

РОЗРАХУНОК ЗАТУХАННЯ НА РАДІОТРАСІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ СУПУТНИК МЕТОР – ЗЕМЛЯ

Проведено огляд особливостей використання штучних супутників для вирішення завдань дистанційного зондування Землі. Розглянуто особливості та технічні характеристики полярно-орбітального супутника Метор. Проведений розрахунок впливу атмосфери, рефракції, дощових опадів, затуханню в гідрометеорах, на передачу сигналів на трасі супутник Метор – Земля.

The review of features of the use of artificial satellites is conducted for the decision of tasks of the remote sensing Earth. Features and technical descriptions are considered arctic orbital companion Metop. Conducted calculation of influencing of atmosphere, refraction, rain precipitations, to fading gidrometeors, on the transmission of signals on a route companion Metop is Earth.

Ключові слова: рефракція, гідрометеори, орбіта.

Вступ

В умовах відносно обмеженої щільності мережі локальних спостережень у ряді країн, як на суші, так і над океанами, і необхідності отримання глобальної інформації про стан атмосфери і поверхні з високою періодичністю і просторовим розрізненням, вимірювання дистанційними методами стають регулярним і часто найважливішим видом спостережень характеристик атмосфери і поверхні [1]. Так, наприклад, гідродинамічні моделі об'єктивного аналізу і прогнозу як початкові дані використовують поряд з даними гідрометеорологічної мережі спостережень, інформації, що отримується дистанційними методами, у тому числі за допомогою штучних супутників Землі (ШСЗ). Значна роль супутникових спостережень в кліматичних дослідженнях, а також у вивченні закономірностей різноманітних процесів і явищ, що відбуваються в системі атмосфера-поверхня, і потоків електромагнітного і корпускулярного випромінювання, що приходять на верхньому кордоні атмосфери. Над океанами ШСЗ в більшості випадків, є найважливішими джерелами інформації. Така ж картина у ряді районів на материках. Дані вимірювань полярно-орбітальних супутників дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) набувають все більше значення при вирішенні задач оперативної гідрометеорології, моніторингу стану навколишнього середовища (включаючи контроль надзвичайних ситуацій і забруднень природного середовища), накопичення і аналізу низки даних по геофізичних параметрах, що характеризують клімат Землі його зміни. Полярні супутники забезпечують глобальніше охоплення спостереженнями Землі. Їх орбіти мають нахил до екваторіальної площини яка наближається до 90 градусів. Висота таких супутників від поверхні Землі складає звичайно 800-1000 км. (рис. 1). Різні полярні супутники проходять екватор в різний час. Наприклад, супутники на сонячно-синхронних орбітах проходять екватор і кожну широту в один і той же місцевий сонячний час, щодня. Орбітальна площина сонячно-синхронній орбіти повинна обертатися приблизно на один градус в день, щоб зберігати положення на поверхні Землі.

В рамках програми EPS (EUMETSAT Polar System) у 2006 році був виведений на орбіту спутник Метор (Meteorological Operational satellite).

Довжина радіотраси залежить від орбіти, на якій знаходиться супутник. На відміну від геостационарних полярні супутники рухаються по нижчій орбіті (близько 850 кілометрів над поверхнею Землі) і здатні надати якіснішу інформацію про поточний стан температури повітря, але в той же час охоплення тієї або іншої зони непостійний. Супутники серії Метор оснащені сучасними системами ДЗЗ, які забезпечують метеорологів і кліматологів широкими можливостями в області дистанційного зондування Землі основні технічні показники супутника представлено в таблиці 1.

Для підвищення ефективності процесу обробки інформації дистанційного зондування Землі та отримання оперативних даних при вирішенні завдань геологічного моніторингу із супутника Метор слід вирішити завдання вибору та розробки структури приймальної системи та алгоритму приймання та обробки спеціалізованих сигналів. Важливим етапом вирішення цього завдання є етап пов'язаний із розрахунком радіотраси Земля – супутник, визначенням чинників які впливають на затухання сигналу на трасі. Цим питанням присвячена стаття.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Лінія супутникового зв'язку складається із двох ділянок: Земля-супутник і супутник-Земля. В енергетичному змісті обидві ділянки досить напружені.

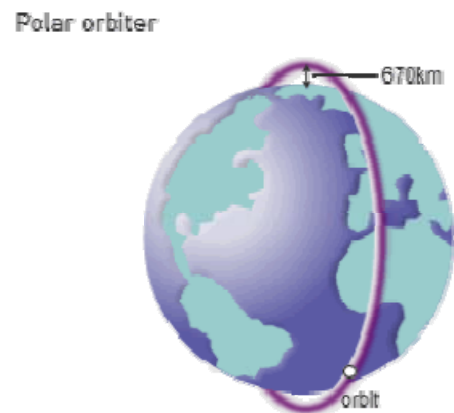


Рис. 1. Орбіта руху полярних супутників

Основні технічні характеристики та показники супутника Metop

Основні характеристики	
Дата запуску	Дата запуску 19 жовтня 2006
Маса супутника	4085 кг
Маса корисного навантаження	931 кг
Носій	Союз 2-1А
Космодром	Байконур
Гарантований польотний ресурс (ГПР)	5 років
Формат передачі даних	АНРРТ
Частота передачі даних	L – діапазон 1701,3 МГц
Швидкість передачі даних	3,5 Мбіт/с
Параметри орбіти	
Тип орбіти	Сонячно-синхронна
Висота	837 км.
Нахил	98.7°
Ексцентриситет	0.00245
Повторюваність знімання однієї території	3-4 рази на добу

Перша ділянка – через тенденцію до зменшення потужності передавачів і спрощенню земної станції, друга – через обмеження на масу, габаритні розміри і енергоспоживання бортового ретранслятора, які лімітують його потужність.

Основна особливість супутникових ліній – наявність великих втрат сигналу, обумовлених затуханням енергії на трасах великої фізичної довжини. Крім цього основного затухання в просторі, сигнал у лініях супутникового зв'язку піддається впливу великої кількості інших факторів. Таких як поглинання в атмосфері, рефракція, вплив дощових опадів і т.п. З іншого боку, на прийомний пристрій супутника та земної станції крім власних флуктуаційних шумів впливають різного роду завади у вигляді випромінювання космосу, Сонця і планет [1]. У цих умовах правильний і точний розрахунок впливу всіх факторів дозволяє здійснити оптимальне проектування системи, забезпечити її впевнену роботу в найбільш важких умовах і у той же час виключити зайві енергетичні запаси, що призводять до невиправданого збільшення складності земної і бортової апаратури. Норми на деякі якісні показники супутникових каналів (наприклад, відношення сигнал-шум) мають статистичний характер. Це змушує оцінювати фактори, що збуджують, також статистично, тобто при розрахунках вводити не тільки кількісний захід впливу того або іншого фактора, але і імовірність (частоту) його появи.

На розповсюдження радіохвиль на лініях Земля – космос (або космос – Земля) помітний вплив здійснює атмосфера Землі – як іоносфера, так і тропосфера. Цей вплив особливо помітно на частотах від 10 ГГц і вище, а також при малих кутах приходу хвилі (малих кутах місця антени земної станції) [1,2].

Вплив іоносфери може проявлятися в поглинанні енергії, дисперсії сигналу, тобто нерівномірному часі затримки в смузї, "мерехтінні" сигналу, викликаному розсіюванням локальними неоднорідностями концентрації електронів, обертанні площини поляризації лінійно поляризованої хвилі (фарадеевське обертання). Всі ці ефекти обернено пропорційні квадрату частоти сигналу, а дисперсія – кубу частоти. Тому космічні служби, які працюють на частотах вище 1 ГГц, можуть не враховувати вплив іоносфери, за винятком обертання площини поляризації.

Зміна обертання носить регулярний характер, що підкоряється добовому і сезонному ходу, циклом сонячної активності, а також піддано значним і непередбаченим відхиленням від регулярного ходу в малих відсотках часу. Максимальна амплітуда обертання на частоті 1 ГГц може досягати 108° при куті місця 30°, а на частотах 4,6 й 1,2 ГГц максимальні амплітуди досягали 9, 4 й 1°, відповідно [3]. Застосування кругової поляризації хвилі, дозволяє повністю усунути вплив цього явища.

Зміни рівня сигналу можуть бути викликані інтерференцією прямої хвилі і хвилі, відбитої від земної поверхні рисунок 2.

Вплив тропосфери на розповсюдження радіохвиль на лініях Земля – Космос може проявлятися в багатьох явищах.

Зміни індексу рефракції в тропосфері і його нерегулярності можуть викликати дефокусування променями антени, зміни кута приходу хвилі, зменшення ефективного підсилення антен, виникнення багатопроменевої структури сигналу і "мерехтіння". Дефокусування променя викликає втрати сигналу менш 0,4 дБ навіть при куті місця 3° і більших змінах рефракції. За даними вимірів зміни кута приходу хвилі, викликані рефракцією, становили близько 0,65°, 0,35° і 0,25° при кутах місця 1°, 3° й 5° відповідно в морській тропічній атмосфері. У полярному континентальному кліматі відповідні значення були 0,44°, 0,25° і 0,17° [3]. Це явище можна не враховувати, оскільки антени земних станцій зазвичай обладнані пристроями автоматичного або ручного наведення по максимуму сигналу.

Явища багатопроміневості і "мерехтіння" сигналу не можуть здійснювати скільки-небудь істотного впливу на його рівень і тому не враховуються. Найбільш істотний вплив тропосфери проявляється в поглинанні енергії радіохвиль у газах атмосфери, поглинанні і деполяризації хвилі в гідрометеорах, особливо в дощі.

Визначення затування при передачі інформації на трасі супутник Метоп – Земля

Розглянемо затування сигналу на радіотрасі Земля-супутник-Земля. Втрати сигналів за таких умов можна розділити на дві складові:

- послаблення у вільному просторі;
- послаблення в тропосфері.

Втрати сигналів при розповсюдженні у вільному просторі залежать від довжини хвилі і відстані радіолінії та можуть бути розраховані за формулою:

$$A_e = \left(\frac{4\pi L}{\lambda}\right)^2, \tag{1}$$

де L – довжина шляху сигналу від супутникового ретранслятора до приймальної антени; λ – довжина хвилі ретрансльованого сигналу.

Режим передачі даних з супутника дистанційного зондування Землі Метоп та отримання оперативних даних при вирішенні завдань геологічного моніторингу здійснюється на частоті 1701,3МГц (відноситься до L – діапазону) в форматі HRPT (High Resolution Picture Transmission) із швидкістю 3,5Мбіт/с із використанням загорткового кодування та квадратурної фазової маніпуляції QPSK (Quadrature Phase Shift Keying).

Розрахуємо затування сигналів в L – діапазоні на частоті супутника Метоп.

$$\lambda_L = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{1701,3 \cdot 10^6} = 0,17 \text{ м.}$$

Результат розрахунку представимо так:

$$A_{eL} = \left(\frac{4\pi L}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot 3,14 \cdot L}{0,17}\right)^2 = (73,88L)^2.$$

Результати занесемо до таблиці.2 та представимо на рис. 3.

Таблиця 2

Розрахунок залежності $A_e=f(L_L)$, при $\lambda_L=0,17$ м

L , км	100	200	300	400	500	600	700	800	837
A_L , дБ	137	143	146	149	151	153	154	155	156

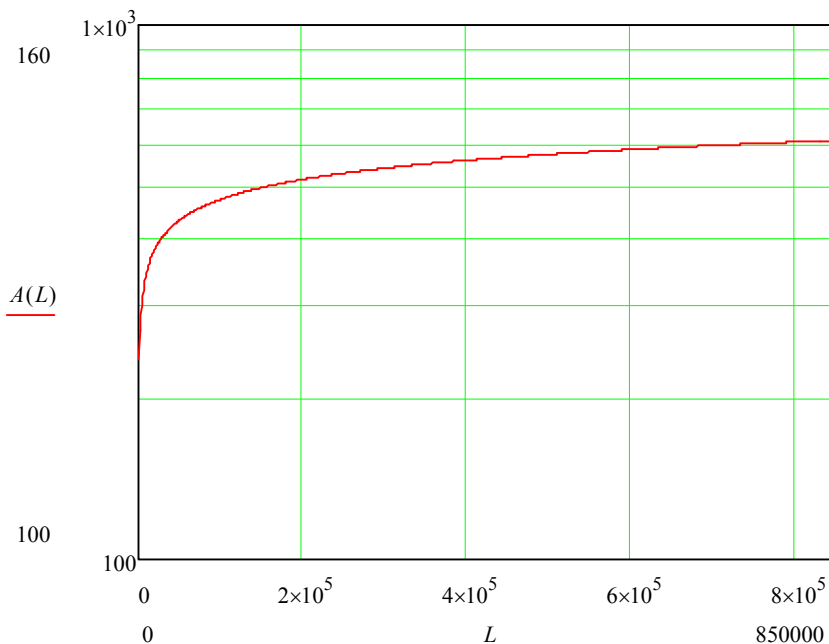


Рис. 3. Залежність величини затування сигналів від довжини радіотраси для діапазону L

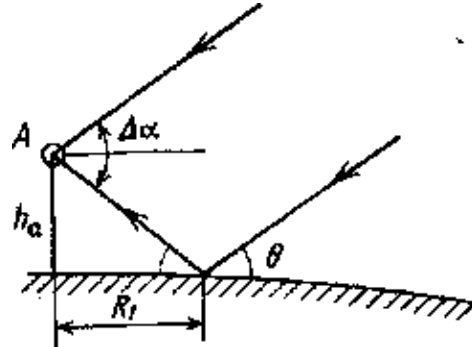


Рис. 2. Інтерференція прямої хвилі і хвилі, відбитої від земної поверхні

Отримані данні показують, що величина затухання зростає при віддаленні супутника від Землі і на відстані обертання складає 156 дБ.

Поворот орбіти відносно Землі синхронізований з обертанням Землі відносно Сонця, так що протягом всього часу кут між площиною орбіти і направленням на Сонце постійний (рис. 3). Це дозволяє проводити зйомку приблизно в одну і ту ж годину місцевого часу протягом всього року. Найбільш вдалий час для зйомки біля місцевого півдня. Супутник Metop має орбіту з нахилом $98,7^\circ$ так що за добу площина орбіти обертається відносно Землі на $0,987^\circ$, за рік – на 360° . Однак внаслідок збурень, викликаних нерівномірністю розподілу мас Землі, опором атмосфери, тиском сонячних променів і т. п., протягом декількох років площина орбіти дещо міняється.

Друга складова втрат – втрати при проходженні сигналів в тропосфері. Ця величина являється випадковою, так як залежить не тільки від довжини шляху в цьому середовищі і кута місця, але ще й від поглинання сигналів в гідрометеорах. При залежності втрат від кута місця виявляється залежність від географічного місця розташування приймального комплексу. Так в екваторіальній частині земної кулі кут місця буде близький до 90° , а з віддаленням в полярні широти буде зменшуватися. Може наступити момент, коли кут місця стане таким малим, що: по-перше, значно збільшиться довжина радіотраси в тропосфері, а отже і величини втрат (можуть стати критичними), по-друге, малий нахил кута місця може призвести до того, що на прийом буде впливати рельєф місцевості.

Взагалі втрати сигналів мають місце у всій атмосфері (в тому числі і в іоносфері), але рівень цих втрат значно нижче і їх можна не враховувати в розрахунках. В тропосфері основні втрати викликані молекулярним киснем O_2 , водяними парами H_2O та гідрометеорами.

Еквівалентна товщина атмосфери для:

- кисню – $h_{O_2} \approx 5,3$ км;
- водяного пару – $h_{H_2O} \approx 2,1$ км;
- гідрометеорів – $h_z \approx 2,0$ км.

Довжина шляху сигналу в атмосфері залежить від еквівалентної товщини h , що впливає на поглинання, та кута місця β .

Для кисню:

$$l_{O_2} = (h_{O_2} - h_3) \cdot \operatorname{cosec} \beta, \quad (2)$$

де h_3 – висота приймальної антени над рівнем моря. Наприклад для Подільського плато $h_3 = 350-380$ м.

Для водяного пару:

$$l_{H_2O} = (h_{H_2O} - h_3) \cdot \operatorname{cosec} \beta, \quad (3)$$

Для гідрометеорів:

$$l_z = (h_z - h_3) \cdot \operatorname{cosec} \beta, \quad (4)$$

Розрахуємо ці величини і зведемо у таблицю 3 та представимо на рис. 4 та 5.

Аналіз: розрахунки велися в кутовому діапазоні від 5° до 90° . Використання кута місця менше 5° неможливе: по-перше, через рельєфні завади, по-друге через велику довжину радіотраси в атмосфері (гідрометеорах тощо), що спричиняє надзвичайно велике затухання сигналу і унеможливує якісний прийом. Перший недолік можна вважати не особливо важливим, якщо врахувати, що в широтному поясі від 80° пд. ш. до 80° пн. ш. проживає практично все населення Землі.

Таблиця 3

Залежності $l_{O_2} = f(\beta)$, $l_{H_2O} = f(\beta)$							
$\beta, ^\circ$	5	15	30	45	60	75	90
$l_{O_2}, \text{км}$	56,7	19,1	9,9	7	5,7	5,1	4,94
$l_{H_2O}, \text{км}$	20	6,7	3,5	2,5	2	1,8	1,74

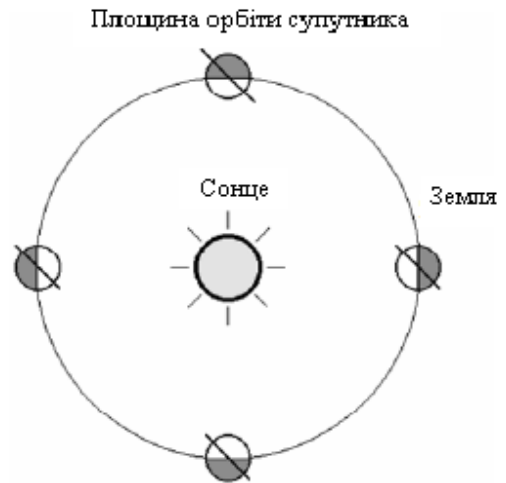


Рис. 4. Сонячно-синхронна орбіта супутника Metop

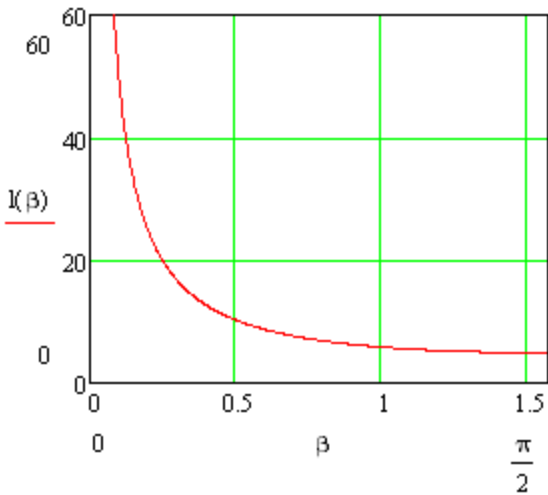


Рис. 5. Залежність довжини радіотраси від кута місця при проходженні сигналу в прошарку атмосфери насиченому киснем в декартових координатах

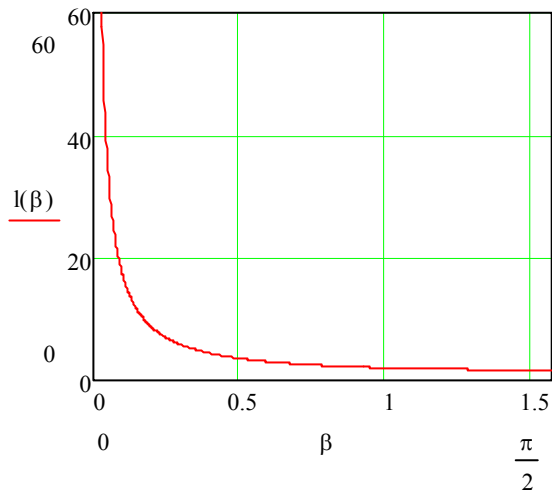


Рис. 6. Залежність довжини радіотраси від кута місця при проходженні сигналу в прошарку атмосфери насиченому водяними парами в декартових координатах

Другий аргумент наглядно демонструють отримані результати (особливо в полярних координатах). Використання кута місця в межах 20-90° несуттєво впливає на подовження шляху сигналу в атмосфері. Лише при кутах місця менше 20° шлях проходження збільшується стрибкоподібно (рисунком 6 та 7).

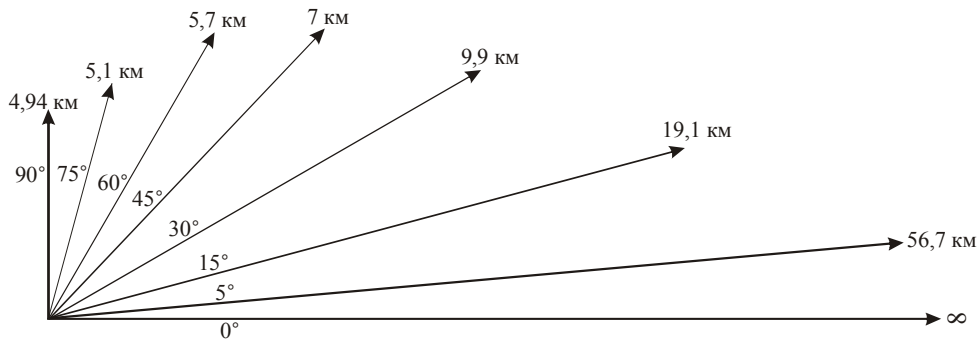


Рис. 7. Залежність довжини радіотраси від кута місця при проходженні сигналу в прошарку атмосфери насиченому киснем в та полярних координатах

В найбільш загальному випадку величину додаткових втрат в реальних умовах можна представити наступним чином:

$$L_{\text{дод[дБ]}} = L_{a[\text{дБ}]} + L_{\Gamma[\text{дБ}]} + L_{\text{Н}[\text{дБ}]} + L_{\text{П}[\text{дБ}]}, \quad (5)$$

де $L_{a[\text{дБ}]}$ – втрати в спокійній атмосфері, що визначаються поглинанням енергії електромагнітних хвиль (ЕМХ) в молекулярному кисні і водяних парах тропосфери. Як ми вже розглянули, ці втрати збільшуються із зменшенням кута місця, так як при малих кутах місця радіохвилі проходять через більшу товщину атмосфери.

Величину додаткових втрат часто визначають із графіків або заздалегідь розрахованих таблиць [1,2].

Для нашого випадку (при куті місця $\beta=41^\circ$ і частоті $f=1,7$ ГГц) маємо $L_a[\text{дБ}] \approx 0,3$ дБ.

$L_{\Gamma[\text{дБ}]}$ – втрати в опадах, що визначаються поглинанням енергії радіохвиль гідрометеорами, в зв'язку з чим носять статистичний характер.

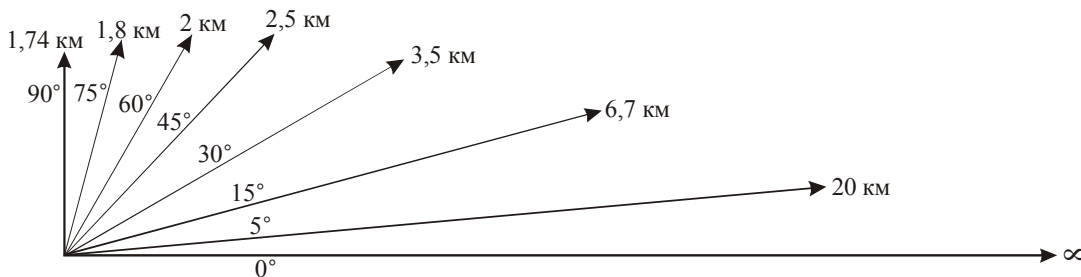


Рис. 8. Залежність довжини радіотраси від кута місця при проходженні сигналу в прошарку атмосфери насиченому водяними парами в полярних координатах

Для більшості території України найбільш ймовірна величина часу випаду дощів складає $T_D=0,1\%$ [2, 3], тоді маємо $L_{д[дБ]} \approx 0,2$ дБ.

$L_{н[дБ]}$ – втрати через рефракцію і неточності наведення антен. Рефракція радіохвиль призводить до утворення кута між дійсним і уявним напрямом на супутник, в результаті чого з'являється додаткове послаблення сигналу, викликане невірним наведенням антени земної станції на супутник. Кутове відхилення, викликане рефракцією, складає декілька десятих долів градуса і може бути скомпенсованим або зведеним до мінімуму попередньою корекцією направленості антен. При автоматичному наведенні антен по максимуму сигналу, вплив рефракції практично виключається. Цей вид втрат носить статистичний характер, що не піддається оцінці і може приблизно на 1дБ збільшити загальні втрати. Отже, $L_{н[дБ]} \approx 1$ дБ.

$L_{п[дБ]}$ – поляризаційні втрати. Ці втрати складаються з втрат, що викликані неузгодженістю площин поляризації, втрат, пов'язаних з ефектом Фарадея і втрат через деполяризацію хвиль в гідрометеорах.

Втрати, що викликаються неузгодженістю поляризації, виникають в результаті зміни взаємної орієнтації антен земної станції і супутника, що має визначальне значення при використанні лінійної вертикальної або горизонтальної поляризації. Виникаючі при цьому втрати можуть досягати 10 дБ, однак використання кругової поляризації дозволяє зробити цю складову поляризаційних втрат досить малою. Слід. При коефіцієнтах еліптичності поляризації приймаючої і передаючої антен $e_1=e_2=0,8$ з [2]

$$L_{п[дБ]} \approx 0,4 \text{ дБ.}$$

Ефект Фарадея полягає в повороті площини поляризації радіохвиль під дією магнітного поля Землі і найбільш впливає на сигнали з лінійною поляризацією. Втрати через деполяризацію радіохвиль в гідрометеорах зумовлені несферичністю форми і особливістю траєкторії падіння опадів. Цей вид втрат носить статистичний характер, пов'язаний із статистикою випадання дощів.

Таким чином, сумарні додаткові втрати енергії ЕМХ становлять:

$$L_{дод[дБ]} = 0,3 + 0,2 + 1 + 0,4 = 1,9 \text{ дБ.}$$

або

$$L_{дод} = 10^{0,1 \cdot L_{дод[дБ]}} \quad ()$$

де $L_{дод[дБ]}$ – додаткові втрати, виражені в дБ;

$$L_{дод} = 10^{0,1 \cdot 1,9} \approx 1,5 \text{ рази.}$$

Порівняємо цю величину з втратами сигналу у вільному середовищі, розрахованими вище – $A_B=156$ дБ (для частоти 1,7 ГГц) та робимо висновок, що вплив сумарних додаткових втрат незначним чином впливає на затухання сигналу на трасі супутник Метор-Земля.

Висновки

- для вирішення задач гідрометеорології, оперативних задач моніторингу стану навколишнього середовища відіграють дані отримані з полярно-орбітальних супутників дистанційного зондування Землі;
- полярні супутники рухаються по низькій (800-1000 км) орбіті і здатні надавати якісні дані про поточний стан температури навколишнього середовища;
- сигнал у супутникових лініях зв'язку піддається впливу великої кількості факторів: впливу атмосфери, рефракції, впливу дощових опадів, затуханню в гідрометеорах;
- втрати сигналів при розповсюдженні у вільному просторі залежать від довжини хвилі і відстані радіолінії і для орбіти супутника Метор складають 156 дБ;
- сумарні додаткові втрати для на радіолінії супутник Метор-Земля складають 1,9 дБ.

Література

1. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа /В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко – М.: Экотрендз, 2005. – 384с.
2. Кантор Л.Я. Спутниковая связь и вещание – М: Радио и связь, 1988. – 345с.
3. Коржик В.И. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений /В.И. Коржик, Л.М. Финк, К.Н. Щелкунов. – М: Радио и связь, 1981. – 232 с.

Надійшла до редакції
21.10.2010 р.