

Лекція із навчальної дисципліни «Системи оперативно-диспетчерського управління» по темі: Системи супутникового зв'язку

План

1. Вступ: Принципи та переваги супутникового зв'язку
2. Технічні основи супутникового каналу
3. Провайдери супутникового зв'язку в Україні. Еволюція обладнання Starlink

1. Вступ: Принципи та переваги супутникового зв'язку

Супутниковий зв'язок базується на системі односторонньої або двохсторонньої передачі радіочастотних сигналів по лінії прямої видимості LOS (Line-of-Sight), яка складається з передавальної станції, що використовує канал лінії зв'язку “вгору”, супутникової системи, яка знаходиться у космосі та працює в якості вузла відновлення сигналу, а також однієї або декількох *приймальних станцій*, які зайняті моніторингом каналу зв'язку “вниз” з метою прийому інформації. У випадку двохстороннього зв'язку, обидві кінцеві станції наділені функціями передачі та прийому сигналів.

Супутникові системи зв'язку, охоплюють своїми послугами дистанційне зондування Землі, комерційну та військову сфери. Забезпечують важливі глобальні можливості підключення та спостереження, підтримку мобільного зв'язку у вигляді доступу до Інтернету і телеметрії в режимі реального часу з літаків та кораблів.

Швидкі темпи розвитку супутникових систем зв'язку обумовлені перевагами якими вони наділені. До них, зокрема, відноситься висока якість та надійність каналів зв'язку, велика пропускна здатність, необмежені площини покриття та конфіденційність зв'язку. Дані переваги, які визначають їхні широкі можливості, роблять їх унікальними і ефективними засобами зв'язку. Супутниковий зв'язок нині є одним з основних видів міжнародного і військового зв'язку на великі та середні відстані. Використання супутників Землі в організації зв'язку продовжує розширюватися з розвитком існуючих телекомунікаційних мереж.

2. Технічні основи супутникового каналу

Супутниковий канал зв'язку є каналом радіозв'язку між передавальною і приймальною наземними станціями безпосередньо через супутник зв'язку. Таким чином на супутнику розміщується прийомо-передавач (транспондер, ретранслятор) з відповідними приймальними і передавальними антенами, і такий супутник виконує функцію супутника-ретранслятора. Супутниковий канал зв'язку складається з лінії зв'язку “вгору” та “вниз”; супутникове

електронне обладнання (тобто транспондер) буде перетворювати частоту лінії зв'язку “вгору” в частоту лінії зв'язку “вниз”. Робоча частота є надвисокою частотою SHF (Super High Frequency) діапазону (3–30 ГГц). Регулювання і практика визначають робочу частоту, пропускну здатність каналу, а також смугу пропускання підканалів в межах великого каналу. Для лінії зв'язку “вгору” та “вниз” використовують різні частоти.

Частоти вище 30 МГц здатні проходити через іоносферу та можуть використовуватися для здійснення зв'язку з супутниками (частоти нижче 30 МГц відбиваються від іоносфери на певних етапах циклу сонячної активності, проте комерційні супутникові служби використовують більш високі частоти). Діапазон 3–30 ГГц представляє собою корисний набір частот для геостационарного супутникового зв'язку; ці частоти також називають надвисокими частотами. Частоти від 30 до 300 ГГц називаються частотами “міліметрового” діапазону; вище 300 ГГц на перший план виходять оптичні методи, їх називають частотами “дальнього інфрачервоного діапазону” або “квазіоптичні частоти”.

3. Провайдери супутникового зв'язку в Україні. Еволюція обладнання Starlink

Супутниковий зв'язок в системі ДСНС України передбачає використання послуг двох провайдерів це українська компанія DATA Group і американська Starlink.

DATA Group - Український оператор зв'язку, зокрема, у сегменті телекомунікацій для великого бізнесу. Послуги: побудова корпоративних мереж, інтернет-послуги та телебачення, доступ до банківських сервісів, послуги дата-центру, передача даних, телефонія, хмарні сервіси та послуги з кібербезпеки DataProtect.

Наприкінці 2022 року клієнтами компанії були 95 % банків України, а також представники торгових мереж, промисловості, державного, енергетичного секторів та інших сегментів.

Starlink - проєкт американської компанії SpaceX щодо розробки високопродуктивної супутникової платформи для виготовлення супутників зв'язку та запусків великої їх кількості (сузір'я) у космос. Система надає доступ до широкосмугового інтернету у будь-якій точці планети. Першою компанія почала обслуговувати Канаду та США (2020), Україна – в 2022 році. Проєкт почався у 2015 році, а перші два супутники було запущено у тестовий політ 22 лютого 2018 року.

Супутники SpaceX перебувають на низькій навколоземній орбіті, приблизно у 550 кілометрах над поверхнею Землі, тому затримка сигналу майже непомітна — до 20 мілісекунд, на відміну від найближчих конкурентів, у яких сигнал може затримуватися на секунди. Із наземними станціями й терміналами користувачів зв'язок забезпечується Ка-антенами через радіодіапазони з частотою 12 ГГц, а між собою супутники взаємодіють на частоті понад 10 тисяч ГГц завдяки лазерному променю.

Комунікація терміналів та супутників - діапазони частот

Супутники передають дані для терміналів у діапазоні **10,7-12,7 ГГц**

Термінали передають дані на супутники у діапазоні **14,0-14,5 ГГц**

Type of Link and Transmission Direction	Initial Frequency Ranges ⁵	Final Frequency Ranges
User Downlink Satellite-to-User Terminal	10.7 – 12.7 GHz	10.7 – 12.7 GHz
Gateway Downlink Satellite to Gateway	10.7 – 12.7 GHz	10.7 – 12.7 GHz 17.8 – 18.6 GHz 18.8 – 19.3 GHz 19.7 – 20.2 GHz
User Uplink User Terminal to Satellite	14.0 – 14.5 GHz	12.75 – 13.25 GHz ⁶ 14.0 – 14.5 GHz
Gateway Uplink Gateway to Satellite	14.0 – 14.5 GHz	14.0 – 14.5 GHz 27.5 – 29.1 GHz 29.5 – 30.0 GHz
TT&C Downlink	12.15 – 12.25 GHz	12.15 – 12.25 GHz 18.55 – 18.60 GHz
TT&C Uplink	13.85 – 14.00 GHz	13.85 – 14.00 GHz

Для передачі даних мережа супутникового зв'язку Starlink використовує певні частотні діапазони. Ці діапазони зазвичай зарезервовані національними регуляторами, але в сучасних еаліях існують випадки, коли діапазони Starlink співпадають із діапазонами, використовуваними деякими іншими типами обладнання - мобільний зв'язок, радары та іншими.

Супутники передають дані для наземних терміналів у діапазоні **10,7-12,7 ГГц**. Наземні термінали передають дані на супутники у діапазоні **14,0-14,5 ГГц**, але може бути використаний і діапазон **12,75-13,25 ГГц**. Супутники передають дані для наземних станцій Starlink у діапазонах **10,7-12,7 ГГц, 17,8-18,6 ГГц, 18,8-19,3 ГГц та 19,7-20,2 ГГц**. Наземні станції Starlink передають дані на супутники у діапазонах **14,0-14,5 ГГц, 27,5-29,1 ГГц та 29,5-30,0 ГГц**.

По суті супутник працює як ретранслятор. Він передає сигнал від наземної станції до призначеного терміналу користувача і назад. Щоб весь механізм успішно працював, необхідне покриття супутником усіх наземних елементів, тобто станцій і терміналів. Для цього відстань між останніми має бути не більше 1000 км. Наземні станції забезпечують підключення клієнтів до мережі Internet. Фінальний компонент системи - це приватний термінал, який підключається до роутера.

Умови роботи терміналів Starlink

Термінал працює завжди, якщо має:

- Чистий доступ до неба без перешкод (конус 100° , а ще краще 140°)
- Нерухоме вертикальне (або з нахиленням до 15°) встановлення
- Якісне живлення (відповідно технічній специфікації)
- Активний статус терміналу в обліковому записі Starlink



Супутниковий інтернет Starlink від компанії SpaceX постійно розвивається, і за час свого існування було випущено кілька поколінь супутників із покращеними характеристиками. Перше покоління супутників Starlink V1.0 почало розгортатися у 2019 році. Вони мали масу приблизно 260 кг, підтримували лише базові функції зв'язку й забезпечували інтернет-

покриття на великих територіях. Однак ці супутники мали певні обмеження щодо продуктивності та надійності.

У 2021 році з'явилося друге покоління – Starlink V1.5. Головною особливістю цієї версії стало вдосконалене лазерне з'єднання між супутниками, що дозволило зменшити залежність від наземних станцій і значно покращити якість зв'язку у віддалених регіонах. Також було покращено захист від космічного сміття завдяки більш ефективному згорянню в атмосфері після завершення терміну служби.

У 2023 році SpaceX почала розгортання Starlink V2 Mini – проміжної версії між V1.5 і майбутніми повноцінними супутниками другого покоління. Ці пристрої більші за попередників і мають удвічі більшу пропускну здатність, що дозволяє обслуговувати більше користувачів. Вони також оснащені вдосконаленими лазерними терміналами для прямого обміну даними між супутниками.

Наступним кроком стане запуск повномасштабних супутників Starlink V2, які будуть значно більшими й важчими, маючи масу до 2 тонн. Вони передбачені для запуску на ракеті Starship і забезпечать ще вищу пропускну здатність та покращене покриття. Крім того, вони підтримуватимуть технологію Direct-to-Cell, що дозволить забезпечувати прямий зв'язок зі смартфонами без необхідності спеціальних терміналів.

Таким чином, Starlink поступово розвивається, забезпечуючи краще покриття, вищу швидкість з'єднання та надійніший зв'язок навіть у найвіддаленіших куточках світу.

Термінали Starlink, які використовуються для підключення до супутникового інтернету, також зазнали кілька поколінь оновлень. Кожна нова версія покращувала продуктивність, енергоефективність та зручність використання.

Starlink Gen 1 (2019 – 2021)

Перше покоління терміналів представляло собою круглу антену діаметром 58 см із моторизованим механізмом для автоматичного

налаштування на супутники. Цей пристрій мав високу продуктивність, але був громіздким і споживав від 100 до 150 Вт енергії. Він комплектувався маршрутизатором без вбудованого Wi-Fi 6 та був досить складним у встановленні через необхідність точного розміщення.

Starlink Gen 2 (2021 – 2023)

Друге покоління антен отримало змінений дизайн – вони стали прямокутними (50 × 30 см) і легшими. Моторизоване регулювання замінили на електронне сканування, що зробило конструкцію простішою та надійнішою. Також було знижене енергоспоживання (від 50 до 75 Вт), а комплектний маршрутизатор отримав підтримку Wi-Fi 6. Це покоління стало більш придатним для мобільного використання завдяки портативному форм-фактору.

Starlink Gen 3 (2024 – теперішній час)

Остання версія терміналу, представлена у 2024 році, має ще компактніший та ефективніший дизайн. Головною відмінністю стала підтримка нових технологій, зокрема Direct-to-Cell, що дозволяє підключати смартфони напряму без терміналу. Також покращено антену для стабільнішого зв'язку в складних погодних умовах. Цей термінал споживає менше електроенергії (до 40 Вт) і підтримує роботу з ширшим діапазоном частот, що дозволяє працювати у більш віддалених регіонах.

Крім стаціонарних моделей, існують також Starlink Roam (колишній Starlink RV) для мобільного використання та Starlink Maritime для морських суден. Також SpaceX працює над інтеграцією Starlink у літаки та автомобілі, що розширює сферу застосування супутникового інтернету.

Налаштування Starlink.

Що входить у стандартну станцію Starlink:

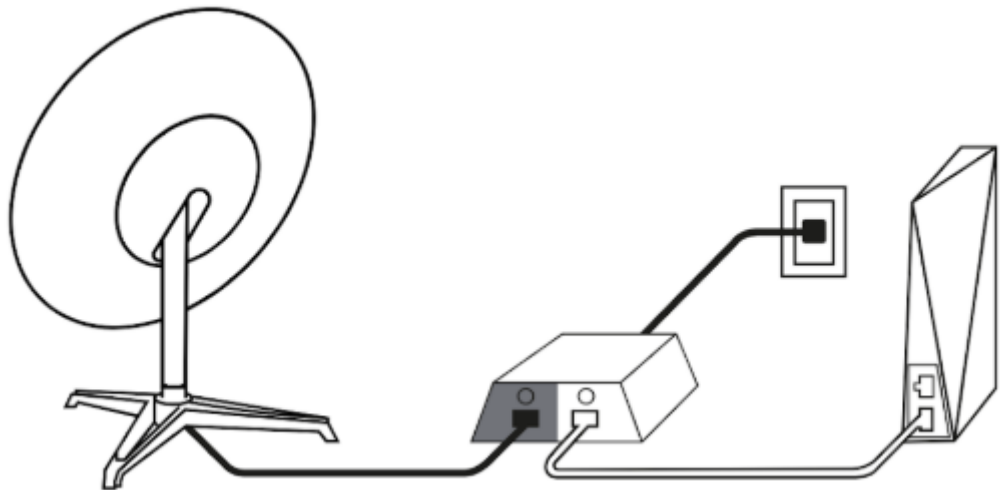
- Антена-термінал, яка ловить сигнали супутників і передає їх на маршрутизатор.
- Кріплення-тримач для антени для її точного позиціонування та надійної установки.
- Кабель для підключення антени до маршрутизатора.

- Кабель живлення для маршрутизатора.
- Безпосередньо маршрутизатор для Wi-Fi підключення.

Якщо ви плануєте додатково використовувати свій роутер для підключення, також можуть знадобитися кабель Starlink Mini та адаптер для Ethernet-підключення вашого роутера до маршрутизатора з комплекту.

Підключення антени та маршрутизатора

- Вийміть обладнання з коробки;
- Виберіть відповідне місце для розміщення антени та роутера;
- Підключіть антени кабелем до роутера (роз'єми кабеля нагадують micro-USB, тому помилитися буде непросто);
- Вставте кабель живлення у роутер та підключіть його до електромережі або джерела живлення;
- Дочекайтеся, поки антена налаштується на супутники перед підключенням інтернету Starlink: це можна побачити на LED-індикаторі внизу роутера.



Після підключення живлення слід зачекати хвилин 10, доки не запуститься Wi-Fi. SSID (назва мережі), вже встановлений компанією Starlink. Ім'я SSID з'явиться у списку Wi-Fi мереж на Вашому мобільному телефоні.

Змініть ім'я на нейтральне, наприклад, «Кафе Квітка». Пароль вказаний на коробці, як серійний номер приладу.

Після підключення до мережі Wi-Fi необхідно зачекати ще хвилин 10, доки система не підключиться до найближчого супутника. Після цього буде надано доступ до мережі Інтернету.

Використовуйте програму Starlink на смартфоні. Використовуйте функцію Visibility («видимість») програми Starlink, щоб переконатися, що ніщо не буде перешкоджати передачі сигналу на супутник у вибраному місці.

Список використаних джерел

1. Конахович Г. Ф., Палагін В. В. *Супутникові системи зв'язку, мовлення та навігації*. Київ : ДУТ, 2017. 315 с.
2. Кучерявенко П. С. *Супутникові системи зв'язку та телебачення*. Київ : Логос, 2010. 456 с.
3. Roddy D. *Satellite Communications*. 4th ed. New York : McGraw-Hill, 2006. 672 p.
4. Pratt T., Bostian C. W., Allnutt J. E. *Satellite Communications*. 2nd ed. John Wiley & Sons, 2003. 580 p.
5. Локк М. *Супутниковий зв'язок*. 2-ге вид. Київ : Техніка, 2009. 312 с.