

УДК 621.396.24

Г.П.Химич, В.Л.Дунець, канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ 4G - 5G

G.Khymych, V. Dunets, Ph.D

SATELLITE TELECOMMUNICATION SYSTEMS BASED ON 4G - 5G TECHNOLOGIES

Починаючи з 1957 року, запуску першого штучного супутника Землі (ШСЗ), почалась ера освоєння космосу та супутникових систем зв'язку, рис.1, передачі даних, телебачення, моніторингу земної поверхні, дослідження атмосфери, навігації та ін. ШСЗ знаходяться на кількох навколоземних орбітах: геостаціонарна, високо- та низько еліптичні, низькі кругові, синхронні Сонцю.



Рисунок 1. Варіант конфігурації системи зв'язку через супутниковий ретранслятор геостаціонарної орбіти.



Рисунок 2. Анімаційна модель супутникового Інтернету

Спочатку системи мобільного зв'язку розміщались на ШСЗ (Inmarsat, 13 супутників, Thuraya, 4 супутники, ACeS) геостаціонарної (GEO) орбіти (екваторіальна площина) на висоті 36000км, де три супутники, розміщені через 120 кут. град., могли створити глобальну систему зв'язку. Стаціонарний супутниковий Інтернет забезпечують наступні системи супутників: **SES**, 43 супутники, **Intelsat**, 50 супутників, **Eutelsat**, 37 супутників, **Telesat**, 14 супутників та ін. Для забезпечення зв'язку на полюсах земної поверхні використовуються ШСЗ еліптичних орбіт (HEO) на висотах (апогей 40000км, перигей 2000км). Навігаційні супутникові системи розміщаються на ШСЗ, які знаходяться на середніх орбітах (MEO), висоти від 5000км до 20000км над рівнем земної поверхні. ШСЗ, які використовуються для моніторингу земної поверхні, систем зв'язку, передачі даних особливо в останні роки, розміщаються на низьких орбітах (LEO) на висотах від 250км до 2000км.

Починаючи з 90-их років телекомунікаційні ШСЗ, які знаходяться на низьких орбітах зайняли щільне місце у створенні мобільних супутникових систем зв'язку, Iridium (66 супутників), Globalstar (24 - 48 супутників), Teledesic (288 супутників), Gonets (36 супутників), ICO (40 – 70 супутників), Orbcomm (39 супутників), **SES** (16 супутників, Ellipso (15 супутників)). Для супутникових систем зв'язку виділені Регламентом радіозв'язку наступні діапазони частот, табл.1.

Основним недоліком супутникових систем зв'язку, передачі даних, Інтернет є затримка сигналів (270 – 600) msec. Створивши нову концепцію, використовуючи інноваційні технології передачі даних кілька світових компаній (OneWeb (Велика Британія), SpaceX (США), Google (США), Samsung (Південна Корея), Facebook (США), Fidelity, Boeing, Apple та ін.) заявили про впровадження протягом (2019 – 2025) років глобального супутникового Інтернету на основі низьколітаючих ШСЗ, рис.2, так як він залишається малодоступною і незручною послугою для багатьох жителів планети.

Дешевий і високошвидкісний доступ в Інтернет з будь-якої точки Землі вже не здається нездійсненною мрією із представленням своїх проєктів вищеназваних компаній.

Таблиця 1

Назва діапазону	Смуга частот, ГГц
L - діапазон	1,452-1,550 і 1,610-1,710
S - діапазон	1,93 - 2,70
C - діапазон	3,40 - 5,25 і 5,725 - 7,075
X - діапазон	7,25 - 8,40
Ku - діапазон	10,70 - 12,75 і 12,75 - 14,80
Ka - діапазон	15,40 - 26,50 і 27,00 - 30,20
K - діапазон	84,0 - 86,0

Основні переваги таких систем – це малі затримки сигналів, глобальне покриття земної поверхні, велика швидкодія, низька вартість послуг. Враховуючи заявлені технічні характеристики такої мережі у проєкті Starlink компанії SpaceX Ілона Маска (Elon Musk) можна прирівняти до технології наземних стільникових мереж 4G. Порівняння стандартів (технологій) показано в табл. 2.

Таблиця 2.

Порівняння стандартів (технологій) 3G, 4G, 5G.

Характеристики	3G	4G	5G
Пікова швидкість (DL)	42 (63) Mbps	~ 1 Gbps	~ 10 Gbps
Середня швидкість (DL)	3 Mbps	15 Mbps	~ 100 Mbps
Середня затримка	150 ms	50 ms	< 5 ms
Активних з'єднань	50/соту	500/соту	1 млн/км ²
Підтримка мобільності	~ 300 км/год	~ 400 км/год	> 500 км/год
Спектральна ефективність	0,75 bps/Hz	1,5 bps/Hz	> 3 bps/Hz

Найбільш швидкими темпами розгортається супутникова мережа швидкісного глобального Інтернету компанією SpaceX (проєкт Starlink). Компанія SpaceX вже вивела на орбіту понад 700 ШСЗ. Компанія OneWeb вивела на орбіту 6 ШСЗ. Заявлені технічні характеристики Інтернет-мереж цих компаній представлені в табл. 3.

Таблиця 3.

	SpaceX	OneWeb
Висота орбіти LEO, км	330-350, 1110 - 1325	800-950
Кількість ШСЗ	11943 + 30000	648
Швидкодія, Mbps	1000	500-2500
Затримка сигналу, ms	25 - 35	
Діапазон частот, ГГц	Ku (11.0 - 17.8), Ka (17.7 - 30.5), V (31.0 - 70.0)	Ku

Згідно з дослідженням Web Foundation, 3,8 млрд. людей не мають доступу до Інтернету, тому що живуть у віддалених селах або бідних міських районах. Супутниковий інтернет може частково вирішити цю проблему. Глобальне покриття Землі недорогим високошвидкісним інтернет-доступом створить нові можливості у сферах освіти, транспорту, туризму, будівництва.[1] За допомогою цих мереж з'єднають не лише віддалені райони Землі без покриття, а й заплановану колонію землян на Марсі (інтерв'ю Ілона Маска журналу Bloomberg Businessweek).

Література

1. <https://www.epravda.com.ua/publications/2019/03/11/645957/>