

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет**

**Кафедра радіоінженерії**

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій МАРТИНЮК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20 р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньою програмою «Радіосистемна інженерія»**

**спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

**на тему: «Передавальньо-приймальна земна станція супутникових теле-  
комунікацій»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи РС-81

Бутенко Владислав Євгенійович

\_\_\_\_\_

Керівник:

професор

Федір Федорович Дубровка

\_\_\_\_\_

Рецензент:

Ст. викладач каф. РТС

Турєєва Ольга Василівна

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Радіотехнічний факультет**  
**Кафедра радіоінженерії**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Радіосистемна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій МАРТИНЮК

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Бутенка Владислава Євгенійовича**

1. Тема проєкту «Приймально передавальна земна станція телекомунікаційних систем», керівник проєкту Федір Федорович Дубровка професор затверджені наказом по університету від «01»червня 2022 р. №822-с

2. Термін подання студентом проєкту 21.06.2022

3. Вихідні дані до проєкту: Місце розташування земної станції: місто Черкаси; Супутник: Eutelsat Hot Bird 16E; Склад супутникового каналу передачі даних: HDTV(1 channel), Hi-Fi (1 classical music channel), Data (4Mb/s), Audio stereo (1 channel); Вимоги до  $BER$ :  $\leq 10^{-10}$

4. Зміст роботи: Вступ, огляд супутникових інформаційних систем, Огляд VSAT станцій, Розрахунок, Висновок.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи\*

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

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

--	--	--	--

7. Дата видачі завдання 18.05.2022\_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Огляд супутникових інформаційних систем, та VSAT станцій	19-30.05.2022	
	Розрахунки	1-15.06.2022	

Студент

Владислав БУТЕНКО

Керівник

Федір ДУБРОВКА

## АНОТАЦІЯ

У роботі здійснено огляд супутникових телекомунікаційних інформаційних систем та розроблено проєкт приймально-передальної земної станції супутникової системи зв'язку з використанням геостаціонарного супутника “Eutelsat Hot Bird 16E”. Запропонована земна станція забезпечує передачу: HDTV(1 channel), Hi-Fi (1 classical music channel), Data (4Mb/s), Audio stereo (1 channel).

При проектуванні враховано, крім основних втрат на поширення електромагнітних хвиль у вільному просторі, можливі додаткові втрати сигналу у атмосфері, снігах та дощах. Обґрунтовано вибір бітових швидкостей для передачі Hi-Fi (classical music) каналу, audio stereo каналу, HDTV за стандартом MPEG2, а також типу модуляції та методів кодування.

У результаті визначено розміри передавальної та приймальної антен земної станції, а також потужність передавача та шумову температуру малошумного підсилювача конвектора.

Проєкт містить 42 сторінки тексту, 26 ілюстрацій, 2 таблиці, 6 графіків.

## **ANNOTATION**

The review of satellite telecommunication information systems and the project of the receiving advanced earth station of the satellite communication system with the use of the geostationary satellite "Eutelsat Hot Bird 16E" is presented. The proposed earth station provides transmission: HDTV (1 channel), Hi-Fi (1 classical music channel), Data (4Mb / s), Audio stereo (1 channel).

The design takes into account, in addition to the main losses due to the propagation of electromagnetic waves in free space, the possible additional disappearance of the signal in the atmosphere, snow and rain. The choice of bit rates for transmission of Hi-Fi channel (classical music), stereo audio channel, MPEG2 HDTV, as well as the type of modulation and encoding methods is justified.

The results of determining the size of the transmitting and receiving antenna of the earth station, as well as the transmission power and noise temperature of the low-noise convector amplifier.

The project contains 42 pages of text, 26 illustrations, 2 tables, 6 graphs.

# **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

## **до дипломного проекту**

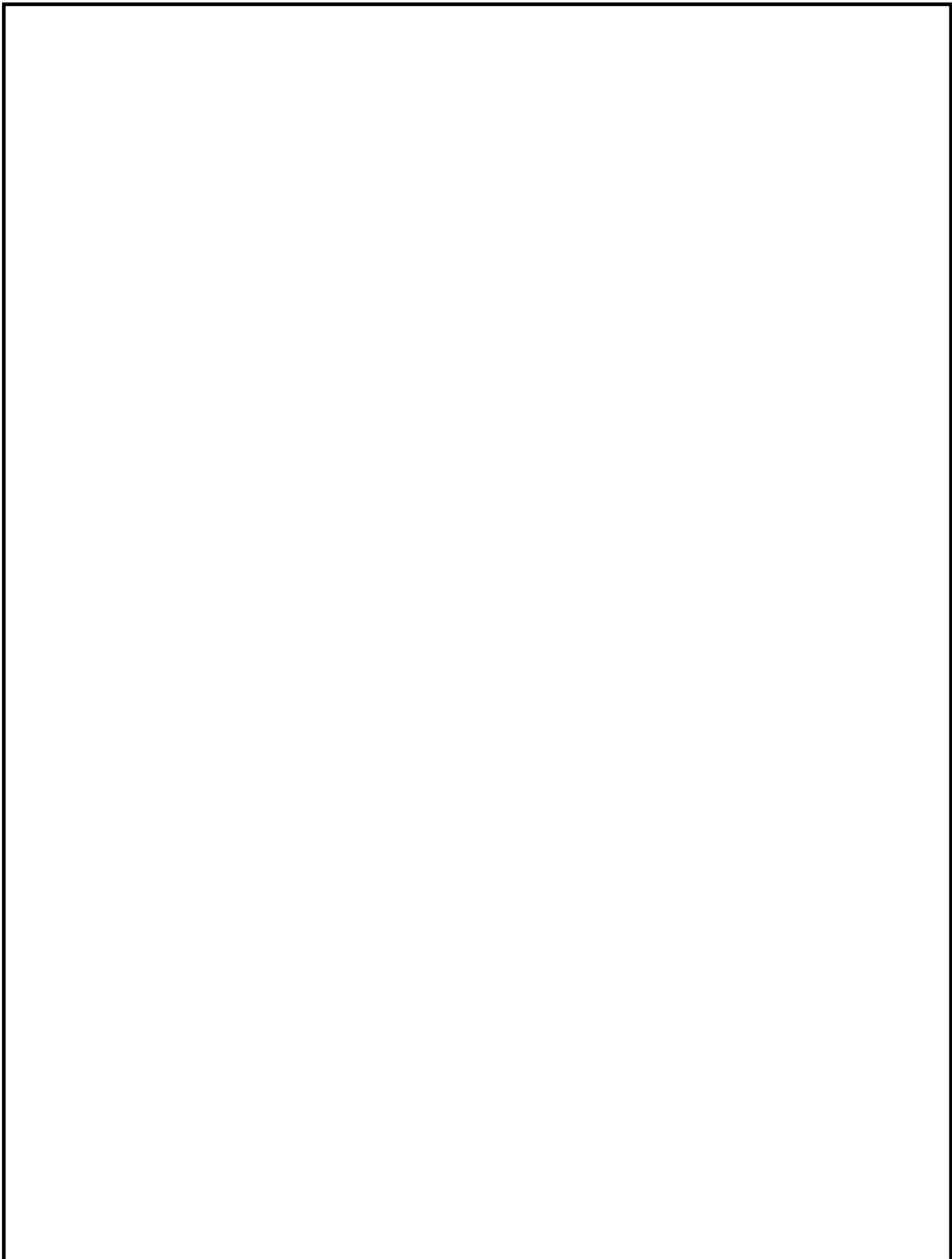
на тему: Приймально-передавальна земна станція супутникових телекомунікацій

Київ — 2022 року

## ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	2
Вступ .....	3
1 Огляд супутникових телекомунікаційних систем.....	4
1.1 Супутниковий зв'язок.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.2 Основні поняття земних станцій.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.3 Супутникові .....	7
1.4 LNB (LOW NOISE BLOCK) .....	17
2 Огляд VSAT станцій.....	22
2.1 VSAT .....	22
2.2 Структура VSAT .....	24
2.3 Тип терміналів.....	25
2.4 Архітектура VSAT станцій .....	26
3 Розрахунки.....	30
Висновки .....	44
Перелік джерел посилань.....	45
Додаток А Технічне завдання.....	46
Додаток Б Відомість дипломного проєкту.....	46

					<b>РС81.464655.001 ПЗ</b>			
ЗМ	Лист	№ докум	Підпис	Дата	<b>Передавально- приймальна      земна</b>	Літ	Лист	Листів
Розроб-	Бутенко						1	
Переві-	Лубирова				<b>РС-81 РТФ</b>			
Н Кошт								
Затвер-								



					<i>РС81.464655.001 ПЗ</i>			
<i>ЗМ</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб-</i>	<i>Бутенко</i>				<i>Передавально-</i>	<i>Літ</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Переві-</i>	<i>Лубчова</i>						<i>1</i>	
<i>Н. Коштр</i>					<i>приймальна земна</i>	<i>РС-81 РТФ</i>		
<i>Затвер-</i>								

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЦЗС — Центральна земна станція

ЗС — Земна станція

HTDV — High-definition television, телебачення високої чіткості

VSAT — Very Small Aperture Terminal, мала супутникова земна станція

FEC — Forward Error Corection, пряма корекція помилок

QPSK — квадратурно-фазова модуляція

BER — Bit Error Rate, коефіцієнт бітових помилок

LNB — Малошумний підсилювач, конвертор

SFD — Густина потоку потужності насичення(транспондера)

AIRP — Еквівалентна ізотропна випромінювана потужність

Hi-Fi — Висока якість відтворення

TDM — Мультиплексування в часі

TDMA — Метод багатостанційного доступу із розділенням сигналів у часі

SCPC — Single channel per carrier

MPEG2 — Цифровий телевізійний стандарт

					<i>РС81.464655.001 ПЗ</i>	Лист
						2
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Актуальність теми дослідження обумовлена інтенсивним розвитком супутникових інформаційних систем нового покоління та зростанням кількості регіональних каналів, які працюють на свій регіон.

Метою роботи є проектування приймально-передавальної земної станції супутникового зв'язку, яка має забезпечити передачу: HDTV (1 channel), Hi-Fi (1 classical music channel), Data (4Mb/s), Audio stereo (1 channel). Для досягнення цієї мети необхідно: обґрунтувати вибір бітових швидкостей для передачі Hi-Fi (classical music) каналу, audio stereo каналу, HDTV за стандартом MPEG2, а також типу модуляції та методів кодування; знайти загальну символну швидкість, визначити необхідну смугу частот; розрахувати втрати на поширення хвиль у вільному просторі та додаткові втрати в атмосфері і дощах; визначити EIRP земної станції, потужність передавача та коефіцієнт підсилення і діаметр передавальної антени; розрахувати загальну шумову температури на вході LNB та коефіцієнт підсилення і діаметр приймальної антени земної станції.

Об'єкт дослідження — процеси поширення та обробки радіосигналів у супутникових інформаційних системах.

Предмет дослідження — властивості поширення радіосигналів у природних середовищах та особливості обробки цифрових сигналів у приймально-передавальних земних станціях супутникового зв'язку.

Результати роботи можуть бути застосовані при розробці регіональних каналів супутникових інформаційних систем.

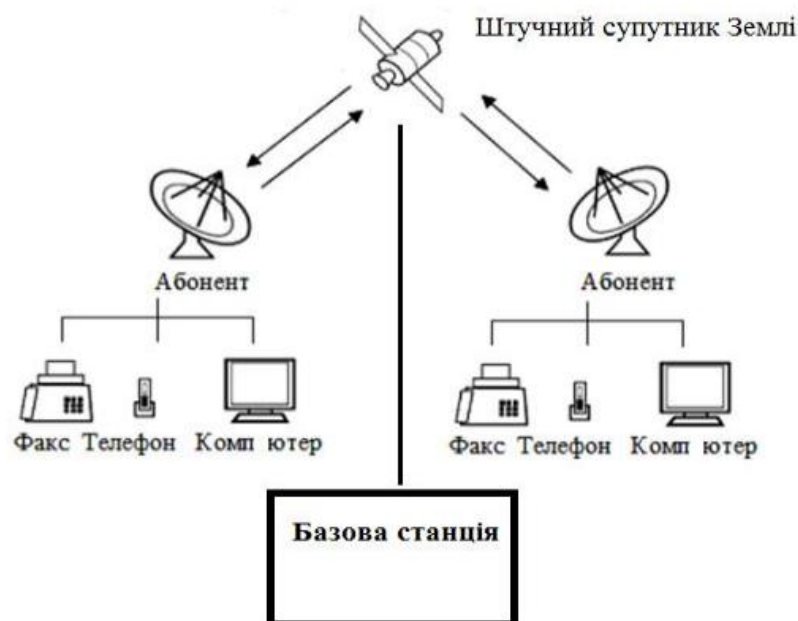
					<i>РС81.464655.001 ПЗ</i>	Лист
						3
<i>Зм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# 1 ОГЛЯД СУПУТНИКОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

## 1.1 Супутниковий зв'язок

На теперішній час спостерігається бурхливий розвиток супутникових телекомунікаційних систем, як на базі геостаціонарних та низькоорбітальних супутників, наприклад: системи ДЗЗ, супутниковий інтернет(Star Link). Супутникові системи мають ряд переваг у порівнянні із наземними дротовим та бездротовим способами зв'язку, а саме:

- Можуть охопити значно більші території та не залежить від інфраструктури
- Можуть забезпечити комунікацію між собою різних внутрішніх місцевих комунікацій



«Рис. 1.1 — Один із варіантів супутникової телекомунікаційних систем»

Зазвичай такі системи будуються на основі супутників-ретрансляторів, які розміщуються на геостаціонарній орбіті Землі, де вони не можуть залежати від різних регіональних провайдерів. Для таких систем потрібно забезпечувати пряму видимість на ретранслятор тому, що може погіршитись якість зв'язку.

					PC81.464655.001 ПЗ	Лист
Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата		4

Приклад такої системи зображено на (Рис. 1.1).

## 1.2 Основні поняття земних станцій

Для початку розберемо що ми вважаємо земною станцією. А земну станцію, ми вважаємо наземну радіостанцію призначену для позаземних телекомунікацій із космічним тілом(супутником) або прийому радіохвиль від астрономічних радіоджерел. Як зрозуміло із назви “земна станція” вони розташовуються на поверхні землі.



«Рис. 1.2.1 — Земна станція»

До складу супутникової системи зв'язку може входити декілька земних станцій, що розміщуються у різних місцях, регіоні чи країні.

Земні станції бувають стаціонарних та мобільних(пересувних) видів.

Серед основних функцій земної станції – організація доступу до супутника із земних мереж, мультиплексування, модуляція, обробка сигналу і перетворення частоти.

Незалежно якою є земна станція, але вона має каналоутворююче та радіочастотне устаткування. Радіочастотним обладнанням, яке йде в комплекті, є антена НВЧ діапазону, яку використовують для прийому та ретрансляції надходжувальних на неї сигналів. Радіочастотне обладнання має підходити типу

					<b>РС81.464655.001 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата		5

вибраного супутника і забезпечувати його працездатність каналотворюючого обладнання. Усе каналотворююче обладнання вказує на принцип роботи земної станції і в цілому усієї мережі та працює за певним стандартом (TDM/TDMA, DAMA SCPC). До нього також відносять пакетні модеми.

Поміж іншого, також до складу обладнань, які входять до земної станції ще відносять такі компоненти як:

- пристрій для управління великими потоками інформації з базою даних інших терміналів;
- комутаційне обладнання, що дає змогу з'єднатись з іншими земними станціями зв'язку;

Сьогоднішнім абонентським потребам відповідають земні станції на основі VSAT-терміналів, які мають невеликі габарити, ціну та легкість установки.



«Рис. 1.2.2 — VSAT антени»

Пересувні чи мобільні станції – вид земної станції, призначений для прийому та передачі інформації від земних джерел, супутників, літаків та інших космічних радіоджерел. Вони сконструйовані з урахуванням її мобільності, саме тому вони повинні мати власне джерело живлення чи використо-

										Лист
										6
Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата						

PC81.464655.001 ПЗ

вувати його з місця де були розгорнуті. При встановлені таких станцій вони устанавлюють зв'язок зв'язку з потрібними для них джерелами.

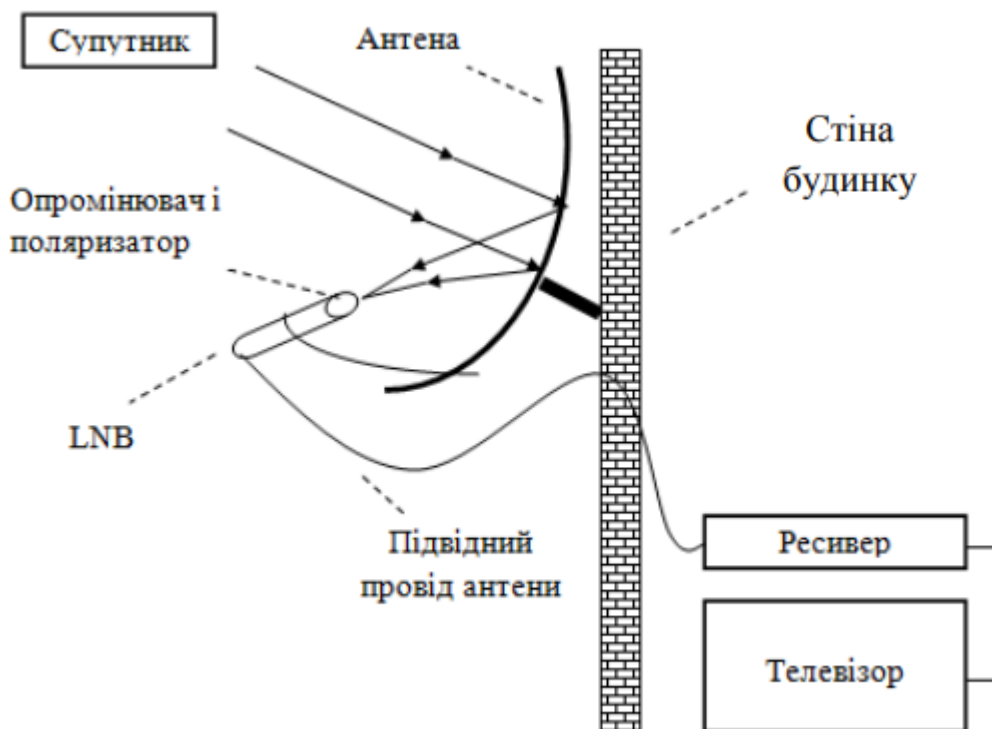


«Рис 1.2.3 — Приклад розміщення пересувних мобільних земних станцій»

Зазвичай пересувні земні станції, прив'язані до причепа, які можна пересувати до будь-якого потрібного нам місця, яке має бути доступне для колісних транспортних засобів, щоб забезпечити якісний зв'язок. Такі системи поєднують в собі потужність якісної системи зв'язку так і просту мобільність.



белем на приймач, який розташовується усередині будівлі. Також такий комплект із LNB, опромінювача із поляризатором називають ODU(OutDoor Unit)- зовнішнім блоком чи просто головкою опромінювача. Така форма конфігурації зображена на рисунку нижче.



«Рис. 1.3.2 — Конфігурація downlink лінії зв'язку»

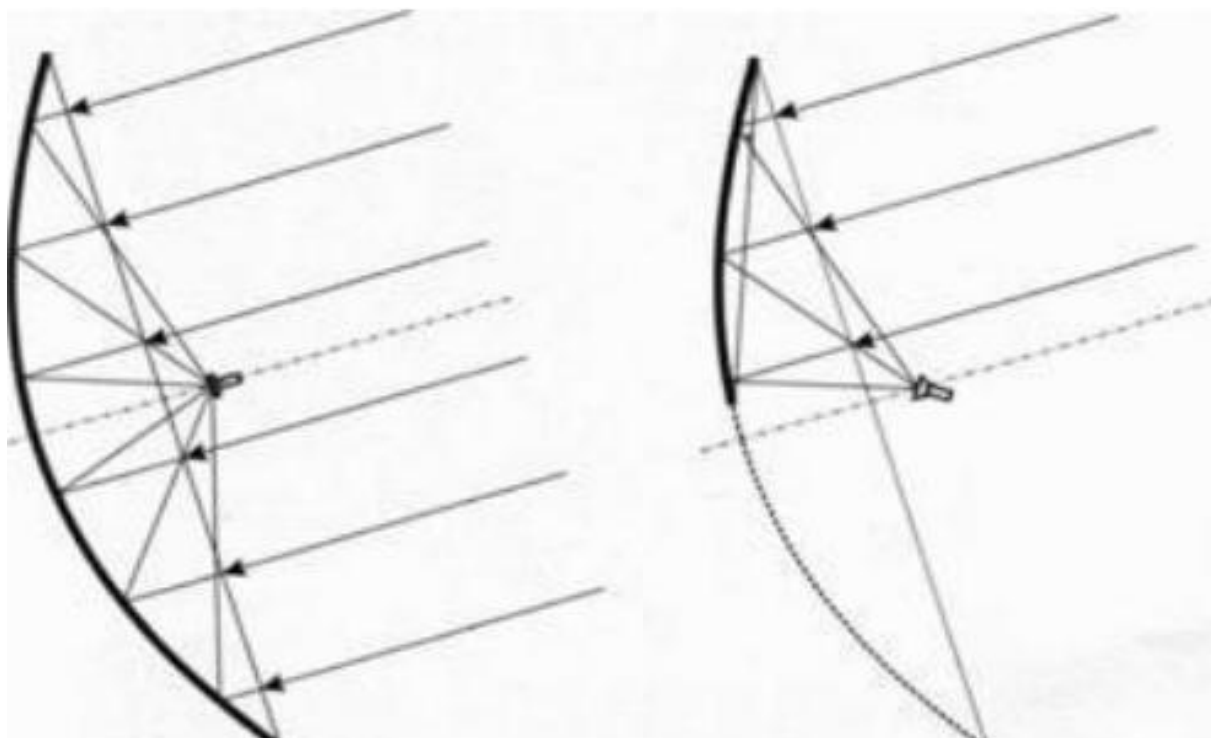
Анени поділяють за розміром, формою, типом підвіски, та матеріалом.

- За розміром. Розмір антени(її діаметр) залежить від EIRP(Effective Isotropic Radiated Power) супутника- рівня потужності випромінюваної супутником на певну місцевості, яку можна дізнатись за картою покриття супутником. Можна сказати, що від місцевості залежатиме розмір антени. Набільша потужність сигналу завжди сконцентрована у центрі зони покриття, а потужність буде падати тоді, коли ви будете віддалятись від центру, і чим далі тим більше зменшення потужності.

Але для того, щоб погіршення сигналу,яке було викликане дощем, снігом чи іншим атмосферним явищем,не зумовлювало сильне погіршення сигналу, необхідно вибирати діаметр антени із певним запасом. Тому для уник-

нення таких питань можна звернутися у фірму, що спеціалізується на установці систем, і уточнити ці питання із ними.

- За формою антени бувають офсетні(off-set)-усім відома, звичайна тарілка, прямофокусні(prime focus)(Зображені на малюнках), тороїдальні, фазовані антенні решітки, антени біжучої хвилі та слабоспрямовані антени.



«Рис. 1.3.3 — Геометрія прямофокусної антени(prime focus), Геометрія офсетної антени(off-set)»

Прямофокусні антени- це, як правило, антени з великим діаметром.У них опромінювач з конвектор кріпиться за допомогою декількох спиць(штанг), саме із-за того, що ці спиці затінують поверхню антени що відбиває, це призводить до зменшення коефіцієнту використання відбиваючої поверхні антени. Але водночас із збільшенням розміру таких антен, даний ефект що впливає на коефіцієнт стає менш значним. Значним чинником погіршення прийому є те що взимку на антенну легко намерзає сніг та крига.

Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата

РС81.464655.001 ПЗ

Лист

10



«Рис. 1.3.4 — Прямофокусна антена»

Перевагами офсетного типу антен є те, що елементи кріплення разом із конвектором ніяк не затінюють поверхню антени, тому що місце кріплення конвектору є зміщеним від центру антени вниз, тому офсетні антени дивляться трішки до низу, так як їх центр зміщений. Саме тому ці антени кріпляться майже вертикально, тому на них взимку не примерзає сніг та не накопичується вода, яка в свою чергу не може замерзнути на поверхні дзеркала.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PC81.464655.001 ПЗ

Лист

11



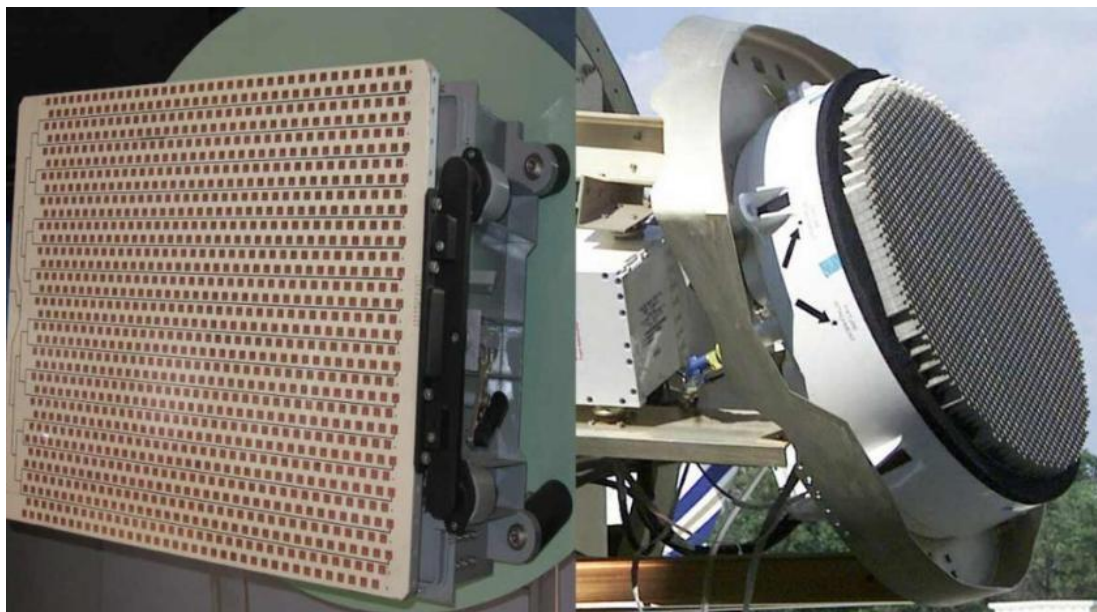
«Рис. 1.3.5 — Офсетна антена»

Тороїдальна антена- вважається більш сучасним рішенням, яке є заміною звичайних антен, які установлені на поворотному механізмі. Вона складається із великого рефлектора, одного контр-рефлектора і декількох опромінювачів-конверторів. Її перевагою є можливість прийому TV-сигналів від різних супутників. Принцип дії полягає в тому, що до того як сигнал потрапляє на перетворюючу голівку, він двічі піддається відображенню: спочатку на антену більшо діаметру, а від нього заломлюючись на дзеркало меншого розміру, де сигнал фокусується на потрібному перетворювачі.



«Рис. 1.3.6 — Тороїдальна супутникова антена»

Фазовані антенні набули вони свою популярність у 90-х роках. Такі антени не використовувались користувачами телеобладнання, оскільки мали великий перелік обмежень такі як: вузькосмуговість, важкість виробництва, тому й велику ціну на них. Але на їх базі розробляють мобільні і портативні приймачі супутникового зв'язку.



«Рис. 1.3.7 — Фазована антена решітка»

Антенна біжучої хвилі – це приймальний пристрій спрямованого типу. Сигнал поширюється вздовж осі геометричної конструкції у вигляді біжучої хвилі. За будовою- це збиральна лінія, на якій закріплені декілька на рівно-віддаленій відстані один від одного вібраторів. Ця антена є широкосмуговою для VHF і UHF хвилі. Вони поширені у любителів радіозв'язку та метеорологів.

Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата

PC81.464655.001 ПЗ

Лист

13



«Рис. 1.3.8 — Антена спрямованого типу»

Слабо направленні антени- це хвильові приймачі, які використовуються у регіонах де не має можливості постійно передавати положення приймального пристрою. Антена для захоплення ретранслюють хвилі з низькоорбітальних супутників.



«Рис. 1.3.9 — Слабонаправлена антена»

Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата

PC81.464655.001 ПЗ

Лист

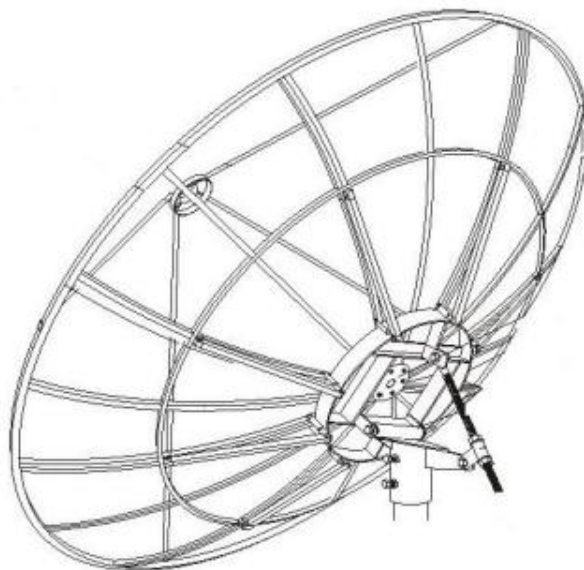
14





«Рис. 1.3.10 — Пластиковая антенна»

Сітчасті антени, зазвичай монтуються на високій висоті та у досить вітрових регіонах, так як вони досить стійкі, до поривів вітру. Недоліком є те, що такі антени мають нижчі показники прийому сигналів у Ku-діапазоні, а також для такого потрібна антенна більшо розміру дзеркала.



«Рис. 1.3.11 — Сітчаста антенна»

Зм.	Лис.	№ докум.	Підпис	Дата

PC81.464655.001 ПЗ

Лист

16

## 1.4 LNB (LOW NOISE BLOCK)

LNB дослівно переводиться, як малошумний блок, до його складу входить випромінювач та малошумний підсилювач-конвертор частоти вниз. Реально це малошумний підсилювач із перетворенням частоти вниз. Він являє собою пристрій, який встановлюється на супутникових антенах, що використовується у прийомі сигналу TV із супутника, що збирає радіохвилі з антени та перетворює їх у сигнал, який у свою чергу через кабель потрапляє до приймача.



«Рис. 1.4.1 — Приклад зовнішнього вигляду пристрою LNB»

У цілому LNB являє собою комбінацією малошумного підсилювача, частотного змішувача, гетеродина та підсилювача проміжної частоти. Він служить в якості радіочастотної передньої частини супутникового приймача, отримавши мікрохвильовий сигнал від супутника, зібравший антеною, підсиливши його та перетворивши на блок частот на нижній блок проміжних частот. Така методика перетворень з пониженням дозволяє передати сигнал на внутрішній приймач за допомогою дуже дешевого коаксіального кабелю на відміну від непрактичної хвилеводної лінії.

Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата

PC81.464655.001 ПЗ

Лист

17

Як правило пристрій являє собою невелику коробочку, змонтовану на одній або декількох коротеньких спицях або важелях подачі перед відбивачем антени, що в фокусі(хоча і існують деякі винятки, коли деякі конструкції антени мають розміщення конвектора позаду чи зверху антени). Сигнал від антени уловлюється рупором на конвекторі і подається на хвилевід. Один чи декілька металевих стержнів або зондів, виступають у хвилевід під прямим кутом до осі і діють як антени двох ортогональних лінійних поляризацій, передаючи отриманий ними сигнал на друковану плату.



«Рис. 1.4.2 — Розібраний конвертор. Хвилевід , що передає мікрохвильовий сигнал , закінчується в отворі в центрі, де для цього конвертора два контакти виконують роль антен»

Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата

PC81.464655.001 ПЗ

Лист

18

### **1.4.1 Підсилення та шум**

Сигнал що приймає LNB, є надзвичайно слабким, і перед його перетворенням з пониженням цей сигнал потрібно підсилити. Цим займається секція підсилювача з низьким рівнем шуму, LNB підсилює даний слабкий сигнал, додаючи до нього мінімально можливу кількість шуму до сигналу.

Низький рівень шуму у LNB виражається як коефіцієнт шуму/шумова температура. Це співвідношення сигналу/шуму на вході до відношення сигнал/шум на виході і вимірюється у Дицибелах та Кельвінах. Фактично ідеальним LNB вважався з коефіцієнтом шуму 0 Db і не додав би шуму до сигналу. Зменшення шуму може виступати також низькі температури, такий спосіб часто використовують у наукових дослідженнях.

Кожен конвектор із заводу має різний показник шуму через виробничі допуски. Показник шуму, який вказано у специфікаціях важливий для придатності пристрою, тому найчастіше наводиться типовий показник, усереднений для усієї партії.

### **1.4.2 Діапазон частот**

Діапазон частот, можуть мати велику ширину, ніж вхідний діапазон частот. Тому діапазон супутникового зв'язку розбивають на піддіапазони, для кожного з яких вибирається конвектор с такою частотою опорного генератора, щоб отриманий після перетворення сигнал попадав у діапазон.

Деякі моделі конвекторів працюють тільки в одному піддіапазоні, а інші можливість переключати опорний генератор ,щоб використовуватись на інших піддіапазонах.

LNB C-діапазону, приклад:

- Генератор: 5.15 ГГц
- Частота: 3.40-4.20 ГГц
- Шумова температура: 25-100 Кельвінів
- Поляризація: лінійна

Таблиця для С-діапазону:

Напруга живлення	Блокувати		Частота гетеродина	Проміжна частота. діапазон
	Поляризація	Діапазон частот		
13 В	Вертикальні	3,40–4,20 ГГц	5,15 ГГц	950–1750 МГц
18 В	Горизонтальний	3,40–4,20 ГГц	5,15 ГГц	950–1750 МГц

«Таблиця 1.4.2.0 — Таблиця для С-діапазону»



«Рис. 1.4.2.1 — Конвертор Ku-діапазону з перемикаємим опорним генератором»

LNB Ку-діапазону, приклад:

- Генератор: 10.75 ГГц
- Частота: 11.70-12.20 ГГц
- Показник шуму: 1 дБ
- Поляризація: лінійна

Таблиця для Ку-діапазону:

Напруга живлення	Блокувати		Частота гетеродина	Проміжна частота. діапазон
	Поляризація	Діапазон частот		
13 В	Вертикальні	11,70–12,20 ГГц	10,75 ГГц	950–1450 МГц
18 В	Горизонтальний	11,70–12,20 ГГц	10,75 ГГц	950–1450 МГц

«Таблиця 1.4.2.2 — Таблиця для Ку-діапазону»



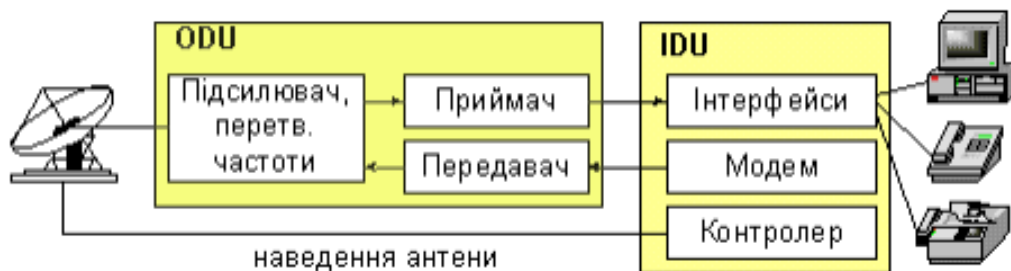
«Рис. 1.4.2.3 — Конвертор С-діапазону»

					<i>РС81.464655.001 ПЗ</i>	Лист
						21
Зм.	Лис.	№ докум.	Підпис	Дата		





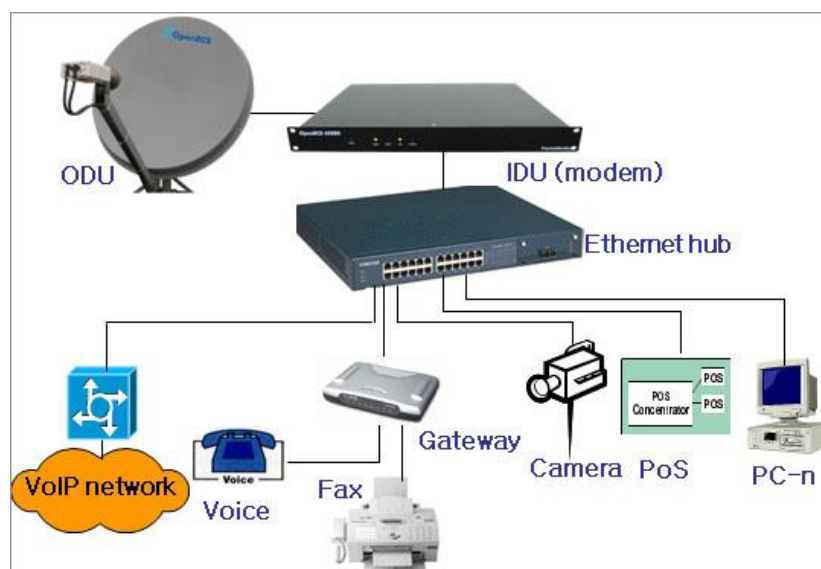
## 2.2 Структура VSAT



«Рис. 2.2.1 — Наведений приклад структури у терміналі VSAT»

Сам термінал VSAT складається з трьох частин, а саме:

- Антенна;
- Зовнішній блок (ODU-OutDoor Unit) встановлюється у фокусі на самій антені, який передає зфокусований сигнал і отримує від нього через супутник модульовані радіосигнали;
- Внутрішній блок (IDU, InDoor Unit) встановлюється в будівлі абонента, це пристрій який перетворює вхідний сигнал, що проходить між аналоговими комунікаціями на супутнику та місцевими пристроями до пристроїв користувача, такі як телефон, персональний комп'ютер, ТБ;



«Рис. 2.2.2 — Наведені реальні пристрої які використовуються у підключенні між собою у VSAT»

Зм.	Лис.	№ докум.	Підпис	Дата

PC81.464655.001 ПЗ

Лист

24

Діаметр антени визначається такими вхідними даними, такими як: діапазоном частот, швидкістю передачі інформації, умовами використання та потужністю радіоканалу.

Внутрішній блок має в собі пристрій керування, спутниковий модем та інтерфейсні плати, які дають змогу підключити забезпечення для обробки даних та зв'язку з телефонною мережею.

Зовнішній блок включає в себе підсилювач з перетворюванням частоти та приймач/передавач.

### 2.3 Тип терміналів

У цілому існує декілька основних типів станцій типу VSAT, а саме 4. При появі кожного нового покоління терміналів, у кожному із них починали використовуватись більш сучасніші технології, що стало можливим при створенні набагато потужних супутників та освоєння нових діапазонів частот.

Перше покоління VSAT терміналів працювало лише у С-діапазоні і використовувались лише в мережі віщального типу, лише абонентські термінали могли приймати потоки даних і якийсь режим передачі у цьому поколінні не передбачався. Даний тип мережі до сьогодні досить багато де використовуються, а саме у розподілі ділової та фінансової інформації, у системах асиметричного доступу до інтернету та біржових зведень.

Друге покоління терміналів VSAT у порівнянні з першим має можливість підтримувати зворотньої зв'язок(дуплексний зв'язок). Працює більшість із них у Ku-діапазоні, хоча і в деяких країнах як і раніше використовуються у С-діапазоні.

Найбільшої популярності набули термінали VSAT третього покоління, які мають діаметр антени 1.2 м. та менше. В загальному вони використовуються у великих мережах, що відрізняються низьким рівнем непостійного

					<i>PC81.464655.001 ПЗ</i>	Лист
						25
Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата		

трафіку сигналу між ними. Цей тип терміналів має перевагу в порівнянні з іншими те-

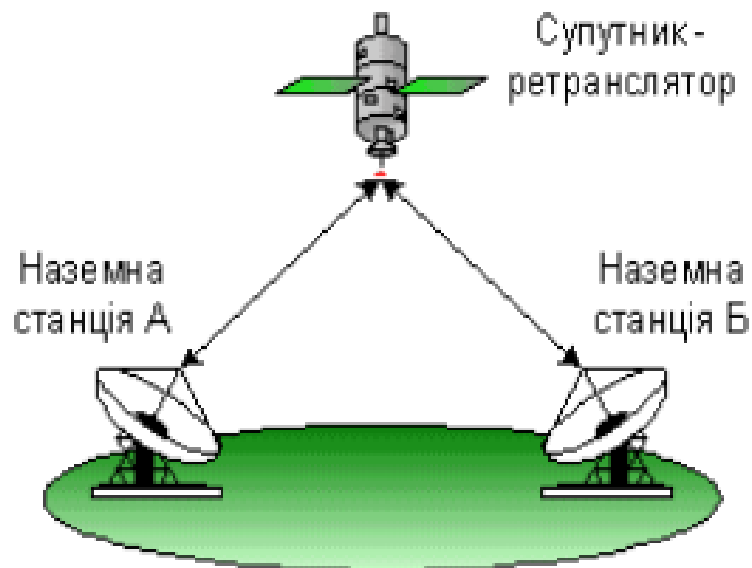
рміналами має низьку ціну, досить проста конструкція, але працює виключно у Ku-діапазоні.

У останнє покоління, яке з'явилося досить так недавно є четверте. Використовуються для мультимедійних додатків, так звані USAT (Ultra Small Aperture Terminal). Такі термінали працюють у Ku та Ka-діапазонах, що дає змогу забезпечувати швидкість до декількох мегабіт на секунду. У Ka-діапазоні розмір антени терміналу не перевищує 0.7м.

## 2.4 Архітектура VSAT станцій

Усі архітектури супутникових мереж зв'язку розрізняються по конфігурації трафіку та за структурою керування.

- Мережа "точка-точка"



«Рис. 2.4.1 — Топологічна схема мережі "точка-точка"»

Вона дозволяє забезпечувати прямий дуплексний зв'язок між двома віддаленими між собою наземними станціями по спеціально виділеним каналам.

Перевагаю такої топології є те, що вона найбільш ефективна при найбільшо-

му навантаженні каналів(не менше ніж 30-40%), також перевагою вважається простота цієї архітектури організації каналів зв'язку і їх прозорість для будь-яких протоколів обміну. Крім того, для цієї мережі не потрібна система для її керування.

- Мережа типу “зірка”



«Рис. 2.4.2 — Топологічна схема мережі типу “зірка”»

Саме така мережа набула найбільшого розповсюдження у користувачів з архітектурою побудови супутникових систем зв'язку для терміналів класу VSAT. Такий вид мережі забезпечує багатонапрямлений радіальний трафік між ЦНС(Цетральна наземна станція) та віддаленими поміж собою терміналами. Сама ЦНС являє собою тарілку великого розміру із дуже потужним передавачем.

Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата

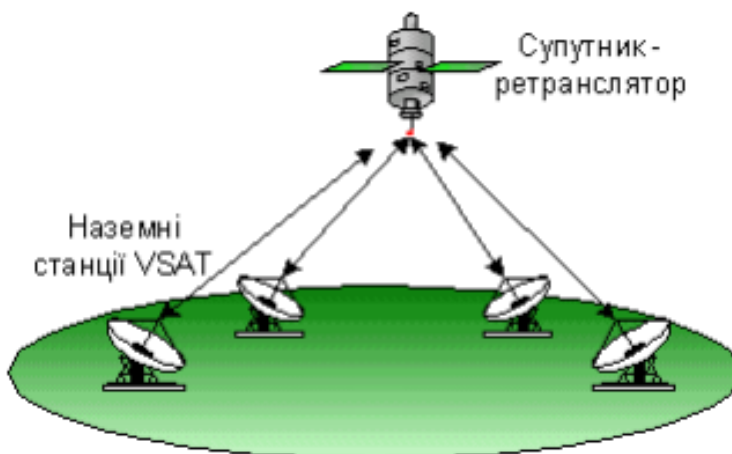


«Рис. 2.4.2.1 — Реальні фото центральної наземної станції»

Дані мережі VSAT використовують для обміну між великими кількостями віддалених між собою терміналів та центральною станцією.

Керування та контроль в цьому типі мережі зазвичай здійснює центральна керуюча станція мережі (ЦЗС). Загальна кількість терміналів які можуть міститись в мереді досягає до 10 тисяч.

● Мережа типу “кожний з кожним”



«Рис. 2.4.3 — Топологічна схема мережі типу ”кожна з кожним”»

Або ці мережі також називають пов’язані, вони напряду з’єднують будь-які абонентські станції (односкачковий режим зв’язку). Кількість необхідних дуплексних радіоканалів дорівнює формулі:

$$N \cdot (N - 1) \quad (2.4.0)$$

де  $N$  — число абонентських станцій у даній мережі.

$(N-1)$  – канали прийому та передачі, які повинен мати кожен термінал.

Така побудова оптимальна для важкодоступних та віддалених регіонів, чи навіть для передачі даних з невеликою кількістю віддалених абонентів.

Для того щоб забезпечити роботу даної мережі між двома малими терміналами VSAT, для кожного із терміналів вимагається більший енергоресурс у порівнянні із іншими мережами, тому у кожному терміналі використовується більшого розміру дзеркало то більш потужний передавач, що досить відчутливо збільшує ціну кінцевого продукту.

Керування в мережі відбувається децентралізовано, до складу кожного VSAT терміналу входять елементи керування усією системою. Така схема керування вважається корисною лише для невеликих мереж, а саме до 30 терміналів, які мають високий трафік між собою.

Загалом можна сказати, що кожна із описаних мереж має як свої переваги, так і недоліки. У реальних ситуація, користувачу потрібен широкий спектр послуг, тому більшість мереж будуються по змішаними схемами.

					<i>РС81.464655.001 ПЗ</i>	Лист
						29
Зм.	Лис.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 РОЗРАХУНКИ

1. Розрахунок сегменту «земна передавальна станція – супутник».

1.1 Визначимо бітову швидкість для стерео аудіо каналу класичної музики високої якості відтворення (Hi-Fi).

Необхідна частота дискретизації:

$$f_d = 96000 \text{ Hz} = 96 \cdot 10^3 \text{ Hz} \quad (1.1.1)$$

Потрібний динамічний діапазон:

$$D = 70 \text{ dB} = 10^7 \quad (1.1.2)$$

Для передачі звуку в такому великому динамічному діапазоні необхідно мати довжину слова в кількості бітів N:

$$N \geq \log_2(D) = \log_2 10^7 = 23.253 \approx 24 \quad (1.1.3)$$

Тоді бітова швидкість:

$$BR_{Hi-Fi} = f_d \cdot N \cdot 2 = 96 \cdot 10^3 \cdot 24 \cdot 2 = 4.608 \text{ Mbps} \quad (1.1.4)$$

1.2 Визначимо бітову швидкість для одного телевізійного каналу високої роздільної здатності (HDTV) стандарту MPEG-2/DVB-S:

$$BR_{HDTV} = 1 \cdot 20 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}} = 20 \text{ Mbps} \quad (1.2.1)$$

1.3 Визначимо бітову швидкість аудіо каналу(audio stereo)

$$BR_{audio} = 2 \cdot 160 \text{ kbps} = 320 \text{ kbps} = 0.3125 \text{ Mbps} \quad (1.3.1)$$

1.4 Розраховуємо загальну бітову швидкість супутникового каналу передачі даних:

$$BR = BR_{Hi-Fi} + BR_{HDTV} + BR_{audio} + BR_{data} = 20 + 4.608 + 0.3125 + 4 =$$

28.9 Mbps (1.4.1) Лист

РС81.464655.001 ПЗ

30

1.5 Розраховуємо загальну символну швидкість супутникового каналу передачі даних.

В якості завадозахищеного кодування будемо використовувати зовнішнє кодування Ріда-Соломона зі швидкістю кодування 204/188, а в якості модуляції – квадратурну фазову маніпуляцію. Таке рішення є типовим для супутникових систем, оскільки воно дозволяє забезпечити завадозахищеність та достатню спектральну ефективність каналу передачі даних.

Коефіцієнт кодування Ріда-Соломона:

$$K_{RS} = \frac{204}{188}$$

Коефіцієнт модуляції квадратурної фазової маніпуляції QPSK:

$$K_{mod} = 2$$

Обираємо коефіцієнт попередньої корекції помилок (FEC):

$$FEC = \frac{5}{6}$$

Отже, загальна символна швидкість:

$$SR = \frac{BR \cdot K_{RS}}{K_{mod} \cdot FEC} = \frac{28.933 \cdot \frac{204}{188}}{2 \cdot \frac{5}{6}} = 18.83723 \approx 19 \text{ Mbit} \quad (1.5.1)$$

1.6 Розрахуємо загальну смугу частот супутникового каналу передачі даних.

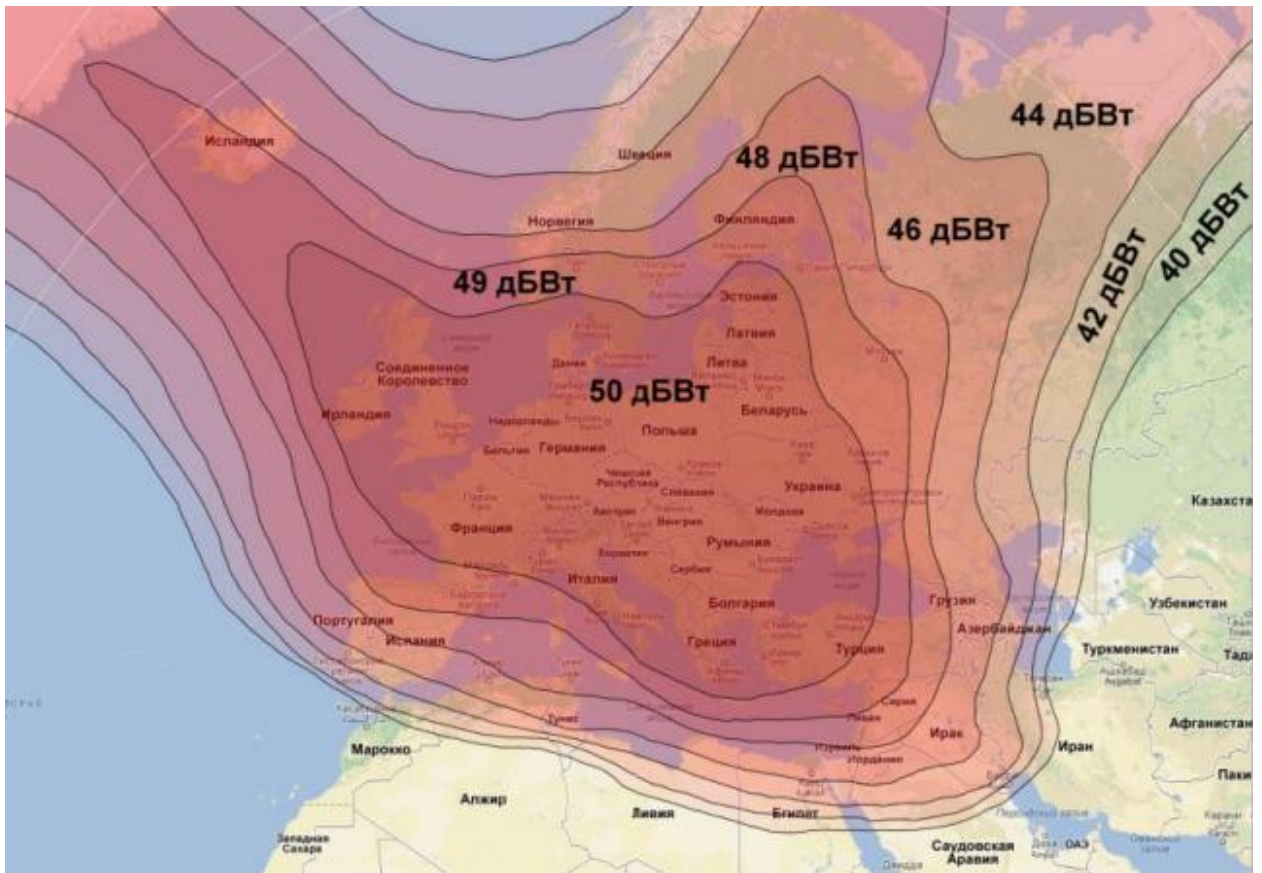
Обираємо коефіцієнт переходу від символної швидкості до необхідної смуги частот, яка забезпечує неспотворення радіоімпульсів із довільними початковими фазами:

$$k_f = 1.37$$

Розрахунок необхідної смуги частот:

$$\Delta f = k_f \cdot SR = 19 \cdot 1.37 = 26 \text{ MHz} \quad (1.6.1)$$

					<b>PC81.464655.001 ПЗ</b>	Лист
						31
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



Запишемо необхідні для подальших розрахунків параметри супутника:

«Рис. 3.1.1 — Карта зони покриття (розподіл EIRP(супутника)) Eutelsat Hot Bird 16E променем європейським В »

Із рисунка 4.1.1 ми можемо записати, чому дорівнює мінімальна еквівалентна ізотропна випромінювана потужність (EIRP):

$$EIRP = 50dBW$$

Густина потоку потужності насичення (SFD):

$$SFD = -88 dBW/m^2$$

1.7 Розраховуємо відстань від земної передавальної станції до супутника

Широта розташування земної передавальної станції:

$$\varphi_N = 49^{\circ}25'54.9'' = 49.432^{\circ}$$

Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата

PC81.464655.001 ПЗ

Лист

32

Різниця по довготі між розташуванням супутника на орбіті та розташуванням земної передавальної станції:

$$\Delta\alpha = 32^{\circ}01'33.6'' - 16^{\circ} = 32.026^{\circ} - 16^{\circ} = 16.026^{\circ} \quad (1.7.1)$$

Відстань від земної передавальної станції до супутника:

$$\begin{aligned} R &= 42644 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1 - 0.2954 \cdot \cos(\varphi)} = \\ &= 42644 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1 - 0.2954 \cdot \cos(\varphi_N) \cdot \cos(\Delta\alpha)} = \\ &= 42644 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1 - 0.2954 \cdot \cos(49.432^{\circ}) \cdot \cos(16.026^{\circ})} \\ &= 38.50 \cdot 10^6 = 38500 \text{ km} \end{aligned} \quad (1.7.2)$$

1.8 Записуємо кут місця земної передавальної станції:

Кут місця земної станції:

$$\delta = 36.2^{\circ}$$

Розраховуємо еквівалентну ізотропну випромінювану потужність (EIRP) земної передавальної станції.

Густина потоку потужності, створювана земною передавальною станцією (модуль вектора Пойтинга):

$$P(\alpha, \beta)_{ЗС} = \frac{EIRP_{ЗС}}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot F^2(\alpha, \beta) \cdot e^{-\gamma \cdot r}$$

1.9 Густина потоку потужності земної передавальної станції в (dBW/m<sup>2</sup>):

$$\begin{aligned} SFD_{dBWЗС} &= P(\alpha, \beta)_{dBWЗС} = \\ &= EIRP_{ЗС} - 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot R^2) - L_{tracking} - L_{add} \end{aligned} \quad (1.9.1)$$

Втрати неточного наведення земної передавальної станції на супутник:

$$L_{tracking} = 0.3 \text{ dB}$$

Розраховуємо додаткові втрати на лінії «земна передавальна станція – супутник»

для кута місця:  $\delta = 36.2^\circ$  та частоти  $f_{up} = 14.25 \cdot 10^9 \text{ Hz}$

Оскільки система потребує передачі важливої інформації тривалість відмови становить 0.02% в рік, тобто можлива тривалість, коли система може не працювати, становить 1.76 годин.

Місто Черкаси знаходиться в дощовій кліматичній зоні К.



«Рис. 3.1.2 — Карта кліматичних зон Землі»

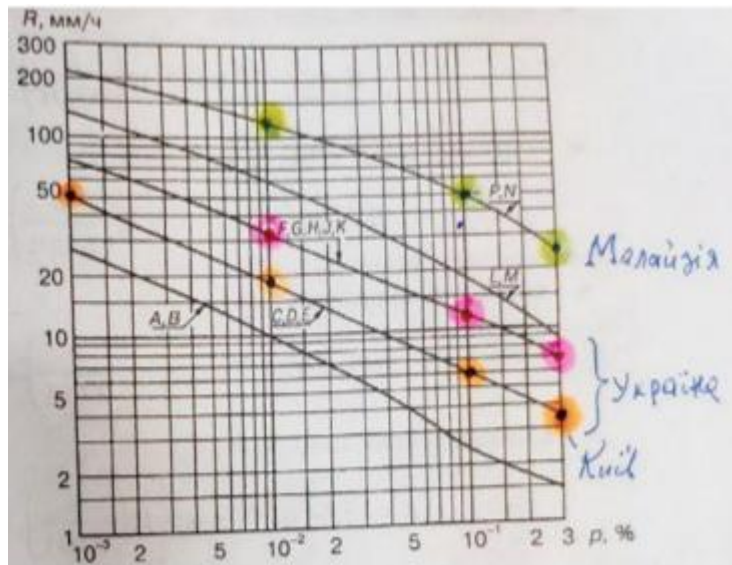
Для даної зони при для  $p = 0.02\%$  інтенсивність опадів становить 20 мм/год.

Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата

РС81.464655.001 ПЗ

Лист

34



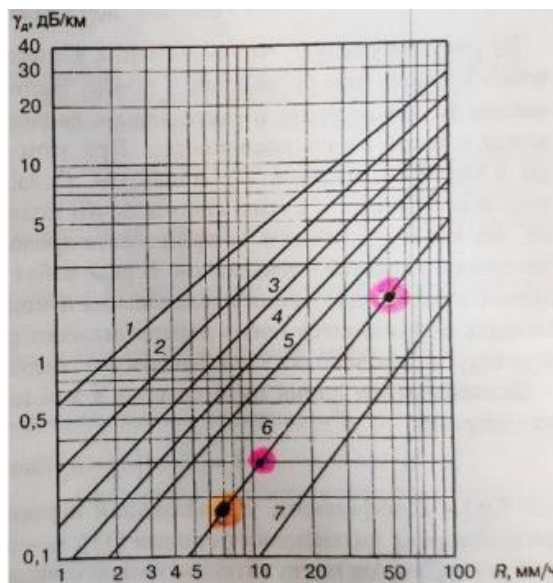
«Рис. 3.1.3 — Імовірність інтенсивності опадів»

Відповідно до залежності еквівалентної довжини шляху проходження сигналу в опадах від кута місця, еквівалентна довжина шляху проходження сигналу в опадах:

$$l_{\text{екв}} = 5 \cdot 10^3 \text{ м} = 5 \text{ км} \quad (1.9.2)$$

Затухання радіохвиль для інтенсивності дощів 20 мм/год:

$$\gamma = 0.7 \frac{\text{дБ}}{\text{км}}$$



«Рис. 3.1.4 — Залежність затухання радіохвиль від інтенсивності дощів»

Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата

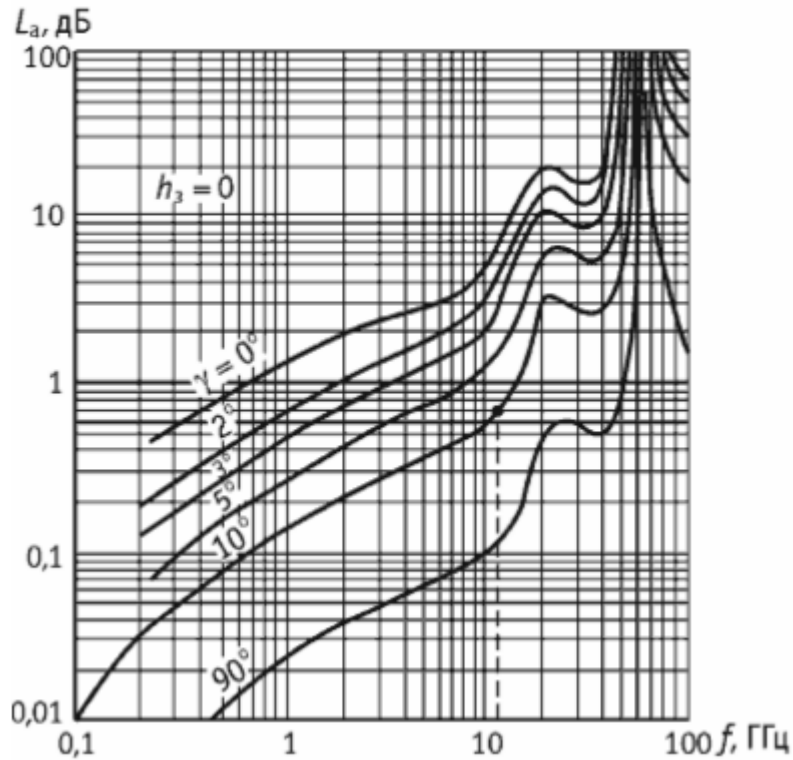
РС81.464655.001 ПЗ

Лист

35

Втрати в атмосфері:

$$L_a = 0.5 \text{ dB}$$



«Рис. 3.1.5 — Частотна залежність загальних втрат в атмосфері»

Втрати в опадах:

$$L_p = l_{\text{екв}} \cdot \gamma = 5 \cdot 0.7 = 3.5 \text{ dB} \quad (1.9.3)$$

Загальні додаткові втрати:

$$L_{\text{add}} = L_a + L_p = 3.5 + 0.5 = 4 \text{ dB} \quad (1.9.4)$$

Необхідна еквівалентна ізотропна випромінювана потужність (EIRP) земної передавальної станції (dBW), яка забезпечує необхідну густину потоку потужності на приймальній антені супутника ( $P = SFD$ ):

$$\begin{aligned} EIRP_{3C} &= SFD + 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot R^2) + L_{\text{tracking}} + L_{\text{add}} = \\ &= -88 + 162.7 + 0.3 + 4 = 79.0 \text{ dBW} \end{aligned} \quad (1.9.5)$$

Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата

PC81.464655.001 ПЗ

Лист

36

1.10 Розраховуємо потужність підсилювача та діаметр антени земної передавальної станції.

Еквівалентна ізотропна випромінювана потужність (EIRP) земної передавальної станції:

$$EIRP_{3C} = P_T + G_{AT} = 79.0 \text{ dBW} \quad (1.10.1)$$

Обираємо потужність передавача земної передавальної станції:

$$P_T = 30 \text{ dBW}$$

Така потужність передавача земної передавальної станції є цілком раціональною.

Тобі, коефіцієнт підсилення антени земної передавальної станції:

$$G_{AT} = 49 \text{ dB}$$

Обираємо коефіцієнт використання антени земної передавальної станції

$$k_A = 0.6$$

Довжина лінії передачі «вверх»:

$$\lambda_{up} = \frac{c}{f_{up}} = \frac{3 \cdot 10^8}{14.25 \cdot 10^9} = 0.021 \text{ m} = 2.10 \text{ cm} \quad (1.10.2)$$

Розрахуємо діаметр антени земної передавальної станції за формулою:

$$G_A = 20 \cdot \log\left(\frac{D_A}{\lambda_{up}}\right) + 10 \cdot \log(k_A) + 10 = 49 \text{ dB} \quad (1.10.3)$$

$$20 \cdot \log\left(\frac{D_A}{\lambda_{up}}\right) = G_A - 10 \cdot \log(k_A) - 10 = 49 + 2.218 - 10 = 41.2 \text{ dB}$$

$$\log\left(\frac{D_A}{\lambda_{up}}\right) = \frac{41.2}{20} = 2.06$$

$$\frac{D_A}{\lambda_{up}} = 10^{2.06} = 114.8$$

$$D_A = \lambda_{up} \cdot 114.8 = 0.021 \cdot 114.8 = 2.4 \text{ m}$$

Отже, обираємо діаметр антени земної передавальної станції із запасом

$$D_A = 3.6 \text{ m}$$

2. Розрахунок сегменту «супутник – земна приймальна станція».

2.1 Еквівалентна шумова смуга частот:

$$\Delta f_{\text{екв.шум}} = \gamma \cdot \Delta f = 1.12 \cdot 26 = 29.1 \text{ MHz} \quad (2.1)$$

2.2 Довжина хвилі лінії передачі «вниз»:

$$\lambda_{down} = \frac{c}{f_{down}} = \frac{3 \cdot 10^8}{11.231 \cdot 10^9} = 0.0267 \text{ m} = 2.67 \text{ cm} \quad (2.2)$$

2.3 Стала Боцмана:

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{W}{K \cdot Hz}$$

2.4 Відношення носійна/шум земної передавальної станції розрахуємо за формулою:

$$\frac{C}{N} = EIRP_S + \frac{G_{ARS}}{T_\Sigma} - 10 \cdot \log(\Delta f_{\text{екв.шум}}) - L_\Sigma - 10 \cdot \log(k) \quad (2.4)$$

Із цієї формули необхідно визначити діаметр антени передавальної земної станції.

					<b>РС81.464655.001 ПЗ</b>	Лист
						38
Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата		

2.5 Спочатку розраховуємо відношення носійна/шум земної приймальної станції.

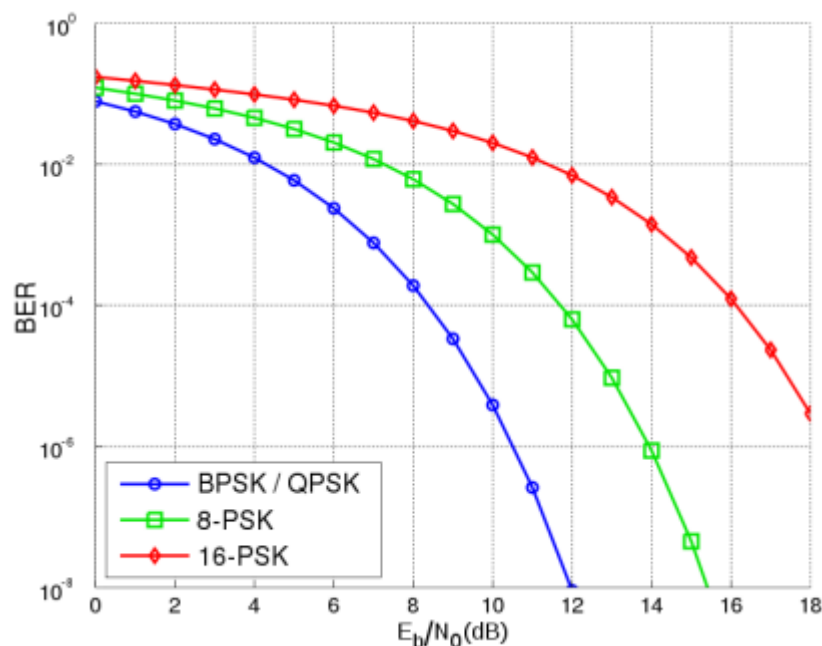
Задано вимогу до коефіцієнту бітових помилок (BER)

$$BER \leq 10^{-10}$$

Для заданого значення коефіцієнту бітових помилок визначаємо значення відношення енергії одного біта до енергетичної спектральної густини шуму при використанні модуляції QPSK:

$$\frac{E_b}{N_0} = 9.5 \text{ dB} \quad (2.5.1)$$

Залежність значень коефіцієнту бітових помилок від відношення енергії одного біта до енергетичної спектральної густини шуму для різних видів модуляції:



«Рис. 3.2.1 — Залежність бітових помилок відношення сигнал/шум»

Відношення носійна/шум земної приймальної станції:

$$\begin{aligned} \frac{C}{N} &= \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{SR}{\Delta f_{\text{екв.шум}}} = \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{SR}{k_f \cdot SR \cdot \gamma} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{1.37 \cdot 1.12}\right) = \\ &= 9.5 + (-1.86) = 7.6 \text{ dB} \end{aligned} \quad (2.5.2)$$

2.6 Розраховуємо загальні втрати на лінії «супутник – земна приймальна станція» для кута місця  $\delta = 36.2^\circ$  та обраної частоти  $f_{down} = 11.23 \cdot 10^9 \text{ Hz}$

Основні втрати на поширення радіохвиль у вільному просторі:

$$L_0 = 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R}{\lambda_{down}}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 38.50 \cdot 10^6}{0.0267}\right) = 205.16 \text{ dB} \quad (2.6.1)$$

Втрати неточного наведення земної приймальної станції на супутник:

$$L_{tracking} = 0.3 \text{ dB}$$

Додаткові втрати (аналогічні для розрахунку сегменту «земна передавальна станція – супутник», оскільки земна приймальна станція розташована в тому ж місці, а зміна частоти не вносить істотних змін):

$$L_{add} = 4 \text{ dB}$$

Втрати, обумовлені використанням кількох поляризацій відсутні, оскільки використовується одна поляризація:

$$L_{polar} = 0 \text{ dB}$$

Втрати, обумовлені розташуванням земної приймальної станції не в максимумі діаграми спрямованості передавальної станції супутника, були враховані в EIRP:

$$L_{offbeam} = 0 \text{ dB}$$

Загальні додаткові втрати:

$$\begin{aligned} L_{\Sigma} &= L_0 + L_{tracking} + L_{add} + L_{polar} + L_{offbeam} = \\ &= 205.16 + 4 + 0.3 + 0 + 0 = 209.5 \text{ dB} \end{aligned} \quad (2.6.2)$$

					<b>РС81.464655.001 ПЗ</b>	Лист
						40
Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата		

3. Розрахунок сумарної шумової температури та коефіцієнта підсилення антени земної приймальної станції для кута  $\delta = 36.2^\circ$  та обраної частоти  $f_{down} = 11.23 \cdot 10^9 \text{ Hz}$

3.1 Шумова температура землі:

$$T_{earth} = \gamma \cdot T_0 = 0.1 \cdot 290 = 29 \text{ K} \quad (3.1)$$

,де  $\gamma = 0.05 \dots 0.5$

3.2 Шумова температура космосу не впливає на даний діапазон частот, тому:

$$T_{space} = 0 \text{ K}$$

3.3 Шумова температура атмосфери без врахування опадів:

$$T_{atm0} = 60 \text{ K}$$

3.4 Шумова температура атмосфери з врахуванням опадів:

$$T_{atm} = 100 \text{ K}$$

3.5 Загальна шумова температура антени з врахуванням опадів:

$$T_A = T_{earth} + T_{space} + T_{atm} = 129 \text{ K} \quad (3.5)$$

3.6 Шумова температура фідера (для втрат в фідері 0.6 dB):

$$T_f = 40 \text{ K}$$

3.7 Шумова температура фідера малошумного підсилювача (LNA):

$$T_{LNA} = 60 \text{ K}$$

3.8 Загальна шумова температура:

$$T_\Sigma = T_A + T_f + T_{LNA} = 129 + 40 + 60 = 229 \text{ K} \quad (3.8)$$

					<b>PC81.464655.001 ПЗ</b>	Лист
						41
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

3.9 Загальна шумова температура в  $dBK$ :

$$T_{\Sigma dB} = 10 \cdot \log(T_{\Sigma}) = 10 \cdot \log(229) = 23.6 \text{ dBK} \quad (3.9)$$

3.10 Розраховуємо добротність антени земної приймальної станції:

$$\begin{aligned} \frac{G_{ARS}}{T_{\Sigma}} &= -EIRP_S + 10 \cdot \log(\Delta f_{\text{екв.шум}}) + L_{\Sigma} + 10 \cdot \log(k) + \frac{C}{N} = \\ &= -50 + 74.6 + 209.5 - 228.6 + 7.6 = 13.1 \text{ dB/K} \end{aligned} \quad (3.10)$$

3.11 Розраховуємо коефіцієнт підсилення антени земної приймальної станції:

$$G_{ARS} = \frac{G_{ARS}}{T_{\Sigma}} + T_{\Sigma dB} = 13.1 + 23.6 = 36.7 \text{ dB} \quad (3.11)$$

4. Розрахуємо діаметр антени земної приймальної станції.

4.1 Коефіцієнт використання антени земної передавальної станції:

$$k_A = 0.6$$

4.2 Коефіцієнт підсилення антени земної приймальної станції:

$$G_{ARS} = \frac{4 \cdot \pi \cdot S_{\text{еф}}}{\lambda_{\text{down}}^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot D_{ARS}^2}{4 \cdot \lambda_{\text{down}}^2} \cdot k_A = \frac{\pi^2 \cdot D_{ARS}^2}{\lambda^2} \cdot k_A \quad (4.2)$$

4.3 Коефіцієнт підсилення антени земної приймальної станції в децибелах:

$$G_{ARS} = 20 \cdot \log(\pi) + 20 \cdot \log\left(\frac{D_{ARS}}{\lambda_{\text{down}}}\right) + 10 \cdot \log(k_A) \quad (4.3)$$

4.4 Діаметр антени земної приймальної станції:

$$\begin{aligned} 20 \cdot \log\left(\frac{D_{ARS}}{\lambda_{\text{down}}}\right) &= G_{ARS} - 20 \cdot \log(\pi) - 10 \cdot \log(k_A) = \\ &= 36.7 - 9.943 + 2.218 = 28.975 \approx 29 \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\log\left(\frac{D_{ARS}}{\lambda_{down}}\right) = \frac{29}{20} = 1.45$$

$$\frac{D_{ARS}}{\lambda_{down}} = 10^{1.45}$$

$$D_{ARS} = \lambda_{down} \cdot 10^{1.45} = 0.0267 \cdot 10^{1.45} = 0.75 \text{ m}$$

Отже, обираємо діаметр антени земної приймальної станції із запасом

$$D_{ARS} = 0.9 \text{ m}$$

					<i>РС81.464655.001 ПЗ</i>	Лист
						43
Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата		

## 4 ВИСНОВОК

У роботі здійснено проектування приймально-передавальної земної станції супутникових телекомунікацій з використанням геостаціонарного супутника Eutelsat Hot Bird 16E (промінь В), у якого мінімальна еквівалентна ізотропна випромінювана потужності (EIRP) для території України становить  $EIRP = 50 \text{ dBW}$ , а густина потоку потужності насичення  $SFD = -88 \text{ dBW/m}^2$ .

При проектуванні враховано, крім основних втрат на поширення електромагнітних хвиль у вільному просторі, можливі додаткові втрати сигналу у атмосфері, снігах та дощах. Обґрунтовано вибір бітових швидкостей для передачі Hi-Fi (classical music) каналу, audio stereo каналу, HDTV за стандартом MPEG2, а також типу модуляції та методів кодування.

Показано, що для забезпечення супутникового каналу передачі даних HDTV(1 channel), Hi-Fi (1 classical music channel), Data (4Mb/s), Audio stereo (1 channel) — з імовірністю похибки  $BER \leq 10^{-10}$  земна передавальна станція, розташована у місті Черкаси, має мати потужність передавача  $P_T = 30 \text{ dBW}$  та діаметр антени земної передавальної станції  $D_A = 3 \text{ m}$ , а земні абонентські приймальні станції мають мати коефіцієнт підсилення антени  $G_{ARS} = 36.7 \text{ dB}$  та діаметр антени земної приймальної станції  $D_{ARS} = 0.9 \text{ m}$  та LNB з шумовою температурою 60К.

					<b>РС81.464655.001 ПЗ</b>	Лист
						ДД
Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Дубровка Ф.Ф. Курс лекцій предмету «Супутникові інформаційні системи»
2. <https://www.eutelsat.com/en/xzxcsatellites/eutelsat-16-east>
3. <https://lib.kstu.kz:8300/tb/book/2016/TSS/Mahtiev%20i%20dr%2011/Teory/8.2>
4. Спутниковые системы связи: Учебное пособие для вузов / Под ред. А. М. Сомова.- М.
5. [https://en.wikipedia.org/org/wiki/Bit\\_error\\_rate](https://en.wikipedia.org/org/wiki/Bit_error_rate)
6. [https://dut.edu.ua/uploads/1\\_1736\\_47543061.pdf](https://dut.edu.ua/uploads/1_1736_47543061.pdf)
7. <https://mkr-novo2.ru/uk/firmware/sovremennaya-sputnikovaya-svyaz-sputnikovye-sistemy-proekt-sovremennaya.html>

					<i>РС81.464655.001 ПЗ</i>	Лист
						45
<i>Зм</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ДОДАТОК А

### Технічне завдання

- Місце розташування земної станції: місто Черкаси;
- Супутник: Eutelsat Hot Bird 16E;
- Склад супутникового каналу передачі даних:
  - HDTV(1 channel)
  - Hi-Fi (1 classical music channel)
  - Data (4Mb/s)
  - Audio stereo (1 channel)
- Вимоги до *BER*:  $\leq 10^{-10}$

					<i>РС81.464655.001 ПЗ</i>	Лист
						46
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

## ДОДАТОК Б. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	PC81.464655.001 ТЗ	Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	PC81.464655.001 ПЗ	Пояснювальна записка	45	

				PC81.464655.001		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Бутенко			Передавально- приймальна земна ста- нція супутникових те- лекомунікацій	Лист	Листів
Керівн.	Дубровка				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. РІ Гр. PC-81	
Н/контр.						
Зав.каф.						

					PC81.464655.001 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата		47