

УДК 621.396.93

В.І. Слюсар, Ю.В. Глуховець, С.О. Третяченко

## ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОГО ДІАГРАМОУТВОРЕННЯ

*У статті розглянуто стан вітчизняного військового супутникового зв'язку та розроблено пропозиції щодо його поліпшення за рахунок впровадження технології цифрового діаграмоутворення, методу ортогональної дискретної частотної модуляції та рішень синхронної цифрової ієрархії.*

Відомо, що мета стратегії розвитку вітчизняного зв'язку – створення транспортної основи для побудови Національної інформаційної інфраструктури України шляхом впровадження новітніх технологій. Не останнє місце у вирішенні цього стратегічного завдання займають питання розробки та впровадження нових принципів організації та засобів вітчизняного супутникового зв'язку.

**Мета статті** – розробка пропозицій щодо підвищення пропускної здатності та каналної ємності системи супутникового зв'язку (ССЗ) військового призначення за рахунок впровадження новітніх технологій.

Можливими шляхами досягнення поставленої мети є використання технології цифрового діаграмоутворення (ЦДУ) [1] (впровадженого у проектах супутникового зв'язку Mitsubishi Electric (Японія) [2], Thuraya (OAE) [3], Inmarsat-4 (США) [4], UAV-LMDS (Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Local Multipoint Distribution Service (LMDS), США) [5]), методу ортогональної дискретної частотної модуляції сигналів (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) [6] (проект MinuteMan [7], що фінансується Office of Naval Research (ONR) США і здійснюється з 2000 р. Electrical Engineering Department and Computer Science Department of UCLA, а також два проекти, включених у SBIR-програму ONR США на 2004 фінансовий рік – N04-105 "Scalability analysis of autonomous intelligent networked systems" і N04-109 "MIMO-OFDM based communications for Autonomous Highly Mobile Networks" [8]) та технологічних SDH рішень (використання яких дозволяє прогнозувати підвищення пропускної здатності і гнучкості ССЗ у цілому, а також забезпечення сумісності з первинною мережею, ідеологія побудови якої в майбутньому пов'язана саме із SDH технологією).

Виходячи з вищевикладеного, визначимо **завдання дослідження**:

розробка організаційно-структурного рішення побудови перспективної ССЗ військового призначення на основі застосування технології ЦДУ;

розробка схемо-технічних рішень приймально-передавального тракту елементів перспективної ССЗ з урахуванням застосування технологій ЦДУ, SDH;

розробка архітектури побудови приймально-передавального сегмента цифрової антенної решітки (ЦАР) перспективної станції супутникового зв'язку (СтСЗ) з ЦДУ, OFDM.

За попередніми розрахунками, перспективна ССЗ має забезпечити:

середню умовну швидкість передачі в інформаційному напрямі до 1,5 Мбіт/с (виходячи з аналізу очікуваного співвідношення основних видів передаваної інформації та вимог служб зв'язку до швидкостей передачі основних видів повідомлень);

максимальну швидкість передачі в інформаційному напрямі до 15 Мбіт/с (при наданні повного спектра послуг окремим користувачам);

одночасну організацію понад 3000 напрямів дуплексного супутникового зв'язку (виходячи з результатів аналізу вимог до вузлів зв'язку (ВЗ) об'єднаних у каналній потребі);

передбачувану інформаційну ємність загального трафіка космічного сегмента від 5 Гбіт/с (без урахування додаткового використання абонентських терміналів) і вище.

З метою обґрунтування невідповідності зазначеним вимогам та необхідності вдосконалення існуючої ССЗ військового призначення коротко зупинимось на деяких особливостях її побудови та функціонування.

У зв'язку з відсутністю вітчизняної орбітальної системи ССЗ ЗС України орієнтована на ретранслятори колишнього СРСР. Зазначимо, що останнім часом робота СтСЗ на території України проводиться з використанням винятково супутників типу "Грань". Наземне угруповання складається з кінцевих (малоканальних) і вузлових (багатоканальних) СтСЗ. Всі вони використовуються переважно в кінцевому вузькосмуговому режимі роботи з обробкою сигналів на борту. Можливості каналутворення [9, 10] кінцевої станції для цього режиму роботи – 3 × 1200 Біт/с телефонних (ТФ) каналів, 2 × 100 Бод телеграфних (ТГ) каналів (всі канали можуть бути розподілені за двома напрямками зв'язку). Можливості каналутворення вузлової станції – 27 × 1200 Біт/с ТФ каналів, 18 × 100 Бод ТГ каналів (всі канали розподіляються за 9 напрямками зв'язку) (рис.1).

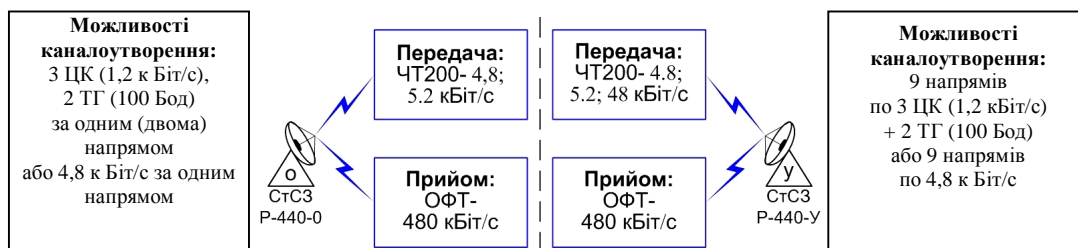
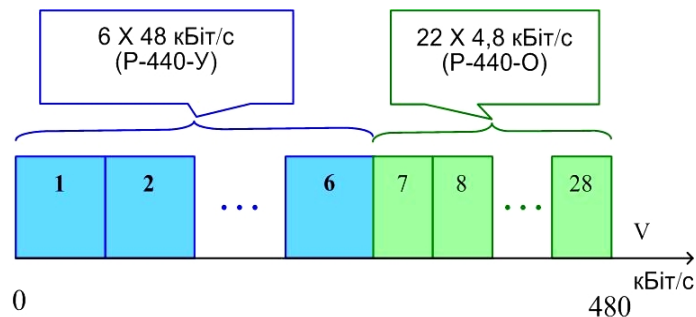


Рис.1. Можливості каналутворення типових СтСЗ

Одномашинний варіант кінцевої СтСЗ, забезпечуючи відносну мобільність (наскільки це пристосовано до вантажного автомобіля), по можливості в каналній

ємності та пропускній здатності порівняний з портативними зразками сучасних закордонних супутникових абонентських терміналів. Багатомашинний (3 або 5 автомобілів) склад вузлової СтСЗ має більші можливості у каналній ємності, однак, робить громіздкою її експлуатацію, вимагаючи значних людських та енергетичних витрат.

У системі зв'язку одночасно може бути задіяно 28 СтСЗ: 6 вузових і 22 кінцевих (рис. 2). Всі вони забезпечують дуплексний обмін інформацією через один ретранслятор (РТР), який обробляє та ущільнює отримані станційні сигнали в загальний груповий за стандартами TDMA і випромінює його до всіх користувачів. При прийомі інформації загальна швидкість 480 КБіт/с РТР розподіляється із розрахунку 4,8 КБіт/с на кожну кінцеву і 48 КБіт/с на кожну вузову станцію.



*Рис.2. Структура групового сигналу супутника-ретранслятора "Грань"*

Узагальнена структура вітчизняної ССЗ ЗС України подана на рис. 3. До основних її недоліків слід віднести малу каналну ємність і пропускну здатність, громіздкість експлуатації, низьку мобільність, велику енергоємність, тверду прив'язку до одного РТР, обмеженість ієрархічної структури, обмеженість кількості станцій у системі зв'язку.

Крім зазначених недоліків, візьмемо до уваги термін служби існуючих зразків СтСЗ, складність, а в деяких випадках неможливість проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

Тому цілком зрозуміло, що існуюча ССЗ військового призначення застаріла морально і за віком служби та не відповідає тенденціям світового розвитку телекомунікаційних систем зв'язку.

Пропонується один із можливих варіантів побудови перспективної ССЗ військового призначення (рис. 4), яка структурно представляє сукупність наземного, космічного і повітряного сегментів.

Наземний сегмент системи складається з ієрархічно взаємопов'язаних СтСЗ, обладнаних ЦАР, та абонентських терміналів окремих користувачів (на рисунку не зображені).

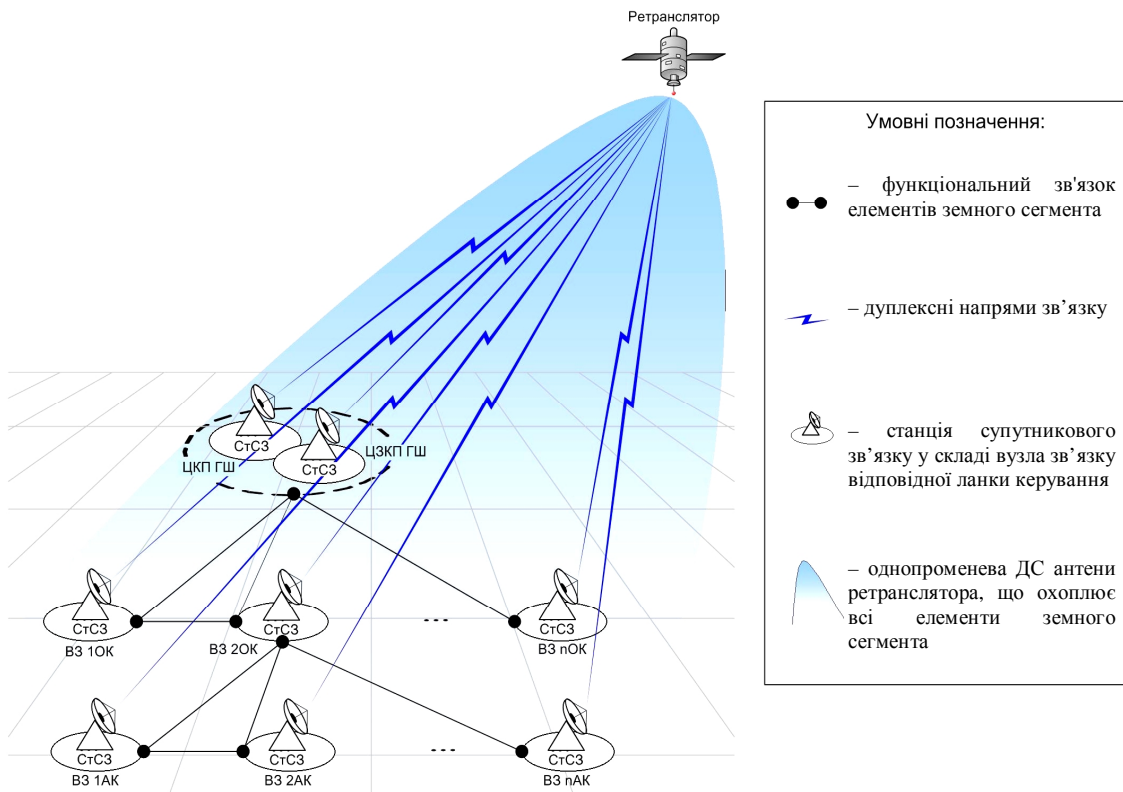


Рис.3. Узагальнена структура існуючої ССЗ військового призначення

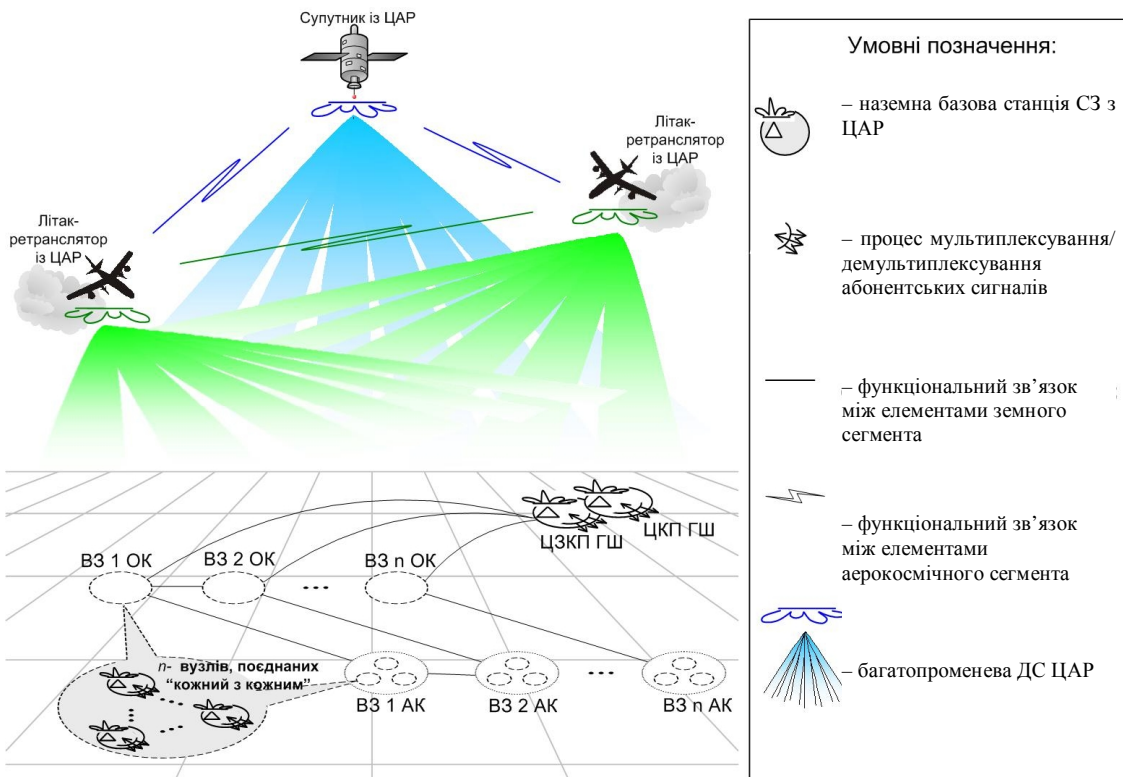
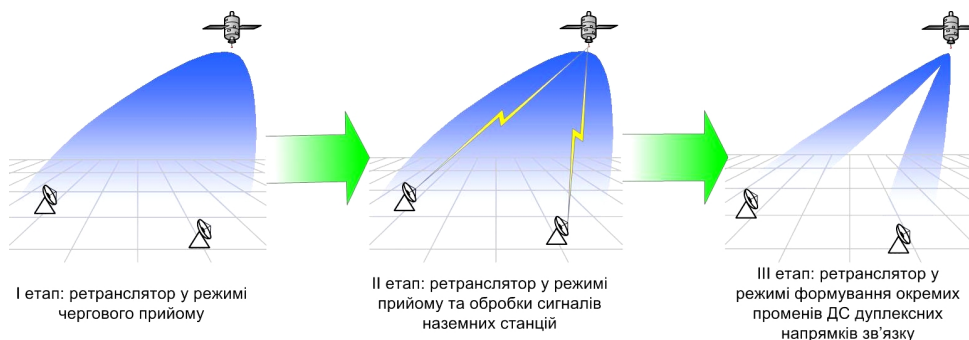


Рис.4. Варіант побудови перспективної ССЗ військового призначення

У перший рівень ієрархії входять Центральний командний пункт (ЦКП) ГШ і Центральний запасний командний пункт (ЦЗКП) ГШ. Другий і третій рівні (відповідно ВЗ оперативних командувань, ВЗ армійських корпусів) являють собою сукупність груп СтСЗ. Кількість рівнів, чисельний та якісний склад кожного рівня, а також окремих груп визначаються чинною організаційно-штатною структурою ЗС України. Взаємодія СтСЗ у межах групи здійснюється за принципом “кожний з кожним”. Взаємодія між групами здійснюється на рівні взаємодії КП старших штабів відповідних ланок керування (для другого рівня – між КП сусідніх ОК, для третього – між КП сусідніх АК). При розвинутій схемі маршрутизації у РТР можливий зв'язок через кілька ступенів вгору/вниз. Використання ЦАР у РТР дає можливість широкого впровадження мобільних абонентських терміналів у наземному сегменті. Доцільно передбачити бездротовий доступ користувачів до СтСЗ у межах відповідної ланки керування та доступ через повітряні або космічні РТР користувачів нижчих ланок керування, що дозволить здійснювати зв'язок у русі та сприятиме підвищенню розвідзахищеності, стійкості, мобільності і бойової готовності ССЗ у цілому.

До складу космічного сегмента входить один-два супутники-ретранслятори, що знаходяться на геостаціонарній орбіті й обладнані ЦАР. Для оптимізації диспетчерської служби доцільно передбачити механізм діаграмоутворення супутника-ретранслятора, варіант можливої реалізації якого наведено на рис. 5.



*Рис.5. Послідовність діаграмоутворення супутника-ретранслятора*

До складу повітряного сегмента входить група безпілотних повітряних апаратів. Залежно від остаточно прийнятої структури ССЗ повітряні РТР можуть виконувати функції резервування космічного сегмента й основні функції із забезпечення зв'язком.

Враховуючи економічний стан держави, на сучасному етапі доцільно спрямовувати основні зусилля на розвиток повітряного сегмента. Виникаючі при цьому прогалини у покритті земної поверхні можна компенсувати за рахунок збільшення його чисельного складу або оренди супутників-ретрансляторів інших ССЗ.

Зупинимось на двох варіантах побудови приймально-передавального тракту перспективної СтСЗ з ЦДУ.

У першому випадку (рис. 6) передбачимо використання апаратури імпульсно-кодової модуляції (ІКМ.)

Такий варіант припускає наявність апаратури спряження (для інтерфейсного, лінійного, перешкодостійкого кодування/декодування, шифрування/дешифрування даних) і комутаційного устаткування (для розподілу сигналів між комплектами апаратури ІКМ, маршрутизації сигналів користувачів з розподілом за напрямками передачі).

З аналізу вимог, пропонуваного до необхідної кількості всіх видів каналів у масштабах системи керування військами, випливає висновок, що канална потреба за напрямками передачі від існуючого ВЗ будь-якої ланки керування не перевищує 30 (відповідає ємності потоку Е1 - 2048 Кбіт/с).

Використання апаратури ІКМ із надлишком задовольнить потреби існуючої системи керування. Однак світовий досвід свідчить про неухильно зростаючі потреби зв'язку і розширення спектра послуг, задовольнити які в змозі лише перспективні цифрові технології, зокрема, SDH.

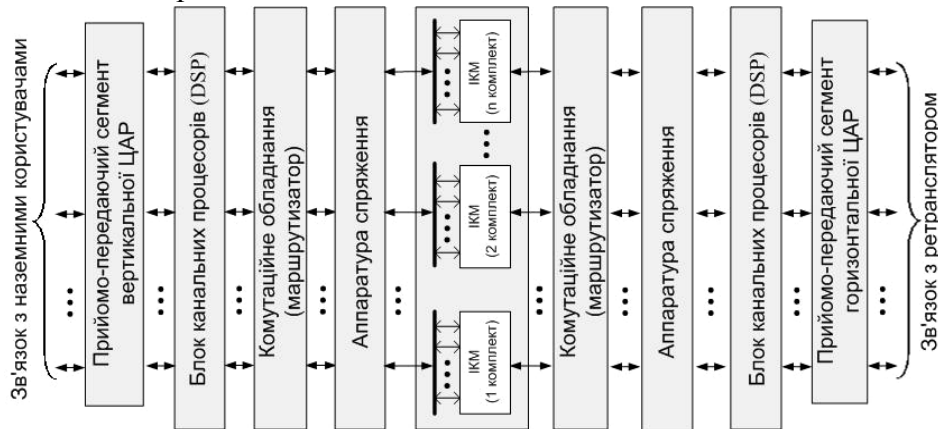


Рис. 6. Структура приймально-передавального тракту СтСЗ з ІКМ

Другий варіант побудови приймально-передавального тракту СтСЗ (рис. 7) припускає використання можливостей SDH технології.

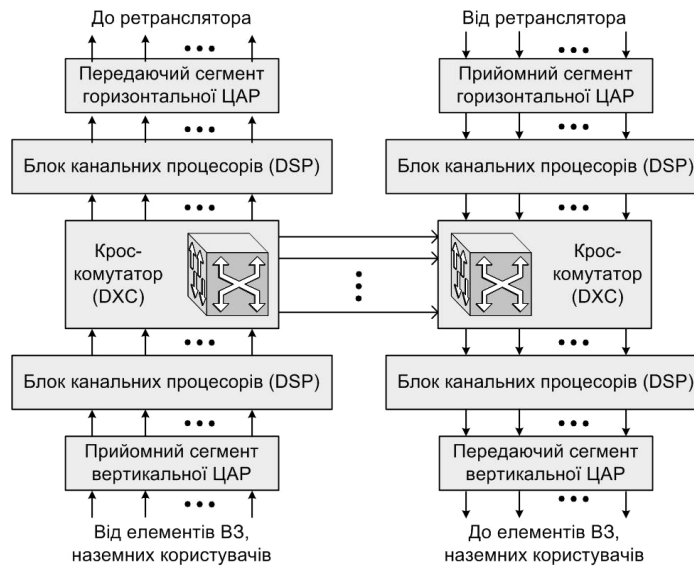


Рис. 7. Структура приймально-передавального тракту перспективної СтСЗ з ЦДУ та крос-комутаторами

Зокрема, наявність у схемі крос-комутатора дозволить здійснити маршрутизацію на рівні віртуальних контейнерів, забезпечити внутрішню комутацію та можливість розвантаження загального трафіка, передаючи в приймальний тракт потрібні блоки або окремі канали користувачів, що працюють у межах зони обслуговування СтСЗ (локальна комутація). Тим самим зі схеми виключається узгоджувач і комутаційне обладнання. Функції перешкодостійкого кодування/декодування і шифрування/дешифрування можуть бути програмно реалізовані в каналних процесорах.

СтСЗ доцільно обладнати як горизонтальною (для зв'язку з РТР), так і вертикальною (для зв'язку з користувачами) ЦАР. Для останнього варіанту потужність випромінювання надвисокочастотного сигналу не повинна становити біологічної небезпеки для обслуговуючого персоналу, тобто становити не більше 500 мВт. ЦАР доцільно монтувати в каркасі кунга апаратної, використовуючи, наприклад, кільцеві мікросмужкові антени (МСА), що мають істотні енергетичні втрати, однак, технологічні у виготовленні і зручні у використанні. Слід зазначити, що у разі використання МСА виникає необхідність вирішення ряду проблем, зокрема, їх вузькосмуговості. Одним з варіантів вирішення останньої може бути використання принципу "кільце в кільці".

До основних особливостей побудови приймально-передавального тракту елементів аерокосмічного сегмента слід віднести наявність більш потужного крос-комутатора, обладнання цифрового формування променів та відсутність у його складі індивідуального обладнання і приймально-передавального сегмента вертикальної ЦАР. Можливості мультиплексування припускають обробку цифрових потоків формату STM-N (від 155 Мбіт/с.).

Базовою для реалізації приймально-передавальної апаратури доцільно застосувати архітектуру Software Radio [11], що за своєю ідеологією найбільше відповідає вимогам створення перспективної СтСЗ на базі ЦАР. На відміну від SR архітектури, у приймально-передавальному модулі передбачається реалізація безквадратурної аналогової обробки з урахуванням подальших перетворень у приймальному сегменті ЦАР (рис. 8) та з урахуванням обробки OFDM сигналів внесені відповідні зміни у підсилювач потужності з випереджувальною лінеаризацією (рис. 9).

Особливістю обробки сигналів у запропонованому схемному рішенні приймального сегмента ЦАР з ЦДУ є використання додаткового стробування відліків АЦП у дійсній формі запису при цифровому діаграмоутворенні та алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) для частотної обробки OFDM сигналів та їх просторової селекції (рис. 10). Відповідне схемне рішення передавального сегмента ЦАР подане на рис. 11.

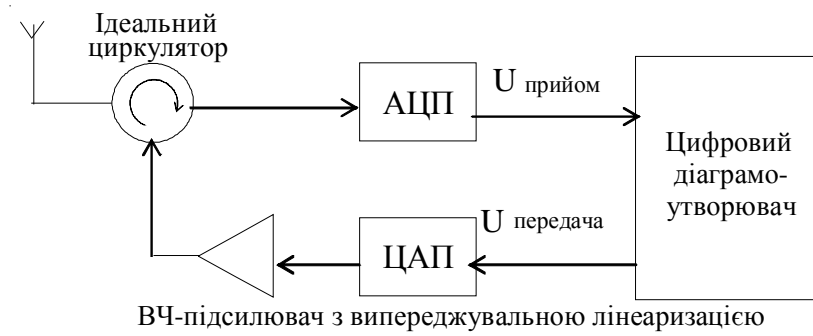


Рис. 8. Ідеалізований варіант приймально-передавального базового модуля

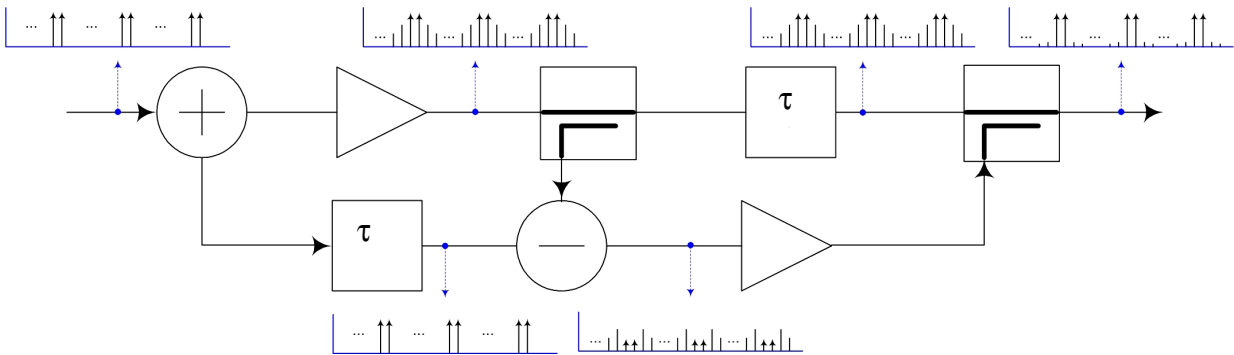


Рис. 9. Модифікація підсилювача потужності SR архітектури з випереджувальною лінеаризацією з урахуванням особливостей обробки OFDM сигналів

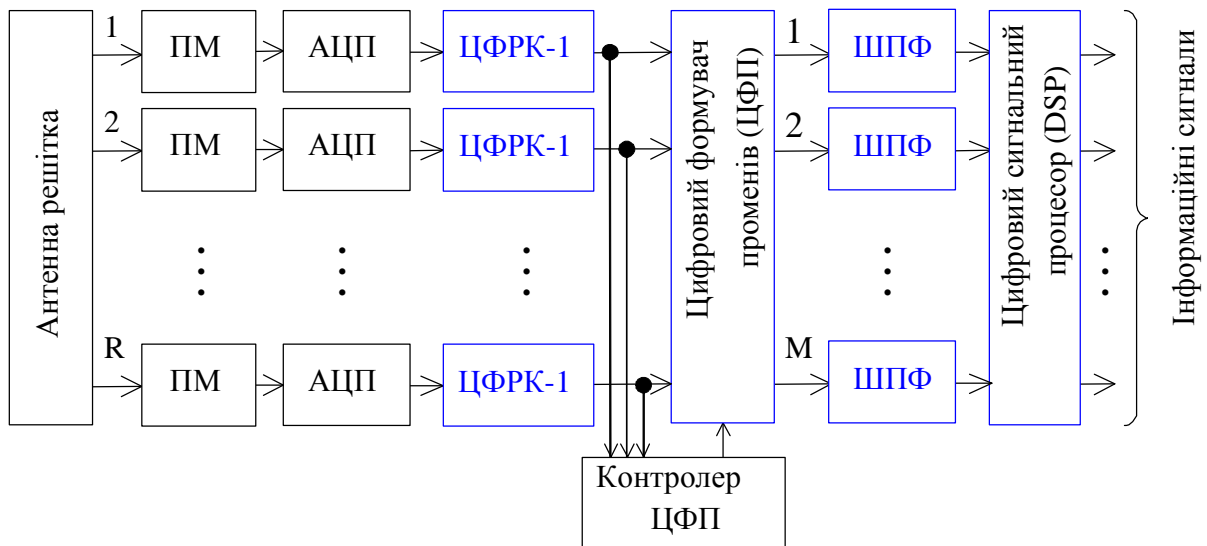


Рис.10. Архітектура побудови приймального сегмента ЦАР перспективної СтСЗ



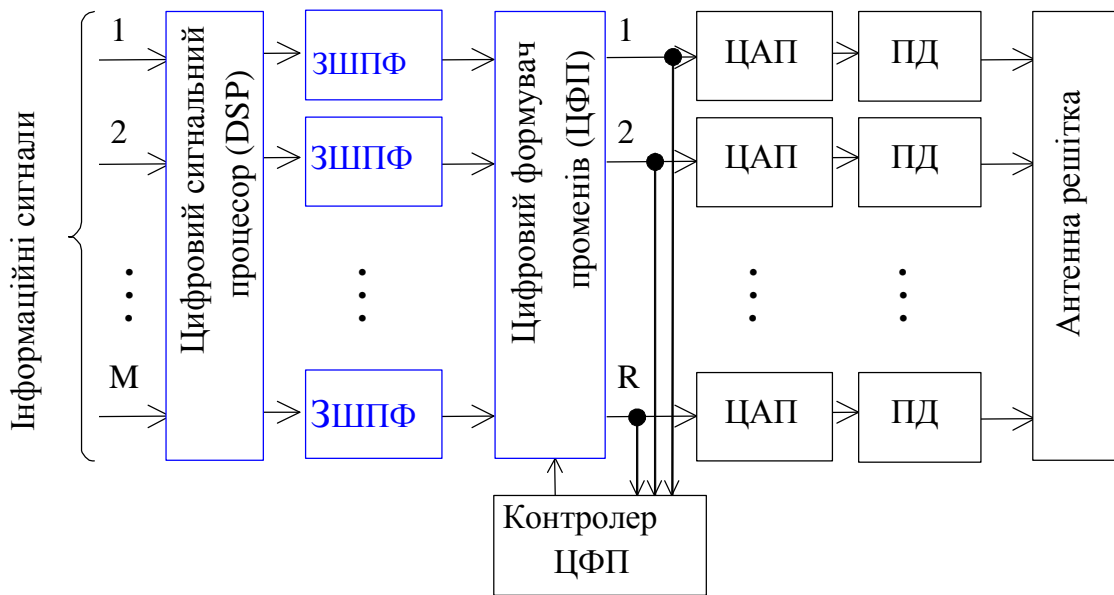


Рис.11. Архітектура побудови передавального сегмента ЦАР перспективної СтСЗ

### Висновки

1. Викладені пропозиції щодо концепції побудови перспективної системи супутникового зв'язку військового призначення – один із можливих шляхів підвищення ефективності впровадження ЦДУ, що є продовженням напрацьованого світового схематичного потенціалу за результатами аналізу низки закордонних проектів.

2. Використання технології цифрового діаграмоутворення дозволяє вести мову про створення уніфікованої системи зв'язку, що в змозі задовольнити потреби у надійному високошвидкісному цифровому зв'язку в межах Збройних Сил України за умови значного інформаційного навантаження. Дослідження з впровадження ЦДУ у різних видах радіозв'язку вже зараз дають змогу вести мову про створення уніфікованої базової станції, здатної працювати в режимах радіо-, радіорелейного, тропосферного чи супутникового зв'язку. Підґрунтя такого твердження – можливість програмної реконфігурації режимів функціонування як окремих засобів, так і системи зв'язку в цілому.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Слюсар В.И. Цифровое формирование луча в системах связи: будущее рождается сегодня // Электроника: НТБ. – 2001. – № 1. – С. 6-12.

2. Слюсар В.И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи // Радиоаматор. – 1999. – № 8. – С. 58 - 59.

- 
3. *Слюсар В.И.* Фазированная антенная решетка системы Thuraya // Сети и телекоммуникации. – 2002. – №5. – С.54-58.
  4. "Inmarsat – Products and Strategy Workshop on Satellite in IP and Multimedia" <<http://www.Inmarsat.html>>.
  5. "LMDS Basics / mm-Tech, Inc." <<http://www.mm-tech.com/lmds.htm>> (31 March 2000).
  6. *Филиминов А.Ю.* Алгоритмы модуляций технологий xDSL. Сети ЭВМ и телекоммуникации. – <http://lecture.by.ru/articles/xdsl>.
  7. <http://www.icsl.ucla.edu/minuteman/overview.html>.
  8. <http://www.onr.navy.mil/sbir.Multimedia.html>.
  9. Станция космической связи Р-440-0. Техническое описание. Кн.1. – 238с.
  10. Станция космической связи Р-440-У. Техническое описание. Кн.1. – 320с.
  11. *Слюсар В.И.* Схемотехника цифрового диаграммообразования. Модульные решения // Электроника: НТБ. – 2002. – № 1. – С. 2-8.

*Подано 23.04.04*