

Розрахунок очікуваної санітарно-захисної зони та зони обмеження забудови проводиться відповідно до чинних нормативно-технічних документів, методик.

Граничнодопустимі рівні ЕМП антен, визначаються за формулою:

$$E_{ГДР} = 21 \times f^{-0.37}$$

Розрахунки електричної складової електромагнітного поля, що створюється кожною з антен, проводяться за формулою:

$$E = \frac{\sqrt{30 \times P \times G \times \eta}}{R} \times K_{\phi} \times F_{(\varphi)} \times F_{(\alpha)} \times K_z$$

де P - потужність на вході фідерного тракту, Вт;

G - коефіцієнт підсилення антени відносно ізотропного випромінювача;

η - коефіцієнт втрат в антенно-фідерному тракті;

R - відстань від геометричного центру антени до розрахункової точки;

Результати розрахунку впливу на навколишнє середовище БС UP0885



№ п/п	Параметр	Значення	Примітка
1	Мінімальна висота перевищення ГДР від поверхні землі, м	27.782	
2	Максимальна висота перевищення ГДР від поверхні землі, м	44.344	

Ситуаційний план місцевості з позначенням місця розташування РТО та проекція зони перевищення ГДР



Зона перевищення ГДР у вертикальній площині №3 «K742265, K742236, T0005L6R011, TDQ-172718DEI-65Fv02

№	Параметр	Значення	Примітка
1	Азимут площини щодо центра - А, °	290°	
2	Координати вертикальної осі (X,Y),м.	(0;0)	
3	Крок сітки по осі Xа, м.	10	Вісь Xа – відстань у напрямку азимута 290°.
4	Крок сітки по осі Z, м.	10	
5	Мінімальна висота ЗОЗ Zmin, м.	28.876	
6	Максимальна відстань ЗОЗ Xamax, м.	36.769	

Зона перевищення ГДР у вертикальній площині (для азимута 290 градусів)

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розглянуто задачу розширення та вдосконалення мобільної мережі LTE-2300 міста Кременчук.
2. Досліджено загальні принципи роботи систем мобільного зв'язку (МЗ), існуючі типи діапазонів частот, зроблено огляд розвитку мобільної мережі, стандартів та технології мобільного зв'язку в Україні, детально розглянуто основні характеристики та параметри технології LTE .
3. Наведено основні типи АЦС об'єктів МЗ, проаналізовано стандартну інфраструктуру та обладнання БС.
4. Удосконалено мережу МЗ зв'язку оператора на прикладі БС UP0885 в м. Кременчук з розширенням до підтримки стандарту LTE2300.
5. Виконано підбір додаткового АФО, розроблено схему встановлення та підключення для модернізації БС.
6. Проаналізовано вплив на навколишнє середовище та організм людини ЕМВ антенного обладнання БС за допомогою програмного комплексу RVA. Визначено ГДР електромагнітного поля поблизу антен БС.
7. Удосконалення мережі та модернізація БС UP0885 з підтримкою стандарту LTE-2300 в розглянутому районі міста дозволило забезпечити користувачів радіосигналом мережі LTE 4G, надати швидкісний доступ до мобільного Інтернету, збільшити асортимент послуг, підвищити надійність, стабільність та гнучкість мережі при використанні вже існуючих систем МЗ.
8. Встановлення додаткового діапазону LTE-2300 дозволило підвищити щільність та якість сигналу мобільної мережі в даному районі міста.

ДОДАТОК Г

Додаток Г - Технічні характеристики антен

Додаток Г.1

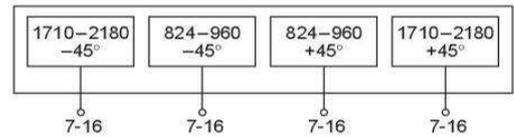
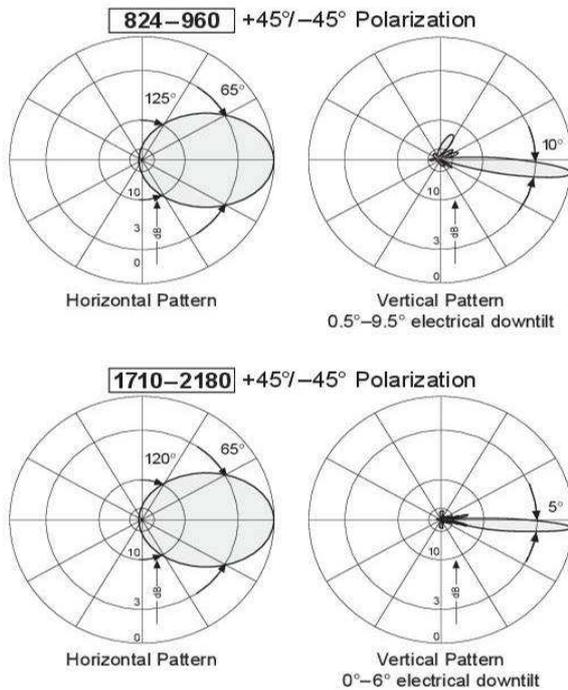
Dual-band A-Panel	824–960	1710–2180
Dual Polarization	X	X
Half-power Beam Width	65°	65°
Adjust. Electr. Downtilt	0°–10°	0°–6°

KATHREIN
Antennen · Electronic

XXPol A-Panel 824–960/1710–2180 65°/65° 16/18.5dBi 0°–10°/0°–6°T

Type No.	742 265				
Frequency range	824–960		1710–2180		
	824–894 MHz	880–960 MHz	1710–1880 MHz	1850–1990 MHz	1920–2180 MHz
Polarization	+45°, –45°	+45°, –45°	+45°, –45°	+45°, –45°	+45°, –45°
Gain	2 x 15.5 dBi	2 x 16 dBi	2 x 17.8 dBi	2 x 18.2 dBi	2 x 18.3 dBi
Half-power beam width Copolar +45°/–45°	Horizontal: 68° Vertical: 10.5°	Horizontal: 65° Vertical: 10°	Horizontal: 66° Vertical: 5.2°	Horizontal: 65° Vertical: 5.0°	Horizontal: 63° Vertical: 4.7°
Electrical tilt continuously adjustable	0.5°–9.5°	0.5°–9.5°	0°–6°	0°–6°	0°–6°
Sidelobe suppression for first sidelobe above horizon	0° ... 5° ... 10° T 16 ... 16 ... 17 dB	0° ... 5° ... 10° T 18 ... 18 ... 18 dB	0° ... 3° ... 6° T 14 ... 13 ... 13 dB	0° ... 3° ... 6° T 18 ... 17 ... 14 dB	0° ... 3° ... 6° T 18 ... 17 ... 14 dB
Front-to-back ratio, copolar	> 27 dB	> 25 dB	> 25 dB	> 25 dB	> 25 dB
Cross polar ratio Main direction 0° Sector ±60°	Typically: 20 dB > 10 dB	Typically: 20 dB > 10 dB	Typically: 16 dB > 10 dB	Typically: 18 dB > 10 dB	Typically: 18 dB > 10 dB
Isolation: Intrasystem	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Isolation: Intersystem	> 50 dB (824–960 // 1710–2180 MHz)				
Impedance	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω
VSWR	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< –150 dBc		< –150 dBc		
Max. power per input Total power	400 W 800 W		250 W 500 W		
	(at 50 °C ambient temperature)				

UMTS
XXPol Dual-b.



Mechanical specifications	
Input	4 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	2x, Position bottom continuously adjustable
Weight	23 kg
Wind load	Frontal: 340 N (at 150 km/h) Lateral: 280 N (at 150 km/h) Rearside: 640 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	2227 x 302 x 192 mm
Height/width/depth	1916 / 262 / 139 mm

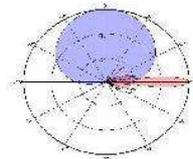
Додаток Г.2



TDQ-172718DEI-65FT2v01

XXPol 1710~2690MHz×2 65° 18dBi 2°~12° Integrated RCU (Remote Control Unit) Antenna.

Electrical specifications				
Frequency Range(MHz)	1710~2690×2			
	1710~1990	1920~2200	2200~2490	2490~2690
Polarization	±45°			
Gain (dBi)	17.2±0.5	17.5±0.5	17.8±0.5	18.0±0.5
Horizontal 3dB beamwidth (°)	65±2.8	65±2.2	63±3.0	64±2.5
Vertical 3dB beamwidth (°)	7.2±0.4	6.3±0.2	5.7±0.3	5.2±0.4
Front-to-back ratio (dB)	>28	>28	>28	>28
Cross-polar ratio (dB)	>22 (0°)	>22 (0°)	>22 (0°)	>22 (0°)
Electrical downtilt (°)	2~12			
Sidelobe suppression (dB) (First sidelobe above main beam)	>18	>18	>17	>16
VSWR	<1.5			
Isolation: intra-system (dB)	>28			
Isolation: inter-system (dB)	>30			
Intermodulation IM3 (2×43dBm carrier)	≤-153dBc			
Impedance (Ω)	50			
Max. power per input (W) @50°C	250			
RET Model	TRCU-TQ10P2V01(Replaceable, Included)			
RET Protocol	AISG 2.0 SRET			
Lightning protection	Dc Ground			
Mechanical specifications				
Connector	4×4.3-10-Female			
Connector position	Bottom			
Height×width×depth (mm)	1360×320×105			
Packing size (mm)	1625×420×205			
Antenna weight (kg)	13.6			
Installation kit weight (kg)	5.4			
Packing weight (kg)	21.4			
Wind load (N,at 150km/h) Frontal/Lateral/Rearside	480/111/537			
Max. wind velocity (km/h)	216			
Radome material	Fiberglass			
Radome color	Gray			
Mechanical tilt (°)	0~15			
Operating temperature (°C)	-50~65			
Mounting hardware (mm)	Φ50~Φ115			



1710~2690MHz



Додаток Г.3

2-Multi-band F-Panel	1710–2180	1710–2180
Dual Polarization	X	X
Half-power Beam Width	65°	65°
Adjust. Electr. Downtilt	0°–10°	0°–10°

set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)

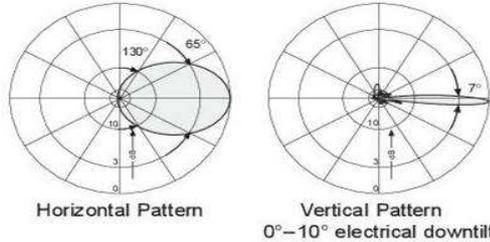
KATHREIN
Antennen · Electronic

XXPol F-Panel 1710–2180/1710–2180 65°/65° 18/18dBi 0°–10°/0°–10°T

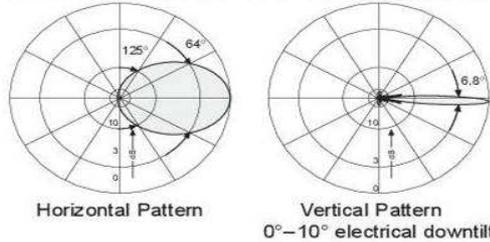
Type No.	742 236		
Frequency range	1710 – 1880 MHz	1710–2180 1850 – 1990 MHz	1920 – 2180 MHz
Polarization	+45°, –45°; +45°, –45°	+45°, –45°; +45°, –45°	+45°, –45°; +45°, –45°
Gain	4 x 17.5 dBi	4 x 17.7 dBi	4 x 17.8 dBi
Half-power beam width Copolar +45°/–45°	Horizontal: 65° Vertical: 7°	Horizontal: 64° Vertical: 6.8°	Horizontal: 62° Vertical: 6.5°
Electrical tilt continuously adjustable	0°–10°	0°–10°	0°–10°
Sidelobe suppression for first sidelobe above horizon	0° ... 5° ... 10° T 17 ... 15 ... 15 dB	0° ... 5° ... 10° T 20 ... 18 ... 18 dB	0° ... 5° ... 10° T 20 ... 18 ... 16 dB
Front-to-back ratio	Copolar: > 25 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 25 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 25 dB Total power: > 25 dB
Cross polar ratio Maindirection Sector	0° ±60°	Typically: 25 dB > 10 dB	Typically: 25 dB > 10 dB
Isolation, between inputs	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Impedance	50 Ω	50 Ω	50 Ω
VSWR	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< –150 dBc		
Max. power per input	300 W (at 50 °C ambient temperature)		



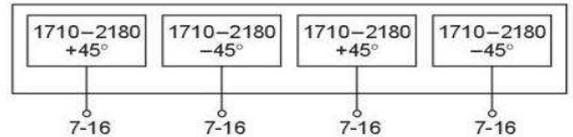
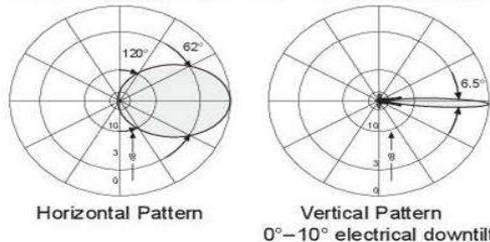
1710 – 1880 MHz: +45°/–45° Polarization



1850 – 1990 MHz: +45°/–45° Polarization



1920 – 2180 MHz: +45°/–45° Polarization



Mechanical specifications	
Input	4 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	2x, Position bottom continuously adjustable
Weight	16.5 kg
Wind load	Frontal: 600 N (at 150 km/h) Lateral: 120 N (at 150 km/h) Rearside: 600 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	1574 x 360 x 130 mm
Height/width/depth	1319 / 323 / 71 mm

Додаток Г.4

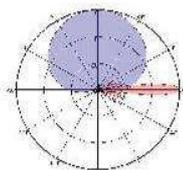


T0005L6R011

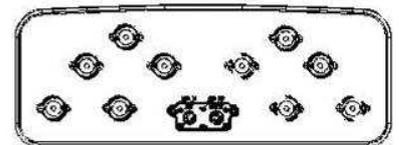
XXXXXPol 1710~2690MHz×5 65° 17.5dBi 2°~10° Integrated and replaceable RCU
(Remote Control Unit) Antenna

Electrical specifications				
Frequency Range(MHz)	1710~2690×5			
	1710~1990	1920~2200	2200~2490	2490~2690
Polarization	±45°			
Gain (dBi)	Bottom:17.0±0.5 Top:16.6±0.5	Bottom:17.2±0.5 Top:16.8±0.5	Bottom:17.3±0.5 Top:16.9±0.5	Bottom:17.5±0.5 Top:17.1±0.5
Horizontal 3dB beamwidth (°)	69±5	65±5	62±5	60±5
Vertical 3dB beamwidth (°)	6.8±0.5	6.1±0.4	5.4±0.4	5.1±0.3
Front-to-back ratio (dB)	>25	>25	>25	>25
Cross-polar ratio (dB)	>15 (0°)	>15 (0°)	>15 (0°)	>15 (0°)
Electrical downtilt (°)	2~10			
Sidelobe suppression (dB) (First sidelobe above main beam)	>17	>16	>15	>15
VSWR	<1.5			
Isolation: intra-system (dB)	≥28			
Isolation: inter-system (dB)	≥28			
Intermodulation IM3 (2×43dBm carrier)	≤150 dBc			
Impedance (Ω)	50			
Max. power per input (W) @50°C	250			
RET Model	TRCU-TQ10P2V01(Replaceable, Included)			
RET Protocol	AISG 2.0 SRET			
Lightning protection	Dc Ground			

Mechanical specifications	
Connector	10×4.3-10 Female
Connector position	Bottom
Height×width×depth (mm)	2680×420×165
Packing size (mm)	3010×515×270
Antenna weight (kg)	33.5
Installation kit weight (kg)	8.7
Packing weight (kg)	47.5
Wind load (N, at 150km/h) Frontal/Lateral/Rearside	1270/350/1350
Max. wind velocity (km/h)	216
Radome material	Fiberglass
Radome color	Gray
Mechanical tilt (°)	0-8
Operating temperature (°C)	-50~65
Mounting hardware (mm)	Φ50~Φ115



1710~2690MHz



Додаток Г.5



TDQ-172718DEH-65Fv02

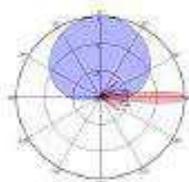
XXPol 1710~2690MHz×2 65° 18dBi 0°~10° Manual or by optional RCU (Remote Control Unit) Antenna

Electrical specifications

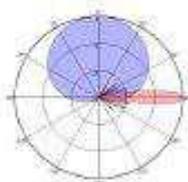
Frequency Range(MHz)	1710~2690 x2			
	1710~1880	1920~2200	2200~2500	2500~2690
Polarization	±45°			
Gain (dBi)	17.2	17.5	17.8	18
Horizontal 3dB beamwidth (°)	65	65	65	64
Vertical 3dB beamwidth (°)	7.5	6.4	6	5.6
Front-to-back ratio (dB)	≥25			
Cross-polar ratio (dB)	≥15(Typically. ±60° ≥10)			
Electrical downtilt (°)	0~10			
Sidelobe suppression (dB)	0°...5°...10°	0°...5°...10°	0°...5°...10°	0°...5°...10°
(First sidelobe above main beam)	16...15...14	16...15...15	15...15...15	15...15...14
VSWR	<1.5			
Isolation: intra-system (dB)	≥28			
Intermodulation IM	≤-150 dBc			
Impedance (Ω)	50			
Max. power per input (W) @50°C	200			
RET Model	TY-ICUB20 (Replaceable. Not Included)			
RET Protocol	AISG 2.0 SRET			
Lightning protection	DC Ground			

Mechanical specifications

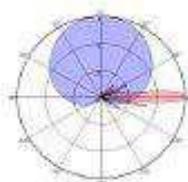
Connector	4×7/16DIN-Female
Connector position	Bottom
Height×width×depth (mm)	1360×320×80
Packing size (mm)	1765×410×185
Antenna weight (kg)	15.5
Installation kit weight (kg)	5.5
Packing weight (kg)	24
Wind load (N,at 150km/h)	514/115/574
Frontal/Lateral/Rearside	
Max. wind velocity (km/h)	216
Radome material	Fiberglass
Radome color	Gray
Mechanical tilt (°)	0~10
Operating temperature (°C)	-40~60
Mounting hardware (mm)	Φ50~Φ115



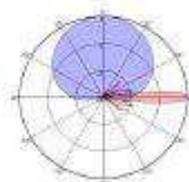
1710~1880 MHz



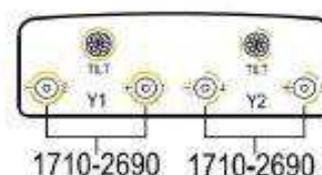
1920~2200 MHz



2200~2500 MHz



2500~2690 MHz



1710~2690 1710~2690