

**А.П. Солтус**, проф., д-р техн. наук, **М.П. Рудь**, доц., канд. техн. наук  
*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна*  
*e-mail: m.rud@chdtu.edu.ua*

## Перспективи застосування глобального високошвидкісного ширококутового супутникового інтернету з низькою затримкою у галузі автомобільного транспорту

У статті розглядаються проблеми, навігації та зв'язку з використанням супутникових технологій на автомобільному транспорті в умовах зростання глобалізаційних процесів в світовій економіці та трансформацій технологій вантажних перевезень викликаних масштабним переходом на транспорт з нульовим рівнем викидів та розвитком безпілотних автомобілів. Також в роботі проведений аналіз поточного стану та перспектив впровадження глобального високошвидкісного ширококутового супутникового інтернету в світі та Україні та його використання транспортними компаніями.

**глобальна супутникова навігація, супутниковий зв'язок, супутниковий інтернет, супутникове сузір'я, низька навколорезна орбіта, малий супутник, зв'язок на транспорті, безпілотний автомобіль**

**Постановка проблеми.** На транспорті на сьогодні знайшли широке застосування системи глобальної супутникової навігації. Практично не можливо уявити жодне сучасне транспортне підприємство не залежно від виду транспорту, яке б в своїй роботі не використовувало технології супутникової навігації [1,2,3]. Якщо лише десять років тому користувачі супутникової навігації могли покладатись лише на американську систему GPS, то сьогодні вже працюють в повному складі з глобальним покриттям ще три таких системи: російська ГЛОНАСС, китайська BeiDou і європейська Galileo. При цьому точність визначення координат з використанням цих систем за останні роки постійно зростала завдяки введенню в експлуатацію супутників нових поколінь. Також завдяки масовому застосуванню в приватному секторі постійно знижується вартість терміналів супутникової навігації, що робить доступним відслідковування координат не лише окремими транспортними засобами, а й окремими вантажними місцями при мультимодальних перевезеннях. Однак системи глобальної супутникової навігації працюють лише в одному напрямку. Тобто абонент може в будь-який момент з високою точністю визначити свої координати (а також багато інших параметрів свого руху, таких як точний час, напрямок та швидкість руху, точність координат, тощо). Значно складнішим є двосторонній зв'язок наприклад з операторами диспетчерської служби для того щоб надати інформацію про стан транспортного засобу та вантажу для оперативного контролю та керування перевезеннями, або зв'язок з місцевими службами пов'язаними з транспортом та передача інформації між окремими транспортними засобами. На сьогодні забезпечення подібного зв'язку здійснюється переважно з допомогою сервісів місцевих операторів стільникового зв'язку. Проблемою такого підходу є відсутність глобального покриття мобільним зв'язком, особливо у малонаселених регіонах або країнах «третього світу» із слабким розвитком мобільної інфраструктури не кажучи вже про незаселені регіони

або водні простори, а також складнощі з забезпеченням роумінгу при міжнародних перевезеннях. До останнього часу єдиним вирішенням даної проблеми було використання сервісів систем супутникового зв'язку, таких як Inmarsat, Iridium, Глобалстар, Thuraya. Недоліками такого рішення є висока вартість терміналів (від 1000 \$), висока вартість зв'язку (залежно від пакету може складати кілька сотень доларів США на місяць), переважна орієнтація на голосовий зв'язок, низька швидкість супутникового інтернету (352 Кбіт/с в системі Iridium, пінг близько 400 мілісекунд).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Транспортні технології на сьогодні в багатьох аспектах знаходяться в стані революційних змін, які суттєво впливають як на саму галузь транспорту так і на світове господарство. Багато авторитетних організацій зараз називають головні тренди змін в транспортних технологія. Так в Американському товаристві інженерів-механіків, яке є одним з найбільших у світі видавців технічних стандартів у всіх інженерних дисциплінах, були названі 7 найважливіших тенденцій в транспортних технологіях [4]. Університет Огайо опублікував 5 найбільших досягнень в транспортних технологіях [5]. Розробник програмного забезпечення Stfalcon LLC відзначив 8 головних трендів в транспортній галузі [6]. Автори цих публікацій одноставні, що одним з головних трендів є автономні безпілотні транспортні засоби (як наземні так і повітряні), а також можна виділити групу технологій, які пов'язані з інформаційними технологіями, серед них інтернет речей, поїздки «на вимогу», адресна доставка «останньої милі». Важливим аспектом, який дасть значний поштовх у розвитку цих напрямів є впровадження глобального високошвидкісного ширококутового супутникового інтернету з низькою затримкою [7].

**Постановка завдання.** В даній роботі розглянемо перспективи застосування низькоорбітальних систем глобального супутникового інтернету в галузі автомобільного транспорту.

**Виклад основного матеріалу.** Супутниковий зв'язок, який з'явився зовсім нещодавно (з початком космічної ери) і вже встиг стати традиційним відрізняє необхідність використовувати направлену параболічну антену, яка може бути встановлена нерухомо у випадку використання геостационарних супутників (Geostationary Earth Orbit - GEO), або повинна мати систему електроприводів яка б направляла її на потрібну точку в небі у випадку застосування супутників на середній навколоземній орбіті (Medium Earth Orbit - MEO) чи тим більше низькій орбіті (Low Earth Orbit - LEO) до того ж зв'язок регулярно потрібно обривати при переналаштуванні антени з супутника який зникає за горизонтом на інший супутник (рис.1).

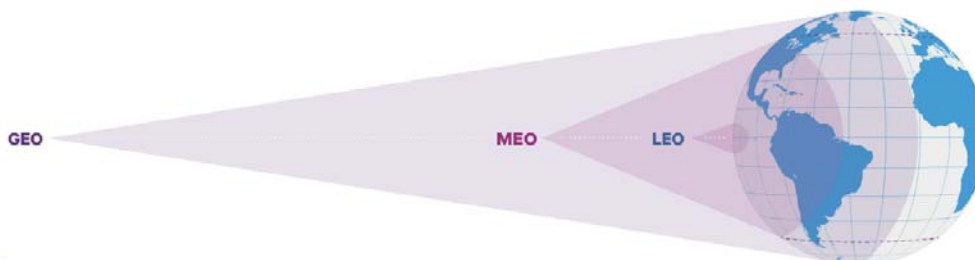


Рисунок 1 – Покриття поверхні Землі залежно від висоти орбіти супутника

Джерело: [8]

2020-й рік став роком початку публічного тестування першої низькоорбітальної системи глобального супутникового інтернету Starlink від компанії SpaceX [9]. В цьому ж році ще одна компанія (OneWeb, центральний офіс знаходиться у Великобританії), почала запуски супутників для побудови власної мережі супутникового інтернету.

Початок обох ідей лежить в 2014-му році. Співробітник компанії Google Марк Креб подав перший патент який описував низькоорбітальне супутникове сузір'я, яке могло б забезпечити покриття практично всієї поверхні земної кулі швидкісним зв'язком (рис. 2) [10]. Для реалізації проекту була залучена на той час маловідома але амбітна приватна космічна компанія SpaceX. Один з керівників проекту від Google Грег Уайлер покинув компанію і став засновником нової компанії з надання послуг супутникового інтернету OneWeb [11]. Згодом проект покинув і Марк Креб, який приєднався до ще одного конкурента, який оголосив про плани створення супутникової мережі - Kuiper Systems від компанії Amazon [12].

Після того як стала очевидно не лише перспективна вигода від подібних супутникових сузір'їв, а й наявність всіх основних технологій необхідних для їх створення в перегони по отриманню частки цього великого ринку почали включатись все більше компаній. Зокрема після того як 24 березня 2020 року федеральною комісією по зв'язку США (FCC, Federal Communication Commission) було оголошено про конкурс на створення супутникових угруповань на негеостаціонарних орбітах з використанням зв'язку в Ku та Ka частотних діапазонах, в ньому прийняли участь 13 компаній. З них найамбітніші плани у OneWeb (заявка на 48000 супутників), SpaceX (30000 супутників), Kuiper Systems (3236 супутників) та несподівано оператор супутникового телебачення TeleSat (1671 супутник) [13].

Звичайно про плани по створенню низькоорбітальних супутникових сузір'їв оголосили не лише в США, а й інших країнах. Найбільш близькими до реальності є китайський супутниковий стартап GalaxySpace, який планує запустити до 1000 супутників на орбіти від 500 до 1000 км [14].

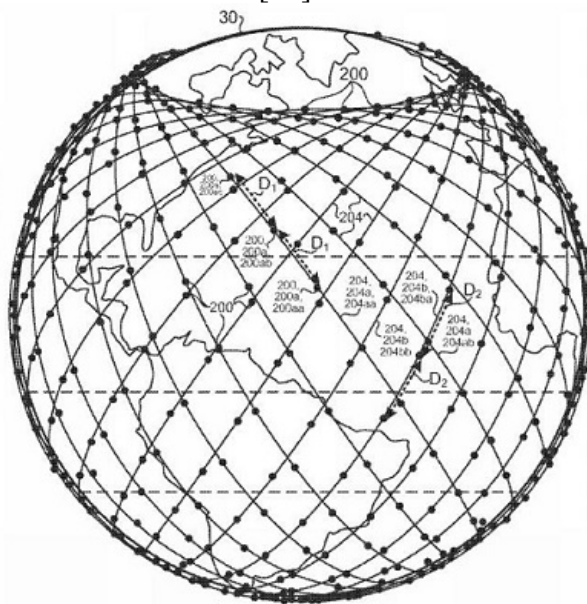


Рисунок 2 – Супутникове угруповання для широкопasmового доступу в інтернет з мережею наземних шлюзових станцій і міжсупутниковими лініями зв'язку

Джерело: [10]

Для того щоб оцінити перспективи для транспортних компаній застосування супутникового зв'язку нового покоління розглянемо ключові технології які закладені в основу цього зв'язку та головні проблеми і виклики, які стоять перед тими хто створюють цей зв'язок.

Хоча на сьогодні жоден з проектів ще не дійшов до стадії повноцінного виходу на ринок телекомунікаційних послуг, найближче до цього етапу знаходиться проект

Starlink від SpaceX. Окрім того про даний проєкт у відкритому доступі значно більший об'єм інформації і вже можна порівняти деякі попередні заяви і реальні результати цього проєкту. Саме тому основна інформація буде стосуватись цього проєкту.

27 жовтня 2020 р SpaceX почали програму публічного бета-тестування під гаслом «Better Than Nothing» (Краще ніж нічого). Вартість стартового набору US\$499 і щомісячний платіж US\$99. У травні 2021 в режимі бета-тестування послуга доступна в наступних країнах: США, Канада, Великобританія, Німеччина, Польща, Франція, Австрія, Нова Зеландія, Австралія.

### **Радіочастотний ресурс**

Як Starlink так і більшість його конкурентів заявили про використання у своїх проєктах супутникових радіодіапазонів Ku (12,0—18,0 ГГц) та Ka (26,5—40,0 ГГц).

Останнім часом коли йде мова про зв'язок нового покоління значна увага приділяється стандарту 5G. Можна відмітити, що 5G має багато спільного з швидкісним супутниковим інтернетом нового покоління. Зокрема в 5G використовуються діапазони FR1 (600-6000 МГц) и FR2 (24-100 ГГц), які частково перекриваються з супутниковими. Більше того китайський супутниковий стартап GalaxySpace планує безпосередньо для свого супутникового угруповання використовувати технології 5G.

Головною відмінністю обох технологій від своїх попередників є застосування цифрових антенних решіток (ЦАР). В умовно виділених попередніх стандартах мобільного радіозв'язку для вирішення проблеми множинного доступу до радіоканалу багатьом користувачам в умовах обмеженого радіочастотного ресурсу використовували: у аналогових 0G та 1G частотне FDMA (Frequency Division Multiple Access), у цифрових 2G було додано часове TDMS (Time), у 3G кодове CDMA (Code) а у 4G OFDMA (Orthogonal frequency) розділення каналів користувачів. Завдяки ж застосуванню ЦАР стало можливим створювати рухомий направлений промінь для зв'язку користувача з базовою станцією (якою виступає в нашому випадку низькоорбітальний супутник). Що в свою чергу дозволяє застосувати одразу декілька технологій: формування променя (beamforming), системи з множиною рознесених передавальних і приймальних антен (Massive MIMO, Multiple Input Multiple Output), метод неортогонального множинного доступу (NOMA, Non-Orthogonal Multiple Access). Сумарно ці технології за рахунок розділення каналів користувачів за напрямом та збільшення пропускної здатності і завадостійкості каналу суттєво збільшують швидкість передачі даних та дозволяють забезпечити стійкий зв'язок з об'єктами які рухаються на великій швидкості (включно з літаками).

Супутники першого покоління Starlink, які зараз в процесі запуску знаходяться на орбіті в 550 км і перебувають в зоні видимості наземного абонента не більше 5 хв. Відповідно до заявки SpaceX у FCC супутник може покрити своїм сигналом пляму на Землі радіусом 950 км (тобто діаметром приблизно 1900 км) за умови, що кут місця для абонентського терміналу не буде менше 25° (рис. 3).

Один супутник таким чином може теоретично мати до 300 таких променів (beam) в зоні свого обслуговування. Однак пропускна здатність існуючого каналу зв'язку супутника першого покоління не дозволяє використати більше 16 променів (8 на прийом і 8 на передачу).

### **Проблеми електромагнітної сумісності з іншими супутниками**

Слід також відмітити, що для рухливих об'єктів (в тому числі автомобілів) у SpaceX розробляється новий тип терміналу, який буде автоматично контролювати рівні свого випромінювання і в разі їх перевищення автоматично відключатися протягом 100

мс. Це пов'язано з регуляційними особливостями розподілу радіочастот, які у США забезпечує Федеральна комісія зі зв'язку, а у світі Міжнародний союз електрозв'язку (ITU, International Telecommunication Union). Однією з найбільш серйозних перепон у розвитку супутникових сузір'їв швидкісного інтернету є забезпечення норм EPFD або Equivalent Power Flux Density (еквівалентна щільність потоку потужності), оскільки сигнал низькоорбітальних супутників не повинен створювати неприйнятні завади для сигналів геостационарних супутників. В своїй заявці поданій до FCC SpaceX приділили найбільшу увагу цьому питанню показуючи, що імовірність перевищення норм EPFD не виходить за встановлену межу (рис. 5, червона лінія). Однак представники компаній, які надають послуги через геостационарні супутники подали скаргу 23 квітня 2021 року до FCC в якій доводять, що супутники Starlink не відповідають нормам EPFD [16].

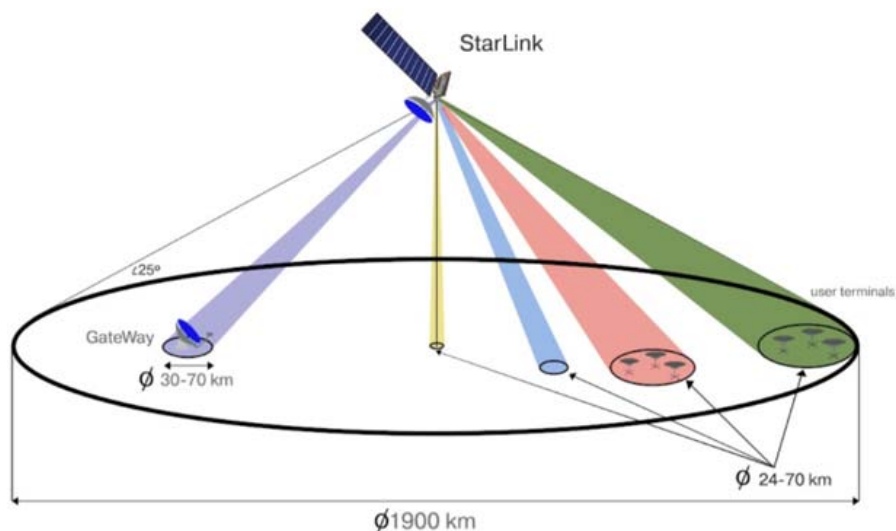


Рисунок 3 - Схема обслуговування абонентів супутником Starlink

Джерело: [15]



Рисунок 4 – Зовнішній вигляд наземного шлюзу та абонентського терміналу Starlink

Джерело: [4]

Якщо врахувати, що практично всі заявники вказували в заявках повну смугу частот Ku- і Ka-діапазонів в обох ортогональних поляризаціях, стає зрозумілим, що існувати одночасно всі ці системи не можуть.

Ще однією проблемою може стати забезпечення електромагнітної сумісності з іншими сузір'ями негеостационарних супутників. Але оскільки згідно регламенту не існує вимог, які б зобов'язували компанію забезпечувати відсутність завад для інших негеостационарних систем, то відсутність взаємних завад можливо здійснити лише

шляхом координації учасників ринку між собою. Така ситуація робить поки що невизначеним час початку бета-тестування, а тим більше офіційних продажів послуг супутникового інтернету для рухомих об'єктів.

### Міжсупутникові канали зв'язку (Inter-satellite link, ISL).

3 вересня 2020 року SpaceX повідомила про перші тести міжсупутникових каналів зв'язку. А в січні 2021 року здійснено пуск місії Transporter-1 в якій було виведено на полярну орбіту 10 супутників обладнаних міжсупутниковим лазерним зв'язком. Вони представляють собою лазерні модулі прийому передачі, які мають бути розташовані з 4 сторін кожного супутника. Такі модулі дозволяють передавати дані послідовно між абонентом та шлюзом не через один супутник, а через будь-яку їх кількість, що практично робить супутниковий інтернет дійсно глобальним, з можливістю доступу в будь-якій точці земної кулі в якій буде доступ до відкритого неба. Відповідно наявність таких каналів в угрупованні Starlink передбачалась з самого початку проекту. Але у зв'язку з поспіхом через необхідність першими заявити права на обмежений орбітальний та частотний ресурси було вирішено в супутниках першого покоління відмовитись від міжсупутникових каналів.

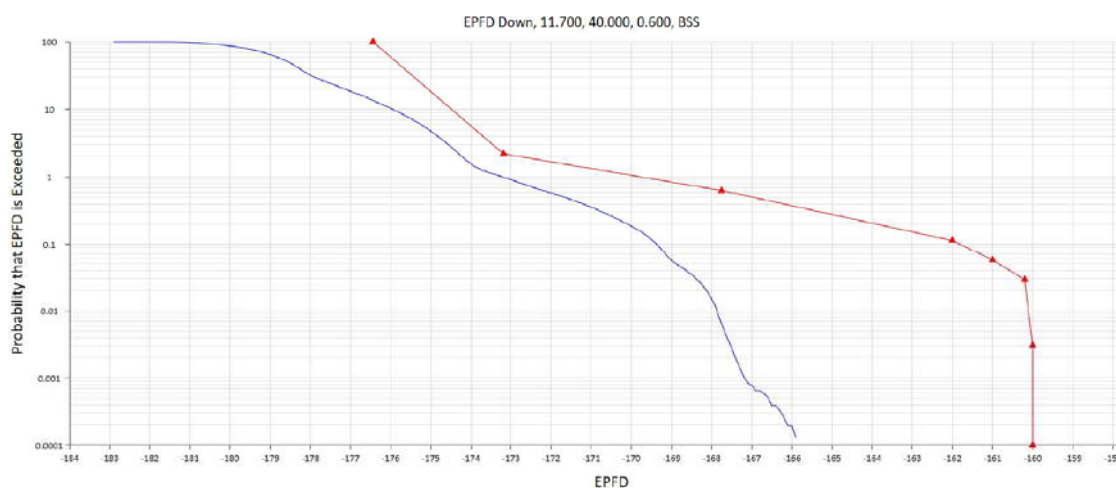


Рисунок 5 - Результати для тих випадків, коли межі EPFD перевищені для прийомної антени діаметром 0,6 м

Джерело: [4]

Ще одною перевагою ISL на яку покладаються значні сподівання інвесторів проекту є те, що швидкість поширення сигналу в космосі дорівнює швидкості світла у вакуумі, а ось в оптичному кабелі вона складає 0,69 від цієї швидкості що призводить до затримки 5 мікросекунд на кілометр, і теоретично затримка при використанні супутників Starlink з ISL буде менше, ніж при використанні трансатлантичних підводних кабелів, що зв'язують США з Європою, Азією та Австралією.

Щео один аспект міжсупутникових ліній зв'язку який з одного боку надає можливості абоненту, а з іншого ускладнює впровадження сервісу в деяких країнах, це можливість завдяки ISL абоненту мережі Starlink виходити в інтернет з території іншої країни або передавати інформацію з одного терміналу на інший, минаючи будь-які наземні вузли зв'язку. Оскільки майже всі країни мають в законодавстві норми, які зобов'язують усіх операторів зв'язку забезпечити можливість доступу спецслужб до переданому в їх мережах трафіку. Якщо серед країн які є учасниками НАТО, або союзниками США проблем з передачею інформації не має виникнути, то для країн в яких обмежується свобода слова та демократія сервіс може залишитись офіційно не

доступним.

### **Подальші перспективи та порівняння з конкурентами.**

На сьогодні (травень 2021 року) лише дві компанії з тих що претендують на створення супутникового сузір'я низькоорбітальних супутників зв'язку почали розгортання своїх угруповань на орбіті. Це звичайно Starlink від SpaceX та OneWeb.

У березні 2020 компанія заявила про банкрутство, посилаючись на кризу, спричинену пандемією коронавірусної хвороби 2019 [11], однак після інвестування значної суми урядом Великобританії та приватною індійською компанією банкрутство було припинено.

OneWeb почала запуски повнофункціональних супутників у лютому 2020 року з допомогою одноразового ракетноносія Союз-2.1б виробництва ракетно-космічного центру «Прогрес», який може доставити на орбіту до 36 супутників за один запуск. Станом на травень 2021 року на орбіті функціонує 176 супутників. Відкрите бета тестування системи заплановано на осінь 2021 року. Планується, що супутники також будуть запускатись ракетноносіями Ariane 6 Європейського космічного агентства (до 78 супутників за запуск, але не раніше 2023 року) та New Glenn від компанії Blue Origin (невідомо кількість супутників за запуск не раніше 2023-го року).

Ракетноносій Falcon 9 у версії Full Thrust Block 5 експлуатується з травня 2018 року і є основним носієм компанії SpaceX. Головною особливістю, яка відрізняє Falcon 9 від інших ракетноносіїв є його часткова багаторазовість. Перша ступінь та створки обтічника, які складають більше 80% вартості ракетноносія можуть використовуватись повторно. Друга ступінь ракети є одноразовою, хоча спочатку планувались заходи по її багаторазовості, але згодом вони були визначні економічно недоцільними. Перша ступінь розрахована на 10 повторних запусків і 9 травня 2021 року вперше відбувся 10 запуск з наступною вдалою посадкою одного з екземплярів першої ступені Falcon 9 (після цього з'явилось повідомлення про плани продовжити її експлуатацію [ ]). Також можна відмітити, що час на підготовку до повторного запуску постійно зменшується у квітні 2021 року досяг 27 днів між запусками одного прискорювача. Це дозволило з початку 2021 року здійснювати в середньому 3 запуски місії Starlink на місяць. В кожному запуску можуть бути виведені на орбіту до 60 супутників (рис. 6). Виведення повнофункціональних супутників почалось в листопаді 2019 року. На сьогодні було успішно запущено 1677 супутників з яких на травень 2021 року в робочому стані знаходиться 1578 (інші з різних причин зведені з орбіти). В подальших планах компанії SpaceX окрім збільшення частоти запусків Falcon 9 є розробка нової системи космічного запуску багаторазового використання Starship, яка повинна повністю замінити існуючі космічні апарати компанії. Планується що система Starship зможе доставляти на орбіту до 400 супутників за один запуск (рис. 6). Завдяки цьому для сузір'я Starlink стає реальним досягнення запланованих 30000 супутників на орбіті одночасно. Враховуючи середній термін експлуатації одного супутника 5 років, для підтримки сузір'я необхідно запускати в середньому 500 супутників щомісяця, що не стане проблемою для Starship.

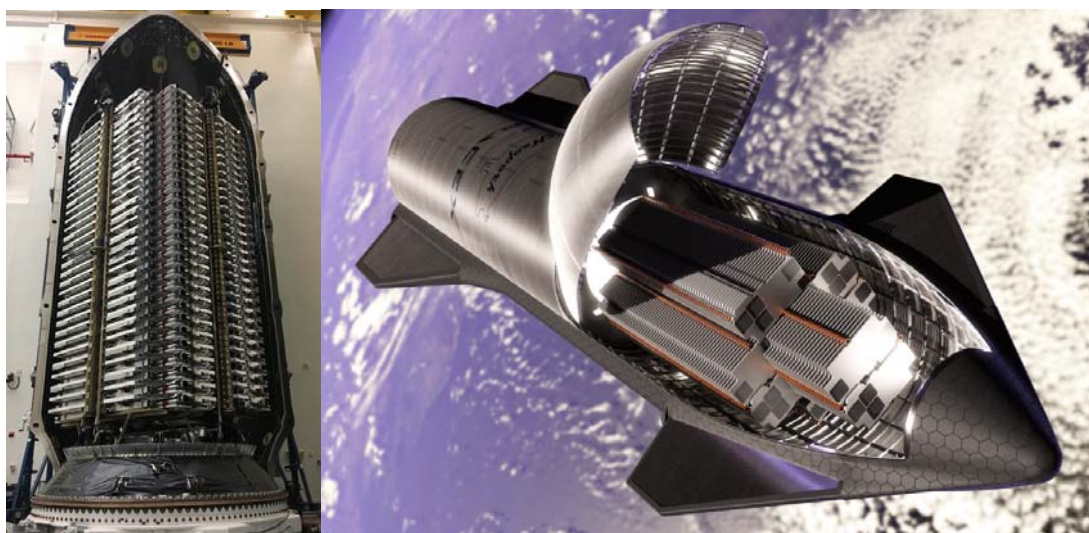


Рисунок 6 – Укладка супутників. Зліва 60 супутників під обтічником Falcon 9, справа проєкт розміщення 400 супутників у вантажному відсіку Starship

Джерело: [9]

Враховуючи все вище зазначене на сьогодні найбільш реальною пропозицією супутникового зв'язку для транспортних компаній є Starlink.

### **Транспорт**

Основною перепоною для застосування швидкісного супутникового зв'язку на транспорті є відсутність офіційної підтримки рухомих терміналів Starlink. На сьогодні навіть при переїзді між зонами обслуговування зв'язку різними шлюзами користувачу необхідно в ручному режимі подавати заявку у відділ обслуговування абонентів

16 квітня 2021 SpaceX відправила в FCC велику кількість заявок на різні варіанти розміщення терміналу на рухомих об'єктах COTM (Communication On The Move).

У документі вказано, що SpaceX запитує комплексну ліцензію на роботу терміналів Starlink на так званих «рухомих наземних станціях», до яких відносяться автомобілі та інший автотранспорт, поїзди, морські та річкові судна, літаки і вертольоти.

Основний і найбільш просунутий ринок - це, безумовно, суднохідний з двома головними окремими ринками круїзні лайнери і вантажні/торгові судна.

Другий за значенням ринок - це авіаринок або IFC (InFlightConnectivity).

Так само необхідно відзначити, що якщо установка терміналу Starlink на плавзасіб практично повністю в руках і волі господаря плавзасобу (в будь-якому випадку, термінал Starlink не замінить обов'язкові радіозасоби, необхідні згідно реєстру і вимогам місцевого Водного нагляду), то обладнання літака або іншого літального апарату для перевезення пасажирів вимагає сертифікації його виробника.

### **Проблеми впровадження Starlink на автомобільному транспорті:**

- послуга поки що не працює з рухомими об'єктами, хоча ніяких принципових технічних перепон не існує і вже оголошено, що найближчим часом (терміни не вказуються) така підтримка буде реалізована [16];

- необхідність мати відкрите небо для антени з широким оглядом (може бути покращено за рахунок запуску все більшої кількості супутників, одночасно на небі буде доступно кілька супутників і система зможе швидко перемикатись на супутники у видимій частині неба);

- порівняно велике енергоспоживання (на сьогодні близько 100-150 Вт), що за



місяць може спожити до 100 кВт·год електроенергії при неперервній роботі, враховуючи витрати пального на її виробництво може суттєво підвищити вартість експлуатації, але при застосуванні в електромобілі цей фактор менш важливий. Однак ці цифри актуальні для обладнання першого покоління для стаціонарного застосування. В мобільних системах скоріше за все буде використовуватись спеціалізована система зі зменшеним енергоспоживанням.

### Висновки:

1. Аналіз результатів дослідження показує, що потенційні можливості застосування глобального супутникового інтернету в галузі транспорту загалом і в галузі автомобільного транспорту зокрема здатні докорінно змінити підходи до управління транспортними потоками, забезпечення логістичних процесів в мультимодальних перевезеннях, впровадження інтелектуальних транспортних систем у вантажні перевезення на всіх рівнях (від місцевої доставки до міжконтинентальних перевезень).

2. На початковому етапі впровадження швидкісного супутникового дозволить здійснювати постійний дистанційний моніторинг транспортних засобів під час поїздок, проводити вчасну діагностику всіх систем, завдяки малій затримці сигналу дасть змогу диспетчеру дистанційно взяти керування на себе транспортним засобом (реалізація такої можливості щоправда потребує дозволу регуляторів безпеки дорожнього руху).

3. Впровадження надійного супутникового зв'язку дозволить значно пришвидшити процес переходу до автономних безпілотних транспортних засобів. У зв'язку з цим найбільш успішно можливості нової технології зв'язку зможуть реалізувати транспортні компанії, які одночасно будуть проводити оновлення парку транспортних засобів в напряму нульового рівня викидів та з безпілотними технологіями.

### Список літератури

1. Скорик Є., Кондратюк В. Застосування супутникових технологій навігації та зв'язку в автотранспортній галузі. *Наука та інновації*. 2007. Т 3. № 1. С. 67–83.
2. Рудзінська О.В. Беззуб Я.В., Шумляківський В.П. Процеси розвитку автотранспортних технологій в інтелектуальних транспортних системах. *Серія: Технічні науки. ВІСНИК ЖДТУ*. 2016. № 2 (77). С. 230-237.
3. Разработка навигационных программно-аппаратных GPS/GPRS комплексов на движущихся объектах / М. П. Мусиенко, В. И. Томенко, О. Л. Савчук, М. П. Рудь. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2007. № 1. С. 119-122.
4. Crawford M. 7 Top Trends in Transportation Technology / Mark Crawford. *The American Society of Mechanical Engineers*. URL: <https://www.asme.org/topics-resources/content/7-top-trends-in-transportation-technology>. (Last accessed: 11.02.2021)
5. Advancements in Transportation Technology. URL: <https://onlinemasters.ohio.edu/blog/5-advancements-in-transportation-technology/>. (Last accessed: 11.02.2021)
6. Top 8 Transportation Industry Trends in 2021. URL: <https://stfalcon.com/en/blog/post/transportation-industry-trends>. (Last accessed: 11.02.2021)
7. Feasibility reasoning of creating ultra-low orbit communication systems based on small satellites and method of their orbits designing // Information and Telecommunication Sciences/ O. Lysenko, M. Sparavalo, O. Tachinina et al. DOI:10.20535/2411-2976.12020.59-70.
8. GEO, MEO, and LEO How orbital altitude impacts network performance in satellite data services. URL: <https://www.satellitetoday.com/content-collection/ses-hub-geo-meo-and-leo/>. (Last accessed: 13.02.2021)
9. Starlink. 2021. URL: <https://www.starlink.com>. (Last accessed: 20.02.2021)
10. Krebs M. Patent No.: US 9,647,749 B2 SATELLITE CONSTELLATION / Mark Krebs. 2017. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/be/a2/5a/a4fb3c123a1ea7/US9647749.pdf>. (Last accessed: 11.02.2021)
11. Oneweb. 2021. URL: <https://www.oneweb.world/>. (Last accessed: 22.02.2021)

12. Project Kuiper . 2021. URL: <https://www.amazon.jobs/en/teams/projectkuiper>. (Last accessed: 24.02.2021)
13. Telesat Lightspeed LEO Network . 2021. URL: <https://www.telesat.com/leo-satellites/>. (Last accessed: 24.02.2021)
14. GalaxySpace. 2021. URL: <http://www.yinhe.ht/indexEn.html>. (Last accessed: 24.02.2021)
15. Всє о проекте «Спутниковый интернет Starlink». URL: <https://habr.com/ru/post/526154/>. (Last accessed: 24.02.2021)
16. SpaceX хоче підключити до Starlink літаки і весь вантажний транспорт. URL: <https://mind.ua/news/20223134-spacex-hoche-pidklyuchiti-do-starlink-litaki-i-ves-vantazhnij-transport>. (Last accessed: 24.02.2021)

## References

1. Skoryk, Ye. & Kondratiuk, V. (2007). Zastosuvannya suputnykovykh tekhnolohii navihatsii ta zviazku v avtotransportnii haluzi [Application of satellite navigation and communication technologies in the road transport industry]. *Nauka ta innovatsii - Science and innovation. Vol 3, 1.* 67–83 [in Ukrainian].
2. Rudzinska, O.V., Bezzub, Ya.V. & Shumliakivskiyi, V.P. (2016). Protsesy rozvytku avtotransportnykh tekhnolohii v intelektualnykh transportnykh systemakh [Processes of development of motor transport technologies in intelligent transport systems]. *Seriia: Tekhnichni nauky - Series: Technical Sciences. № 2 (77).* 230-237 [in Ukrainian].
3. Musyenko, M. P., Tomenko, V. Y., Savchuk, O. L. & Rud, M. P. (2007). Razrabotka navigacionnykh programmno-apparatnykh GPS/GPRS kompleksov na dvizhushchihysya ob"ektah [Development of navigation software and hardware GPS/GPRS complexes on moving objects] . *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu - Visnik of the Cherkasy State Technological University. № 1.* 19-122 [in Russian]
4. Crawford, M. (2020). 7 Top Trends in Transportation Technology. The American Society of Mechanical Engineers. [www.asme.org](http://www.asme.org). Retrieved from <https://www.asme.org/topics-resources/content/7-top-trends-in-transportation-technology> [in English].
5. Advancements in Transportation Technology. [onlinemasters.ohio.edu](http://onlinemasters.ohio.edu). Retrieved from <https://onlinemasters.ohio.edu/blog/5-advancements-in-transportation-technology/> [in English].
6. Top 8 Transportation Industry Trends in 2021. [stfalcon.com](http://stfalcon.com). Retrieved from <https://stfalcon.com/en/blog/post/transportation-industry-trends> [in English].
7. Lysenko, O., Sparavalo, M., Tachinina, O., Yavisya, V. & Ponomarenko, S. (2020). Feasibility reasoning of creating ultra-low orbit communication systems based on small satellites and method of their orbits designing. *Information and Telecommunication Sciences*. Retrieved from: DOI:10.20535/2411-2976.12020.59-70. [in English]
8. GEO, MEO, and LEO How orbital altitude impacts network performance in satellite data services. [www.satellitetoday.com](http://www.satellitetoday.com). Retrieved from <https://www.satellitetoday.com/content-collection/ses-hub-geo-meo-and-leo/> [in English].
9. Starlink. [www.starlink.com](http://www.starlink.com). Retrieved from <https://www.starlink.com> [in English].
10. Krebs, M. (2017). Patent No.: US 9,647,749 B2 SATELLITE CONSTELLATION. Retrieved from <https://patentimages.storage.googleapis.com/be/a2/5a/a4fb3c123a1ea7/US9647749.pdf>. [in English]
11. Oneweb. [www.oneweb.world](http://www.oneweb.world). Retrieved from <https://www.oneweb.world/> [in English].
12. Project Kuiper. [www.amazon.jobs](http://www.amazon.jobs). Retrieved from <https://www.amazon.jobs/en/teams/projectkuiper> [in English].
13. Telesat Lightspeed LEO Network. [www.telesat.com](http://www.telesat.com). Retrieved from <https://www.telesat.com/leo-satellites/> [in English].
14. GalaxySpace. [www.yinhe.ht](http://www.yinhe.ht). Retrieved from <http://www.yinhe.ht/indexEn.html>.
15. Vsyо о proekte «Sputnikovyj internet Starlink». [Everything about the Starlink Satellite Internet project.]. [habr.com](http://habr.com). Retrieved from <https://habr.com/ru/post/526154/> [in Russian].
16. SpaceX khoche pidkliuchyty do Starlink litaky i ves vantazhnyi transport. [SpaceX wants to connect Starlink planes and all trucks]. [mind.ua](http://mind.ua). Retrieved from <https://mind.ua/news/20223134-spacex-hoche-pidklyuchiti-do-starlink-litaki-i-ves-vantazhnij-transport>. [in Ukrainian]

Anatoliy Soltus, Prof., Dr. tech. sci., Maksym Rud, Assoc. Prof., PhD tech. sci.  
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

**Prospects for the Application of the Global High-speed, Low Latency Broadband Satellite Internet in the Field of Road Transport**

The article examines the problems of navigation and communication with the use of satellite technologies in road transport in the context of the growth of globalization processes in the world economy and the transformations of freight transport technologies caused by a large-scale transition to transport with zero emissions and the development of unmanned vehicles.

The paper discusses the principles of building a global high-speed broadband satellite Internet with low latency. Potential capabilities of technologies such as digital antenna arrays and laser communication channels used in such systems are analyzed. Also considered are the existing and potential problems, both technical with electromagnetic compatibility with existing satellite communication systems and between systems under construction or planning, and legal caused by changes in the principles of information transfer at the interstate level. The main players in the emerging market of high-speed satellite communications are considered and the parameters of the systems declared by them are described. The comparison of the current state of building satellite constellations of individual projects is carried out and the ability to implement the announced plans by individual companies is analyzed. The disadvantages that create obstacles for the introduction of high-speed satellite communications in road transport at the moment and the directions of their overcoming are highlighted.

Considering the potential of satellite Internet systems, the current state of construction, as well as existing technical and legal restrictions, the introduction of reliable satellite communications will significantly speed up the transition to autonomous unmanned vehicles. In this regard, the most successful opportunities for the new communication technology will be able to realize the transport companies, which will simultaneously update the fleet of vehicles towards zero emissions and with unmanned technologies.

**global navigation satellite system, satellite communication, satellite internet, satellite constellation, low Earth orbit, small satellite, transport communication system, Self-driving car**

*Одержано (Received) 21.03.2021*

*Прорецензовано (Reviewed) 31.03.2021*

*Прийнято до друку (Approved) 26.04.2021*

**УДК 65.018:656.13**

**DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4\(35\).264-272](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4(35).264-272)**

**О.С. Хачатурян**, канд. екон. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*e-mail: lenarice1982@gmail.com*

**С.Л. Хачатурян**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*e-mail: serg130354@gmail.com*

## Оцінювання якості надання автотранспортних послуг

Все більшого поширення та розвитку останнім часом набуває сфера надання автотранспортних послуг. Постійно збільшується число підприємств і одноосібних перевізників на ринку автотранспортних послуг. Разом з цим зростає й рівень конкуренції між надавачами автотранспортних послуг, що викликає необхідність підвищення якості надання автотранспортних послуг. Адже високий рівень якості дозволяє займати провідне положення у даному секторі економіки. Нагальною є необхідність проведення оцінювання якості надання автотранспортних послуг, причому актуальним є оцінювання якості їх з позицій споживачів цих послуг. У ході дослідження встановлено як групові, так і одиничні показники оцінювання якості. Аналіз існуючих показників виявив оцінювання якості послуг з урахуванням, у першу чергу, інтересів суспільства в цілому. Визначено основні базові положення, спираючись на котрі, може бути вдосконалена сукупність методичних підходів до оцінювання якості автотранспортних послуг. Встановлено рівні оцінювання автотранспортних послуг і їх зміст.

**автотранспортна послуга, якість, автотранспортний сервіс, оцінка якості, ознаки якості**

© О.С. Хачатурян, С.Л. Хачатурян, 2021