

УДК 621.396.662.072.078

Козелков С. В., Коршун Н. В.

Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ УМОВ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІОХВИЛЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ 4G ТА 5G

Проаналізовано питання впливу середовища поширення радіохвиль на стійкість радіосигналів, що використовуються в технологіях 4G і 5G. Досліджено характер впливу на якість зв'язку основних радіофізичних явищ, що мають місце при розповсюдженні широкопоздовжових надвисокочастотних та вкрай високочастотних радіосигналів. Отримано загальні аналітичні вирази для точного визначення довжини тропосферної ділянки найбільш важливих в прикладному відношенні супутникових радіоліній та знаходження залежності даної довжини від величини робочих кутів місця.

Ключові слова: супутниковий зв'язок, надвисокочастотні та вкрай високочастотні радіосигнали, загасання, багатопроменеве поширення.

Kozelkov S. V., Korshun N. V.

State University of Telecommunications, Kyiv

ANALYSIS OF CONDITIONS OF RADIO WAVES PROPAGATION FOR 4G AND 5G TECHNOLOGIES

Impact of the radio waves propagation environment on durability of radio signals which are used in 4G and 5G technologies was analyzed. The of main radio-physical phenomena which take and place at passing of broadband super-high-frequency and extremely high-frequency radio signals through troposphere are systematized. The of nature of influence of radiophysical phenomena on the quality of communication was researched. It of is rotined that the quantitative degree of influence of radio-physical processes on quality of passing to information depends on the length of troposphere radio-section connection. Common of analytical expressions are got for exact determination of length of troposphere area of most essential in the applied relation satellite radioline and finding of dependence of this length from the size of workings place corners.

Keywords: satellite communication, ultrahigh frequency and extremely high frequency radio signals, attenuation, multipath propagation.

Козелков С. В., Коршун Н. В.

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ 4G И 5G

Проанализированы вопросы влияния среды распространения радиоволн на стойкость радиосигналов, которые используются в технологиях 4G и 5G. Исследован характер влияния на качество связи основных радиофизических явлений, которые имеют место при распространении широкополосных сверхвысокочастотных и крайне высокочастотных радиосигналов. Получены общие аналитические выражения для точного определения длины тропосферного участка наиболее важных в прикладном отношении спутниковых радиоліній и нахождения зависимости данной длины от величины рабочих углов места.

Ключевые слова: спутниковая связь, сверхвысокочастотные и крайне высокочастотные радиосигналы, затухания, многолучевое распространение.

© Козелков С. В., Коршун Н. В., 2017

Вступ. На сьогодні супутниковий зв'язок являє собою найбільш комерціалізований космічний сектор з використанням наземного прийому. Традиційно «телекомунікації» стосуються двох фундаментально відмінних концепцій з операційної точки зору, хоча обидві вимагають використання радіочастот (або, що не відноситься, як правило, до супутникового зв'язку, кабелів і проводів), технічно-операційні мережі між ними часто є "розмитими" і, як наслідок, їх не завжди приймають різними за своєю природою: двосторонній зв'язок «точка-точка» (традиційно телефон, телефакс, телеграф і т.д.) і односторонній багатоточковий зв'язок («трансляція», що включає в себе радіо і телебачення) відповідно. Останнє є предметом регулювання окремими правилами. При цьому супутниковий зв'язок сприймається як просте використання радіосигналів для спілкування в обидві сторони з різними об'єктами в космічному просторі – це супутники дистанційного зондування Землі, зондів далекого космосу або пілотованих космічних апаратів, а також супутниковий зв'язок з використанням спеціально сконструйованих супутників як частини інфраструктури для передачі повідомлень.

Міжнародний союз електрозв'язку як основний законодавець галузі визначив дев'ять частотних діапазонів відповідно до свого Регламенту і дванадцять частотних діапазонів відповідно до стандарту IEEE 521-2002. При цьому визначені космічні послуги потенційним споживачам.

Таким чином, з'являється можливість створення не тільки перспективної мережі мобільного зв'язку з використанням супутникового сегмента, а й використання орбітальної побудови космічних апаратів для створення глобальної інформаційної мережі технологій 4G і 5G. З огляду на головні принципи і підходи до 5G визначені ключові рішення і потенційні технологічні компоненти 5G.

Дослідження особливостей впливу середовища поширення радіохвиль на стійкість радіосигналів. В даний час стрімко розвивається світовий супутниковий ринок, особливо в напрямку використання наносупутників як транспортного середовища. Особливий інтерес для забезпечення глобального характеру інформаційної мережі 5G представляє побудова супутникових систем за типами та класифікацією орбіт і вибору висот орбіт для низькоорбітальної побудови.

З огляду на радіочастоти, що використовуються в технологіях 4G і 5G, особливо гостро постає питання впливу середовища поширення радіохвиль на стійкість радіосигналів відповідно до розробленої класифікації.

Сучасні світові тенденції направлені на практичне освоєння сантиметрового і міліметрового діапазонів довжин хвиль. Оскільки тропосферна ділянка – невід'ємна частина проходження більшості реальних надвисокочастотних та вкрай високочастотних радіосигналів космічних апаратів (КА), а особливості тропосферного розповсюдження ширококутових сигналів сантиметрового і міліметрового діапазонів вивчені недостатньо повно, доцільно провести аналіз специфікації ефектів вказаного вище розповсюдження радіохвиль та оцінити їх вплив на якість передачі інформації.

Розглянемо особливості нижньої частини атмосфери – тропосферу: наявність в ній гідрометеорів в рідкому та твердому стані – крапель води та снігу. Систематизуємо основні радіофізичні явища, що відбуваються при проходженні ширококутових надвисокочастотних та вкрай високочастотних радіосигналів через тропосферу з вказанням характеру їх впливу на ефективність функціонування систем зв'язку. Результати даної класифікації наведені в табл. 1.

Зазначимо, що конкретний (кількісний) ступінь впливу описаних в таблиці радіофізичних процесів на якість передачі інформації залежить від протяжності тропосферної ділянки радіолінії зв'язку. Внаслідок цього має теоретичний та практичний інтерес отримання загальних аналітичних виразів для точного визначення довжини тропосферної ділянки найбільш важливих в прикладному відношенні супутникових радіоліній та знаходження залежності даної довжини від величини робочих кутів місця.

Класифікація радіофізичних явищ

Табл. 1

№ з/п	Найменування фізичного ефекту	Причини виникнення фізичного ефекту	Характер впливу на якість зв'язку
1	2	3	4
1.1	Загасання сигналів	а) молекулярне загасання в "спокійній" тропосфері; б) загасання в гідрометрах	Зниження енергетичного потенціалу Те саме
1.2	Розсіювання сигналів	а) розсіювання в гідрометрах; б) турбулентний розсіювання	Те саме
1.3	Рефракція радіохвиль	а) регулярна рефракція б) флуктуація коефіцієнта заломлення	Те саме
1.4	Мерехтіння сигналів	а) мерехтіння внаслідок рефракції радіохвиль; б) мерехтіння в турбулентностях; в) мерехтіння в водних або льодомістячих хмарах.	Те саме
1.5	Доплерівські спотворення (зміщення і деформації спектра) сигналів	Варіації коефіцієнта заломлення хвиль в середовищі поширення	Те саме
1.6	Зниження просторової і поляризаційної вибірковості антен	Зростання помилок і втрат наведення антен	Те саме
1.7	Зменшення ефективного коефіцієнта підсилення антен	а) флуктуації кута приходу хвилі б) порушення когерентності (фазової декореляції) сигналів по апертурі через фазову дисперсію траєкторій променів	Те саме
1.8	Випромінювання (шум) тропосфери	а) випромінювання "спокійної" тропосфери б) випромінювання гідрометеорів в) випромінювання турбулентності	Поява додаткової перешкоди і спотворень
1.9	Дифракція радіохвиль	Дифракція на рельєфі місцевості	Те саме
1.10	Утворення тропосферних хвилеводних каналів	а) приймальні "хвилеводи"; б) підняті "хвилеводи"	
1.11	Деполаризація радіохвиль	а) деполаризація в гідрометеорах; б) деполаризація в турбулентних утвореннях; в) деполаризація внаслідок фарадеевських обертань; г) деполаризація в водних або льодомістячих хмарах; д) деполаризація внаслідок багатопроменевого поширення.	

Класифікація радіофізичних явищ

Продовження табл. 1

1	2	3	4
1.12	Зростання рівня внутрішньо-міжканальних перешкод	а) зниження просторової і поляризаційної вибіркості антен; б) утворення просторових хвилеводних каналів; в) дифракція на рельєфі місцевості.	
1.13	Багатопроменеве поширення	а) дискретна багатопроменевість (рахункова множина).	Обмеження максимальної швидкості променів
1.14	Дисперсійні властивості тропосфери	а) амплітуда дисперсія внаслідок нерівномірного загасання в смузі частот сигналу; б) амплітудно-фазова дисперсія в турбулентних утвореннях	Те саме
1.15	Зростання рівня спотворень сигналів	Збільшення втрат при оптимальній обробці сигналів внаслідок обмеження смуги і радіусу когерентного тропосферного каналу	

З метою отримання таких аналітичних виразів використаємо геодезичну модель Землі, що описується геоїдом, та врахуємо також відомі відмінності по висоті тропосферного шару в екваторіальній і при полюсних областях. Тоді можна показати, що шукана довжина в діапазоні значень кута місця $\varphi \in [-85^\circ, +85^\circ]$ визначається з наступної формули:

$$d = |x - x_1| \sqrt{1 + K_1^2} ; \quad (1)$$

де K_1 – коефіцієнт еліптичності, причому

$$K_1 = \frac{\sin \varphi + K \cos \varphi}{\cos \varphi - K \sin \varphi} ; \quad (2)$$

$$K_1 \doteq \operatorname{tg} \varphi ; \quad (3)$$

$$|x - x_1| = -\frac{(b + \beta)^2 x_1 + K_1 y_1 (a + \alpha)}{(b - \beta)^2 + K_1^2 (a + \alpha)^2} \pm \frac{\sqrt{\left[\left[(b + \beta)^2 x_1 + K_1 y_1 (a + \alpha) \right]^2 - \left[(b + \beta)^2 + K_1^2 (a + \alpha)^2 \right] \times \left[(a + \alpha)^2 (b + \beta)^2 - (b + \beta)^2 x_1^2 - (a + \alpha)^2 y_1^2 \right] \right.}}{(b + \beta)^2 + K_1^2 (a + \alpha)^2} , \quad (4)$$

де a, b – велика та мала напівосі земного геоїда (в кілометрах);

$(a + \alpha), (b + \beta)$ – апогей та перигей тропосферного еліпсоїда (в кілометрах), що описується рівнянням вигляду:

$$\frac{x^2}{(a + \alpha)^2} + \frac{y^2}{(b + \beta)^2} = 1 ; \quad (5)$$

$\{x_1, y_1\}$ – географічні координати наземного терміналу радіолінії.

При цьому

$$x_1 = \frac{ab}{\sqrt{b^2 + K^2 a^2}}; \quad (6)$$

$$y_1 = \frac{Kab}{b^2 + K^2 a^2}. \quad (7)$$

Вважаючи, що наземний термінал радіолінії розташований на географічній широті 45° , використовуючи формули (1)-(7), знаходимо кількісну залежність d від значення φ . Результати розрахунків графічно представлені на рис. 1 (суцільна лінія), приведені також відповідні залежності для вертикальної (штрихпунктирна лінія) та горизонтальної (штрихова лінія) складових загальної довжини d тропосферної ділянки супутникової радіолінії.

Аналіз кривих показує, що збільшення діапазону робочих кутів місця, пов'язане зі зростанням протяжності тропосферної ділянки радіоліній, що використовуються, неминуче супроводжується збільшенням ступеня впливу даних ефектів. При цьому очевидно, що підвищення робочої частоти та (або) розширення спектральної смуги передачі радіоліній неминуче супроводжується збільшенням ступеня впливу даних ефектів, що, в свою чергу, обумовлює необхідність обмеження робочого сектору надійного радіозв'язку все більшими значеннями кутів місця.

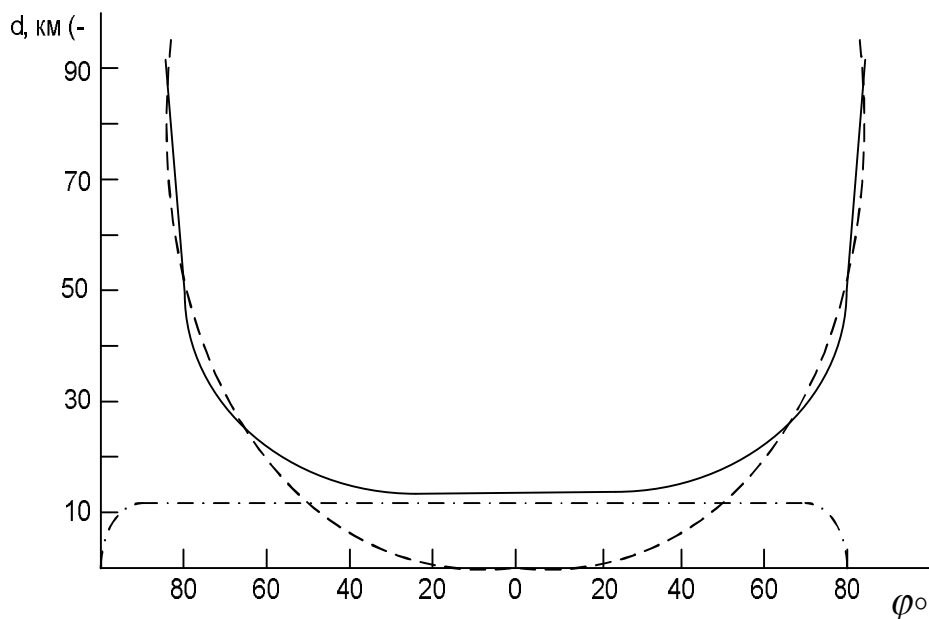


Рис.1. Результати розрахунків

Таким чином, вибір частотних параметрів ліній зв'язку здійснює істотний вплив на цілий ряд характеристик радіоліній. Це свідчить про необхідність комплексного підходу до розробки, проектування та експлуатації радіосистем та, в першу чергу, про доцільність спільного цілеспрямованого врахування радіофізичних, радіотехнічних та інших факторів.

Висновки

Досліджено характер впливу на якість зв'язку основних радіофізичних явищ, що мають місце при розповсюдженні широкосмугових надвисокочастотних та вкрай високочастотних радіосигналів. Отримано загальні аналітичні вирази для точного визначення довжини тропосферної ділянки найбільш важливих в прикладному відношенні

супутникових радіоліній та знаходження залежності даної довжини від величини робочих кутів місця.

Незважаючи на задовільний рівень вивченості «традиційних» радіофізичних ефектів тропосферного розповсюдження НВЧ радіохвиль, недостатньо повно досліджені специфічні явища при проходженні ширококугових сигналів міліметрового діапазону довжин хвиль. Це істотно стримує подальший прогрес в практичній організації та високоефективній експлуатації надшвидкісних НВЧ радіоліній цифрового зв'язку. Тому основною метою досліджень ефектів розповсюдження міліметрових є виявлення та всебічне вивчення специфічних для НВЧ діапазону явищ, в даному випадку – стосовно проблеми створення високошвидкісних когерентних каналів синхронної передачі цифрової інформації.

Список використаної літератури

1. Мороз І. В. Спосіб адаптивного прийому вкрай високочастотних радіосигналів / І. В. Мороз, В. Ф. Заїка, С. В. Козелков // Зв'язок. – 2016. – №3. – 7-9.
2. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Бернард Склад. – 2 изд. – Москва: Вильямс, 2007. – 1104 с.
3. Быховский М. А. Развитие телекоммуникаций. На пути к информационному обществу. Развитие спутниковых телекоммуникационных систем / М. А. Быховский. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2014. – 436 с.

References

1. Moroz I. V., Zaika V. F., Kozelkov S. V. "Method of adaptive reception of ultrahigh-frequency radio signals." *Zviyazok 3* (2016): 7-9.
2. Sklyar B. "Digital Communications: Fundamentals and Applications." *Moskva: Wiliams* (2007): 1104.
3. Byhovskiy M. A. "Development of telecommunications. On the way to the information society. Development of satellite telecommunication systems." *Moskva: Goryachaya liniya-Telecom* (2014): 436.

Автори статті

Козелков Сергій Вікторович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту телекомунікацій та інформатизації, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (93) 542 27 73. E-mail: nniti_dut@ukr.net.

Коршун Наталія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету телекомунікацій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (93) 603 90 64. E-mail: natalie_korshun@ukr.net.

Authors of the article

Kozelkov Serhiy Viktorovych – doctor of sciences (technical), director of the educational-scientific institute of telecommunications and informatization, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (93) 542 27 73. E-mail: nniti_dut@ukr.net.

Korshun Nataliia Volodymyrivna – candidate of sciences (technic), assistant professor, dean of telecommunications faculty, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (93) 603 90 64. E-mail: natalie_korshun@ukr.net.

Дата надходження
в редакцію: 24.08.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор М. М. Степанов
Державний університет телекомунікацій, м. Київ