Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України

«Київский політехнічний інститут ім. І. Сікорского»

Інститут телекомунікаційних систем

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни: „ Інформаційне забезпечення телекомунікаційних систем-2”

тема: „ Мала супутникова земна станція (VSAT)”

**Варіант №23**

|  |  |
| --- | --- |
| Керівник  Кравчук С.О. | Виконав  Пасічник О.В. |
| Допущений до захисту | студент 4 курсу |
| « »\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2018 р. | групи ТЗ-42 |
| Захищено з оцінкою |  |
| \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  |

2018

**ЗМІСТ**

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ…………………………..……………..…..3

1 Визначення VSAT………………………………………………………..…..…………..4

2 Застосування мережі VSAT……………………………………………….........………..4

2.1 Однонаправлена реалізація……………………………………………….…..…….5

2.2 Двонаправлена реалізація……………………………………………..….………..6

3 Технічний опис мереж VSAT та принципів їх роботи…………………………..……..6

3.1 Вступ………………………………………………………………………..….…….6

3.2 Бюджет каналу для стандартної роботи системи VSAT в смузі Ku…………....7

3.3 Підсумок до частотних характеристик VSAT………………………..…….……11

4 Техніки доступу………………………………………………………………..………..12

4.1 Довільний (випадковий) доступ……………………………………..……...……12

4.1.1 Чиста ALOHA…………………………………………….……..………..…12

4.1.2 Слотована ALOHA ……………………………………………..….….……13

4.1.3 Selective Reject (SREJ) ALOHA ………………………………………..….13

4.1.4 R-Aloha або ALOHA з резервуванням пропускної здатності……….......13

4.2 Множинний доступ за вимогою (DAMA)……………………………………..….14

4.3 FDMA з фіксованим доступом…………………………………………..………..15

4.4 Підсумок…………………………………………………………………..……….16

4.5 Вихідний канал з часовим розділенням (TDM)………………………..………..16

5 Малогабаритна мережа VSAT для підтримки зв’язку короткими повідомленнями………………………………………………………………..……..…..17

6. Інтерференція в системах VSAT……………………………………….…..………….21

7 Надмірне загасання через опади……………………………………………..……..…24

Висновок…………………………………………………………………………..……….24

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ…………………………………..…..……..25

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ**

ЕІВП – еквівалентна ізотропно випромінювана потужність;

Аплінк – канал від наземної станції до супутника;

Даунлінк -- канал від супутника до наземної станції;

Канал на передачу – лінія концентратор-супутник-станція;

Канал на прийом – лінія станція -супутник- концентратор;

RSL – Рівень прийнятого сигналу (Received Signal Level);

МШП – малошумлячий підсилювач;

НЧ – низькочастотний;

TDM – Мультиплексування з часовим розподілом (Time Division Multiplexing);

DAMA – Множинний доступ за вимогою (Demand-Assigned Multiple Access);

1. **Визначення VSAT**

Мала супутникова земна станція (VSAT) - цифровий супутниковий термінал, де економія є головною вимогою. Термін "дуже мала апертура", стосується розміру термінальної антени. Діаметри параболічних антен VSAT варіюються від 0,6 м (2 фути) до 2,4 м (7,8 футів), залежно від великої кількості можливостей, необхідних терміналу. Вони варіюються від підключення приймальної щвидкості 1200 б/с до повного DS1 або E-1.

У більшості випадків це визначення охоплює сімейство невеликих "вихідних терміналів" та порівняно великого термінала "концентратора". З цього випливає структура, подібна до зірки: концетратор від якого розходяться промені. Типова архітектура VSAT зображена на малюнку 8.1. Потужніший концентратор, компенсує недоліки малих станцій VSAT.

При зірковій топології VSAT потік трафіку може бути одностороннім або двостороннім. Мережі VSAT розширили поняття топології, включивши меш-мережі (кожен-з-кожним) без концентратора, як показано на малюнку 8.2. Зіркова конфігурація не підходить для голосової комунікації VSAT-VSAT через додаткову затримку, тоді як меш-архітектура забезпечує голосовий зв'язок між кількома VSAT.

У деяких джерелах будь-яка мережа малих супутникових терміналів називається мережею VSAT.

1. **Застосування мережі VSAT**

VSAT зазвичай реалізуються в приватних мережах. Ступінь їх привабливості, багато в чому залежить від телекомунікаційної інфраструктури країни.

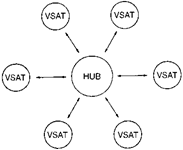


Рис. 1. Традиційна зіркова топологія VSAT

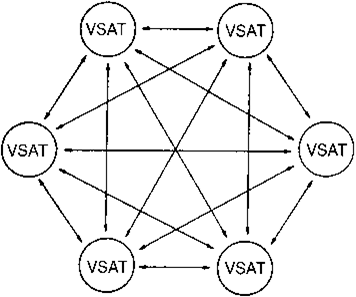


Рис. 2. Меш топологія мережі VSAT

У США та Канаді економіка є рушійним фактором. Такі мережі VSAT дозволяють оминути локальні та міжміські телефонні компанії, економлячи гроші на обслуговування.

У багатьох інших країнах, де держава дозволяє використовувати VSAT, добре спроектовані мережі VSAT можуть надавати високоякісні послуги, коли це не вдається місцевим телекомунікацим компаніям. Існує і третя категорія, яка включає країни з поганою інфраструктурою і де багато спільнот не мають жодних електричних комунікацій.

**2.1 Однонаправлена реалізація**

Такий підхід загалом включає в себе розповсюдження даних від концентратора до зовнішніх терміналів VSAT-приймачів. Це можуть бути такі дані:

• Прес-релізи, новини від прес-служб тощо;

• Акції, облігації та торговельна інформація;

• Віддалене завантаження комп'ютерних програм;

• Інформація про погоду від метеорологічних служб, як правило, до аеропортів;

• Розповсюдження відео з використанням стиснення, як правило, 1.544 або 2.048 Мбіт/с.

Інший підхід включає напрям VSAT-до-концентратора з метою збору даних. Такий підхід може бути реалізований з використанням віддалених датчиків на нафтопроводах, при моніторингу навколишнього середовища та для керування віддаленими об'єктами електроенергетики. Проте, для таких реалізацій, необхідні засоби мережевого управління та налаштування двостороннього зв'язку.

**2.2 Двонаправлена реалізація**

Найпоширенішим застосуванням зв'язку VSAT є різноманітні типи двосторонньої передачі даних. Така мережа забезпечує повну гнучкість передачі файлів та всіх видів інтерактивного обміну даними, таких як запит/відповідь. У більшості конфігурацій концентратор розташований спільно з так званим «центральним штабом». Типовим застосуванням двосторонньої лінії є:

• Point-of-Sale операції;

• Фінансова, банківська та страхова інформація від галузевих відділень до центрального штабу;

• Верифікація кредитної картки;

• Операції з банкоматом;

• Бронювання готелів і т.д.

• Підтримка вантажоперевезень;

• Складський контроль та контроль за рухом грошових коштів;

• Мережа технічної підтримки;

• Наглядовий контроль та збір даних (SCADA), трубопроводи, залізниці;

• Розширення LAN;

Якщо в мережу VSAT закладена достатня пропускна здатність, можливий телефонний зв’язок між зовнішньою станцією і центральним штабом. Проте, телефонний зв'язок між зовнішніми станціями неможливий через завелику затримку на концентраторі. Він є можливим у меш-мережах VSAT. За допомогою методів стиснення відеосигналу також можна здійснювати відео конференції [1].

У деяких країнах, що розвиваються, VSAT-подібні мережі забезпечують телефонний зв'язок у сільській місцевості.

**3 технічний опис мереж VSAT та принципів їх роботи**

**3.1 Вступ**

Найпоширенішою топологією мережі VSAT є зіркова конфігурація, показана на малюнку 8.1. Концентратор є центром і майже завжди розміщується в корпоративній штаб-квартирі. В столиці держави або облаті. Концентратор може мати антену з діаметром від 5 м (16 футів) до 11 м (36 футів), тоді як VSAT може мати діаметр антени в діапазоні від 0,6 (1 фут) до 2,4 м (8 футів) . Вихідна потужність на концентраторі варіюється від 100 до 1000 Вт, тоді як VSAT працює в діапазоні 1-10 Вт.

Для зменшення втрат на затухання у космічному просторі конструктор системи повинен використовувати як можна меншу пропускну здатність на супутниковому транспондері. Вихідний трафік, як правило, передаться потоком с часовим розділенням каналу (TDM), 56 або 64 Кбіт/сек, 128, 256, 384 Кбіт/сек (і т.д.). Вхідний трафік, що суттєво залежить від типу, використовуватиме процес динамічного керування швидкості за вимогою, протокол «конкуренції» або протокол «голосування» і т.д. із бітрейтом від 1.2 до 64 кбіт/с.

VSAT зазвичай працює у Ku-діапазоні через більш кращу ефективну ізотропно випромінювану потужність, на низхідній лінії (даунлінк) у порівнянні з C-діапазоном. Однак це не означає, що неможливо працювати в C-діапазоні. Давайте розглянемо типовий двосторонній VSAT комплекс в Ku-діапазоні. Звичайно, в Ku-діапазон супроводжується надмірним загасанням через опади, тоді як в С-діапазоні загасання є мінімальним та таким, що не береться у розрахунки.

**3.2 Бюджет каналу для стандартної роботи системи VSAT в смузі Ku.**

Вищезгадана у заголовку система VSAT, - це двостороння канал з використанням частотного Ku-діапазону. Вихідна лінія - 128 Кбіт/с у форматі TDM. Модуляція QPSK з когерентним детектуванням на базі загорткового кодування швидкістю ½, К = 7 і 3-бітне квантування, а також декодер Віттербі. Вхідна лінія має швидкість передачі 32 Кбіт/с, використовуючи формат кадру HDLC, QPSK з прямою корекцією помилок. Вхідна лінія використовує кодування зі швидкістю ½ , при швидкості кодування символів 256 Бод. Такий лінія вимагає радіочастотного каналу шириною 200 кГц; для лінії зі швикістю інформаційних даних 32-кбіт/с і кодовою швидкістю 64 Бод достатньо смуги 50 кГц. Коефіцієнт бітових помилок при ясній погоді 1\*10-9; при погіршених умовах коефіцієнт помилок може падати до 1\*10-6. Також присутні модуляційні втрати 2-дБ , тож С/Ш при ясній погоді складає 8,5 дБ; при погіршених умовах 6,7 дБ для вихідного каналу 128 кбіт/с. Вхідному каналу 32 кбіт/с необхідний рівень С/Ш також складає 8,5 дБ при ясній погді та 6,7 дБ для погіршених умов. Для протидії втратам в дощі в смузі Ku на обох напрямах зв’язку передбачений запас в 4 дБ. Кут підйому як концентратора так і станції VSAT складає 10о. Відстань до супутника з рисунку 6.5 складає 25 220 м.

Висхідний канал на передачу (аплінк) працює на частоті 14,100 МГц; відповідний низхідний канал (даунлінк) працює відповідно на 11,800 МГц. Висхідний канал на прийом 14,300 МГц, відповідний низхідний канал 12 МГц. Супутникові траспондери даної системи мають, при повному навантаженні, ЕІВП +44 дБВт зі смугою в 72 МГц. Шумова температура (G/T) супутнику/транспондеру в будьякому випадку рівна 0 дБ/К.

Нисхідний канал на прийом має ЕІВП +12,4 бДВт; для нисхідного каналу на передачу ЕІВП для несучої VSAT становить +18,4 дБВт. Ці значення ЕІВП були розраховані при однорідній щільності потужності на всій полосі пропускання транспондеру (72 МГц). Звідси ЕІВП = +44 дБВт – 10 log (72 000/200)= +18.4 дБВт. Значення +12,4 бДВт розраховується подібним чином ЕІВПдБВт = +44 дБВт -10log(72 000/50).

Комплекс концентратора має наступні параметри: випромінювана потужність 500 Вт або +27 дБВт; втрати на затухання в лінії 2 дБ, апертура антени 5м або 16,25 фут. Випромінювана потужність на частоті 14,1 МГц складає 53,5 дБВт, на частоті 11,8 МГц – 52 дБ; *T*сис=200 К, тож шумова температура (G/T) концентратору +29 дБ/К. ЕІВП становить +78,5 дБВт.

Обов’язкові параметри терміналу VSAT для звичайної роботи наступні:

Шумова температура – не задана. Розмір апертури невідомий, ми приймаємо коефіцієнт ефективності антени 65%.

*T*сис  для приймальної системи складається з суми Tзатух і Tr. Tr =100 К, Tзатух=120 К. Звідси *T*сис=220 К. Це є типові значення.

ЕІВП для VSAT не задана. Втрати на передачу в лінії 1 дБ, випромінювана потужність не задана (в рамках 0,5-10 Вт). Бюджет нисхідної (на прередачу) лінії розраховується з апертури антени.

Втрати у вільному просторі становлять:

(14,1 МГц)

(14,3 МГц)

(12 МГц)

(11,8 МГц)

|  |  |
| --- | --- |
| **Бюджет лінії на передачу** | |
| **Аплінк** |  |
| ЕІВП концентратору | +78,5 дбВт |
| Втрати у вільному просторі | -207,59 дБ |
| Поляризаційні втрати | -0,5 дБ |
| Втрати в антені терміналу | -0,5 дБ |
| Втрати на супутниковій антені | -0,5 дБ |
| Втрати в атмосфері | -0,3 дБ |
| Ізотропний рівень прийому | -130,89 дБВт |
| Шумова температура супутника | 0 дБ/К |
| В сумі | -130,89 дБВТ/К |
| Стала Больцама | -(-228,6 дБВт) |
| С/Ш | 97,71 дБ |
| **Даунлінк** |  |
| ЕІВП супутника | +18,4 дБВт |
| Втрати у вільному просторі | -206,05 дБ |
| Поляризаційні втрати | -0,5 дБ |
| Втрати на супутниковій антені | -0,3 дБ |
| Втрати в атмосфері | -0,2 дБ |
| Втрати на антені терміналу | -0,5 дБ |
| Ізотропний рівень прийому | -189,15 дБВт |
| Шумова температура VSAT станції | 0 дБ/К |
| В сумі | -189,15 дБВт |
| Стала Больцама | 228,6 дБВт/Гц |
| С/Ш | 39.95 дБ |

Знайдемо рівень С/Ш необхідний для Eb/N0 =8,5 дБ

Звідси:

Тож *Eb* мусить мати рівень на 8,5 Дб вищій ніж -205,17 дБВт тобто -196,67 дБВт. Бітова швидкість в каналі складає 128 кбіт/с, звідси рівень отримуваного сигналу:

Звідси шукане значення С/Ш:

*C/N0(t)*

Без урахування шуму супутника (інтермодуляційних завад):

*C/N0(t)*

Перевівши значення децибел в рази отримаємо:

/ [1/(5128\*106)+1/(C/No(d))]

C/N0(d)60

Враховуючи наведене вище значення для бюджету даунлінку можна вирахувати шумову температуру (G/T) для терміналу VSAT. Розрахований С/Ш становить 39,45 дБ; необхідне значення С/Ш=60 дБ тож у значенні С/Ш присутня недостача в 20,55 дБ. Віднесемо значення 20,55 дБ до шуканої шумової температури. Іншими словами, з таких міркувань шумова температура G/T становить 20,55 дБ/К, замість теоретичної 0 дБ/К. Якщо нам необхідно забезпечити запас на затухання в 4 дБ, необхідно додати 4 дБ до цього значення, тож G/T стане 24,55 дБ. Це значення буде в подальшому використане для розрахунку апертури антени.

Для розрахунку необхідної апертури антени терміналу VSAT нам необхідно дізнатись коефіцієнт підсилення антени (КУ), використавши математичну рівність для G/T. Tсис було розраховано як 220 К.

G/T

КУ антени може бути розрахована за формулою:

Наступна задача – розрахувати передаваєму потужність терміналу VSAT на аплінк. Значення ЕІВП для такого аплінку випливає з розміру апертури антени в 2,5м. Розрахуємо КУ антени на частоті аплінку 14,3 МГц.

|  |  |
| --- | --- |
| Бюджет лінії на прийом | |
| **Аплінк** |  |
| ЕІВП VSAT концентратору | +48,65 дбВт |
| Втрати у вільному просторі (14,3 МГц) | -207,71 дБ |
| Поляризаційні втрати | -0,5 дБ |
| Втрати на супутниковій антені | -0,5 дБ |
| Втрати в антені терміналу | -0,5 дБ |
| Втрати в атмосфері | -0,4 дБ |
| Ізотропний рівень прийому | -159,96 дБВт |
| Шумова температура супутника | 0 дБ/К |
| В сумі | -159,96 дБВТ/К |
| Стала Больцама | -(-228,6 дБВт) |
| С/Ш | 68,63 дБ |
| **Даунлінк** |  |
| ЕІВП супутника | +12,4 дБВт |
| Втрати у вільному просторі | -206,19 дБ |
| Поляризаційні втрати | -0,5 дБ |
| Втрати на супутниковій антені | -0,5 дБ |
| Втрати на антені терміналу | -0,5 дБ |
| Втрати в атмосфері | -0,3 дБ |
| Ізотропний рівень прийому | -195,59 дБВт |
| Шумова температура VSAT станції | +29 дБ/К |
| В сумі | -166,59 дБВт |
| Стала Больцама | 228,6 дБВт/Гц |
| С/Ш | 61,01 дБ |

Переведенмо значення С/Ш в рази:

Розрахуємо С/N0(t):

С/N0(t)

*C/N0(t)*

(розраховане)

(необхідне)

Одного вату передаваємої потужность для терміналу VSAT буде достатнім. Далі ми побачимо, що такого рівня С/Ш для аплінку на прийом більш ніж достатньо; на значення С/Ш більше впливає даунлінк (лише 62 дБ) [2].

**3.3 Підсумок до частотних характеристик VSAT**

VSAT зазвичай використовує діапазон 6/4-ГГц (C-діапазон) або 14/12-ГГц (Ku-діапазон). По мірі збільшення експлуатаційних частот знижується продуктивність приймача. У C-діапазоні можна використовувати МШП з шумовою температурою 50-К; в Кu-діапазоні -- 100 К. Температура шуму антени (Tant) у С-діапазоні (кут підйому 5 °) становить 100 К, а в Ku-діапазоні (кут підйому 10 °) він становить 106 К. Таким чином, типові значення Tsys для роботи VSAT в C-діапазоні становить 150 К, а для Ku-діапазону - 206 К. Втрати в лінії для цієї конкретної моделі для обох смуг приймаються рівними 1,5 дБ. У випадку Ku-діапазону, МШП розміщується максимально наближеним до фідерної лінії, щоб зменшити втрати в лінії.

Тепер ми можемо побудувати таб. 1 з типовими значеннями шумової температури G/T декількох різних діаметрів антен для С та Ku діапазону. Таблиця заснована на значеннях Tсис наведених вище. КУ антени розраховується зі значення ефективного розкриву антени який приймаємо рівним 65%. Для розрахунку КУ параболічної антени бура використана формула:

**4 Техніки доступу**

Найбільш поширеною архітектурою VSAT є інтерактивна мережа, заснована на зірковій топології (концентратор і промені, рисунок 1). На такій топології існують мережі VSAT, що складаються з 16 000 виносних станцій [3]. Також відомі випадки побудови мережі з 2 500 виносними станціями, що взаємодіють з одним концентратором. Є багато різних методів доступу, і вибір певного методу загалом залежить від типу трафіку. Метод доступу часто визначає ефективність використання космічної частини системи. Наприклад, цілковито виділений FDMA виявиться дуже неефективним використанням ширини смуги транспондера, якщо наприклад в системі існує сотні передаючих станцій, кожна з яких передає короткі, сигналізаційні повідомленням до концентратору що має середній або низький коефіцієнтом активності.

При виборі методу розподілення каналу для мережі VSAT слід враховувати наступні фактори:

• Статистичні властивості трафіку;

• Допустима затримка передачі, включаючи встановлення каналу та затримку на розповсюдження;

• Ефективність використання спільного каналу, пропускна здатність;

• Складність, вартість обладнання та впровадження;

• Вартість в роботі та обслуговуванні.

Наприклад, для перевірок кредитних карток та транзакцій затримка є, напевно, найважливішим фактором, при значно менших вимогах до пропускної здатності. У той час як при передачі файлів і пакетних операціях пропускна здатність є більш важливою, ніж затримка (відносно).

Розглянемо три категорії доступу: довільний (випадковий) доступ, постійний доступ та доступ за вимогою. Все вищезазначене стосується, звичайно, вхідних каналів. Вихідний канал вважається потоком біт з часовим розподілом (TDM).

**4.1 Довільний (випадковий) доступ.**

*4.1.1 Чиста ALOHA*. Схеми довільного доступу добре працюють при короткому та приривчастому трафіку. У цьому випадку один вхідний канал використовуэться отразу багатьма терміналами VSAT. Це здійснюється за рахунок схеми конкуренції. Коли на термінал VSAT поступає трафік він миттєво видає його в лінію, сподіваючись, що ніхто інший в цей час не займає канал. Якщо відбувається колізія - іншими словами, інший VSAT в той же час передає трафік - трафік пошкоджується, і обидва VSAT повинні повторити спробу передачі. Кожен VSAT має випадковий алгоритм затримки на передачу. Теоретично час затримки буде різним для кожного терміналу, а друга спроба буде успішною для обох. VSAT знає, чи є спроба успішною, оскільки він отримає підтвердження від пов'язаного з ним концентратора на вихідному каналі TDM.

Ця схема добре працює, коли обсяг трафіку невеликий. Затримка зазвичай мала, оскільки більшість передач вимагає лише одного обміну з концентратором.

Як тільки обсяг трафіку зростає, система стає все більш і більш нестабільною. Точка, де це відбувається, досягається тоді, коли пропускна здатність сягає 25-30% каналу [4]. По мірі збільшення навантаження вище 30% пропускної спроможності каналу, імовірність колізій збільшується, разом з затримками на транзакції. Коли об’єм трафіку перевищує подальше граничне значення (приблизно 50%), система стає схильною до "збоїв", а це означає, що пропускна спроможність наближається до нуля через майже безперервні колізії, затримки на передачу та повторні спроби. Механізми контролю потоку можуть стати в нагоді для запобігання цього.

Тип доступу, описаний тут, називається чистий Aloha. Основною перевагою чистого Алоха є його простота. Не вимагається синхронізації по часу, а від концентратора та VSAT не потребується чіткого контролю за часом [3-6].

*4.1.2 Слотована ALOHA*. Слотована ALOHA є більш складною, ніж чиста Aloha, оскільки вимагає синхронізації по часу між VSAT. У цьому випадку користувачі можуть передавати тільки в дискретних часових інтервалах. За такої схеми два (або більше) користувачів можуть утворити колізію одного з одним, лише якщо вони починають передавати точно одночасно. Одним з недоліків прорізів Aloha є витрачені періоди часу, коли повідомлення або пакет не використовує загальний дозволений часовий інтервал. Слотована Aloha має вдвічі більшу ефективність чистого Aloha або 34% пропускну здатність проти 18% для чистої Aloha. Ці відсоткові значення є точками, де пропускна здатність починає падати через різкий ріст колізій [3-7].

*4.1.3 Selective Reject (SREJ) ALOHA***.** При SREJ Aloha повідомлення або пакети розбиті на підпакети. Ці підпакети мають фіксовану довжину і можуть бути отримані незалежно один від одного. Кожен субпакет має власну детермінуючу преамбулу та заголовок. Як правило, немає цілковитох колізій. Деякі підпакети можуть зіткнутися, але не цілі повідомлення; частина повідомлення або основного пакета проходить успішно. У SREJ Aloha повторно передаються лише пошкоджені підпакети. Це зменшує ретрансляцію, оскільки необхідна переслати один менший підпакет, а не ціле повідомлення. SREJ Aloha не потребує синхронізації по часу для повідомлень або підпакетів. Він може досягти більшої пропускної здатності, ніж чистий Aloha, і добре підходить для повідомлень змінної довжини [3,4].

*4.1.4 R-Aloha або ALOHA з резервуванням пропускної здатності.* Це ще одна з версій Алоха. Вона стає у нагоді, коли існує декілька користувачів з високою інтенсивністю трафіку, а інші користувачі трафік майже не споживають. Користувачам з високою інтенсивністю резервуються слоти, а решта слотів – виділяється користувачам з низькою інтенсивністю трафіку. Ця остання група діє на основі конкурентного доступу, подібного до чистої Алоха. Є багато варіантів цієї системи резервування [6].

Одна ефективна похідна називається слотовим резервуванням або TDMA резервуванням за вимогою (DA / TDMA). Коли VSAT має пакети даних на передачу, запит надсилається на концентратор, який потім відповідає присвоєнням слотів TDMA. У запиті вказується довжина та кількість пакетів даних для надсилання. Після отримання присвоєних слотів, VSAT передає пакети даних у призначених слотах без будь-якого ризику колізій, оскільки концентратор інформує всіх VSAT-учасників що певні слоти були зарезервовані. Незважаючи на те, що потрібно більше часу на відклик, оскільки перш ніж почнеться передача пакету необхідно двічі прогнати повідомлення про присвоєння через супутник, режим резервування дуже ефективний у випадку великих повідомлень. Слід зазначити, що ця схема резервування відрізняється від схеми множинного доступ за вимогою (DAMA), коли резервується слот під певну групу пакетів, а не весь канал.

Запит на резервування можна зробити на виділеному каналі запиту або на канал трафіку, який працює за схемою довільного доступу (чиста Алоха). Звичайно, є додаткові накладні витрати на запити про резервування. Рисунок 3 – описує передачу в режимі резервування. Рисунок 4 порівнює пропускну здатність та тривалість затримки для трьох схем доступу Aloha [3].

**4.2 Множинний доступ за вимогою (DAMA)**

DAMA - це метод супутникового доступу, заснований на концепції пулу каналів трафіку, який можна призначити за вимогою. Коли користувач VSAT має трафік на передачу, концентратор подає запит на виділення каналу. Якщо канал доступний, концентратор призначає канал для VSAT, який починає передавати свій трафік. Після завершення передачі трафіку канал повертається до пулу доступних каналів.

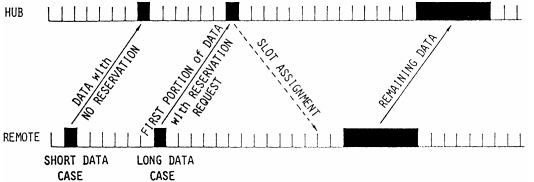
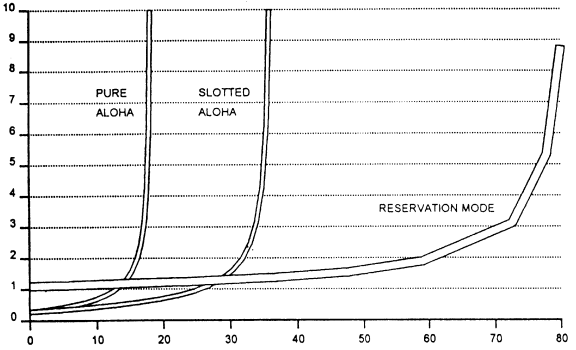


Рис. 3 Передача в режимі резервування



Пакетна затримка, с

Пропускна здатність, %

Рис. 4 Пропускна здатність для деяких схем ALOHA.

**4.3 FDMA з фіксованим доступом**

Якщо очікується майже безперервний трафік від VSAT до концентратора, SCPC може бути вельми вигідним рішенням. У цьому випадку кожному VSAT присвоюється частотний інтервал на повний період часу. Смуга пропускання слота мусить бути достатньою, щоб витримувати потік трафіку. Іншою альтернативою є TDMA, де часовий інтервал призначається на весь період з’єднання.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таб. 2 Порівняльна характеристика технологій множинного доступу (вхідна лінія) | | | |
| Технологія множинного доступу | Максимальна пропускна здатність | Затримка на доставку повідомлення, c | Підходить для |
| Довільного доступу |  |  |  |
| Чиста ALOHA | 18,4 % | < 0.5 | Інтерактивних даних |
| Слотована ALOHA | 36,8 % | < 0.5 | Інтерактивних даних |
| SREJ ALOHA | 20-30 % | < 0.5 | Інтерактивних даних |
| Резервування слоту | 60-90 % | < 2 c | Пакетовані дані |
| Доступ за вимогою |  |  |  |
| FDMA, TDMA | Висока | 0.25 | Пакетовані дані, голос |
| Фіксованого доступу |  |  |  |
| FDMA, TDMA | Висока | 0.25 | Мультиплексовані дані, голос |

**4.4 Підсумок**

У таблиці 2 наведено порівняння декількох методів доступу, описаних у розділі 4. Вибір методу залежить від вимог до типу трафіку та затримок у відповідній VSAT системи. На вибір також може впливати складність системи: це не тільки підвищує вартість, а й може вплинути на надійність системи.

**4.5 Вихідний канал з часовим розділенням (TDM)**

Окрім безпосередньо транспортування трафіку, вихідний TDM канал може виконувати інші функції, серед яких:

• Забезпечення часовими даними для вбудованих годинників підконтрольних терміналів VSAT, як правило, для слотованої ALOHA;

• Присвоювання каналу, як правило, для схем DAMA, резервуюча ALOHA;

• Підтвердження вхідних пакетів;

• Інші функції керування.

Канал TDM надсилає безперервну серію кадрів, де пакети даних вставляються у фрейм в поле даних або сигналізації. У багатьох випадках, як ми зазначали раніше, фрейми відформатовані за протоколом HDLC рівня канального зв'язку [8]. Контрольне поле HDLC часто змінюється для виконання функцій керування системою VSAT. Якщо відсутній трафік на передачу, інформаційне поле може бути заповнене порожніми (нульовими) даними, або можна надіслати контрольні кадри. У деяких реалізаціях використовуються поля синхронізації та керування кадрами, включаючи преамбулу та унікальне слово (УС).

Типовий кадр HDLC показано на рисунку 5, без модифікацій. Слід зазначити, що поле адреси повинно мати достатню довжину для розміщення адрес для всіх VSAT в системі, а також групові та бродкаст адреси. У деяких системах може бути використаний 3й (мережевий рівень) рівень моделі OSI. Часто використовується ITU-T Рек. Х.25 [3].

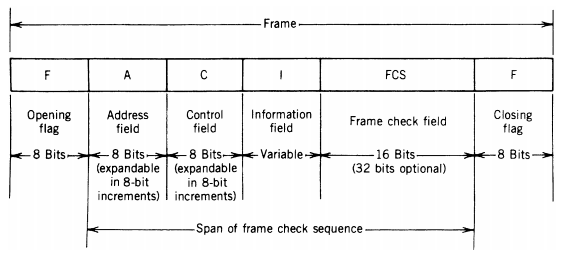


Рис. 5 Формат фрейму HDLC. Варто зазначити, що існує три типи фреймів HDLC: інформаційний фрейм, фрейм керування, ненумерований фрейм. В першому відсутнє контрольне поле, а в останніх двох відсутне поле данних.

**5 Малогабаритна мережа VSAT для підтримки зв’язку короткими повідомленнями.**

У цьому пункті розглядається проектування малогабаритної мережі VSAT для коротких повідомлень (транзакцій), де мінімальна затримка та вартість є найважливішими вимогами. Система працюватиме в Ku-діапазоні. Мережа підтримуватиме інфраструктуру з 50 роздрібних магазинів. Концентратор знаходиться в штаб-квартирі компанії. Повідомлення про вхідні транзакції базуються на кадрі HDLC довжиною в 40 октетів, включно з заголовком. Вхідна швидкість передачі даних становить 9600 біт/с зі зготковим кодом швидкістю ½, K = 7, 3-бітним приймачем з м’яким прийнятним рішенням з декодування Віттербі, що забезпечує підсилення на кодуванні в 5,3 дБ. Вихідний потік TDM становить 19,2 кбіт/с із аналогічним кодуванням. В обох випадках використовується QPSK модуляція.

У кожному магазині може бути щонайменше 16 касових апаратів, які працюють одночасно, а найгіршим можливим сценарієм є одна транзакція за хвилину для кожного касового апарату. Перевірка кредитної картки та фактична плата за транзакцію здійснюються в одному кадрі HDLC. Таким чином, найгірший показник частоти кадрів для магазину становить 16 кадрів на хвилину при 40\* 8 = 320 біт на кадр. Тривалість транзакції становить 320/9600 секунди або 33 мс. Час в режимі он-лайн для магазину становить 0,528 секунди за кожні 60 секунд (тобто 16 \* 33 мс). Припускаючи, що у всіх 50 магазинах однаковий тип трафіку, ми матимемо 50\*0.528 для найгіршого випадку інтенсивності трафіку в часи-пік. Це буде 26,4 секунди за хвилину. Це значення значно перевищує дозволених 18% при чистому протоколі Алоха.

Для вирішення поставленої задачі виникає три можливих рішення. (1) Використовувати технологію прорідженого ALOHA з підвищеням вартості та складності. (2)Використання трьох вхідних каналів, розділюючи трафік, щоб вміститсь в 18% для чистого ALOHA. Таким чином, на кожному каналі буде трафік тільки з 17 магазинів або 9,061 секунди онлайну за кожну хвилину або близько 15%. (3) Викоричтання більш високої вхідної бітовоїшвидкості, наприклад, 32 Кбіт/с. Рішення приймається як компромисс між вартістю постійних витрат на дорогий космічний сегмент та початковою вартістю на встановлення та складністю технології розрідженого ALOHA.

Для прикладу оберемо технологію розрідженого ALOHA. Вихідного потік TDM має достатню ємність у 19,2 кбіт/с, оскільки весь трафік переважно прямує у напрямку VSAT-до-концентратору (вхідний).

Пропускна здатність розраховується за допомогою полутрного косінусного зрізу Найквиста. Символьна швидкість в два рази перевищує швидкість передачі даних (швидкість кодування 1/2). Таким чином, вхідний канал обчислюється як 10\*2\*1,5 або 30 кГц, а вихідний канал розраховується як 20\*2\*1,5 або 60 кГц; обидва використовують когерентну QPSK модуляцію.

Супутниковий точковий промінь, що використовується в системі, має + 45 дБВт ЕІВП розподілену рівномірно по всій смузі пропускання транспондера в 72-МГц. ЕІВП несучої супутникової вихідної нисхідної лінії зв'язку становить +14,21 дБВт. Несуча вхідної нисхідної лінії зв'язку має + 11,18 дБВт ЕІВП. Коефіцієнт бітових помилок, як вхідний, так і вихідний, для умов ясної погоди становить 10-9; заснований на модуляції QPSK з когерентним виявленням та кодуванням з попереднім виявленням помилок (FEC) необхідний рівень *Eb/N0* становить 8,5 дБ, включаючи 2 дБ втрати на модуляцію. (Примітка. Враховується коефіцієнт кодового підсилення 5,3 дБ, наведений вище.) Необхідно включити ще 5-дБ запас на втрати при опадах.

Кут нахилу в обох випадках дорівнює 20 °. Відстань до геостаціонарного супутника – 24 397 м.

Залежність параметру лінії від частотнтного розподілу та еквівалентними втрати у вільному просторі представлені в таблиці 3.

Для вхідної висхідної лінії потужність передавача VSAT приймається за 1 Вт (0 дБВт). У випадку вихідної висхідної лінії зв'язку (тобто, на концентраторі) вихідна потужність передавача також приймається рівною одному ватту. Тепловий шум супутника G/T в обох випадках дорівнює +1 дБ/К.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таб. 3 Розподілення частот та втрати в вільному просторі | | |
| Параметр | Частота | Втрати у вільному просторі |
| Вхідна висхідна лінія | 14,4 МГц | 207,5 дБ |
| Вхідна низхідна лінія | 12,1 МГц | 205,98 дБ |
| Вихідна висхідна лінія | 14,1 МГц | 207,31 дБ |
| Вихідна низхідна лінія | 11,8 МГц | 205,77 дБ |

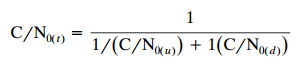
|  |  |
| --- | --- |
| **Вхідний Аплінк (висхідна лінія)** |  |
| Потужність трансмітеру | 0 дБВт |
| Втрати на передачу в лінії | -1 дБ |
| КУ антени | +46,64 дБВт |
| ЕІВП | +48,64 дбВт |
| Втрати у вільному просторі | -207,7 дБ |
| Поляризаційні втрати | -0,5 дБ |
| Втрати на супутниковій антені (позаконтурні) | 0 дБ |
| Втрати в антені терміналу | -0,5 дБ |
| Втрати в атмосфері | -0,3 дБ |
| Ізотропний рівень прийому | -162,16 дБВт |
| Шумова температура супутника | +1 дБ/К |
| В сумі | -161,16 дБВт |
| Стала Больцама | -(-228,6 дБВт/Гц) |
| С/Ш | 67,44 дБ |
| **Вхідний Даунлінк (нисхідна лінія)** |  |
| ЕІВП супутника | +11,18 дБВт |
| Втрати у вільному просторі | -205,98 дБ |
| Поляризаційні втрати | -0,5 дБ |
| Втрати на супутниковій антені (позаконтурні) | 0 дБ |
| Втрати на антені терміналу | -0,5 дБ |
| Втрати в атмосфері | -0,3 дБ |
| Ізотропний рівень прийому | -196,1 дБВт |
| Шумова температура терміналу VSAT  (концентратор, 10 футів) | +25,84 дБ/К |
| В сумі | -170,26 дБВт |
| Стала Больцама | 228,6 дБВт/Гц |
| С/Ш | 58,34 дБ |

Необхідний рівень С/Ш0(t) розраховується наступним чином, на основі значення Eb/N0 рівного 8,5 дБ. Значення *Tсис* на концентраторі рівне 200 К. Звідси N0 = -228.6 дБВт +10log200= -205.59 дБВт. *Eb* мусить бути на 8,5 дБ вище за цей рівень, тож становить -197,09 дБВт. C = RSL = -197.09 дБВт +10log9600 = -157.24 дБВт. Необхідний рівень С/Ш0(t) мусить бути рівним:

C/N0(t) = -157.24 дБВт –(-205,59 дБВт) = 48,35 дБВт.

До цього значення необхідно додати запас на затухання в опадах 5 дБ, і результуюче значення С/Ш становитиме 53,35 дБ.

Розраховуємо значення С/Ш для супутника використовуючи формулу:



Значення С/Ш виражене у разах становить:

Аплінк: 67,4 дБ = 5 495 408,7 раз

Даунлінк: 58,34 дБ = 682 338,7 раз

С/Ш0(t) = 57.83 дБ

Наступний крок – розрахунок бюджету лінії вихідного каналу.

|  |  |
| --- | --- |
| **Вихідний Аплінк (висхідна лінія)** |  |
| Потужність передачі (1 Вт) | 0 дБВт |
| Втрати на передачу в лінії | -2 дБ |
| КУ антени (концентратор, антена 10 футів) | +51.19 дБВт |
| ЕІВП концентратора | +49.19 дбВт |
| Втрати у вільному просторі | -207,31 дБ |
| Поляризаційні втрати | -0,5 дБ |
| Втрати на супутниковій антені (позаконтурні) | 0 дБ |
| Втрати в антені терміналу | -0,5 дБ |
| Втрати в атмосфері | -0,5 дБ |
| Ізотропний рівень прийому | -159,62 дБВт |
| Шумова температура супутника *G/T* | +1 дБ/К |
| В сумі | -158,62 дБВт |
| Стала Больцама | -(-228,6 дБВт/Гц) |
| С/Ш | 69,98 дБ |
| **Вихідний Даунлінк (нисхідна лінія)** |  |
| ЕІВП супутника | +14,21 дБВт |
| Втрати у вільному просторі | -205,77 дБ |
| Поляризаційні втрати | -0,5 дБ |
| Втрати на супутниковій антені (позаконтурні) | 0 дБ |
| Втрати на антені терміналу | -0,5 дБ |
| Втрати в атмосфері | -0,3 дБ |
| Ізотропний рівень прийому | -192,86 дБВт |
| Шумова температура терміналу VSAT  (концентратор, антена 10 футів) | +21,91 дБ/К |
| В сумі | -170,95 дБВт |
| Стала Больцама | -(-228,6 дБВт/Гц) |
| С/Ш | 57,65 дБ |

Необхідний рівень С/Ш0(t) для вихідного каналу розраховується наступним чином. Необхідне значення Eb/N0 становить 8,5 дБ. Значення *Tсис* приймальної системи VSAT становить 200 К. Звідси N0 = -228.6 дБВт +10log206= -205.46 дБВт. *Eb* мусить бути на 8,5 дБ вище за цей рівень, тож становить -196,96 дБВт. C = RSL = -196.96 дБВт +10log(19,2\*103) = -154.12 дБВт. Необхідний рівень С/Ш0(t) мусить бути рівним:

С/Ш0(t)

До цього значення необхідно додати запас на затухання в опадах 5 дБ, і результуюче значення С/Ш становитиме 53,35 дБ.

Тепер розрахуємо рівень С/Ш для вихідної лінії зв’язку з розрахунку бюджету лінії. Спочатку виразимо значення С/Ш аплінку і даунлінку у разах:

Аплінк: 69,98 дБ = 9 954 054

Даунлінк: 57,65 дБ = 582 105

С/Ш0(t) = 57,4 дБ

Це значення лежить в межах запланованого значення в 56,33 дБ. Далі буде видно, що концентратор має відносно невеликі розміри, тож він не вимагатиме автоматичного позиціонування. Використання ресурсів на вхідну аплінк лінію зв'язку може видатись надмірним, але шумова температура G/T суміжного даунлінку VSAT терміналу диктує нам значення діаметру антени, яка використовується і на аплінк терміналом VSAT. Подібним чином, використання ресурсу для вихідної лінії аплінку зв'язку може здатися надмірним, але вхідна даунлінк лінія вимагає значення G/T, яке потребує використання 10-футової антени. Було б доцільно обладнати вихідну аплінк лінію з 10-ваттним підсилювачем потужності використовувати зменшену вихідну потужність (тобто 1 ватт). Це б забезпечило ще 10 дБ запас на цю аплінк лінію зв'язку.

Будь-яке подальше зниження параметрів зв'язку знижує продуктивність, роблячи її нижчою, ніж зазначено на початку.

**6. Інтерференція в системах VSAT**

Системи VSAT за визначенням мають малі антени. Як результат в них досить великий розмір променів у діаграмі спрямованості. Для апертурних антен ширина променя залежить від КУ. Для розрахунку ширини променю можна скористатися формулою [9]:

Де це довжина хвилі, а *D* діаметр розкриву антени. *D* та мусять бути виражені в однакових одиницях виміру.

Якщо ми використовуємо смугу 12000 МГц, частот Ku діапазону для низхідної лінії зв'язку, її еквівалентна довжина хвилі становить 0,025 м. Використовуючи 1-метрову тарілку, ширина променю становитиме 1,75 °. Звідси постає проблема інтерференції для установок з такими невеликими антенами. Як наслідок, необхідно розміщувати супутники на геостаціонарній орбіті на відстані 2 °. Антена VSAT з променем шириною 1,75 °, що спрямований на один супутник, буде схильна до інтерференції з низхідною лінією сусіднього супутника на відстані в 2° на екваторіальному диску.

Для частоти 12 ГГц (тобто λ= 0,025 м) розроблено табл.4 для різних діаметрів параболічних антен, які можуть використовуватися під час встановлення VSAT. Таблиця базується на формулі (2).

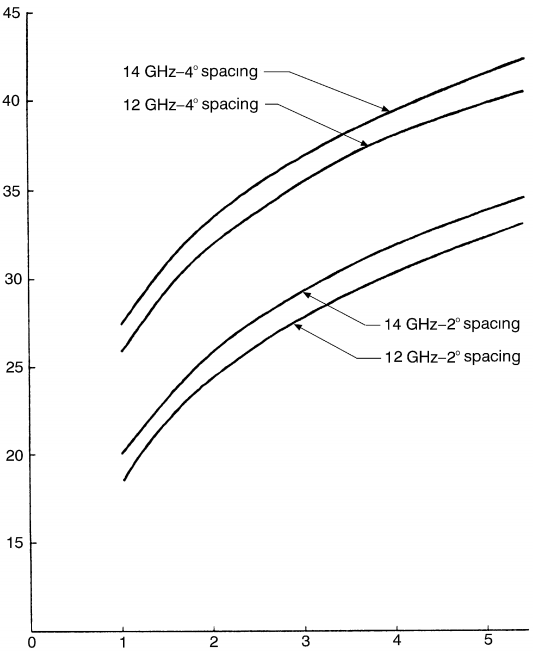
|  |  |
| --- | --- |
| Таб. 4 Ширина основного променю при відповідному розмірі антени | |
| Діаметр антени (м) | Ширина основного променю(о) |
| 0,5 | 3,5 |
| 0,75 | 2,33 |
| 1 | 1,75 |
| 1,5 | 1,166 |
| 2 | 0,875 |
| 2,5 | 0,7 |
| 5 | 0,35 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таб. 5 Приклади захисних коефіцієнтів для типових служб супутникового зв'язку | | |
| Тип фіксованої супутникової служби | | Величина захисного коефіцієнту |
| A | Частотно модульоване телебачення |  |
|  | Студійної якості | *С/I* = 28 дБ |
|  | Високої якості | *С/I* = 22 дБ |
| B | Цифрові канали зв’язку |  |
|  | Широкосмуговий, повна пропускна здатність транспондера | *Eb/I0*= 25 дБ |
|  | Вузькосмуговий, SCPC, T1 (1.544 Мбіт/с) | *Eb/I0*= 20 дБ |
|  | Вузькосмуговий, SCPC (56 кбіт/с) | *Eb/I0*= 20 дБ |
| C | Канали розширеного спектру | *Eb/I0*= 20 дБ |
| D | Частотно модульовані SCPC, з урахуванням перешкод для голосу | 1000 піковатт – максимум для найгіршого НЧ каналу |
| E | Частотно модульовані SCPC, аудіопрограмма | *С/I* = 24 дБ |

З таблиці ми бачимо, що чим більше антена, тим вужча ширина променя, тим менша можливість потрапити сигналом на другий супутник спрямувавши його на перший.

Організація ITU-R встановила деякі вказівки щодо перешкод серед різних телекомунікаційних послуг, що пропонуються супутниковими ретранслятороми. Ці рекомендації зведені в табл.5, виходячи з відношення несучої до перешкоди (C/I). Для цифрових систем зручніше використовувати *Eb/I0* або відношення енергії за біт до спектральної щільності завад. Значення *C/I* і *Eb/I0* у таблиці відносяться до комбінованого значення висхідної та низхідної лінії зв'язку для розрахунку бюджету лінії. Параметр вибірковості в Ku-діапазоні антени в децибелах наведено на рисунку 6.

При однорідному розташуванні сусідніх супутникових систем, які надають послуги вузькосмугового цифрового зв’язку, в яких щільність потоку потужності несучої приблизно однакові (рис. 6 та табл. 4), для отримання єдиного значення відношення *C/I* (або значень вибірковості антени) рівного 20 дБ, діаметр антени VSAT повинен перевищувати 1,2 м при рознесенні супутників на 2 ° або близько 0,8 м при рознесенні супутників на 3 °. У цьому прикладі передбачається, що у системі VSAT використовується зіркова топологія з антеною підстанції-концентратору діаметром не менше 4 м, тож зв'язок між концентратором та супутником має вибірковість антени принаймні 30 дБ і вносить менше 0,5 дБ для загального значення *C/I* в лінії. З іншого боку, якщо система складається тільки з VSAT (при використанні меш топологі мережі, рис.2), і аплінк та даунлунк не регулюються з урахуванням інтерференції, тоді розміри антени повинні бути більшими, ніж в терміналах VSAT, наведених в прикладі вище. У цьому випадку, якщо антени мають однаковий розмір, необхідне значення вибірковості антени буде, порядку 23 дБ. З рисунка 6 випливає, що діаметр антени становитиме 1,7 м при 2° інтервалі між супутниками або 1,1 м при 3° інтервалі між супутниками.



Діаметр антени, м

Вибірковість антени

антени, дБ

Рис.6 Залежність вибірковості антени від розміру у смузі 14/11-12 ГГц, при орбітальному інтервалі супутника в 2 та 4 градуси.

Крім вибірковості антени, інтерференція від випромінення сусідніх супутників може бути зменшена шляхом:

• Використанням радіочастотного планування, при якому несучі частоти сусідніх супутників мають достатнє рознесення між собою;

• Застосування методів крос поляризації;

• Застосування методів попередньої корекції помилок, які можуть зменшити чутливість приймача до перешкод;

На жаль, системи VSAT часто збиті докупи, оскільки частіше за все VSAT застосовують в міських районах. Таким чином, сценарії інтерференційних перешкод наступні:

• між терміналами VSAT-VSAT

• між VSAT та центральною земною станцією (і навпаки)

• Мікрохвильові завади для терміналу VSAT у радіусі поля зору.

**7 Надмірне загасання через опади**

Як основне правило, було згадано, що радіосистеми які працюють вище 10 ГГц мусять враховувати надмірне затухання внаслідок опадів і під час дощу через значну хмарність. Таким чином, при використанні більш популярного Ku-діапазону необхідно враховувати опади, тоді як у C діапазоні затуханнями через опади можна знехтувати.

**Висновок**

В ході виконання даної курсової роботи було поглиблено знання щодо застосування систем VSAT, характеристик роботи в різних діапазонах та при різних погодних умовах. Розглянуто реалізації системи, та приведені розрахунки бюджету лінії.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. John Everett, ed., VSATs—'Very Small Aperture Earth Stations, Peter Peregrinus/IEE, London, 1992.
2. Roger L. Freeman, Telecommunication Transmission Handbook, 3rd ed., Wiley, New York, 1991.
3. ‘‘VSAT Systems and Earth Stations,’’Supplement No. 3 to Handbook of Satellite Communications, ITU-Radio Communications Bureau, Geneva, 1994.
4. Dattakumar M. Chitre and John S. McCoskey, ‘‘VSAT Networks: Architectures, Protocols and Management,’’ IEEE Communications Magazine, Vol. 26, No. 7, July 1988.
5. Edwin B. Parker and Joseph Rinde, “Transaction Network Applications with User Premises Earth Stations,’’ IEEE Communications Magazine, Vol. 26, No. 9, Sept. 1988.
6. D. Raychaudhuri and K. Joseph, ‘‘Channel Access Protocols for Ku-Band VSAT Networks: A Comparative Evaluation,” IEEE Communications Magazine, Vol. 26, No. 5, May 1988.
7. D. Chakraborty, ‘‘VSAT Communication Networks: An Overview,’’ IEEE Communications Magazine, Vol. 26, No. 5, May 1988.
8. Roger L. Freeman, Practical Data Communications, 2nd ed., Wiley, New York, 2001.
9. Henry Jasik and Richard C. Johnson, Antenna Engineering Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1984.