Мала супутникова земна станція (VSAT)

Терміни на скорочення

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

8.1 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 випливая структура, подібна до зірки: конфетратор 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.

8.2 Застосування мережі VSAT

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

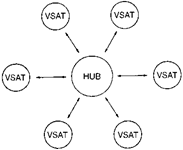


Рис. 1. Традиційна зіркова топологія VSAT

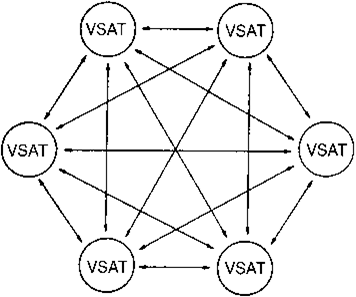


Рис. 2. Меш топологія мережі VSAT

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.

8.2.1 Однобічне застосування

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.

1. Двостороннє застосування

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 (посилання 1).

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

8.3 ТЕХНІЧНИЙ ОПИС МЕРЕЖ VSAT ТА ПРИНЦИПІВ ЇХ РОБОТИ

8.3.1 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.

Визначення. Вхідний - це трафік або канал(и) у напрямку VSAT-концентратор; вихідний означає трафік або канал(и) у напрямку концентратор-VSAT.

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.

8.3.2 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)*

Дного 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].

**8.3.3 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 \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

8.4 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.

**6. Інтерференція в системі 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).

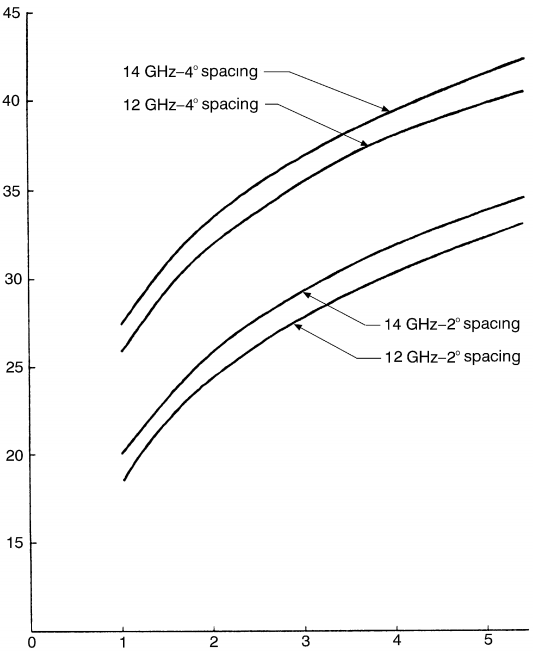
|  |  |
| --- | --- |
| Таб. 4 Ширина основного променю при відповідному розмірі антени | |
| Діаметр антени (м) | Ширина основного променю(о) |
| 0,5 | 3,5 |
| 0,75 | 2,33 |
| 1 | 1,75 |
| 1,5 | 1,166 |
| 2 | 0,875 |
| 2,5 | 0,7 |
| 5 | 0,35 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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. 8.6 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.

8.7 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.