

На орбіті стає тісно



Низькоорбітальний супутниковий Інтернет потроху перетворюється з цікавого концепту на буденність.

SpaceX закінчила розгортання першої черги свого низькоорбітального супутникового угруповання. З минулого року компанія проводить бета-тести в США і деяких інших країнах, швидкість передачі сягає 200 Мбіт/с. Після минулорічного банкрутства ожив OneWeb, який також продовжив запуски супутників. Плани власних LEO-угруповань виношують компанія Amazon, уряди Китаю і Росії. Словом, вже незабаром у наземного Інтернету з'явиться серйозний конкурент.

Вже традиційно «СіБ» розглядає, що відбувалося в проектах низькоорбітального Інтернету і коли вони реально запрацюють.

Перший шар Starlink вже в космосі

Головним постачальником новин, звісно, є **SpaceX** зі своїм проектом супутникового Інтернету **Starlink**. Наприкінці травня компанія завершила розгортання першого шару з 1584 супутників. Упродовж наступних кількох місяців останні кілька партій по 60 КА, виведені у травні-червні, рухатимуться до робочої

орбіти висотою 550 км, після чого покриття сягне 80% поверхні Землі (повне покриття Ілон Маск обіцяє у 2022 році).

Для виведення цих півтори тисячі супутників знадобилося півтора року і 27 запусків. Що було б неможливо без робочої конячки SpaceX — ракети Falcon 9, перший ступінь якої після місії повертається на Землю і за місяць-два готовий до нового польоту. Компанія також повторно використовує половинки носового обтічника. Все це не лише економить кошти, але й уможливорює високий темп запусків, оскільки заводу у Хоторні залишається лише виробляти другі ступені з одним двигуном Merlin Vacuum.

Загалом перше сузір'я Starlink налічуватиме 4408 супутників і складатиметься з п'ятох шарів. Другий з них, розгортання якого розпочнеться незабаром, також міститиме 1584 апарати, що розмістяться на висоті 540 км. Третій шар складатиметься з 72 КА на висоті 570 км, які обертатимуться з нахилом до екватора 70°. 348 супутників четвертої і 172 п'ятої груп займуть полярну орбіту з нахилом 97,6° і висотою 560 км, ці

апарати використовуватимуть лазерні канали зв'язку для міжсупутникової комунікації (оскільки в полярних широтах наземні ретранслятори не поставиш). До речі, перші 10 апаратів з лазерами вирушили у січні в рамках місії Transporter-1, коли ракета Falcon-9 доставила у космос загалом 143 малих супутники різних компаній (рис. 1).

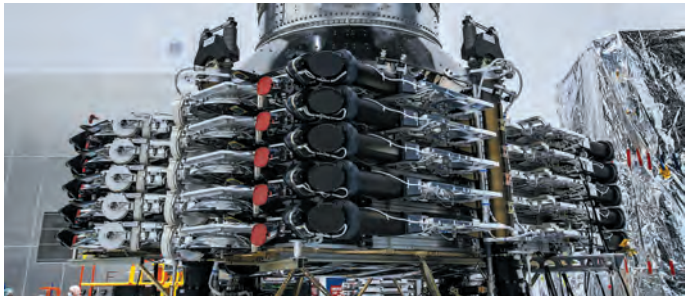


Рис. 1. Супутники Starlink унизу вантажного блоку Transporter-1. Чорні трубки — це лазерні випромінювачі

Сайт NasaSpaceflight зазначає для порівняння, що у 2018 році — коли SpaceX запустила два прототипи під назвою Tintin — усього на орбіті Землі перебувало близько 1800 діючих супутників, а разом з неактивними — близько 4600, починаючи з Vanguard-2, запущеного 1958 року. Сузір'я першої фази має бути розгорнуте наполовину до березня 2024 року, а повністю — до листопада 2024-го.

Друга фаза Starlink налічуватиме 7518 супутників, які розмістяться на висотах 335–345 км. Її розгортання має розпочатися у червні. Таким чином, загалом сузір'я Starlink може сягнути 12 тис. КА.

Те, що SpaceX вже незабаром матиме в космосі більше супутників, ніж уся решта власників разом узяті, видається якимось одночасно кількісним і якісним стрибком. Але попереду — значний крок вперед наступного порядку, оскільки компанія планує на третьому етапі розгорнути 42 тис. КА — вже не вдвічі, а в 25 разів більше, ніж було на орбіті до 2019 року. Цей план стане здійсненням лише після введення в експлуатацію нової транспортної системи Starship, яка зараз створюється. Starship зможе виводити супутники одразу сотнями і (теоретично) літатиме набагато частіше за Falcon 9.

Нівроку таке «нічого»

Влітку минулого року SpaceX приступила до закритого тестування Starlink за участі власних співробітників. Хоча розголошення результатів заборонялося, дехто з учасників анонімно публікував дані вимірювань за допомогою сервісу Ookla Speedtest: швидкість до абонента знаходилась в межах 11–60 Мбіт/с (тоді ж під час одного з запусків ведучі називали навіть цифру 100 Мбіт/с). Вже на той час це були цілком пристойні значення, при тому що розгортання сузір'я лише почалося.

У жовтні, коли кількість супутників на орбіті сягнула 800, SpaceX розпочала відкрите бета-тестування Starlink

під назвою Better Than Nothing («краще, ніж нічого»), воно триває досі. Охочим пропонувалося придбати комплект обладнання за \$499 і оплатити підписку в розмірі \$99 на місяць. Разом з терміналом — «НЛО на патику», за характеристикою Ілона Маска (рис. 2), користувачам надавались маршрутизатор Wi-Fi і застосунок для смартфона, який за допомогою доповненої реальності надавав змогу шукати вільні від перешкод ділянки неба для націлення антени.



Рис. 2. Абонентський термінал Starlink (фото: John Kim/Cnet.com)

«У найближчі місяці очікуйте швидкостей передавання даних від 50 до 150 Мбіт/с і затримки від 20 до 40 мс, між тим як ми розбудовуємо систему Starlink, — йшлося в листі компанії. — Також будуть нетривалі періоди, коли зв'язку не буде взагалі».

Перші дані цих відкритих тестів з'явилися у листопаді, коли співтовариством користувачів Starlink у мережі Reddit було оприлюднено список замірів на Speedtest. У багатьох тоді швидкість перевищувала 150 Мбіт/с, а у одного сягнула 209 Мбіт/с (найкраща швидкість від абонента становила 48 Мбіт/с, затримка — 15 мс). Щоправда, один користувач, який проживає на півночі США, писав, що під час завірюхи, коли за годину випало 3 дюйми (7,6 см) снігу, швидкість упала відповідно до 20–30 Мбіт/с у нисхідному і 3 Мбіт/с у висхідному напрямках, а затримка суттєво зросла. Інші користувачі, однак, повідомляли, що обладнання нормально працює і в негоду, підтверджуючи це знімками екрану, а один взагалі заявив, що з похолоданням швидкість завантаження зросла зі 150 до 175 Мбіт/с. У грудні SpaceX додала режим «плавлення снігу», який дозволяє додатково нагрівати тарілку.

Очікується, що якість послуг буде ще покращуватись у міру розбудови сузір'я. Маск у лютому обіцяв, що впродовж року швидкість зросте до 300 Мбіт/с, а затримка скоротиться до 20 мс. На початок березня у тестуванні брали участь близько 10 тис. користувачів. Наразі, окрім США, до нього долучені Канада, кілька країн Європи, Австралія і Нова Зеландія (список зростає).

Щодо початку комерційної експлуатації, то у квітні Маск писав у Твіттері, що закінчення тестування можливе

десь улітку. Вже зараз можна замовити послугу на сайті Starlink, внісши передоплату. Замовити підключення можна й в Україні, але на сайті зазначено, що покриття в нашому регіоні планується у 2022 році, а доступність послуги залежатиме від схвалення регулятором. (Інша річ, кому тут потрібен Інтернет за сто доларів на місяць, але хтозна.)

Станом на початок травня Starlink повідомила, що отримала понад 500 тис. передзамовлень по всьому світу. Компанія попереджає, що передплата не гарантує надання послуги, але кошти можна буде повністю повернути. Коментуючи цю новину, Маск написав, що усі ці 500 тис. потенційних абонентів послуги отримають, але проблеми з'являться, коли їхня кількість сягне декількох мільйонів.

Опора на село

Що далі? Наразі Starlink залишається збитковим. Ілон Маск у лютому зазначав, що SpaceX необхідно впродовж приблизно року здолати глибоке провалля від'ємного доходу. «Усі нові супутникові сузір'я в історії ставали банкрутами. Ми сподіваємося стати першими, хто цього уникне», — цитує його слова сайт Tesmanian.

Найбільшою технічною проблемою Маск називає зниження вартості абонентського терміналу. Вона ж є й проблемою фінансовою, оскільки наразі SpaceX це обладнання субсидує. За словами президента SpaceX Гвенн Шотвелл, ці термінали, які є «досконалішими за ті, що стоять на винищувачах», насправді зараз коштують близько \$1500 за одиницю; втім, значного прогресу вже досягнуто, оскільки початково їхнє виробництво обходилося у \$3000.

Окрім того, Starlink буде, очевидно, важко закріпитися у містах, де є вдосталь пропозицій від провайдерів і мобільних операторів. Це визнає і сам Маск. «Важливо зазначити, що у густонаселених міських районах стільниковий зв'язок завжди матиме перевагу, — писав він у лютому. — Супутники краще підходять для територій з низькою і середньою щільністю населення».

Попри слова SpaceX (та інших компаній) про подолання цифрового розриву і забезпечення покриття у важкодоступних місцях, мова не про сільву і саванну, а насамперед про території, де є платоспроможний попит. У грудні минулого року SpaceX стала одним з 180 переможців конкурсу на забезпечення сільської Америки швидкісним інтернет-доступом (Rural Digital Opportunity Fund — «Фонд цифрових можливостей у сільській місцевості»). Повідомлялося, що компанія отримає субсидію у розмірі \$885,5 млн (із \$9,2 млрд). Ці кошти виділятимуться впродовж 10 років, SpaceX має підключити майже 643 тис. домогосподарств у 35 штатах. Цікаво, що за повідомленням регулятора, для 99,7% населених пунктів переможці запропонували швидкість щонайменше 100 Мбіт/с, для 85% — 1 Гбіт/с; пропозицію Starlink було прийнято як «вище прийняттого рівня», хоча й без гігабітних швидкостей.

Можливо, одним з аргументів на користь Starlink стало те, що розбудова проекту триватиме незалежно від того, виграє SpaceX якісь державні програми чи ні. Але сам факт, що SpaceX потрапила до числа підрядників, зчинив бучу серед наземних телеком-операторів, які брали участь у тендері. Критики наголошували на тому, що Starlink все ще перебуває на етапі бета-тестування, а також вибір на користь супутників означає, що волоконно-оптичні мережі у відповідних місцях розвиватись не будуть. Два об'єднання конкурентів — Fixed Broadband Association і Rural Broadband Association — замовили дослідження консалтинговій компанії Cartesian, за оцінками якої до 2028 року 56% користувачів Starlink відчуватимуть погіршення якості послуг у пікові години (від 18-ї до 24-ї). Видання Wall Street Journal писало, що понад 150 конгресменів направили листа до FCC, заклавши регулятора «ретельно перевірити переможців, аби переконатися, що ті здатні виконати свої зобов'язання». Листа підтримали Rural Broadband Association і ще одна організація, National Rural Electric Cooperative Association, глава якої, Джим Метисон, заявив: «Ми фактично фінансуємо експеримент. І невідомо, вдасться він чи ні».

Окрім села, SpaceX розглядає й іншу традиційну для супутникового зв'язку сферу застосування — транспорт. На початку червня віце-президент SpaceX Джонатан Хофеллер повідомив про переговори з кількома авіакомпаніями щодо забезпечення інтернет-покриття на літаках. Він зазначив, що розробка відповідного продукту наразі триває, і компанія вже провела декілька демонстрацій. SpaceX подала до FCC кілька заявок, одна з яких стосується використання Starlink на «рухомих наземних станціях» (тобто у даному випадку кораблях, літаках і вантажівках), а інша — випробування терміналів Starlink з квадратною антеною: така конструкція, як зазначає видання The Verge, зазвичай асоціюється з літаками. Окрім того, для забезпечення зв'язку в повітрі знадобляться між супутникові лазерні лінії.

Нарешті, SpaceX розраховує на оборонні контракти: зокрема у березні повідомлялося про демонстрацію для американських ВПС, під час якої інформацією мали обмінюватися кілька об'єктів: дві станції на землі, літак і автомобіль. Тести повинні зайняти від 4 до 6 місяців.

Нове життя OneWeb

Головним конкурентом Starlink вважають консорціум **OneWeb**, який знову набрав хід після торішніх негараздів. Нагадаємо: навесні 2020 року OneWeb збанкрутував і був виставлений на торги, після чого його придбали на рівних паях уряд Великобританії і компанія **Bharti Global**, місцевий підрозділ індійського конгломерату **Bharti Enterprises**, які отримали по 45% акцій і домовились вкласти в проект по \$500 млн. Тоді повідомлялося, що індійці візьмуть на себе операційне і комерційне управління, а Великобританія,

з огляду на національну безпеку, вирішуватиме, які країни зможуть мати доступ до технології.

У квітні вже цього року консорціум уклав угоду з **Eutelsat**, який інвестує в проект \$550 млн, за що після перерозподілу отримає 24% акцій та рівні з Bharti і британським урядом права на управління.

Після викупу розгортання угруповання OneWeb поновилося: ті супутники, які «зависли» в очікуванні вирішення долі компанії, продовжили рух до робочої орбіти висотою 1200 км. Також від часу купівлі OneWeb за допомогою ракет «Союз» відправив у космос ще кілька партій по 32 супутники (**рис. 3**), тож наразі їх там є 218 з запланованих 648, що складатимуть сузір'я першої фази. Очікується, що OneWeb почне надавати обмежені послуги у північній півкулі вже цього року, а наступного буде досягнуте глобальне покриття. Раніше компанія планувала розгортання на другому етапі ще 42 тис. супутників, проте у січні ці амбітні задуми було дещо підкориговано, і тепер друга фаза передбачає додавання «лише» 6372 КА. Таким чином, загальним числом угруповання налічуватиме близько 7 тис. супутників.

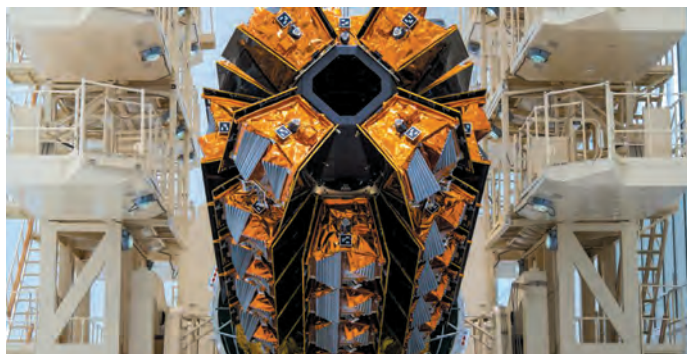


Рис. 3. Збірка супутників OneWeb перед завантаженням у ракету

В інтерв'ю виданню *Via Satellite* засновник і глава Bharti Enterprises Суніл Бхарті Міттал розповів, що на відміну від SpaceX, його компанія має намір не конкурувати з наземними операторами, а співпрацювати з ними. «Я не робитиму такої помилки, оскільки, за моїми оцінками, там, де є наземна мережа, для супутника дуже мало можливостей, — сказав він. — Я там, де нема їх. Жодного конфлікту. Я готовий зустріти з відкритими обіймами усіх світових телеком-операторів і зробити їх своїми партнерами. Візьміть у мене транзит трафіка базових станцій, обслуговуйте свої підприємства через OneWeb, надавайте хмарні послуги тощо. Включіть мене у свої програми аварійного відновлення».

OneWeb надаватиме послугу інтернет-доступу телекомунікаційним операторам, які перепродаватимуть її кінцевим користувачам. За словами Кріса Маклафліна, глави OneWeb зі взаємодії з держорганами, регуляторами і користувачами, при цьому питання ціноутворення буде передано на розсуд операторів, оскільки «вони краще знають своїх клієнтів». Також кінцеві користувачі не отримуватимуть супутникових терміналів: замість тарілки буде маршрутизатор Wi-Fi.

Зараз консорціум укладає угоди з регіональними операторами. Зокрема, компанія **Pacific Dataport** стала дистрибутором OneWeb на Алясці, а її материнська компанія **Microcom** — провайдером, який надаватиме Інтернет кінцевим споживачам.

Відомо, що OneWeb візьме участь у британській державній програмі Project Gigabit — аналогу американського RDOF — на загальну суму \$6,9 млн. За словами Маклафліна, компанія вже провела «переговори на міністерському і інших рівнях».

Ще одним потенційним напрямком може бути використання OneWeb як системи глобального позиціонування. Власне, це називалось однією з причин, які могли спонукати британський уряд викупити OneWeb, оскільки після Брекзиту країна позбулася доступу до європейського проекту Galileo. Бхарті Міттал зазначав, що супутники другого покоління матимуть на борту обладнання для навігаційних і координатно-часових послуг. У травні газета *The Daily Telegraph* писала, що уряд розглядає OneWeb як потенційного партнера для створення британської системи супутникової навігації, яка, втім, не буде прямим конкурентом GPS, а доповнюватиме її.

OneWeb також прагне отримати замовлення від уряду в США. У березні компанія продемонструвала американському оборонному департаменту рішення «під ключ», яке забезпечує зв'язок на швидкості до 500 Мбіт/с за затримки не більше 32 мс. Також під час тесту було показано безшовний хендовер між супутниками. У травні оголошено про намір придбати TrustComm — американську компанію, яка надає послуги супутникового зв'язку державним і комерційним організаціям. Посередником між OneWeb і канадськими військовими в Арктиці обрано компанію ROCK Networks.

Інші

Також варто стисло розповісти про інші проекти LEO-Інтернету, які поки не дійшли до стадії розгортання.

Project Kuiper — це програма компанії **Amazon**, в рамках якої передбачається запуснути 3236 низькоорбітальних супутників (на першому етапі — 578). Amazon має намір вкласти в неї \$10 млрд. У липні минулого року FCC дав цій програмі зелене світло.

Конструкція супутника Kuiper поки не фіналізована, але наприкінці минулого року Amazon провела випробування антени «недорогого абонентського терміналу» (зокрема, було продемонстровано передавання потокового відео з геостаціонарного супутника у якості 4K). Цікава новина прийшла у квітні: Amazon уклала угоду про 9 запусків Kuiper ракетами Atlas V спільного підприємства United Launch Alliance. Раніше вважалося самоочевидним, що для цього використовуватиметься носій New Glenn компанії **Blue Origin**, власником якої є засновник Amazon Джефф Безос; але

через перепроектування ракети її дебют перенесли на кінець 2022 року. Отже, або з Kuiper все настільки добре, що вони не стали чекати «своєї» ракети, або, навпаки, все погано з New Glenn.

Канадський оператор **Telesat** планує побудувати сузір'я з 292 супутників, що розташуються на висоті 1000 км: 72 на полярній орбіті і 220 на похилій. Проект отримав назву **Lightspeed**, головним виробником супутників обрано компанію **Thales Alenia Space**. Кожен супутник матиме фазовану антенну решітку з технологією Beam Hopping, яка дозволить створювати 135 тис. спрямованих променів і динамічно перерозподіляти пропускну здатність між різними клієнтами залежно від потреб (подібна система розробляється і для OneWeb). Також КА матиме 4 лазерні прийомопередавачі. На додачу Telesat розробляє доступні за ціною термінали для різних застосувань. Час є, оскільки для запусків законтрактовано ракету New Glenn, яка, як зазначалось, не готова.

Щоб профінансувати Lightspeed, Telesat бере позики, частину коштів буде отримано від продажу акцій. \$400 млн виділяє влада Квебеку, де розташується центр управління. У листопаді минулого року компанія уклала угоду з канадським урядом щодо забезпечення швидкісним інтернет-доступом сільських громад країни, Telesat отримає на це 600 млн канадських доларів (\$460 млн) впродовж 10 років і у відповідь надаватиме послуги за зниженими тарифами.

У листопаді минулого року видання Asia Times повідомило, що китайські державні телеком-оператори мають намір впродовж 5–10 років розмістити на низькій навколоземній орбіті щось із 10 тис. супутників, щоб не відставати від конкурентів із США. Пекін начебто поспішає втілити цей проект, поки американський уряд і приватні фірми на кшталт SpaceX не заповнили увесь низькоорбітальний простір. Проект, який зрештою отримав назву Guowang (що означає «державна мережа»), як з'ясувалося згодом, налічуватиме майже 13 тис. КА, які розмістяться на висоті 500–1145 км.

Навіщо Китаю власний Starlink? Професор Ларрі Пресс з Університету штату Каліфорнія зазначає, що в Китаї ще раніше було висунуто плани створення трьох LEO-сузір'їв і навіть запускалися супутники-прототиби: одне для обслуговування віддалених районів самого Китаю, друге — для авіації, морських суден і транзиту мобільного трафіка, а третє — для 5G і IoT. Guowang, можливо, розрахований на країни, де Китай має сильну присутність завдяки ініціативі «Пояс і шлях». Цілоком може статися, що попри глобальний характер великих супутникових проектів, Starlink і Guowang обслуговуватимуть різні країни. Більш зловісна версія, запропонована виданням Axios China, полягає в тому, що за допомогою супутникової мережі Китай зможе стежити за інтернет-трафіком.

Більш екзотичний проект реалізує американська компанія **Swarm Technologies**, яка будує сузір'я для

IoT. Swarm планує до кінця року запустити 150 супутників завбільшки з хокейну шайбу (рис. 4); власне, понад половини з них вже там. Підключення одного пристрою IoT коштуватиме \$5 на місяць, супутниковий модем Swarm Tile можна придбати за \$119. Повідомлялося, що на ранній доступ вже підписалося понад 200 компаній.

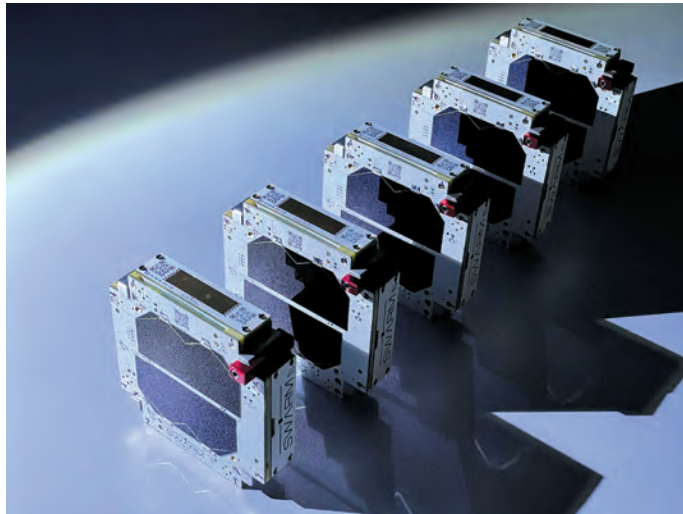


Рис. 4. Супутники Swarm

Згадаймо також про компанію **Lynk Global**, яка розробляє технологію зв'язку мобільного телефона безпосередньо з супутником. У березні 2020 року технологію було випробувано на Фолклендських островах (вдалося прийняти текстове повідомлення), і відтоді від Lynk не було жодних новин. Аж ось у травні стало відомо, що компанія подала заяву в FCC на отримання ліцензії. Lynk планує запустити перші 10 супутників впродовж 10–12 місяців і укласти угоди з кількома мобільними операторами, глобальний же сервіс може запрацювати у 2025 році.

Стовпотворіння в ближньому космосі

Між тим через цю супутникову гонитву на низьких навколоземних орбітах стає трохи тісно, і загроза катастрофічних зіткнень космічних апаратів стає цілком реальною. Дехто навіть малює апокаліптичні картини, де збій одного супутника спричиняє лавину зіткнень і бомбардування Землі уламками. До такого навряд чи дійде, і взагалі поріг ризику зіткнення становить приблизно 1 на 10000 (принаймні, так було у 2019 році, коли супутник Європейської космічної агенції облітав апарат Starlink), але вже зрозуміло, що час виробити нові правила руху в космосі.

У березні NASA і SpaceX підписали угоду, яка передбачає координацію та обмін даними для уникнення зіткнень між супутниками Starlink і апаратами NASA. Перші обладнані системою навігації, іонними двигунами та програмою автономного маневрування. Сторони домовились, що під час зближень маневруватимуть супутники Starlink — в автоматичному або ручному режимі, — а NASA погодилася свої супутники не рухати, щоб обоє ненароком не влетіли один в одного.

У квітні під час запуску партії супутників OneWeb один із них пройшов поблизу апарата Starlink. Тоді теж ймовірність зіткнення була невеликою, але сторони домовились, що маневруватиме OneWeb, а Starlink стоятиме (що потім не завадило їм звинуватити одне одного в пресі).

У квітні FCC надала дозвіл Starlink розмістити решту супутників першої фази на висоті не 1150 км, як попервах планувалося, а в околицях 550 км (власне, такий самий дозвіл було видано у 1919 році щодо першого шару). Конкуренти — насамперед Amazon і OneWeb — подали понад 200 заперечень, стверджуючи, що це призведе до збільшення електромагнітних завад і посилить ризики зіткнення. Проте комісія дійшла висновку, що зміна не створить значних додаткових завад, натомість зробить сузір'я Starlink більш безпечним, оскільки SpaceX буде зручніше скеровувати несправні супутники в атмосферу, де вони згорятимуть.

Втім, Amazon назвала рішення регулятора своєю перемогою, оскільки воно зобов'язує SpaceX підлаштуватись під сузір'я Kuiper (тобто супутники Starlink розміщуватимуться на вище 580 км і муситимуть «виримувати» майбутні завади з боку Kuiper). Окрім того, SpaceX повинна буде щороку надавати FCC списки відмов Starlink, а також зафіксовані зближення з іншими супутниками.

Цікаво, що оскаржити це рішення FCC намагався традиційний супутниковий оператор **Viasat**, який у травні вимагав його призупинити для проведення ретельного дослідження впливу мегасузір'я на довкілля. У разі відхилення запиту компанія збиралася звернутися до суду. Подібне звернення з посиланням на загрозу довкіллю Viasat подавав у грудні минулого року, але теж безрезультатно («Starlink радше становить загрозу для прибутків Viasat», — прокоментував тоді Маск).

OneWeb, зі свого боку, у травні уклав угоду з компанією AstroScale, яка до того запустила демонстраційний супутник для прибирання космічного сміття. Передбачається, що він зможе по черзі перехоплювати несправні КА і скидати їх в атмосферу. OneWeb виділить цьому стартапу грант на доведення технології до зрілого стану.

Ще однією проблемою, яка постає через низькоорбітальні сузір'я, є світлове забруднення неба, що засмучує астрономів. Зокрема, супутники Starlink сяють найяскравіше під час набору висоти і особливо заважають спостереженням за горизонтом у світанкові години, що важливо для відстеження астероїдів, які пролітають близько до Землі. Щоб зменшити забруднення, SpaceX фарбувала апарати у чорний колір (супутники Darksat), а також додавала дашок від сонця (Visorsat). Зниження робочих орбіт Starlink також має зменшити видимість цих супутників, оскільки вони розташовуватимуться глибше в тіні Землі. Проте астрономів все це повністю не задовольнило.

У січні повідомлялося, що група японських учених за допомогою телескопа обсерваторії Ісігісіма оцінила яскравість супутників типу Darksat і дійшла висновку, що темне покриття справді удвічі зменшує відбиття сонячного світла. З іншого боку, через це покриття вони поглинають більше випромінювання і розігріваються, що робить їх більш яскравими в інфрачервоному діапазоні.

Інше дослідження, оприлюднене також у січні, показало, що дашки на супутниках Visorsat таки суттєво зменшили їх яскравість — в середньому на 69%, проте вони все одно у 2,5 рази яскравіші, ніж планувала SpaceX, і продовжують заважати телескопам. Хоча супутники тепер будуть невидимі для неозброєного ока (окрім фази підйому), вони все одно заважатимуть астрономічним спостереженням. Навіть якщо SpaceX вдасться зменшити яскравість до 7-ї зоряної величини, як у компанії сподіваються, супутники все одно залишатимуть світляні сліди, що закриватимуть об'єкти, які цікавлять астрономів (**рис. 5**). Супутники можуть псувати навіть знімки орбітальних телескопів на кшталт Hubble. Зрештою, супутники ще й випромінюють радіохвилі, які заважають уже радіотелескопам.



Рис. 5. Два супутники Starlink, зняті з витримкою 15 с у квітні 2020 року (фото: Patrick Pleul, Getty Images)

Але Starlink — то півбіди, бо компанія Маска, принаймні, вживає заходів, щоб зменшити проблему. Неможливо передбачити, що буде, коли з'являться сузір'я інших операторів. У Джонатана Макдауела — астронома з Гарварду і одного з авторів дослідження, слова якого цитує Business Insider, — особливе занепокоєння викликають супутники OneWeb, які перебуватимуть набагато вище і будуть видимі довше впродовж ночі. Якщо цей проект реалізується, стверджує Макдауел, влітку проводити більшість спостережень з землі стане «практично неможливо».

Як і будь-яка технологія, що руйнує усталений порядок, мегасузір'я потребуватимуть зрештою якогось регулювання. Так само, як колись автомобіль і радіо. Нам з цим жити, доведеться пристосовуватися.

Василь ТКАЧЕНКО, Мережі та Бізнес