

Галаган В. І., к.військ.н., доцент;  
Турейчук А. М. к.т.н., с.н.с.;  
Бондарчук С. В.;  
Прокопенко О. С.;  
Панадій К. В.

Центр воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

## Розгляд проблемних питань оптимізації супутникового зв'язку

**Резюме.** У статті проводиться аналіз можливих шляхів оптимізації супутникового зв'язку за рахунок вдосконалення структури та побудови систем супутникового зв'язку, що дозволяє забезпечити якісну автоматизацію процесів управління оборонними ресурсами.

**Ключові слова:** система супутникового зв'язку; класифікація систем; побудова систем.

**Постановка проблеми.** На сьогодні, в умовах обробки зростаючих обсягів інформації зі змінною складною структурою висуваються певні вимоги щодо передачі їх до баз даних та у зворотному напрямі.

Для зв'язку із серверними комплексами управління базами даних, які застосовуються для забезпечення діяльності систем управління оборонними ресурсами можуть використовуватися як стаціонарні, так і супутникові лінії зв'язку.

Для забезпечення повсякденної діяльності Збройних Сил України в мирний час найбільш доцільно та менш витратно використовувати як власні існуючі стаціонарні лінії зв'язку, так і орендовані у держави, тим паче, що останні знаходяться на обслуговуванні визначених та фінансово забезпечених підрозділів.

Слід зазначити, що у разі зміни дислокації військових формувань (польові виходи, навчання, виконання бойових завдань тощо) виникає проблемне питання забезпечення безперебійним зв'язком. Одним із шляхів вирішення цього питання є застосування *супутникових ліній зв'язку*, які не мають прив'язки до конкретних вузлів зв'язку та дозволяють реалізувати мобільну складову будь-якого програмного забезпечення для потреб ЗС України.

Виходячи з викладеного вище, **основною метою** статті є визначення (розкриття) можливих шляхів оптимізації супутникового зв'язку, що в подальшому дозволить організувати якісну передачу інформації (оптимізувати) до сервера баз даних та у зворотному напрямі.

Тому оптимізація супутникового зв'язку для забезпечення діяльності систем, особливо тих, що забезпечують адміністративно-господарську діяльність військ (сил) є досить актуальним питанням.

**Ступінь розробленості проблеми.** Різноманіття технологій для підвищення ефективності використання супутникового ресурсу досить логічно розкладається за рівнями моделі OSI. Модель OSI (базова еталонна модель взаємодії відкритих систем, англ. Open Systems Interconnection Basic Reference Model) описує системні засоби взаємодії, що реалізуються операційною системою, системними утилітами, системними апаратними засобами [1].

На сьогодні найбільш оптимальними для використання в ЗС України є малі супутникові наземні станції VSAT (Very Small Aperture Terminal) [2], тобто термінали з маленькими антенами, які почали використовуватися з початку 90-х років. За міжнародною класифікацією до VSAT відносяться супутникові станції з антенами менше 2,5 метрів.

Для станцій VSAT найбільш класичним прикладом системи супутникового зв'язку є канал SCPC (Single Channel per Carrier – один канал на одну несучу частоту). При цьому на супутнику виділяються дві смуги частот: одна – для роботи станції 1 в напрямку станції 2, друга – для роботи станції 2 в напрямку станції 1. У такій системі каналоутворюючими пристроями є супутникові модеми: вони здійснюють перетворення послідовних даних в радіочастотний сигнал і назад, а також завадозахисні кодування переданих даних.

Основна перевага технології SCPC – гарантована швидкість і висока готовність каналу. Виділені на супутнику смуги частот монопольно займаються парою модемів, тому в будь-який момент часу їм доступна вся смуга каналу.

Але, ця технологія має і суттєвий недолік – низька ефективність використання супутникового ресурсу. Незалежно від того, чи є на даний момент потреба в передачі, виділені смуги частот зарезервовані за станціями 1 і 2 та не можуть бути використані іншими користувачами.

Відповідно й оператори супутникового зв'язку намагаються орендувати смуги мінімально необхідної ширини. Для роботи з вузькосмуговими сигналами обладнання повинно відповідати специфічним вимогам, тому коштує досить дорого. Крім того, на кожен орендовану смугу на супутнику оператор повинен отримати частотне присвоєння.

У результаті вартість рішення SCPC для типових (нересурсомістких) задач може скласти від 30-35 тисяч USD на один кінець [3]. Враховуючи велику кількість об'єктів, що потребують забезпечення зв'язком ця технологія може бути досить затратною для забезпечення потреб ЗС України.

Крім того, ще однією особливістю супутникової мережі є відстані, на яких працює

дане обладнання. Відстань від супутника на геостационарній орбіті до землі близько 30 тис. км, що призводить до значної затримки та втрати потужності сигналу, що передається або приймається.

Таким чином, можливості застосування супутникового зв'язку в інтересах підвищення ефективності управління оборонними ресурсами мають не тільки певні переваги, а і недоліки.

**Виклад основного матеріалу.** На сьогоднішній день розроблено безліч технологій, що реалізують процес передачі супутникового сигналу. Кожна з технологій має певні особливості, переваги і недоліки. Для задач, які виконують ЗС України необхідно визначити елементи даних технологій, які дозволять у сукупності виконати завдання оптимізації супутникового зв'язку в інтересах війська.

Реальні завдання супутникового зв'язку, як правило, припускають побудову мережі, а не окремих каналів.

Топологія мережі, яка найбільше підходить для забезпечення потреб ЗС України, це – “зірка”, вона найбільшою мірою відповідає структурі управління, як в бізнесі так і в державних структурах (рис. 1).

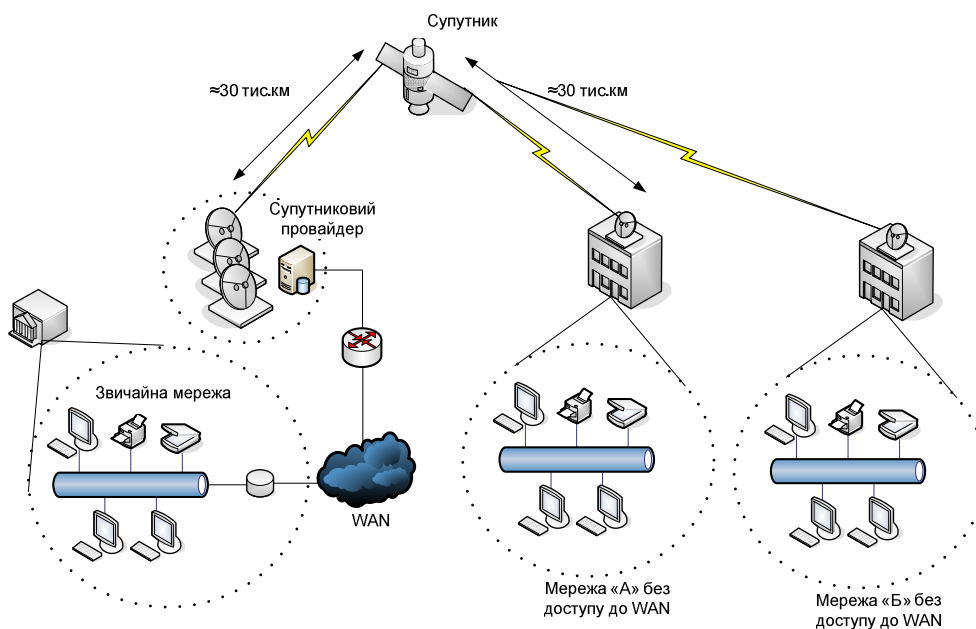


Рис. 1. Побудова мережі за типом “зірка”

На великих відстанях передачі супутникового сигналу можливе його викривлення за рахунок втрати потужності. Тому для збереження сигналу застосовуються відповідні системи кодування. Важливим етапом для супутникового зв'язку стало розроблення в

2003-2004 роках стандарту DVB-S2 для відеозв'язку, інтерактивних послуг та інших широкосмугових супутникових додатків. Цей стандарт сильно відрізняється від стандарту системи першого покоління (DVB-S). Так, DVB-S2 дозволяє використання більш

ефективного завадозахищеного кодування: внутрішнього коду з малою щільністю перевірок на парність (Low Density Parity Check, LDPC) [3] і зовнішнього коду Боуза-Чоудхури-Хоквінгема (Bose-Chaudhuri-Nocquenghem, BCH) [4].

Ця схема кодування дозволяє максимально наблизитися до межі Шеннона для каналів із випадковим характером помилок ("білим" або гауссовським шумом) [5]. Крім того, в DVB-S2 передбачається розширене число коефіцієнтів кодування (FEC 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 і 9/10) при різних видах модуляції (QPSK, 8PSK, 16APSK і 32APSK).

Коефіцієнт кодування (FEC) визначає співвідношення між числом інформаційних бітів і загальним числом бітів - з урахуванням надлишкових, які використовуються для прямої корекції помилок. Наприклад, коефіцієнт кодування 9/10 означає, що на дев'ять інформаційних бітів доводиться один надлишковий.

Перевагою DVB-S2, яка приваблює, в першу чергу, операторів мереж VSAT, стала технологія адаптивного кодування і модуляції (ACM). Вона дозволяє динамічно змінювати вид модуляції і коефіцієнт кодування (ця пара називається модковою конструкцією або модкодом) для кожного окремого кадру прямого каналу в залежності від умов розповсюдження сигналу при збереженні постійної символної швидкості.

У режимі ACM віддалений термінал постійно оцінює якість сигналу для визначення оптимального модкоду. Якщо центральна земна станція (ЦЗС) використовує неоптимальний модкод або умови розповсюдження сигналу в даній місцевості змінилися (наприклад, дощ закінчився), термінал "повідомляє" їй про це, і вона переходить на другий модкод. Такий алгоритм дозволяє при сонячному небі використовувати більш ефективну модуляцію і більш високий коефіцієнт кодування, ніж при дощі, а значить, забезпечити більш високу інформаційну швидкість (рис. 2).

У той же час ефект від режиму ACM носить імовірнісний характер: при ясній погоді він дає можливість виграти до 32 % порівняно з негодою. У випадку дощу швидкість передачі знижується. Доцільність такого варіанта проектування залежить від того, наскільки часто йдуть дощі в даному регіоні.

Завдяки наявній ефективності технології DVB-S2 з режимом ACM даний стандарт, що створювався спочатку як розвиток "телевізійного" стандарту DVB-S, використовувався також для організації каналів типу SCPC мереж VSAT. І, якщо для телебачення режим ACM не має сенсу, то для мереж VSAT він представляє дійсний інтерес, і сьогодні, практично всі виробники систем із центральною земною станцією, використовують стандарт DVB-S2 з даним режимом.

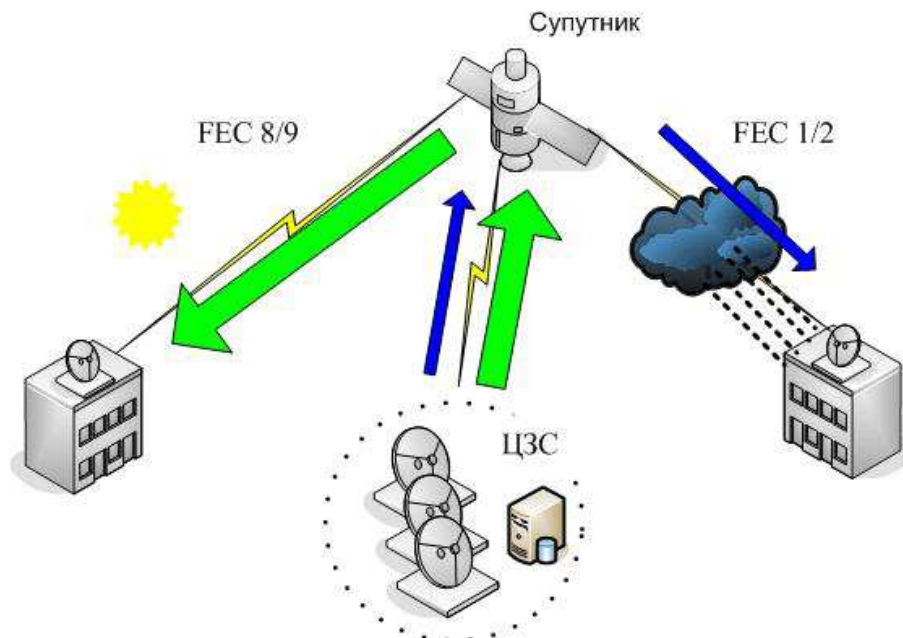


Рис. 2. Схема режиму адаптивного кодування і модуляції (ACM)

Переклад частини абонентських станцій оператора з потоку S на S2 дозволяє вивільнити частотний ресурс і дає можливість збільшити пропускну здатність каналів деяким групам

станцій. Впровадження рішення DVB-S2 можна збільшити пропускну здатність стандартного супутникового транспондера (з шириною смуги частот 36 МГц) з 45 до понад 60 Мбіт/с, що

дуже актуально в польових умовах, де особливо відчутний дефіцит супутникового ресурсу.

Таким чином, базові технології DVB-S2 дають постійний передбачуваний ефект: при визначеному енергетичному запасі (потужності приймально-передавальних пристроїв) можна використовувати більш ефективну модкову конструкцію і таким чином зменшити займану смугу. Застосування DVB-S2 дозволяє заощадити (порівняно з DVB-S) близько 30 % смуги пропускання.

Наступним кроком розвитку VSAT технологій можна виділити рішення TDM/MF-TDMA, яке використовує інший підхід до формування сигналу в прямому каналі.

Детерміністичний TDMA (D-TDMA), забезпечує використання супутникового сегмента з ефективністю до 98 % незалежно від ступеня завантаження мережі. Для порівняння, найбільш компетентні рішення MCPC/SCPC забезпечують ефективність до 60 %.

MF-TDMA (стрибокподібне переналаштування частоти) дозволяє системі найбільш ефективно використовувати смугу частот для TDMA-доступу. Віддаленій станції може надаватися вільна смуга частот у будь-якому зворотному каналі, де вона є в достатній кількості. Це забезпечує значну гнучкість при проектуванні мережі з високою ефективністю використання смуги частот супутника при забезпеченні необхідних робочих характеристик віддалених станцій.

Крім того системи TDMA мають малий крок зміни полоси несучої (від 1 кбіт). Це забезпечує безпрецедентну економію частотної смуги. Для порівняння, мінімальний крок, що використовується у більшості MCPC/SCPC систем, складає 128 кбіт, що часто призводить до невідрядного витрачання смуги частот.

Також можливо встановлювати мінімальний поріг швидкості прямого каналу навіть менше 128 кбіт/с, що значно менше, ніж пропонує DVB-система, де це значення дорівнює 5 Мбіт/с, отже, якщо необхідно забезпечити канал 1 Мбіт/с, DVB-рішення зобов'язує оплачувати додаткову ємність каналу 4 Мбіт/с.

Технологія TDMA дозволяє знизити крок несучих до коефіцієнта 1,2, в той час, як загальновизнаним стандартом в індустрії є коефіцієнт 1,4. Це рішення забезпечує додатковий вииграш в ефективності 14,5 %.

У той же час може виникнути ситуація, коли зниження пропускну здатності неприйнятне і тоді, як показують останні дослідження [6], краще піти шляхом *адаптації в зворотному каналі*.

Вказана адаптація у зворотних каналах можлива – від терміналів VSAT, через супутник, до центральної земної станції. Відповідні технології не є стандартними і називаються у різних виробників по-різному. Наприклад, Hughes Network Systems називає цей механізм адаптивним кодуванням (Adaptive Coding), а ViaSat – динамічною адаптацією каналу (Dynamic Link Adaptation, DLA). При чистому небі на зворотних каналах може підтримуватися високий коефіцієнт FEC, наприклад 6/7, а при погіршенні умов, скажімо через дощ, – здійснюватися перехід на більш надійний варіант FEC 2/3. При подальшому погіршенні умов – посилення дощу, туман, тощо – термінал автоматично знизить символну швидкість для збереження необхідного рівня надійності передачі.

Якщо функціонування прямих каналів чітко регламентується стандартом, проблем сумісності на лінії “вниз” немає (наприклад, при мовленні на термінали супутникового телебачення), то зі зворотним каналом ситуація складніша. Ще в 2000 році був прийнятий стандарт DVB-RCS (Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite), який визначав роботу таких каналів. Однак, закладений у ньому функціонал виявився недостатньо ефективним, і виробники почали розширювати його, пропонуючи власні рішення. У цілому, на думку експертів [7], фірмові технології забезпечують приблизно 10-відсотковий вииграш по використанню супутникового ресурсу в порівнянні зі стандартом DVB-RCS.

Також одним із рішень для зворотних каналів може бути автоматична віддалена синхронізація (Automatic Remote Synchronization): функція автоматичного керування зворотним каналом, частотою і синхронізацією (Automatic Uplink, Frequency and Timing Control), яка забезпечує найбільш щільну структуру кадрів TDMA. Цим знижуються вимоги до супутникового сегмента зв'язку та забезпечується передача більшого числа бітів на один герц.

Крім того, деякими виробниками використовується автоматичне управління живленням зворотного каналу (Automatic Uplink Power Control). Ця технологія використовує алгоритми автоматичної компенсації впливу погодних умов (дощ, туман) – це рішення дозволяє ще збільшити ефективність використання супутникового сегмента.

Суттєво підвищити ефективність використання супутникових каналів дозволяє ще один механізм, що працює на фізичному

рівні. Однак на відміну від розглянутих вище він поки не отримав широкого розповсюдження в мережах VSAT. Цей механізм передбачає поєднання частот прямого і зворотного каналу.

Як відомо, в традиційних мережах VSAT прямий і зворотні канали функціонують на різних частотах (рис. 4). Відповідно, необхідні для їх формування частотні ресурси сумарно збільшуються.

При використанні технології поєднання, прямий і зворотні канали передаються в одній і тій же смузі частот (рис. 5), що дозволяє значно знизити потребу в супутникових ресурсах. У цьому випадку приймачі на всіх станціях мережі отримують від супутника сигнали як прямого, так і зворотних каналів і повинні "вміти" виділити потрібний їм сигнал. Оскільки потужність прямого сигналу суттєво вище, то віддалені термінали легко виділяють його, сприймаючи сигнал зворотних каналів як шум. Але на центральній станції завдання виявляється набагато складніше, бо треба відфільтрувати потужніший сигнал прямого каналу. Для цього застосовується механізм, схожий з тим, що давно використовується для придушення "луни" в системах телефонії чи радіолокації: обладнання центральної станції зв'язку "запам'ятовує" переданий сигнал (прямий канал), а потім, отримавши накладені один на одиний прямий і зворотні канали, просто віднімає його, виділивши таким чином необхідні (зворотні) канали.

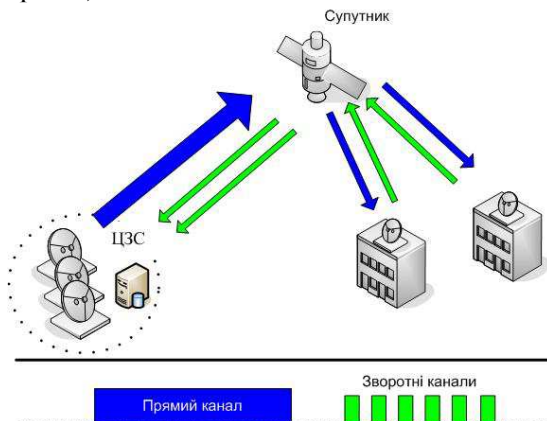


Рис. 4. Формування прямого та зворотного каналу мережі VSAT на різних частотах

На перший погляд може здатися, що поєднання частот прямого і зворотних каналів дозволяє вдвічі знизити необхідний супутниковий ресурс. Насправді це не так. Теоретичні 50 % недосяжні на практиці, тому що при переході на цей режим доводиться використовувати менш ефективну модкову конструкцію, ніж в класичному режимі. Використання технології CnC (ViaSat) дозволяє економити до 40 % смуги. За даними, які

представлені в матеріалах компанії Gilat, рішення BWO дають можливість економити до 30 %.

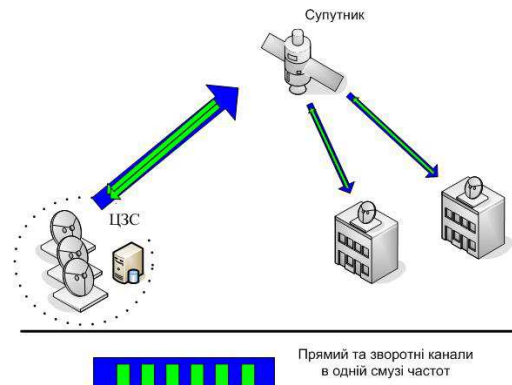


Рис. 5. Формування прямого та зворотного каналу мережі VSAT в одній смузі частот

Основна проблема впровадження технології PCMA в існуючих мережах пов'язана з тим, що для подібного частотного ущільнення необхідно мати певний запас по енергетиці (відношенню сигнал/шум). Накладаючи частоти, ми додаємо завад, і щоб досягти потрібного сигналу, необхідний енергетичний запас. Виробники рекомендують [8], щоб він був на рівні 1-1,5 дБ, проте досвід експлуатації показує, що потрібен більший резерв – 2-3 дБ.

Якщо на фізичному рівні метою оптимізації є підвищення ефективності використання частотного ресурсу (більше бітів на Гц), то на вищих рівнях (канальному, мережевому і транспортному) моделі OSI (рис. 2) ефективно використовувати *стискування та упаковку пакетного трафіку*.

Стандарти DVB визначають два способи інкапсуляції IP-пакетів у транспортний потік MPEG, який в системах DVB виконує функції мультисервісного транспорту, що переносить аудіо-, відео- і IP-трафік [9].

Спочатку був розроблений метод мультипротокольної інкапсуляції (Multi Protocol Encapsulation, MPE), який описаний в документі ETSI EN 301 192 [10]. Згодом робоча група IPDVB запропонувала інший варіант – Generic Stream Encapsulation (GSE, ETSI TS 102 606), який дозволяє більш ефективно (до 10 %) використовувати каналні ресурси. Це досягається, зокрема, за рахунок того, що алгоритм GSE (на відміну від MPE) не вимагає сегментації пакетів на 188-байтні блоки MPEG-TS та використовує заголовки меншого розміру.

Зниження накладних витрат, що забезпечується алгоритмом GSE, максимальне в разі передачі маленьких пакетів, що звичайно має місце в голосових додатках. Разом із тим, навіть незважаючи на втрату ефективності, в певних ситуаціях потрібно застосовувати схему



MPE – наприклад, коли в прямому каналі IP-трафік мультиплексується з безліччю відеопотоків DVБ/MPEG.

Очевидним способом зниження обсягу переданого через супутник IP-трафіку є його *стискування*. Однак, воно ефективно далеко не для всіх типів трафіку: наприклад, голосова та відеоінформація зазвичай стискається відповідними кодеками, тому її додаткова компресія практично нічого не дає.

У той же час для типового Web-трафіка ефект може виявитися досить значний. Як стверджують представники Hughes Network Systems, запатентований цією компанією алгоритм ITU V.44 [11], застосований додатково, для компресії, дає підвищення ефективності на 40 %. І це додатково до того ефекту, який забезпечує компресія заголовків різних протоколів мережевого і транспортного рівнів (IP, TCP, UDP, RTP). Компресія заголовків особливо ефективна при передачі голосового трафіку, який представляє собою потік коротких пакетів.

Застосування продукту Turbo Product Codes (TPC) для вхідних і вихідних маршрутів, зменшує необхідність у повторній передачі, що сприяє оптимальному використанню частотного ресурсу супутника. Таким чином, обладнання, що використовує TPC при такому ж рівні потужності обладнання перевершує обладнання конкурентів по пропускній здатності та коефіцієнту бітових помилок (BER). Економія потужності може досягати 41 % і дозволяє зменшити повну вартість і розмір антени, що призводить до того, що при тих же або більш високих характеристиках обладнання є більш дешевим.

При передачі IP-трафіку через супутникові системи зв'язку дуже часто використовують

*прискорювачі TCP*. Як відомо, цей протокол транспортного рівня передбачає підтвердження (квитування) отримувачем коректного прийому певної порції пакетів (“вікна” TCP). Якщо така квитанція не отримана, відправник знижує швидкість передачі наступних блоків інформації, припускаючи, що в мережі виникло перевантаження.

У системах супутникового зв'язку, в яких інформаційні потоки між центральною станцією зв'язку і кінцевими користувачами долають гігантську відстань близько 80 тис. км, такий “інтелект” TCP призводить до зменшення реальної пропускної здатності каналу і зниження надійності зв'язку.

Для їх недопущення можливо використати ряд заходів. У першу чергу це – алгоритм спуфинга (spoofing), коли квитанції формуються локально, емулюючи підтвердження про коректне прийняття пакетів віддаленою стороною. Крім того, застосовуються “вікна” TCP більшого розміру, механізми прискореного встановлення з'єднання, відновлення розмірів “вікна” та ін.

Через великі затримки у супутниковому каналі (рис. 6), у звичайному режимі (тобто при очікуванні підтвердження успішного прийому серії IP-пакетів) протокол TCP не дозволяє розігнати потік до швидкості більше 1 Мбіт/с, отже, канали з більшою пропускною здатністю будуть використовуватися не повністю. Локальна генерація квитанцій вирішує цю проблему. Крім того, її можна уникнути, використовуючи багатосеансовий режим, тому технологія спуфинга присутня не в усіх прискорювачах.

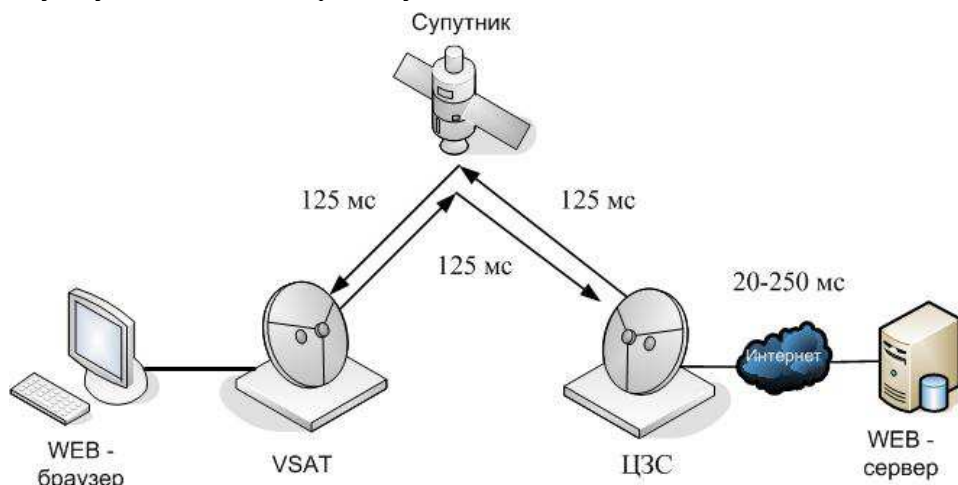


Рис. 6. Типові затримки в супутникових системах зв'язку

Як приклад зовнішнього прискорювача TCP можна привести пристрій Compact xPER (eXtreme Performance Enhancing Proxy) компанії ViaSat. Це пристрій підтримує три режими роботи, причому він автоматично визначає конфігурацію мережі та динамічно перемикається в оптимальний режим. При взаємодії з прискорювачем TCP іншого виробника для оптимізації зв'язку Compact xPER використовує стандартизований протокол SCPS-TP. Якщо в мережі виявлено інший пристрій Compact xPER, то обирається фірмовий режим XL, з максимальною пропускну здатністю. Коли на іншому кінці каналу не встановлений прискорювач TCP, цей пристрій забезпечує одностороннє прискорення.

Або, наприклад, система iDirect використовує істинну схему IP-радіотрансляції (IP-over-the-air) - по супутниковому каналу передаються тільки IP-пакети, що дозволяє мінімізувати частку заголовків у потоці даних. Для порівняння, в DVB-системах, використовуються додаткові заголовки для формування MPEG-кадрів, що знижує загальну продуктивність DVB-систем.

Піднімаючись за рівнями моделі OSI (рис. 2), перейдемо до алгоритмів, які враховують *особливості функціонування конкретних додатків*.

До їх числа відноситься превентивне завантаження об'єктів Web-сторінок, реалізоване, наприклад, в технології TurboPage компанії Hughes Network Systems. При її використанні сервер, який знаходиться на центральній станції зв'язку, відстежує запити віддалених терміналів і сам підключає пов'язані Web-об'єкти, довантажуючи їх на віддалений термінал. І вже згодом, завантажувати в комп'ютер користувача вони будуть вже не через супутниковий канал, а локально, з кеш-пам'яті VSAT-терміналу. Це рішення спрямоване в першу чергу на підвищення швидкості роботи програми, а не на економію каналних ресурсів. Однак з іншого боку, зниження числа запитів (GET) від клієнта може знизити навантаження в каналі.

Алгоритми ущільнення можуть застосовуватися і на прикладному рівні, будучи спеціально адаптованими до роботи з HTTP-контентом. Зокрема, стискання графічних файлів jpg та gif – зі зниженням якості зображення – може істотно зменшити обсяг переданої інформації, але при цьому якість сприйняття Web-контенту кінцевим користувачем погіршиться не надто сильно. Як стверджують фахівці Hughes Network Systems, при використанні технології Web Optimizer зниження обсягу трафіку може досягати 30 %.

Ще одним дієвим механізмом економії супутникового ресурсу є *кешування*, що дозволяє оптимізувати передачу повторюваних фрагментів інформації. Використання цієї технології в супутникових і звичайних (наземних) мережах зв'язку не надто відрізняється. Доцільно реалізувати розподілену систему кешування, розмістивши кешуючий пристрій на кожному вузлі мережі VSAT. При цьому бажано, щоб кожен пристрій містив весь необхідний контент для виключення запитів між VSAT-терміналами.

Такий підхід найкращим чином відповідає специфіці роботи мереж VSAT. Прикладом такого рішення може бути мобільне рішення від САП, яке повністю побудоване за такою технологією та може використовуватись у ЗС України чи інших силових формуваннях.

**Висновки.** Таким чином, оптимальна комбінація розглянутих у статті технологій, що працюють на різних рівнях моделі OSI, дозволяє зрозуміти шляхи істотного підвищення ефективності використання наявного супутникового ресурсу.

Викладений матеріал може бути корисним при застосуванні комплексних підходів щодо автоматизації процесів управління оборонними ресурсами, як на етапі повного розуміння їх організації, так і на етапі пошуку шляхів оптимізації роботи, удосконалення способів забезпечення існуючих систем зв'язком.

Але, звичайно, боротьба з його дефіцитом передбачає і додавання нового ресурсу.

Розглянувши різновиди технологій, що застосовуються для організації супутникового зв'язку можна зробити висновок, що термінали VSAT різних виробників є несумісними. Відповідно і для спеціалістів ЗС України виникає завдання щодо єдиного стандарту та вибору однакового обладнання (принцип взаємозамінності та сумісності) від певного виробника для забезпечення функціонування супутникового зв'язку.

**Подальші дослідження.** За даною тематикою доцільно зосередити увагу на питаннях впровадження та практичного освоєння перспективного Ка-діапазону. У цьому діапазоні за рахунок перевикористання частот у різних променях може бути досягнуте багаторазове підвищення ефективності використання супутникового ресурсу, що дозволить зробити супутниковий зв'язок доступним більш широкому колу корпоративних та індивідуальних споживачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Опис мережевої моделі OSI. - Режим доступу: [http://uk.wikipedia.org/wiki/Мережева\\_модель\\_OSI](http://uk.wikipedia.org/wiki/Мережева_модель_OSI).
2. Визначення стандарту VSAT. - Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/VSAT>.
3. Методи м'якого декодування кодів з малою щільністю перевірок на четність/ Н.А. Штомпель// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – №27. – С.163-168.
4. Мак-Вільямс, Ф. Дж. Теорія кодів, виправляючих помилки / Мак-Вільямс Ф.Дж., Слоэн Н. Дж. А. Пер. с англ. М.: Связь, 1979.
5. Ю.М. Бойко, О.І. Єрмоменко, Ю.Б. Ісаєнко. Аналіз енергетичної та спектральної ефективності сигналів у цифрових телекомунікаційних системах / Вісник Хмельницького національного університету, 2013. - №6. – С.147-160.
6. ETSI ES 200 800 V1.3.1 (2001-10), ETSI Standard. Digital Video Broadcasting (DVB); DVB interaction channel for Cable TV distribution systems (CATV). EBU-UER. – 2001.– 170 с.
7. J. Robert, C. Schaaf, L. Stadelmeier. DVB-C2 – стандарт передачі по сетям КТВ следующего поколения /«ТЕЛЕ-СПУТНИК» №12(170), 2009 г.
8. Бернард Складар. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. М. : Издательский дом "Вильямс", 2003.
9. Опис міжнародних відкритих стандартів цифрового телебачення. - Режим доступу: [http://uk.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Video\\_Broadcasting](http://uk.wikipedia.org/wiki/Digital_Video_Broadcasting)
10. Опис способів передачі даних. - Режим доступу: <http://www.etsi.org> Final draft ETSI EN 301 192 V1.4.1 (2004-06).
11. Міжнародний стандарт ISO/IEC 10646-1:2000, *Information technology . Universal Multiple-Octet Coded*. - Режим доступу: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=29819](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=29819).

Стаття надійшла до редакції 22.04.2015

**Галаган В. И., к.воен.н., доцент;**

**Турейчук А. Н., к.т.н., с.н.с.;**

**Бондарчук С. В.;**

**Прокопенко А. С.;**

**Панадій К. В.**

Центр военно-стратегических исследований Национального университета обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев

**Рассмотрение проблемных вопросов оптимизации спутниковой связи**

**Резюме.** В статье проводится анализ возможных путей оптимизации спутниковой связи за счет совершенствования структуры и построения систем спутниковой связи, позволяющей обеспечить качественную автоматизацию процессов управления оборонными ресурсами.

**Ключевые слова:** система спутниковой связи; классификация систем; построение систем.

**V. Galagan;**

**A. Tureychuk;**

**S. Bondarchuk;**

**A. Prokopenko;**

**K. Panadsy**

Center for Military and Strategic Studies National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernykhovskij, Kyiv

**Consideration of the problematic issues of optimization of satellite communication**

**Resume.** The article analyzes the possible ways to optimize satellite communication by improving the structure and construction of systems for satellite communications, which allows for automation of quality management of defense resources.

**Keywords:** satellite communication system; classification systems; building system.