

УДК 621.396

## СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТА РОЗВИТКУ СУПУТНИКОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ В СВІТІ І УКРАЇНІ. ЧАСТИНА 2

ІЛЬЧЕНКО М. Ю.<sup>1</sup>, КАПШТИК С. В.<sup>2</sup>, МЕЛЬНИК О. М.<sup>3</sup>, НАРИТНИК Т. М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
пров. Індустріальний, 2, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: ilch@kpi.ua,

<sup>2</sup> Національний центр управління та випробувань космічних засобів  
вул. Московська, 8, м. Київ, 01010, Україна. E-mail: ncuvkz@spacecenter.gov.ua

<sup>3</sup> ДП «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення»  
вул. Буніна, 31, м. Одеса, 65025, Україна. E-mail: infoall@uniirt.com.ua

## STATUS AND PROSPECTS OF THE USE AND DEVELOPMENT OF SATELLITE TELECOMMUNICATIONS IN THE WORLD AND IN UKRAINE. PART 2

ILCHENKO M. <sup>1</sup>, KAPSHTYK S. <sup>2</sup>, MELNYK A. <sup>3</sup>, NARYTNYK T. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Technical University of Ukraine “KPI behalf Sykorsky Igor”  
Industrialny lane, 2, Kiev, 03056, Ukraine. E-mail: ilch@kpi.ua

<sup>2</sup> National Space Facility Control and Testing Center  
Moskovska st., 8, Kiev, 01010, Ukraine. E-mail: ncuvkz@spacecenter.gov.ua

<sup>3</sup> SE “Ukrainian Research Institute of Radio and TV”  
Bunin st., 31, Odessa, 65026, Ukraine. E-mail: infoall@uniirt.com.ua

## СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СПУТНИКОВЫХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦИЙ В МИРЕ И В УКРАИНЕ. ЧАСТЬ 2

ИЛЬЧЕНКО М. Е.<sup>1</sup>, КАПШТЫК С. В.<sup>2</sup>, МЕЛЬНИК А. М.<sup>3</sup>, НАРЫТНИК Т. М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Национальный технический университет Украины «КПИ имени Игоря Сикорского»  
пер. Индустріальний, 2, г. Киев, 03056, Украина, E-mail: ilch@kpi.ua

<sup>2</sup> Национальный центр управления и испытаний космических средств  
ул. Московская, 8, м. Киев, 01010, Украина, E-mail: ncuvkz@spacecenter.gov.ua

<sup>3</sup> ГП «Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения»  
ул. Буніна, 31, г. Одесса, 65025, Украина, E-mail: infoall@uniirt.com.ua

**Анотація.** Розглянуто світовий стан і тенденції розвитку супутникового зв'язку, основні напрямки подальших наукових досліджень в області супутникових телекомунікацій на 2017–2025 роки, направлених на впровадження сучасних телекомунікаційних технологій в галузі супутникового зв'язку, а також видимі на сьогоднішній день задачі, які необхідно вирішити для успішного запуску першого вітчизняного телекомунікаційного супутника «Либідь». Постановка завдань ґрунтується на досвіді досліджень, проведених авторами та очолюваними авторами колективами за останні 10 років.

**Ключові слова.** Супутникові телекомунікації, ринок послуг, геостаціонарні супутники, низькоорбітальні системи супутникового зв'язку, супутники великої пропускної здатності, технології організації супутникових каналів, супутник «Либідь», ресурси супутникових систем телекомунікацій.

**Abstract.** There are considered world situation and trends of satellite communications, main directions of further studies in the field of satellite telecommunications for 2017–2025 years aimed at the introduction of modern telecommunication technologies in the field of satellite communications, as well as the problems that are currently visible to be solved for successful launch of the first domestic telecommunication satellite “Lybid”. The task statement is based on the experience of studies conducted by the authors and teams led by the authors over past 10 years.

**Keywords:** Satellite telecommunications, services market, geostationary satellites, low-orbital satellite systems, high bandwidth satellites, technology of satellite channels, “Lybid” satellite, satellite telecommunication resources.

**Аннотация.** Рассмотрено мировое состояние и тенденции развития спутниковой связи, основные направления дальнейших научных исследований в области спутниковых телекоммуникаций на 2017-2025 годы, направленных на внедрение современных телекоммуникационных технологий в области спутниковой связи, а также видимые на настоящий день задачи, которые необходимо решить для успешного запуска первого отечественного телекоммуникационного спутника «Либидь». Постановка задач основана на опыте исследований, проведенных авторами и возглавляемых авторами коллективами за последние 10 лет.

**Ключевые слова.** Спутниковые телекоммуникации, рынок услуг, геостаационарные спутники, низкоорбитальные системы спутниковой связи, спутники большой пропускной способности, технологии организации спутниковых каналов, спутник «Либидь», ресурсы спутниковых систем телекоммуникаций.

## ВСТУП

У розділах другої частини статті розглянуто негеостаціонарні телекомунікаційні системи та геостаціонарні системи з супутниками зв'язку великої пропускної здатності. Розподіл негеостаціонарних телекомунікаційних супутникових систем за типами орбіт наведено у першій частині статті в розділі щодо класифікації ССЗ.

## НЕГЕОСТАЦІОНАРНІ СИСТЕМИ

### Система Iridium

Назва системи пов'язана з порядковим номером 77 елемента Iridium в періодичній таблиці Менделєєва, оскільки передбачалась кількість супутників в угрупованні 77.

Розгортання системи Iridium почалося з 1997 року. З травня 1997 р. до червня 1999 р. на ЛЕО було виведено 85 КА, у 2002 р. ще 7 супутників. Гарантований термін роботи КА незначний, всього 5 років. На цей час зійшло з орбіти 22 КА. Із 77 супутників, що залишилися, 11 КА знаходяться у резерві. Гарантований термін роботи супутників першого покоління вже закінчився.

Вартість глобальної системи близька до 7 мільярдів доларів. Вартість супутника: 62 млн. дол. США.

Першу послугу мережі Iridium було надано у вересні 1998 році. Однак, незважаючи на те, що всі технічні вимоги було виконано, вона не мала успіху на ринку. Компанія не змогла отримати прибуток, достатний для обслуговування боргу, і компанія Iridium збанкрутувала [1]. Телекомунікаційна мережа офіційно завершила роботу 17 березня 2000 року після продажу 55 000 терміналів. Послуги в обмеженому обсязі, які ще на той період були доступні, припинилися з 24 серпня 2000 року.

20 листопада 2000 року активи Iridium LLC та його дочірніх компаній були продані Iridium Satellite LLC. У грудні 2001 року компанія заявила, що вона до 2010 року не має наміру запускати нові супутники та до 2020 року будувати нові супутники.

Нова компанія Iridium Satellite LLC розробила іншу стратегію роботи і з 2017 року почалось формування нового сузір'я. Були виведені на LEO 30 супутників нового покоління Iridium-NEXT (14.01.17, 25.06.17, 09.10.17) [1].

До угруповання Iridium-NEXT має входити 66 активних супутників в шести орбітальних площинах та 9 КА на резервних орбітах, дивись рисунок 22. Орбіти кругові, КА розташовані на висоті 780 кілометрів, нахил орбіти 86,4 градуса. Період обертання становить 100,5 хвилин [2],

На відміну від КА першого покоління супутники Iridium-NEXT забезпечать передавання даних у діапазоні L [2]. Швидкість передачі даних до 128 кбіт/с для мобільних терміналів, до 1,5 Мбіт/с для морських терміналів Iridium Pilot та високошвидкісні телекомунікаційні послуги у діапазоні Ka зі швидкістю до 8 Мбіт/с для фіксованих/переносних терміналів. [2]

Фазовані антени діапазону L, що їх встановлено на панелі, зверненій до Землі, генерують 48 передавальних/приймальних променів для зв'язку з терміналами. У наземну інфраструктуру входить від 55 до 75 шлюзів.

На цей час із 66 супутників, необхідних для забезпечення безшовного плавного глобального покриття, знаходяться в експлуатації тільки 64 активних КА (включаючи КА першого покоління), тому можна спостерігати перебої в обслуговуванні, особливо навколо екваторіального регіону.



Рисунок 22 – Сузір'я системи Iridium-NEXT

Систему Iridium також може бути використано для забезпечення передачі даних на інші супутники в космосі, що дозволяє керувати іншими космічними засобами, незалежно від положення наземних станцій і шлюзів.

Супутники обладнано платформами:

- КА Iridium – LM 7000 bus (Lockheed Martin);
- КА Iridium-NEXT – Elitebus 1000 (Thales Alenia Space).

Кожен супутник Iridium-NEXT оснащений двома керованими фідерними лініями, які працюють на частотах:

- 19,4 ГГц – 19,6 ГГц (космос – Земля);
- 29,1 ГГц – 29,3 ГГц, (Земля – космос),

що з'єднують супутник з наземним шлюзом і чотирма перехресними міжсупутниковими лініями зв'язку на частотах від 23.18 ГГц до 23.38 ГГц для організації каналів між сусідніми космічними апаратами.

Зв'язок між супутником Iridium і користувачем зазвичай здійснюється зі швидкістю 2,4 Кбіт/с, швидкість передачі даних в L-діапазоні для голосового зв'язку до 64 кбіт/с.

Мобільний зв'язок і передача коротких повідомлень здійснюється зі швидкостями від 512 кбіт/с до 1,5 Мбіт/с. За необхідності термінал OpenPort обслуговує клієнтів з більшою швидкістю передачі даних. Частоти в діапазоні L на лініях користувача від 1616,0 МГц до 1626,5 МГц [18].

Поки ще діючі супутники попереднього покоління по параметрам відрізняються частотами міжсупутникового зв'язку: 18,8 ГГц–20,2 ГГц/27,5 ГГц – 30,0 ГГц [17].

Відмітимо, що після детального аналізу компанія Iridium Satellite LLC заявила, що їх супутники другого покоління будуть також використовувати мікрохвильові, а не оптичні, міжсупутникові лінії зв'язку.

### **Система Orbcomm**

Orbcomm – це сімейство супутників зв'язку на низькій навколоземній орбіті, керованих американською компанією Orbcomm Inc. Система забезпечує глобальний двосторонній зв'язок та передачу даних [3].

Перший експериментальний супутник було виведено на орбіту у 1991 році. До кінця 1998 року було запущено ще 29 супутників. Послуги у повному масштабі система почала надавати з грудня 1998 року через 28 КА.

У травні 2007 року компанія Orbcomm оголосила про запуск 25 нових супутників для поповнення своєї системи. На першому етапі на орбіту з висотою 670 км запущено 7 супутників для перевірки супутників і сумісності з попередніми супутниками, після чого вони перейшли на орбіту висотою 750 км з нахилом 48,5°. На другому етапі додалося ще 18 КА з такими же орбітальними параметрами.

На червень 2008 року на LEO діяли 43 КА. У 2008 році компанія запланувала роботи щодо збільшення і модернізацію існуючого супутникового угруповання Orbcomm та розробку КА наступного покоління.

У травні 2008 з корпорацією Sierra Nevada (SNC) був підписаний контракт на будівництво нових 18 супутників другого покоління Orbcomm Generation 2 (OG2) з можливістю придбання до 30 додаткових супутників OG2, щоб збільшити і оновити супутникове угруповання Orbcomm.

У липні 2014 року запущено 6 нових КА, у грудні 2015 ще 11. На жовтень 2017 р. на LEO знаходилося 60 космічних апаратів [3], [4].

Повна мережа складається з 4 полярних супутників і 32 супутників, під нахилом до 45°. Висота орбіти близько 775 км. Загальна вартість системи оцінюється в 330 мільйонів доларів

Супутники другого покоління побудовані на платформі SH1000A (виробник SNC) з гарантованим терміном роботи 10 років і мають параметри які дещо відрізняється від раніш виведених на орбіту:

- висота орбіти 674 км – 684 км (перигей – апогей);
- нахил орбіти 47 °;
- період обертання 98,2 хв.;
- діапазон частот: лінія вниз 137,0 МГц – 138,0 МГц,  
лінія вгору 148,0 МГц – 150,05 МГц.

– пропускна здатність щодо обміну повідомленнями до (6,4 – 10) кбайт на лініях від і до користувача.

Станом на травень 2016 р., система Orbcomm мала понад 1,6 мільйонів користувачів.

Центри керування системи розташовані в США, Бразилії, Японії та Південній Кореї, а регіональні та міжнародні земні станції (ЗС) в США (4), в Кюрасау, Італії, Австралії, Казахстані, Бразилії, Аргентині, Марокко, Японія, Південній Кореї та Малайзії. Планується додаткове розміщення земних станцій.

### **Система Globalstar**

Globalstar – це супутникова телекомунікаційна система, засноване на низькоорбітальному (LEO) супутниковому угрупованню, розгорнутому Loral Corp. та Qualcomm Inc., яке пропонує недорогі високоякісні послуги глобальної телефонії та інші цифрові телекомунікаційні послуги в недоступних районах, які не обслуговуються існуючими телекомунікаційними системами.

Система забезпечує супутниковий телефонний зв'язок та низькошвидкісну передачу даних у більш ніж у 120 країнах світу, що кілька нагадує супутникові системи Iridium і Orbcomm [5].

Загальна вартість системи 4 млрд. дол. США.

У початковому варіанті сузір'я складалось з 48 супутників з додатковими чотирма супутниками на орбіті в якості запасних. Гарантований термін працездатності супутників 7,5 років [4], [5]. Супутники першого покоління розташовані на висоті 1414 км у восьми орбітальних площинах по шість супутників у кожній під нахилом 52 ° та обслуговували територію Землі від 70° північної широти до 70° південної широти.

Офіційний початок роботи системи 11 жовтня 1999 року.

У зв'язку з низькою ефективністю роботи у січні 2001 року Loral Corp. заявила, що припинить фінансування системи Globalstar. У лютому 2002 року компанія подала заяву про реорганізацію, метою якої було створення нової компанії до якої перейшли б всі наявні активи.

Перші чотири КА були запущені на у лютому 1998 р. У липні 2002 року нова компанія Globalstar наказала у Space Systems Loral (SS/L) нове сузір'я КА (конструкція та майбутнє будівництво). Це сузір'я буде працювати в діапазоні 2 ГГц, матиме 56 супутників на LEO та 5 супут-

ників на ГСО. Запуск мав початися в 2006 році. З травня 2007 року по жовтень 2007 року на LEO було виведено 7 нових КА.

В грудні 2006 року компанія Globalstar оголосила, що Alcatel Alenia Space отримала контракт на розробку КА другого покоління.

У жовтні 2006 року компанія Globalstar залучила Alcatel Alenia Space (тепер Thales Alenia Space) до робіт над супутниками нового покоління. Планується побудувати 48 супутників. Супутники були проєктовані з очікуваним терміном роботи 15 років, що значно більше, ніж у супутників першого покоління.

У грудні 2006 року контракт на супутники другого покоління був підписаний компанією Alcatel.

У червні 2009 року було забезпечено фінансування розробки КА другого покоління (близько 738 мільйонів доларів).

Крім того, у квітні 2007 року Globalstar підписала договір з Thales Alenia Space про модернізацію свого супутникового угруповання, про що вже була мова вище. Перші шість супутників другого покоління були запуснені 19 жовтня 2010 року. Останній запуск КА був здійснений у лютому 2013 року. Зараз на LEO вже знаходиться 24 КА нового покоління.

У вересні 2012 року на замовлення Thales Alenia Space було замовлено ще 6 додаткових супутників.

Всього до лютого 2013 року, включно, на LEO вже з було виведено 80 КА, з яких на цей час шість супутників зійшло з орбіти.

Розташування супутників на орбітах наведено на рисунку 23.

Параметри корисної навантаги [4], [5], [6]:

- частоти каналу користувача: лінія вниз 1610,0 МГц – 1626,5 МГц, лінія вгору 2483,5 МГц – 2500,0 МГц;
- частоти каналу ЗС: лінія вниз 6875,0 МГц – 7055,0 МГц, лінія вгору 5091,0 МГц – 5250,0 МГц;
- швидкість передачі (телефонія, факс, дані) – 9,6 кбіт/с.

Параметри орбіти супутників нового покоління та його навантаження дещо відрізняються [5]:

- висота орбіти 920 км – 930 км;
- нахил орбіти 52 ° (такий же);
- період обертання 103 хв.;
- діапазон частот:
  - лінія вниз – 32 напівкомплекти стволів, що працюють у діапазонах від С до S (значення частот не вказані)
  - лінія вгору – 32 напівкомплекти стволів, що працюють у діапазонах від L до С (значення частот не вказані).



Рисунок 23 – Сузір'я системи Globalstar

Зв'язок з віддаленими абонентами мережі здійснюється через земні станції (ЗС) по схемі користувач – супутник – ЗС – ... – ЗС – супутник – користувач. Міжсупутниковий зв'язок відсутній.

По всьому світу розташовані двадцять чотири шлюзових земних станцій системи Globalstar. Мережа наземних шлюзових станцій забезпечує підключення від 40 супутників до комунікованої телефонної мережі загального користування та Інтернету. Шлюзові земні станції надають клієнтам локалізовані регіональні телефонні номери для своїх супутникових телефонів. За причиною їх відсутності за станом на травень 2012 року голосова та повнодуплексна служба передавання даних не функціонувала на більшій частині території Африки, південноазійського субконтиненту та більшості районів океану.

### **Система Teledesic**

Система Telegenic компанії Teledesic Corp., заснованої в 1994 році, призначалась для створення комерційного ширококутного супутникового зв'язку для Інтернет-послуг [7].

Використовуючи супутники з низькою навколосемною орбітою, невеликі антени планувалося забезпечення швидкостей передачі на лінії вгору до 100 Мбіт/с і на лінії вниз до 720 Мбіт/с.

Перший варіант проекту (1994 рік) вартістю більше 9 млрд. дол. США був надзвичайно амбіційним. А саме 840 супутників (з резервними КА) повинні були бути запуснені на кругову, навколополярну сонячно-синхронну орбіту. Висота орбіти 700 кілометрів, нахил  $98,2^\circ$ .

Передбачалось формування 21 кругових орбітальних площин зі 40 активними супутниками, розташованими рівномірно у кожній площині, та до чотирьох робочих резервних КА на орбітальну площину (див. рисунок 24).

Перший демонстраційний супутник Batsat був запущений у лютому 1998 року. Потім його було перейменовано у Teledesic T1. У жовтні 2000 року він припинив своє існування.

Система розраховувалася на використання діапазону Ка для відправлення та отримання сигналів від користувачів. Кожен супутник діяв як вузол у великомасштабній мережі комутації пакетів. Послуги планувалось надавати з 2002 року.

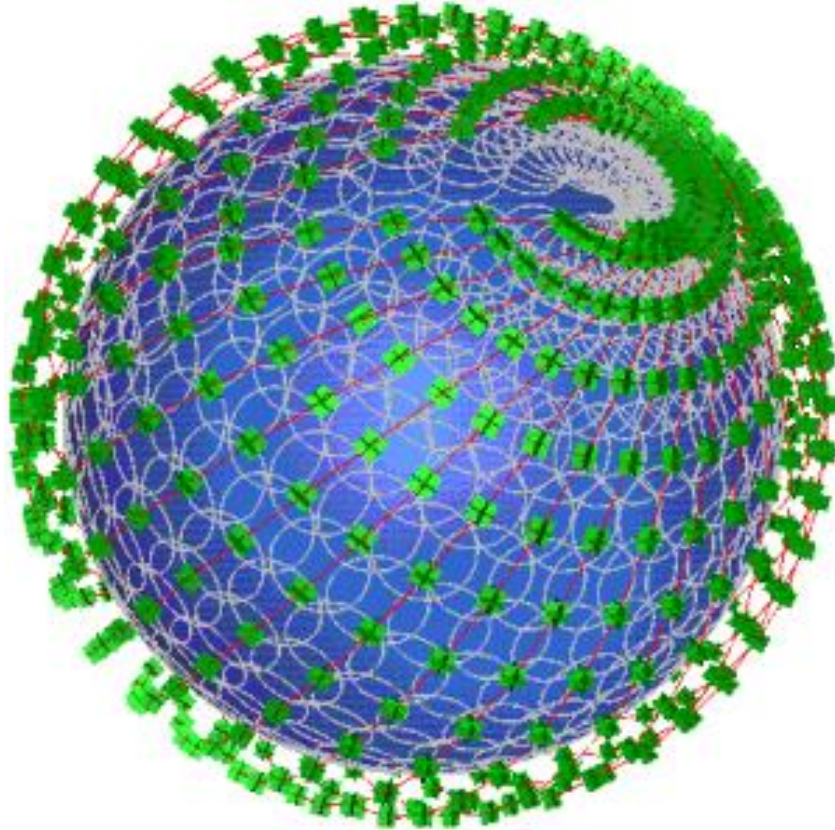


Рисунок 24 – Сузір'я системи Teledesic

У березні 1997 року системі Teledesic були виділені діапазони частот:

- для каналів зв'язку з користувачами: 28,6 ГГц – 29,1 ГГц для лінії вгору;  
18,8 ГГц – 19,3 ГГц для лінії вгору;
- для каналів зв'язку зі шлюзами: 27,6 ГГц – 28,4 ГГц для лінії вгору;  
18,8 ГГц – 19,3 ГГц для лінії вгору;
- для міжсупутникової лінії 65,0 ГГц – 71,0 ГГц.

Планувалось по міжсупутниковій лінії організація каналу зв'язку кожного супутника з вісьмома іншими супутниками у тій же і сусідніх площинах.



В 1997 році кількість КА угруповання було зменшено до 288 активних супутників і змінена висота орбіти на 1400 км.

У лютому 2002 року компанія Teledesic заявила, що буде потрібно тільки 30 супутників! З такою кількістю супутників і намірами забезпечити майже глобальне покриття можна припустити, що КА мають працювати на ICO замість LEO, як спочатку планувалося.

Не маючи надії на комерційний успіх у вересні 2002 року компанія Teledesic призупинила замовлення на супутники в Alenia Spazio.

Комерційний провал перших варіантів подібних проектів Iridium і Globalstar та інших систем та подання заявки на банкрутство було основним фактором зупинки проекту і Teledesic офіційно призупинив роботу з будівництва супутників 1 жовтня 2002 року.

У червні 2003 року Teledesic повернула свою ліцензію на використання діапазону Ка.

### Система ICO

В січні 1995 року була створена компанія ICO Global Communications Limited, призначенням якої афішувалось надання послуг мобільного рухомого персонального зв'язку зі використанням супутників [8], [9].

Перші 12 супутників фірма ICO замовила в липні 1995 року і ще три на вересень 2000 року. Супутники планувалось побудувати на основі популярної платформи BSS-601 виробництва Boeing Satellite Systems Inc. (BSS), модифікованими під особливі умови призначення (мобільний зв'язок) [8], [10]. Супутники призначались в основному для надання глобальних послуг мобільної телефонії. У планах, що були оголошені у 2000 році, передбачалась в рамках окремого контракту з BSS будівництво нового сузір'я ICO для забезпечення високоякісних послуг передачі голосу і пакетних даних.

Оператор New ICO розраховував почати обслуговування в 2003 році.

Зі запланованої кількості на орбіту було виведено тільки два КА. Запуск першого супутника 12 березня 2000 року був невдалим. Другий супутник ICO був успішно запущений 19 червня 2001 року, але потерпів аварію на орбіті.

Для захисту від банкрутства ICO Global Communications Limited 17 травня 2000 року була організована нова компанія New ICO.

Супутники призначались для використання в глобальній супутниковій системі мобільного зв'язку, яка б пропонувала б цифрові послуги передавання даних і голосу, а також супутниковий еквівалент бездротових послуг третього покоління (3G), включаючи бездротовий Інтернет та інші послуги передачі пакетних даних.

У запланованому варіанті супутникове угруповання ICO мало складатися з 10 активних супутників з гарантованим терміном роботи 12 років, які працювали б у двох ортогональних площинах проміжної орбіти на висоті 10 390 км. Нахил орбіти до екватора – 45 °, причому у кожній площині знаходилось п'ять робочих супутників і один резервний [4], [8], [10].

Кожен супутник планувався на використання інтегрованого корисного навантаження у діапазонах C і S із загальною потужністю 5 100 Вт і максимальною ефективною ізотропне випромінюваною потужністю 58 дБВт для підтримки 4500 одночасних телефонних дзвінків. Задачі створення каналів, маршрутизації і формування променя для корисного навантаження S-діапазону призначались вбудованому цифровому процесору.

Цифровий процесор мав маршрутизувати повідомлення мобільним користувачам у будь-яке місце зони покриття в S-діапазоні. Зони формувалися 163 променями.

Розташування супутників на орбіті дозволяло формувати зони обслуговування зі значним перекриттям, гарантуючи, що, зазвичай, два, але іноді три або чотири супутники будуть в будь-який момент доступні користувачеві і вузлу супутникового доступу. Кожен супутник мав охоплювати приблизно 25 відсотків поверхні Землі в даний момент часу. [10]

Широкосмуговий зв'язок супутника з наземними мережами реалізовувався б через ІСО-NET, за інтернет-протоколом (IP). Земна мережа складалася з 12 ЗС (SAN), розташованих по всьому світу, з'єднаних через високошвидкісні лінії зв'язку. Одинадцять ЗС були побудовані.

Після повного розгортання у користувачів ІСО мав бути вибір з двох ручних компактних терміналів: телефон, сумісний з мережею ІСО і стандартним GSM-протоколом, пристрій для адаптації стандартного стільникового телефону для супутникового зв'язку. Двохрежимні термінали автоматично вибирали супутникові або наземні режими роботи під управлінням користувача за умови наявності супутникових і наземних систем і організації обслуговування користувача.

Після тривалої перерви Boeing відновив розробку 10 супутників ІСО в серпні 2003 року. Розробка ще 3 КА була скасована. У квітні 2004 року Boeing припинив дію контракту з ІСО. Роботу над проектом було припинено.

Супутник ІСО F2 продовжував працювати, хоча і без використання, до березня 2012 року, коли його власник вирішив відмовитися від супутника.

У квітні 2005 року було оголошено про створення єдиного геостационарного супутника ІСО, який було виведено на ГСО 14.04.2008 р. і передано потім під керування оператора Echostar під назвою Echostar G1.

### **Система OneWeb**

Система OneWeb (до 2014 року WorldVu) запропонована компанією WorldVu Satellites Ltd. сумісною компанією OneWeb (WorldVu) і Airbus, другій за величиною космічної компанії в світі по виробництву недорогих супутників у великих обсягах [11].

Планується формування сузір'я приблизно з 648 супутників (дивись рисунок 25), через які очікують у 2019 році надання глобальних широкосмугових інтернет-послуг для окремих споживачів.

У червні 2014 року компанія WorldVu, (яка пізніше буде перейменовано в OneWeb) придбала права на спектр супутників, який колись належав компанії SkyBridge, яка збанкрутувала в 2000 році, намагаючись запропонувати послуги широкосмугового Інтернету через супутник.

Супутники OneWeb будуть розташовані на круговій низькій навколосемній орбіті. Висота та інші орбітальні параметри, частоти на яких працюють супутники на лініях вниз і вгору приведені у приведеному вище посилянні.

За інформацією власника більша частина ресурсів першого варіанту сузір'я з 648 супутників була продана і OneWeb розглядає можливість майже в 4 рази збільшити кількість супутників у сузір'ї, додавши 1972 додаткових КА, на які він має пріоритетні права.

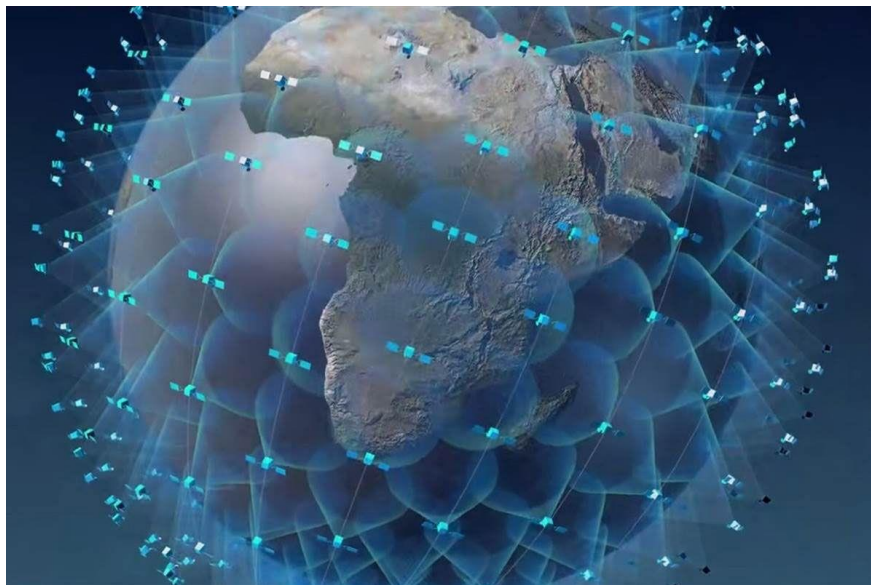


Рисунок 25 – Сузір'я системи OneWeb

### Система SpaceX

Супутникове угруповання SpaceX є проектом розробки компанії SpaceX недорогої високопродуктивної супутникової телекомунікаційної системи і необхідного обладнання для земних станцій, які будуть використовуватися для впровадження нової супутникової системи інтернет-зв'язку.

Супутникова телекомунікаційна мережа SpaceX була оголошена публічно в січні 2015 року зі прогнозованою можливістю підтримки пропускну здатності в режимі передачі до 50 відсотків всього трафіку і до 10 відсотків місцевого інтернет-трафіку в містах з високою щільністю трафіку.

За станом на червень 2015 року компанія планувала запускити в 2016 році два прототипи супутника і розгорнути первісну супутникове угруповання до 2020 року. Однак у 2017 році зміни в конструкції відсунули запуск супутників.

Очікується, що робота по проектуванню системи почнеться з 2019 року і продовжуватимуть до 2020 року зі запуском першого КА у 2019 році. За словами керівництва компанії розгортання системи, якщо воно здійсниться, не буде до кінця цього десятиліття або до початку наступного.

У листопаді 2016 року SpaceX подала заявку у FCC (Федеральна комісія з питань зв'язку) США на «негеостационарну орбітальну супутникову систему в фіксованій супутникової службі з використанням смуг частот Ku і Ka» [12].

У березні 2017 року SpaceX подала в FCC плани розгортання сузір'я з більше 7500 супутників V-діапазону. Заплановане розташування КА на НГО наведено на рисунку 26 [11].

Заявкою передбачалось надання через супутники на негеосінхронних орбітах послуг зв'язку в спектрі частот, який раніше широко не використовувався для комерційних комунікаційних цілей. Це низькоорбітальне сузір'я мало працювати у діапазоні V-(VLEO) та складатися з 7518 супутників, що розглядалось як подальший розвиток системи з раніше запропонованими 4425 супутниками, які будуть функціонувати в діапазонах Ka і Ku.

Хоча планом березня 2017 року планувався запуск робочих супутників сузір'я в 2019 році але, на думку розробників, повне формування сузір'я не буде завершено до 2024 року.

Очікується, що спочатку будуть запущені на навколоземну орбіту 4 425 супутників, формуючи на висотах від 1110 кілометрів до 1325 кілометрів сузір'я зі супутниками у 83 площинах.

На першому етапі розгортання системи запланований запуск 1600 КА, ще 2825 супутників має бути виведено на орбіту на кінець розгортання системи [13].

До вересня 2017 року запланована загальна кількість мікросупутників VLEO не змінилося, але висота кожного сузір'я стала іншою:

- велика група (VLEO) – 7518 мікросупутників буде діяти на висоті 340 кілометрів,
- менша група – 4425 супутників буде перебувати на висоті 1110 км – 1325 км.

Інформація щодо орбітальних параметрів наведена у наданому вище посиланні.



**Рисунок 26** – Сузір'я системи SpaceX

У 2015-2017 роках виникли розбіжності з регулювальними органами з ліцензування спектру частот, заявлених для цих великих сузір'їв супутників. Традиційним і історичним нормативним правилом, встановленим регулювальним органом США, є термін максимум шість років, який дозволяє оператору блокувати використання цінного радіочастотного спектру без розгортання свого флоту.

Міжнародний регулятор МСЕ, до середини 2017 року запропонував міжнародну директиву, щодо зменшення цього терміну. Ці обмеження суттєво утрудняють проведення робіт з розгортання великого сузір'я. Boeing і SpaceX подали клопотання в FCC США про відмову від цього правила.

У серпні 2017 року SpaceX подала юридичні документи, щодо зміни назви для своєї супутникової широкопasmової мережі на Starlink [13].

### **Система Ellipso**

Система Ellipso – це ССЗ розробки приватної компанії Mobile Communications Holdings Inc. що є дочірньою компанією Ellipso, Inc., яка займається проектуванням супутникових систем зв'язку [14].

ССЗ планувалось сформувати з двох сузір'їв негеостаціонарних супутників Borelias і Concordia (дивись рисунок 27) [15].

Сузір'я Borelias містить 15 супутників розташованих на високоеліптичній орбіті (НЕО) у двох площинах під нахилом  $116,5^\circ$ . Висота орбіти у апогеї 7800 км, у перигеї 520 км.

Сузір'я Concordia містить 4 супутника на круговій екваторіальній орбіті на висоті 7800 км.

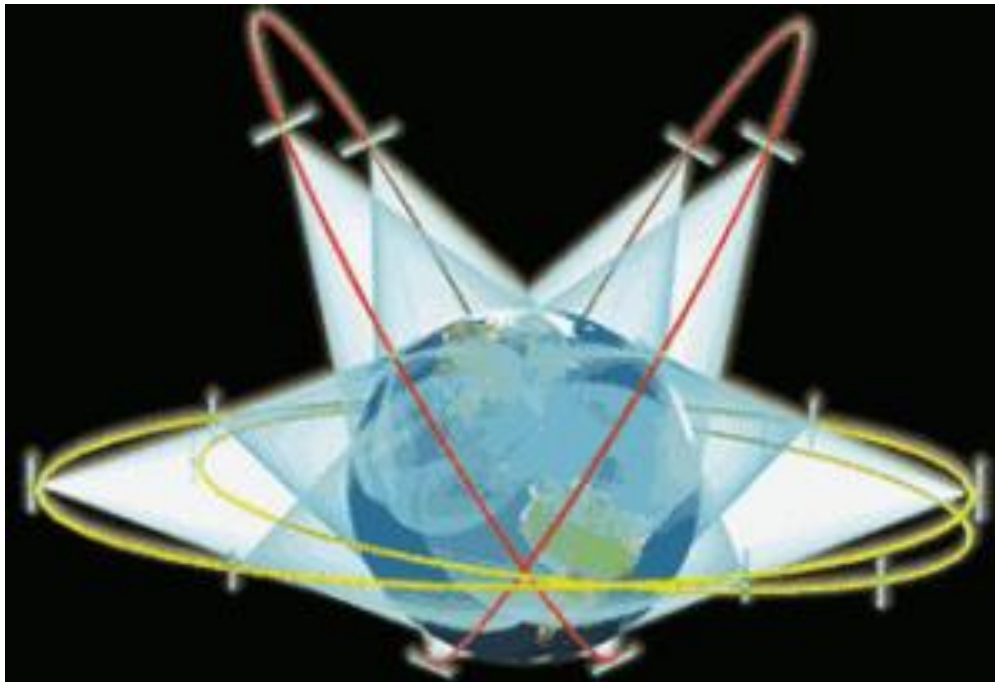


Рисунок 27 – Орбіти супутників системи Ellipso

Для надання традиційних послуг телефонії, факсу, передачі даних, електронної пошти на території найбільш заселеної частини земної кулі (між  $40^\circ$  півд. ш. і  $40^\circ$  півн. ш.) у планах формування 19 променів, розрахованих на передачу інформації у смузі частот 16,5 МГц.

Використовуючи унікальні та запатентовані еліптичні орбіти, ці системи мали на меті забезпечити низьку вартість голосових, даних, факсимільних, пейджингових послуг абонентам у всьому світі за цінами, нижчими у систем конкурентів.

Компанія пройшла через стадію банкрутства. Жодного супутника не запущено, роботи по проекту не проводяться.

За думкою деяких фахівців після невдачі попередніх широко розрекламованих проектів негеостаціонарних систем супутникового зв'язку, що привели до банкрутств, або погроз банкрутства дуже мало ймовірно, що можна зробити успішний бізнес на цих системах.

### ГЕОСТАЦІОНАРНІ СИСТЕМИ З ВЕЛИКОЮ ПРОПУСКНОЮ ЗДАТНІСТЮ

На межі ХХ-ХХІ сторіччя завдяки досягненням в багатьох галузях техніки та технологій було сформовано типовий погляд на вимоги, показники та склад бортового обладнання геостаціонарних супутників зв'язку загального призначення ФСС, РСС та МСС.

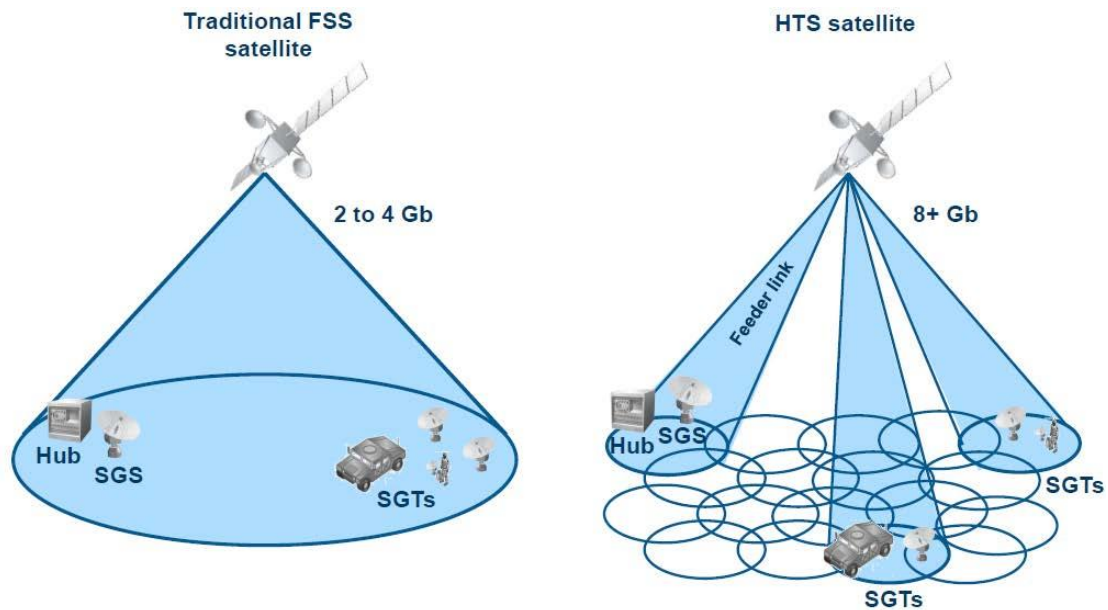
Супутник цивільного застосування, як правило, має корисне навантаження в одному або декількох частотних діапазонах L, S, C, Ku, Ka (в залежності від супутникової служби: FCC, CCM, MCC), надає послуги в глобальних, напівглобальних або декількох регіональних променях, які формуються антенами із контурною діаграмою спрямованості. В кожному промені послуга надається декількома транспондерами (стволами), що досягається за рахунок дво- або триразового використання виділеної смуги частот. Сумарна смуга пропускання класичного супутника не перевищує 10 ГГц. Гарантований термін експлуатації супутників даного класу становить 15 років.

Роботи із стандартизації протоколів і форматів супутникового зв'язку та мовлення сімейства DVB-S (в тому числі їх подальший розвиток, стандарти DVB-S2, DVB-S2x), проведені комітетом із стандартизації DVB, дозволили стандартизувати вимоги до високочастотного обладнання корисного навантаження геостаціонарних супутників і сформувати типову модель тракту лінії супутникового зв'язку [16].

Наприкінці першого десятиріччя XXI сторіччя з'явився новий тип геостаціонарних супутників зв'язку – супутники великої пропускнуої здатності (скор. англ. HTS – High Throughput Satellite).

Висока продуктивність використання ресурсів супутника досягається за рахунок формування зон покриття. Для зв'язку між ЗС через супутник першого покоління (рисунок 28.а) використовується тільки один раз спектр частот, виділений супутниковій мережі.

При формуванні зони покриття сукупністю малих зон покриття, сусідні зони яких перетинаються (рисунок 28.б), виділений мережі спектр частот можна повторно використовувати у зонах покриття, що не перетинаються.



а) Покриття від КА 1 покоління

б) Покриття від КА 2 покоління

**Рисунок 28** – Принцип формування зон покриття

Аналіз характеристик HTS супутників дозволив виділити основні особливості та відмінності цих КА. До них відносяться:

– зона обслуговування супутника формується за допомогою великої кількості вузьких променів з діаграмою спрямованості кругової або еліптичної форми. Ширина кожного променя становить  $1,0^\circ - 1,5^\circ$ . Кількість променів становить до 100 і більше;

– кожен надвузький промінь підключено тільки до одного каналу з широкою смугою пропускання від 62,5 МГц до 250 МГц і навіть 500 МГц;

– багаторазове, більше 10 разів, використання виділеної смуги частот;

– для забезпечення роботи супутників високої пропускної здатності потрібна спеціальна наземна інфраструктура – шлюзові станції (Gateway). Для зв'язку із шлюзовими станціями використовуються спеціально виділені промені – промені шлюзових станцій;

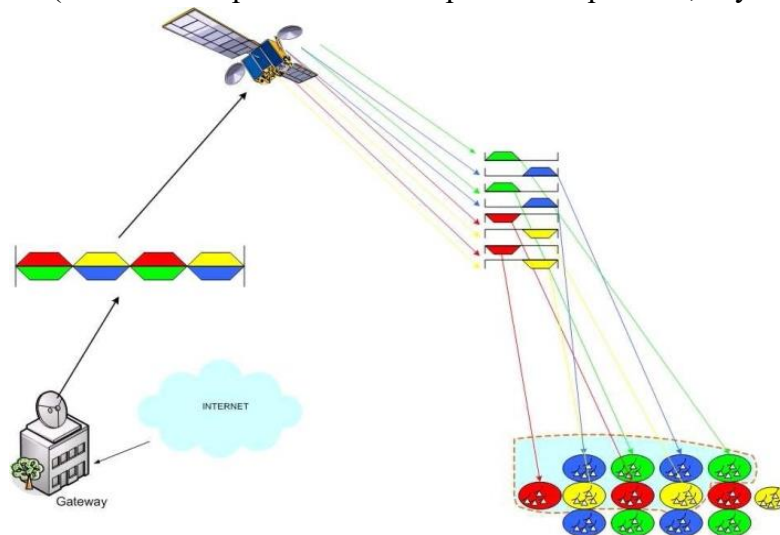
– для підвищення ефективності роботи системи усі шлюзові станції з'єднуються окремою мережею наземних оптично-волоконних ліній.

– сумарний ресурс супутників великої пропускної здатності першого покоління становить 70...150 Гбіт/с, а для супутників другого покоління збільшено до 300...500 Гбіт/с.

Вихід на ринок послуг супутникового зв'язку систем із супутниками великої пропускної здатності стимулювало процеси перерозподілу трафіку та більш чіткої сегментації ринку послуг. На підставі аналізу тенденцій світового та регіональних ринків супутникового зв'язку компанія Euroconsult сформулювала наступні відмінності для традиційних супутників та супутників великої пропускної здатності [17]. Зокрема:– традиційні супутники мають широкі зони обслуговування і найкраще забезпечують передачу трафіку телевізійного мовлення та великих VSAT-мереж промислового призначення;

– супутники великої пропускної здатності забезпечують низьку вартість передавання в розрахунку на одиницю переданої інформації і найкраще пристосовані для передачі трафіку в з'єднаннях типу «точка-точка» в режимі широкопasmового зв'язку.

Принцип організації повторного використання зазначеній системі смуги частот проілюстровано на рисунку 29 (одним кольором позначені транспондер і зона, яку він покриває).



**Рисунок 29** – Принцип повторного використання смуги частот

У каналах зі супутниками 1 покоління швидкість передавання інформації у діапазонах С, Ku, Ka досягає 10 Гбіт/с при вартості КА від 200 млн. дол. до 300 млн. дол. Вартість супутника з

високою пропускною здатністю майже у два рази більше та знаходиться у межах від 300 млн. дол. до 500 млн. дол., але за рахунок того, що швидкість передавання інформації в каналі можна значно збільшити (до 300 Гбіт/с), то при цьому сплата за один переданий через такі КА біт менше, ніж у мережах зі звичайними КА.

Перелік супутників високої пропускної здатності та деякі їх параметри наведені у таблиці 8 [4], [6], [18], [19], [20].

За двохрічний період, з 1 січня 2016 року по кінця грудня 2017 року, на геостационарну орбіту було запущено 49 комерційних супутника зв'язку (див. таблицю 1, частина 1). З них 13 КА відносяться до класу супутників великої пропускної здатності, а саме: EchoStar-18, EchoStar-19, Eutelsat-65WA, Eutelsat-172B, Inmarsat-5F4, Intelsat-29e, Intelsat-32e, Intelsat-33e, Intelsat-35e, Intelsat-37e, NBN Co-1B, SES-15, ViaSat-2. Решта (36 КА) – до супутників першого покоління.

Таблиця 8 – Супутники високої ефективності

Дата	Супутник	Діапазон			ЕІВП, дБВт	Примітки
		C	Ku	Ka		
07.07.07	DTV 10			87	Ka: 60	
19.03.08	DTV 11			87	Ka: 60	
29.12.09	DTV 12			87	Ka: 60	
06.12.14	DTV 14			76		
27.05.15	DTV 15		30	38		
18.06.16	EchoStar 18		61		Ku: 51 – 59	
18.12.16	EchoStar 19			120		120 променів
09.03.16	Eutelsat 65 W A	10	24	24	Ku: 50 – 52	
01.06.17	Eutelsat 172 B	14	36		C: 41, Ku: 46– 51	
26.12.10	Eutelsat KaSat 9			82	Ka: 55 – 62	
15.05.17	Inmarsat 5 F4			89		
27.01.16	Intelsat 29e	14	56	1	C: 38, Ku: 51– 64	
14.02.17	Intelsat 32e		60	21	Ku: 44 – 62	
05.07.17	Intelsat 35e	124	39		C: 43 – 52, Ku: 47	Еквівалентних, ефективні в С
05.09.17	Intelsat 37e	90	275	37	C: 44 – 52, Ku: 48 – 61	Еквівалентних
30.09.15	NBN Co 1A			202		101 промінь
05.10.16	NBN Co 1B			202		101 промінь
18.05.17	SES 15		16	*		
19.10.11	ViaSat 1			56		
01.06.17	ViaSat 2			120		
2017	Al Yah 3			58		
2018	SES 14	28	20			
2018	G-Sat 20			*		



Кінець таблиці 8

Дата	Супутник	Діапазон			ЕІВП, дБВт	Примітки
		С	Ku	Ka		
2018	SES 12	*	*			
2018	Telstar 18 V		*	*		
2018	Hylas 4			66		
2018	Telstar 19 V		*	*		
2018	Hylas 3			112		Еквівалентних
2018	Horizons 3e					
2018	Energia 100			1500		Еквівалентних
2019	Arabsat 6D			*		
2019	Amos 17	*	*	*		
2019	Eutelsat Quantum		*			

\* На супутника у даному діапазоні є навантаження, інформація щодо кількості транспондерів відсутня.

19 КА з високою пропускною здатністю вже надають телекомунікаційні послуги, ще 13 супутників заплановано до запуску на ГСО до 2020 року [4], [18], [19], [20].

З перелічених КА первинному визначенню «супутник великої пропускної здатності» [21] повністю відповідають три супутники: EchoStar-19, Inmarsat-5 F4, ViaSat-2.

### Система EchoStar

Супутник EchoStar-19 або Jupiter 2 (оператор: EchoStar Satellite Services L.L.C) виведено в орбітальну позицію 97,1° з. д.. Основа КА – платформи SSL-1300, виробництва Space System Loral.

Супутник призначений для надання послуг ширококутового доступу в частотному діапазоні Ka (20/30 ГГц). Загальна пропускна спроможність супутника становить 220 Гбіт/с, що майже в двічі перевищує пропускну спроможність попереднього супутника EchoStar 17, пропускна здатність якого становила 120 Гбіт/с.

На дату запуску супутник EchoStar-19 був найбільшим супутником за показниками сукупної пропускної здатності та кількості променів. Але це не межа. За повідомленнями компанії EchoStar, супутник EchoStar 24, замовлення на виробництво якого також отримала компанія Space System Loral, забезпечуватиме пропускну здатність 500 Гбіт/с [22].

В перспективі, за прогнозами компанії Euroconsult очікується поява супутників, пропускна здатність яких становитиме до 1 Тбіт/с [23].

Зона обслуговування супутника EchoStar-19 (Jupiter 2) сформована за допомогою 120 надвузьких променів і забезпечує покриття всієї території США (див. рисунок 30.а).

Супутник EchoStar-19 (Jupiter 2) побудований на базі технології JUPITER™, розробленої компанією Hughes Network Systems, LLC. Він реалізує технологію надання послуг ширококутового супутникового доступу до мережі Internet п'ятого покоління HughesNet® Gen5. Технологія JUPITER™ [24] побудована на базі нового стандарту DVB-S2x і забезпечує в прямому каналі

(лінія вверх) символну швидкість передачі групового потоку до 225 Мсим/с, що дозволяє досягнути швидкості передачі інформації до 450 Мбіт/с, а в зворотному каналі (лінія вниз) символна швидкість становить до 8 Мсим/с.



а)

б)

**Рисунок 30** – Зона обслуговування КА EchoStar-19

а) зона покриття супутника EchoStar-19 (Jupiter 2);

б) наземна інфраструктура для управління та надання послуг широкосмугового доступу до Internet.

В прямому каналі використовується режим адаптивного кодування та модуляції (англ. Adaptive Coding Modulation - ACM) для модуляції ФМ-4, ФМ-8, АФМ-16 и АФМ-32, а в перспективі АФМ-64 в поєднанні з кодами із зниженою щільністю перевірок на парність (англ. Low-Density Parity Check – LDPC), швидкість кодування до 9/10. В зворотному каналі використовуються модуляція ФМ-4, ФМ-8 та кодування LDPC-кодами зі швидкістю до 9/10. Експлуатацію супутника EchoStar-19 (Jupiter 2) та надання послуг забезпечує наземна інфраструктура компанії EchoStar Satellite Services LLC у складі двох центрів управління та чотирьох телепортів (див. рисунок 30.б).

### Система ViaSat

Супутник ViaSat-2 (оператор: Viasat Inc.; виробник: Boeing Satellite Systems) вироблений на базі платформи BSS-702HP. КА виведено в орбітальну позицію 69.9°з.д. На сьогодні супутник ViaSat-2 залишається найбільш потужним супутником, виготовленим компанією Boeing Satellite Systems на базі платформи BSS-702HP.

Супутник призначений для надання послуг широкосмугового доступу до Internet в частотному діапазоні Ка (20/30 ГГц).

Загальна пропускна здатність супутника становить приблизно 300 Гбіт/с, що в два з половиною рази перевищує пропускну здатність попереднього супутника ViaSat-1 (його пропускна здатність становить 130 Гбіт/с).

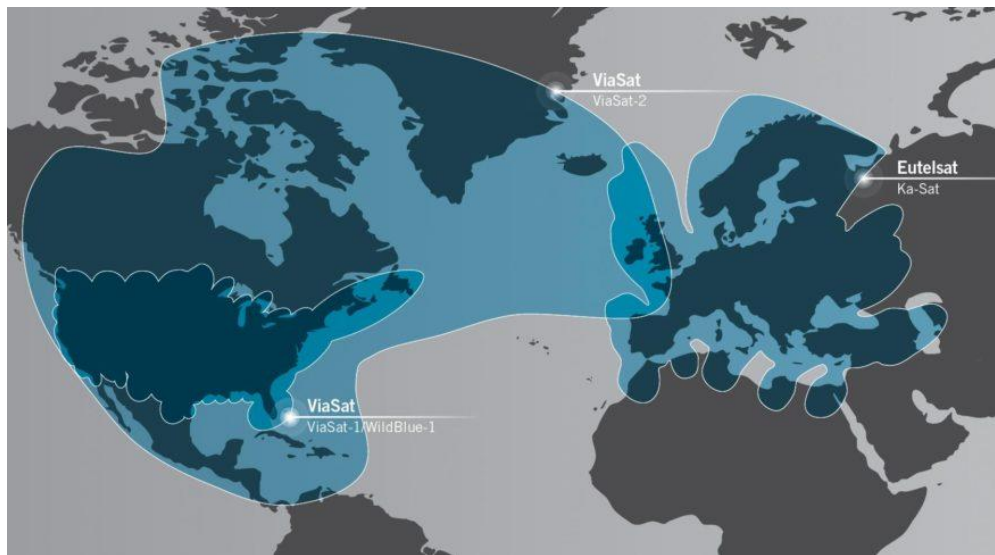
Зважаючи на перспективи зростання попиту на пропускну спроможність супутників в регіоні Північної Америки та маючи на меті забезпечити глобальне покриття компанія ViaSat Inc. оприлюднила плани щодо досягнення на кожному з трьох супутників серії ViaSat-3 пропускної здатності 1Тбіт/с [25].

Супутник ViaSat-2 надає послуги ширококутового доступу в Ка-діапазоні в Північній Америці за допомогою 72 надвузьких променів (промінь «B-Type Spot Beam»). Зона обслуговування супутника зросла більше ніж в сім разів [26].

Для зв'язку з наземною мережею через шлюзові станції супутник має 20 променів шлюзових станцій (промінь «A-Type Spot Beam»). Зона обслуговування супутника ViaSat-2 приведена на рисунку 31.

Супутник використовує технологію SurfBeam<sup>®</sup>2 для надання ширококутового доступу абонентів до мережі Internet із широким спектром інформаційних послуг. Корисне навантаження супутника побудовано за схемою bent-pipe із асиметричними лініями в прямому та зворотному напрямках. У прямому каналі в смузі частот 500 МГц передається загальний потік на одній частоті в режимі часового ущільнення (TDMA) із символною швидкістю до 416,67 Мсим/с. В зворотному каналі використовується комбінований режим частотного ущільнення із часовим ущільненням на кожній частоті. В системі застосовується адаптивне кодування та модуляція. В прямому каналі застосовують види модуляції: АФМ-16, ФМ-8, ФМ-4, в зворотному каналі – ФМ-2, ФМ-4, ФМ-8.

До переваг технології SurfBeam<sup>®</sup>2 відноситься призначення на підставі загальносистемного класу обслуговування пропускної здатності системі, а не терміналу користувача. Перевагою користуються он-лайн послуги, на кшталт передачі відео та голосової інформації в реальному масштабі часу.



**Рисунок 31** Зона обслуговування супутника ViaSat-2 та спільна зона надання послуг ширококутового доступу на базі технології ViaSat.

Максимальна швидкість передачі інформації на один термінал в напрямку від станції спряження (прямий канал) становить до 12 Мбіт/с, в зворотному напрямку до 3 Мбіт/с [27].

Компанія ViaSat Inc. ставить на меті забезпечити глобальне покриття поверхні земного шару не тільки в частотному діапазоні Ku (11/14 ГГц), але й в частотному діапазоні Ka (20/30 ГГц).

Новою тенденцією для операторів супутників великої пропускної здатності стало об'єднання зон обслуговування супутників для розширення зони надання послуг на основі спі-

льної технології передачі інформації SurfBeam<sup>®</sup>2 DOCSIS<sup>®</sup> на термінали користувачів. На рисунку 31 наведено спільну зону обслуговування в Ка-діапазоні супутників ViaSat-2 та Ka-Sat.

### Система Inmarsat

Супутник Inmarsat-5F4 [28] (оператор: Inmarsat plc., Великобританія. Виготовлений на базі платформи BSS-702HP виробництва Boeing Satellite Systems.

КА Inmarsat-5 F4 є четвертим супутником в серії з чотирьох супутників великої пропускної здатності, які формують космічний сегмент системи GlobalXpress. Основне корисне навантаження супутника в Ка-діапазоні складається з 89 транспондерів прозорого типу (bent-pipe).

До особливостей супутника Inmarsat-5 F4 відноситься наявність гостьового корисного навантаження, яке працює в двох частотних діапазонах L та Ка, і замовником якого є Уряд США.

Згідно офіційних заяв компанії Inmarsat plc. на час запуску, супутник Inmarsat-5F4 розглядався як резервний супутник на геостационарній орбіті. Тимчасово супутник розміщений в орбітальній позиції 83,4°с.д.

В діапазоні Ка супутник Inmarsat-5F4 формує 89 фіксованих надвзв'язкових променів кругової та еліптичної форми та 8 комутованих (перенацілюваних) надвзв'язкових променів, два з яких призначені для забезпечення зв'язку із станціями спряження (GateWay). Спільна зона покриття супутників Inmarsat серії 5 наведена на рисунку 32. Зони сформовані фіксованими надвзв'язковими променями чотирьох супутників 5 серії, з яких складається спільна зона обслуговування пронумеровані)

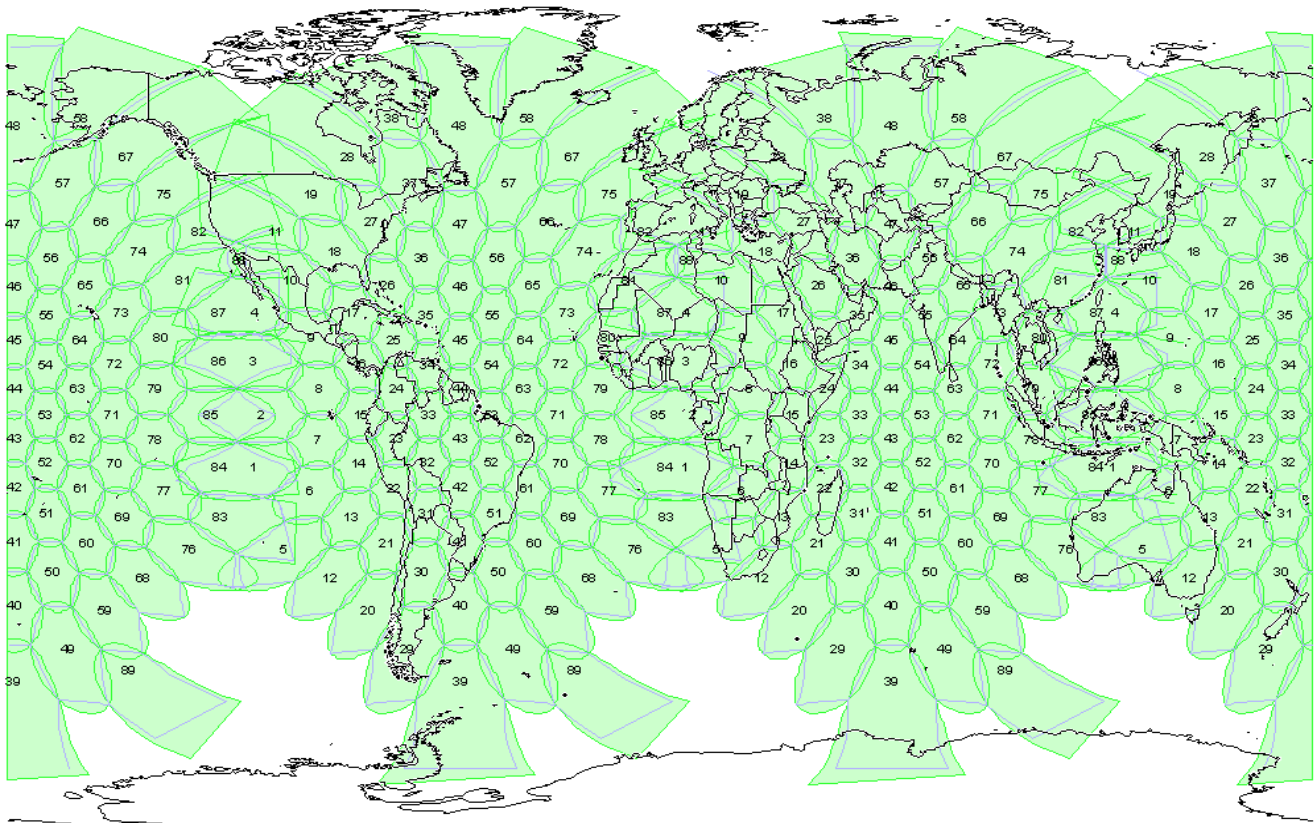


Рисунок 32 – Зона покриття супутників Inmarsat серії 5 в системі Global Xpress.

Основним призначенням супутника є надання в Ка діапазоні послуг високошвидкісної передачі даних та доступу до мережі Internet в системі Global Xpress мобільним споживачам на суші, на морі та в повітрі (послуга ширококутового Internet-доступу для літаків в повітрі).

В кожному фіксованому промені забезпечується загальна швидкість передачі інформації 100 Мбіт/с, яка розподілена між лінією «вниз» та лінією «вверх».

Кожний термінал споживача в межах одного променя забезпечує приймання зі швидкістю до 50 Мбіт/с та передавання зі швидкістю до 5 Мбіт/с.

Керовані промені здатні забезпечити передавання інформації зі швидкістю до декілька сотень Мбіт/с для військових та комерційних споживачів в каналах із смугою пропускання 40, 125, 270, 400 та 730 МГц (для комерційних споживачів до 600 Мбіт/с).

На рисунку 33 показана схема організації надання послуг за допомогою комутованих променів супутників Inmarsat-5.

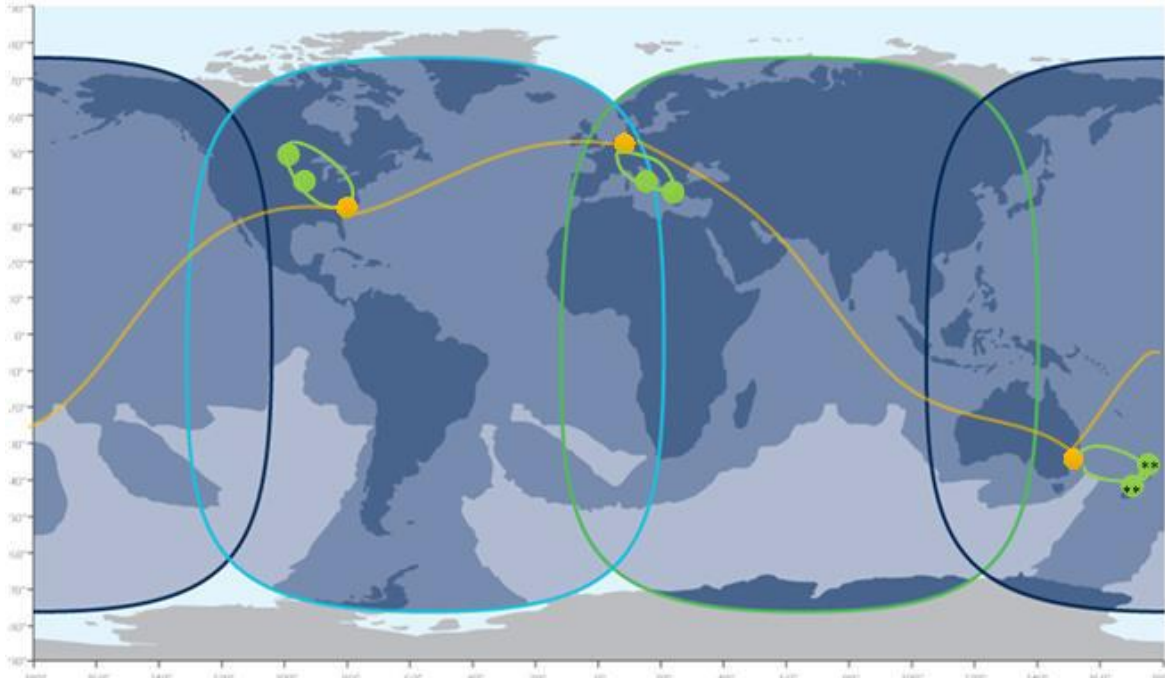
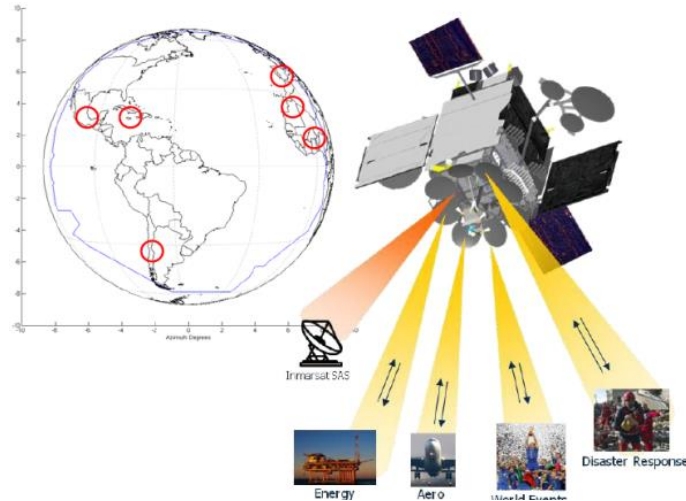


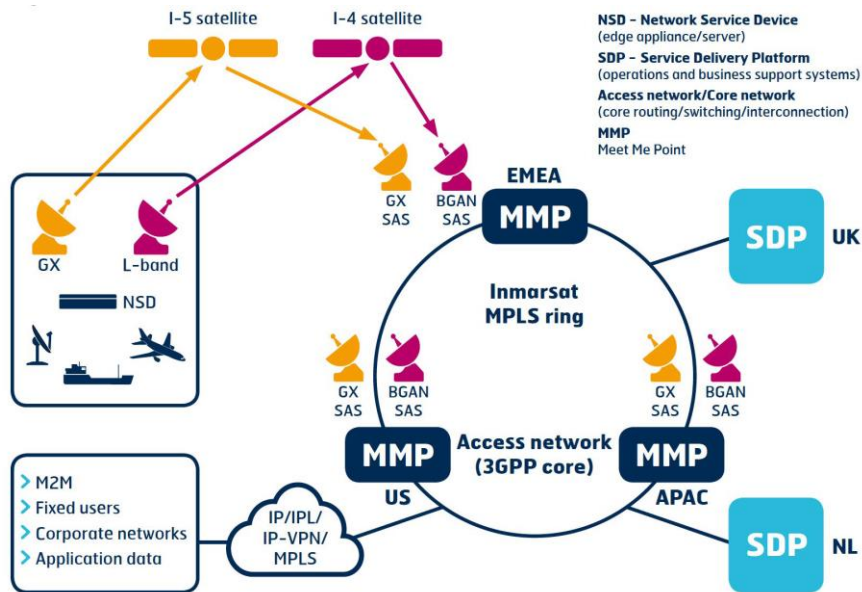
Рисунок 33 – Схема організації надання послуг за допомогою комутованих променів

Система Global Xpress надає послуги ширококутового доступу для фіксованих та мобільних споживачів (включаючи морські судна та літаки в повітрі) на базі технології iDirect, і використовує наземну інфраструктуру, до якої входять 6 телепортів (станцій спряження), розташованих в межах зон надання послуг (див. рисунок 34.а).

В прямому каналі (від станції спряження до терміналу) використовується протокол iDirect, який використовує стандарт DVB-S2 в одночастотному режимі часового ущільнення, в зворотному каналі (від терміналу до станції спряження) використовується багаточастотний режим ущільнення MF-TDMA із часовим ущільненням окремо кожної частот.



а) розташування телепортів та наземних оптично-волоконних ліній зв'язку



б) схема організації надання послуг.

Рисунок 34. Наземна структура забезпечення надання послуг в системі Global Xpress

Телепорти з'єднані кільцем наземних ліній високошвидкісного оптично-волоконного зв'язку, що забезпечує високу надійність роботи системи та швидкість надання послуг (див. рисунок 34.б)

### Система Intelsat

Протягом 2016-2017 року до класу супутників великої пропускної здатності додалися супутники Intelsat 29e, Intelsat 32e, Intelsat 33e, Intelsat-35e, Intelsat-37e. Вони входять до системи Intelsat Epic і передбачають надання послуг широкосмугового доступу шляхом впровадження телекомунікаційних технологій, що забезпечують велику пропускну здатність каналів у частотних

діапазонах C та Ku, де компанія Intelsat має багаторічний досвід та накопичений великий частотно-орбітальний ресурс.

Зона обслуговування системи Intelsat Epic (рисунок 35) покриває суходіл та основні авіаційні і морські шляхи. Така форма зони обслуговування зумовлена новим сегментом послуг супутникового зв'язку: надання послуг широкосмугового доступу для літаків у повітрі на магістральних шляхах трансокеанських перельотів, та морські судна у відкритому морі та міжнародних шляхах.

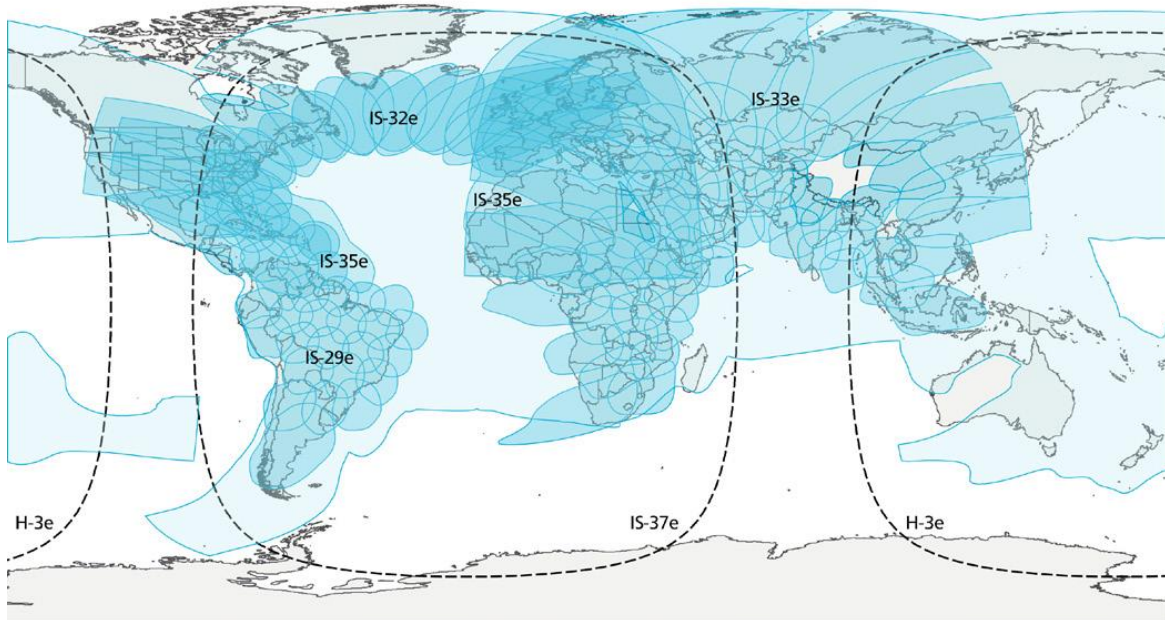


Рисунок 35 – Зона обслуговування системи Intelsat Epic.

Особливістю системи Intelsat Epic<sup>NG</sup> є можливість організації мереж зв'язку будь-якої конфігурації, включаючи мережі типу «зірка» та типу «повнозв'язна» (mesh) в один стрибок.

Мережі можуть включати станції в межах одного променя і станції, які розташовані в інших променях. Крім того можлива комутація між різними частотними діапазонами. На рисунку 36 наведений принцип організації мереж супутником Intelsat-33e в двох частотних діапазонах: C та Ku.

Для забезпечення організації з'єднань в один стрибок корисне навантаження супутників серії Intelsat Epic оснащено обладнанням формування каналів (Channelizer), основу якого становить прозора цифрова комутаційна матриця (Transparent Digital Switch Matrix) (див. рисунок 37.a).

Комутаційна матриця здійснює комутацію субканалів смугою 2,6 МГц в частотному діапазоні L в смузі частот 1,4...1,9 ГГц (смуга частот 500 МГц розбита на 192 субканали). Застосовуються наступні типи з'єднань (див. рисунок 37.б):

- Route – перенесення смуги частот одного або декількох сусідніх субканалів з лінії «земля-космос» до лінії «космос-Земля»,

- Fan-Out – дублювання смуги частот субканали або сусідніх субканалів лінії «Земля-космос» в дві смуги частот лінії «космос-Земля»,

- Fan-In – об’єднання в одній смузі частот в лінії «космос-Земля» двох рознесених по спектру субканалів або груп сусідніх субканалів в лінії «земля-космос»,
- Order Wire – одночасне паралельне передавання в двох рознесених смугах частот лінії «космос-Земля» рознесених субканалів або груп субканалів лінії «Земля-космос».

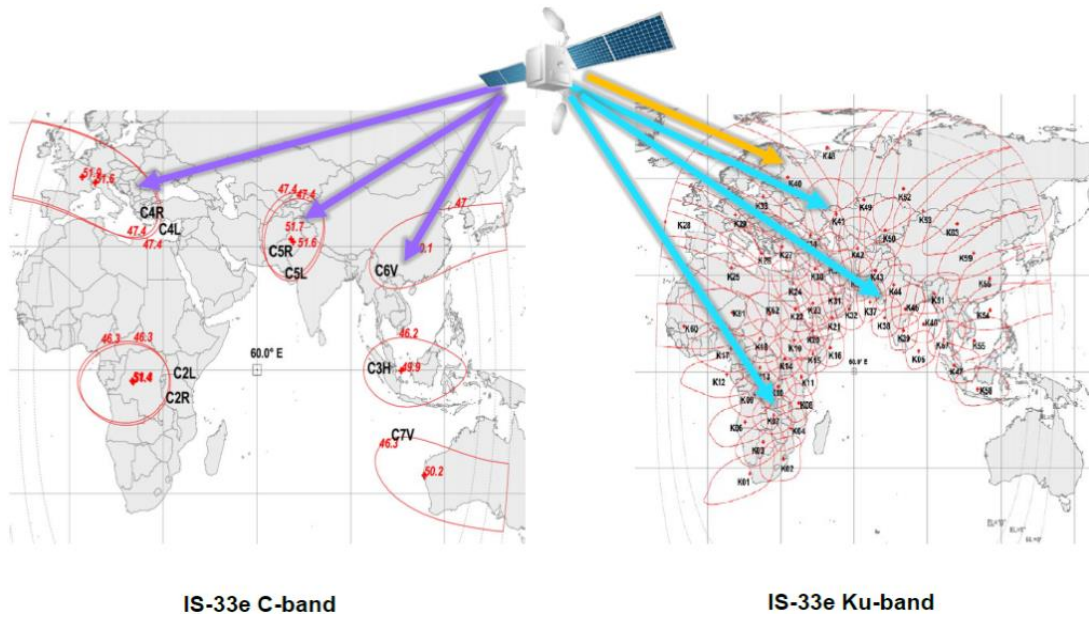


Рисунок 36 – Принцип організації системи Intelsat Epic.

Принцип формування та комутації каналів в корисному навантаженні супутників в системі Intelsat Epic: приведений на рисунку 37.

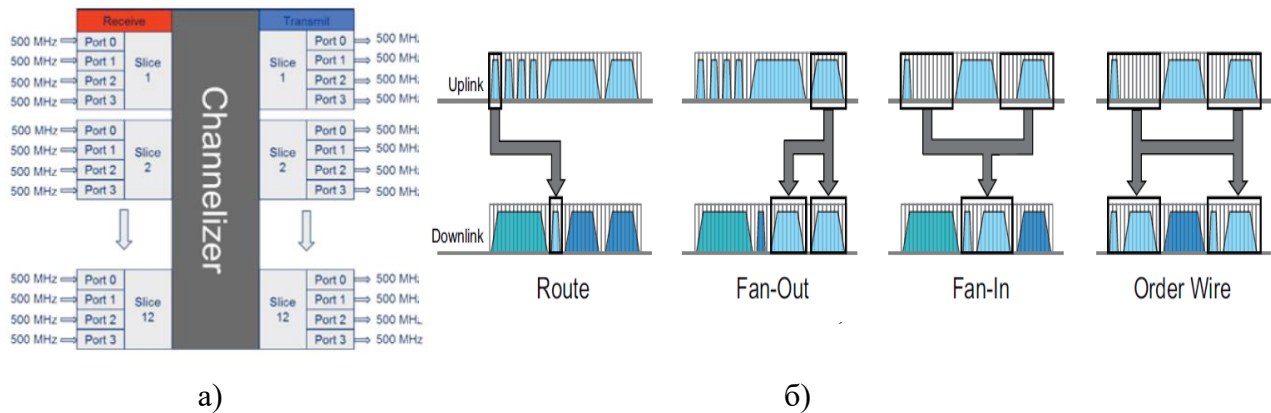


Рисунок 37 – Принцип формування та комутації каналів в корисному навантаженні супутників в системі Intelsat Epic: а) формування та комутація каналів, б) види комутації

КА Intelsat-29e та Intelsat 33e виготовлені на базі платформи Boeing-702MS.

Принциповою відмінністю супутників Intelsat 29e та Intelsat 33e є їх побудова як супутників з великою пропускною здатністю в Ku-діапазоні. Зокрема, супутник Intelsat-33e має 63 над-



вузьких промені із круговою або еліптичною формою діаграми спрямованості (рисунок 38). Додатково окремі промені виділені для шлюзових станцій.

Крім того, супутники Intelsat-29e та Intelsat-33e мають вузькі промені в С-діапазоні та глобальний промінь в діапазоні Ка (див. рисунки 39, 40, 41).

Така ж технологія (великої пропускної здатності) але тільки в С-діапазоні використана на супутнику Intelsat-35e (орбітальна позиція 34°с.д.). В цьому частотному діапазоні супутник має широкий промінь та 17 вузьких променів. В діапазоні Ku супутник має три широкі регіональні промені.



Рисунок 38 – Зона покриття супутника Intelsat 33e в діапазоні Ku



Рисунок 39 – Покриття у діапазоні С, супутник Intelsat 33e

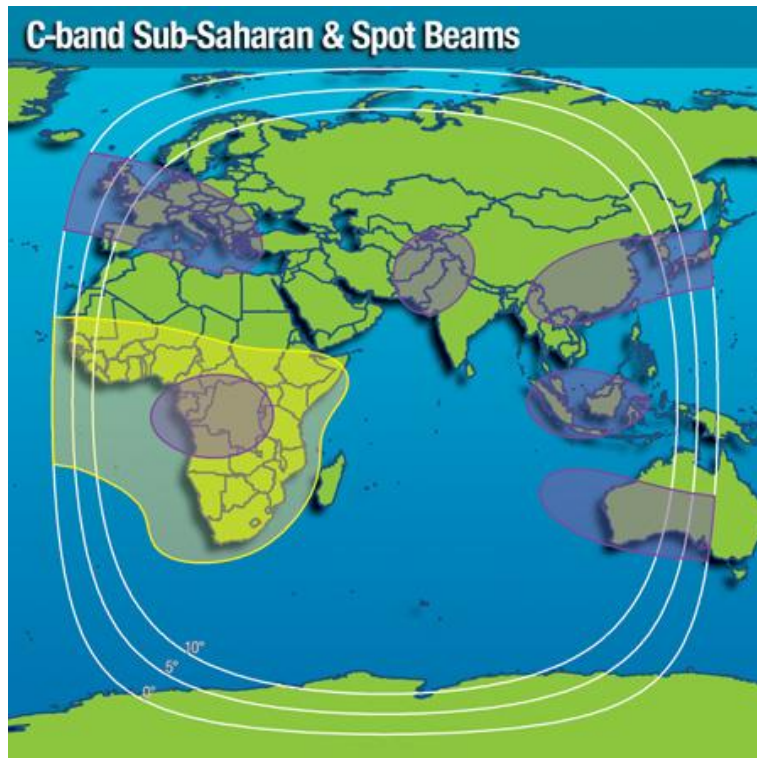
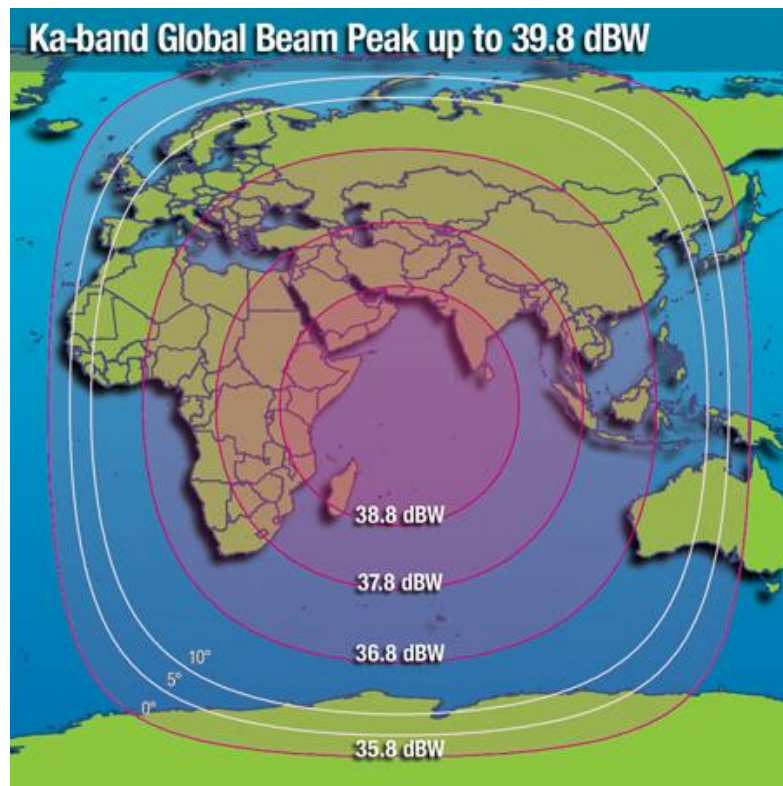


Рисунок 40 – Покриття у діапазоні С, супутник Intelsat 29e



**Рисунок 41** – Зона покриття супутника Intelsat 33e в діапазоні Ка, глобальний промінь

### Система Eutelsat

Супутники організації Eutelsat разом з традиційним для них діапазоном Ки продовжують використовувати отриманий в результаті злиття/поглинання з іншими операторами ресурс в діапазоні С.

Зокрема, недавно виведений на ГСО супутник Eutelsat 172 В (орбітальна позиція 172°с.д.) (базова платформа Eirostar-3000EOR) обладнаний корисним навантаженням в двох частотних діапазонах. Зони покриття приведені на рисунку 43.

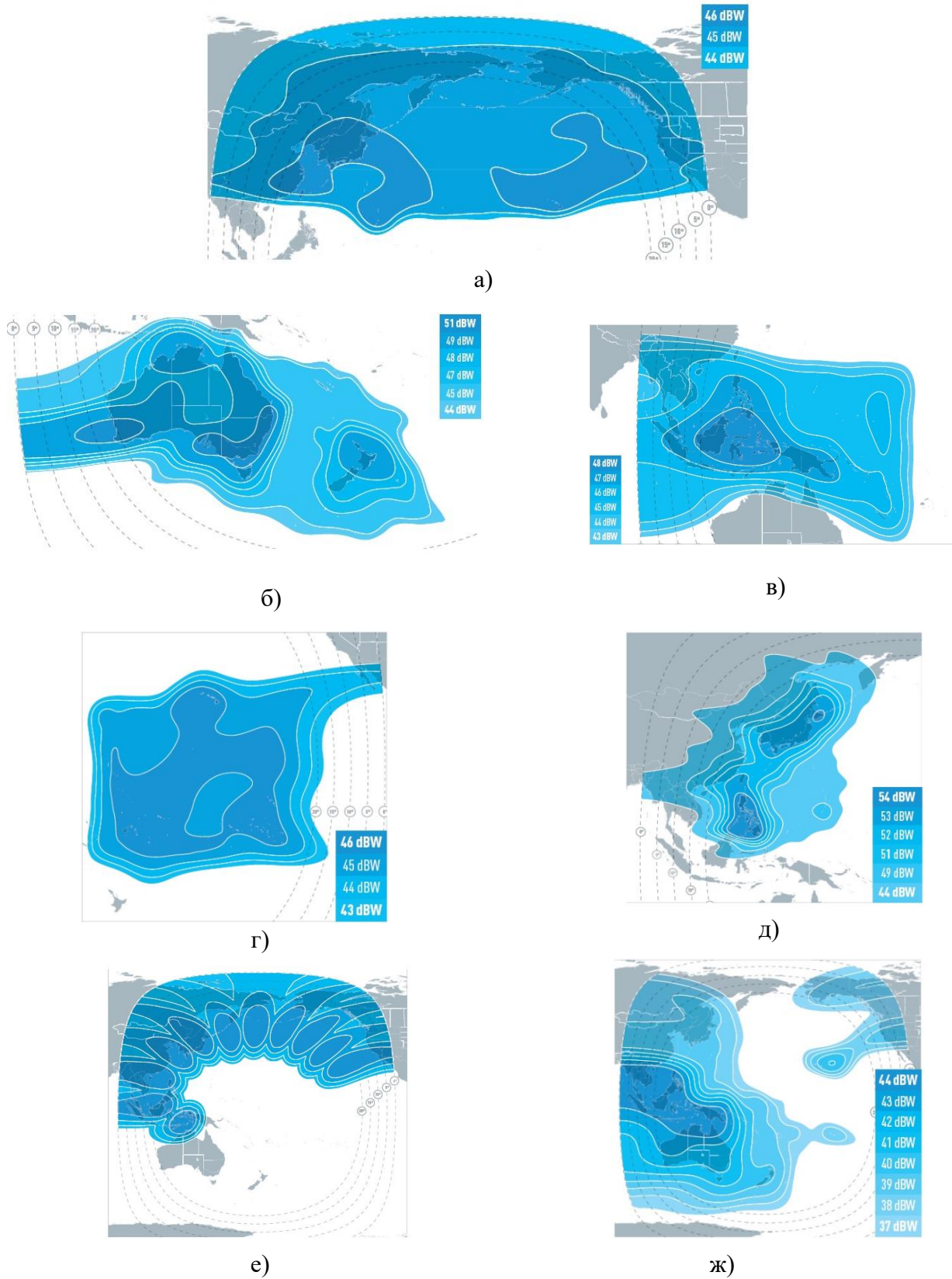


Рисунок 42 – Зони обслуговування супутника Eutelsat 172 В

Супутник обладнаний транспондерами діапазонів С та Ku традиційної конфігурації. На додаток, в діапазоні Ku супутник Eutelsat 172В буде надавати послуги із використанням 11 еліптичних променів для забезпечення літаків в польоті послугами ширококутового доступу по магістральним трасам.

На рисунку 42 наведено наступні зони покриття КА:

- а) променем «Північна частина Тихого океану» в Ku-діапазоні,
- б) променем «Південна частина Тихого океану» в Ku-діапазоні,
- в) променем «Південно-західна частина Тихого океану» в Ku-діапазоні,
- г) променем «Південно-Східна частина Тихого океану» в Ku-діапазоні,
- д) променем «Північно-Східна Азія» в Ku-діапазоні,
- е) променями великої пропускної здатності в Ku-діапазоні,
- ж) променем «Тихий океан» в С-діапазоні.

Як приклад регіонального покриття можна розглядати багатопроменеву зону покриття КА Eutelsat KaSat 9 [19].

Аналогічно, як приклади національного багатозонового покриття, дивись покриття від супутників DTV 10, (11, 12, 14) [4, 6, 29].

## ВИСНОВКИ

Розвиток геостационарних систем супутникового зв'язку із супутниками великої пропускної здатності став и на довгострокову перспективу залишиться важливим напрямком розвитку систем супутникового зв'язку.

В структурі ринку послуг супутникового зв'язку та мовлення геостационарні супутники великої пропускної здатності зайняли чітко визначену нішу високошвидкісної передачі інформації в системах передачі типу точка-точка, яка зумовлена низькою питомою вартістю передачі одного біта інформації через супутниковий сегмент.

Не обов'язковими атрибутами супутників великої пропускної здатності стали:

– діапазон частот. Перші супутники високої пропускної здатності використовували діапазон Ка (20/30 ГГц). В подальшому оператори систем, які мають значний накопичений частотно-орбітальний ресурс в діапазонах С та Ku, почали використовувати технологію мультиспотових зон обслуговування в цих частотних діапазонах;

- бортові пристрої для комутації каналів або маршрутизації трафіка;
- застосування скануючих променів на ланці «космос-земля».

Аналіз характеристик та особливостей геостационарних супутників великої пропускної здатності, які було запущено в 2016–2017 роках, дозволяє виявити наступні спільні тенденції їх подальшого розвитку:

– зростання пропускної здатності супутників до 300 Мбіт/с – 1 Тбіт/с, яке досягається шляхом:

- збільшення кількості надвузьких променів і кратності використання виділеної смуги частот;
- впровадження методів підвищення спектральної ефективності при передачі інформації;
- розширення смуги частот, виділеної для роботи систем супутникового зв'язку, за рахунок сусідніх (суміжних) смуг частот, та розширення смуги пропускання в кожному промені.
- прагнення забезпечити глобальне покриття поверхні Землі, або, як мінімум, повне покриття суші та морських караванних шляхів і трансокеанських трас авіаційного сполучення. Це досягається шляхом:
- об'єднання зон обслуговування супутників власного орбітального угруповання;
- об'єднання зон обслуговування супутників різних операторів на базі спільної технології надання послуг кінцевому споживачу.

– поширення технологій супутників великої пропускної здатності, які були застосовані в частотному діапазоні Ка (20/30 ГГц), на більш низькі частотні діапазони, як Ku (11/14 ГГц) та С (4/6 ГГц).

– впровадження методів та технологій, спрямованих на мінімізацію затримки в передачі інформації, зумовленої часом розповсюдженням сигналу до геостаціонарної орбіти та в зворотному напрямку, створення ресурсу для роботи VSAT-мереж в однострибковому режимі.

За думкою деяких фахівців після невдачі попередніх широко розрекламованих проектів негеостаціонарних систем супутникового зв'язку, що привели до банкрутств, або погроз банкрутства дуже мало ймовірно, що можна зробити успішний бізнес на цих системах.

## ЛІТЕРАТУРА

- 1 <https://www.iridium.com>
- 2 <https://www.iridiumnext.com>
- 3 <https://www.orbcomm.com>
- 4 <https://www.tbs-satellite.com>
- 5 <https://www.globalstar.com>
- 6 <https://www.lyngsat.com>
- 7 <https://www.mobilecomms-technology.com/projects/teledesic>
- 8 <https://www.space.skyrocket.de>
- 9 <https://www.ico.com>
- 10 [https:// www.itu.int/en/gmpcs](https://www.itu.int/en/gmpcs)

11 <http://www.oneweb.world>

12 <https://en.wikipedia.org>

13 <https://arstechnica.com/information-technology/2017/10/spacex>

14 <https://ntrs.nasa.gov>

15 <https://ipinspace.com/tag/ellipso>

16 Digital Video Broadcasting (DVB). Implementation guidelines for second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband Satellite Applications; Part 2-S2 Extensions (DVB-S2x). DVB Document A171-2.

17 Быстров Р.П., Дмитриев А.С., Перунов Ю.М., Черепенин В.А. Современные космические системы связи и особенности их развития. // «Радиотехника». – № 10. – 2011. – С. 4–19. (Bystrov R.P., Dmytryev A.S., Perunov Yu.M., Cherepenyn V.A. Sovremennye kosmicheskiye systemy svyazi y osobennosti ykh razvytyia. // «Radyotekhnika». – № 10. – 2011. – S. 4–19.)

18 <http://www.intelsat.com>

19 <http://www.eutelsat.com>

20 <http://www.energia.ru>

21 High Throughput Satellite Networks. Casbaa. June 2012.

22 New Jupiter 3/ Echostar 24 ultra high density satellite 500 Gb. <http://www.dslreports.com/forum/r31558626-NEW-Jupiter-3-Echostar-24-ultra-high-density-satellite-500GB>

23 Satellite Communications & Broadcasting Markets Survey. Forecasts to 2025. A Euroconsult Research Report. 23<sup>th</sup> Edition. September, 2016

24 JUPITER™ System Bandwidth Efficiency. HUGHES® An EchoStar Company, White Paper. Nov-2015.

25 Meet The World's Most Advanced Telecom Satellite. <http://aviationweek.com/connected-aerospace/meet-world-s-most-advanced-telecom-satellite>

26 With Ariane 5 launch of ViaSat-2 and Eutelsat-172b, Arianespace all caught up on protest-delayed missions. <http://spacenews.com/with-ariane-5-launch-of-viasat-2-and-eutelsat-172b-arianespace-all-caught-up-on-protest-delayed-missions/>

27 ViaSat's-2 'First of its Kind' Design Will Enable Broad Geographic Reach. Peter B. de Selding. Space News. Vol.24, Issue 20. May, 20, 2013.

28 <http://www.inmarsat.com>

29 <http://insider.directv.com>