УДК 621.396.931

М.А. Пилипенко

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНКІНГОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ПОЛЬОТІВ АВІАЦІЇ

Анотація. *Розглянуто особливості застосування транкінгового зв'язку для управління підрозділами забезпечення польотів авіації на аеродромі в умовах ведення радіотехнічної розвідки, пеленгації та радіоелектронного подавлення з боку противника. Проведено порівняльний аналіз найбільш розповсюджених стандартів транкінгового зв'язку NXDN, DMR Tier III та APCO P25, за методом доступу, шириною каналу, функціональними особливостями та рівнем захисту інформації. Обґрунтовані та розроблені пропозиції щодо вибору системи та побудови аеродромної мережі.*

Ключові слова: *транкінговий зв'язок, NXDN, DMR Tier III, APCO P25, забезпечення польотів, радіоелектронне подавлення.*

Annotation. *The paper considers the use of trunked radio for controlling flight support units at an airfield under enemy signals intelligence, direction finding and electronic suppression. The NXDN, DMR Tier III and APCO P25 systems, are compared by access method, channel width, trunking capabilities and information protection. It is shown that none of the systems ensures resilient communication on its own. Therefore, proposals are developed for selecting the system and building the airfield network: several dispersed mobile base stations, a direct-mode fallback, low-power directional antennas, short status messages and backup wired lines.*

Keywords: *trunked radio, NXDN, DMR Tier III, APCO P25, flight support, electronic suppression.*

Підготовка літаків до бойових вильотів на аеродромі – це одночасна робота багатьох підрозділів: технічної експлуатаційної частини, груп авіаційного озброєння, засобів заправлення пальним, наземного обслуговування, аеродромно-технічного забезпечення, охорони та медичного забезпечення. Час підготовки літака до повторного вильоту залежить від узгодженості дій цих підрозділів, а отже, від якості та живучості системи управління, основою якої є радіозв'язок. Противник веде радіорозвідку, пеленгує радіовипромінювання в районі аеродрому та здійснює радіоелектронне подавлення радіозв'язку. Це створює подвійну загрозу: втрату зв'язку та розкриття складу, місцезнаходження й інтенсивності робіт на злітній смузі і стоянках [1, 2].

Традиційно у внутрішньо-аеродромних мережах наземного радіозв'язку використовують або аналогові УКХ радіостанції, або транкінгові радіостанції Kenwood в аналоговому режимі. Їхні недоліки очевидні: відсутність автентифікації абонентів і шифрування полегшує перехоплення та імітаційне втручання, закріплення окремої частоти за кожним підрозділом призводить до перевантаження каналів у пікові періоди, а вихід з ладу одного радіозасобу не компенсується автоматично. Цим недолікам можна протиставити цифровий транкінговий зв'язок, у якому обмежена кількість радіоканалів динамічно розподіляється між великою кількістю абонентів.

В сучасних умовах ведення бойових дій Силами Оборони України потрібно враховувати, що мережі радіозв'язку мережа працюють в умовах ведення противником радіорозвідки й пеленгації, її елементи можуть бути уражені після виявлення, а станції доводиться швидко переміщувати та живити від автономних джерел. З огляду на ці вимоги розглянуто три сучасних стандарти цифрового транкінгового звязку: NXDN, DMR Tier III та APCO P25. Радіостанції серії NX-5000 компанії Kenwood підтримують усі три протоколи, причому одна радіостанція може одночасно працювати у двох цифрових протоколах і в аналоговому режимі [6, 7]. Метою роботи є порівняння цих систем і розроблення пропозицій щодо вибору системи та побудови мережі на аеродромі. Основні характеристики систем наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики систем NXDN, DMR Tier III та APCO P25

Параметр	**NXDN**	**DMR Tier III**	**APCO P25**
Специфікація	NXDN Technical Specifications (NXDN Forum)	ETSI TS 102 361-4	Серія TIA-102
Доступ, ширина каналу	FDMA, 6,25 або 12,5 кГц	TDMA, 2 слоти, 12,5 кГц	Фаза 1: FDMA, 12,5 кГц; фаза 2: TDMA, 2 слоти, 12,5 кГц
Модуляція	4FSK	4FSK	C4FM (фаза 1); H-DQPSK, H-CPM (фаза 2)
Транкінг	Type-C (з керуючим каналом), Type-D (без нього)	Tier III (з керуючим каналом)	З керуючим каналом (фази 1 і 2)
Захист інформації	DES; опційно AES-256	Залежить від реалізації; у Kenwood опційно ARC4	AES-256 за стандартом
Підтримка в Kenwood NX-5000	Conventional, Type-C, Gen2	Tier II; Tier III у частині моделей за ліцензією	Фаза 1; фаза 2 (транкінг)

Система NXDN працює в каналах 6,25 і 12,5 кГц із частотним поділом, що зменшує зайняту смугу й спрощує розподіл частот між великою кількістю абонентів на аеродромі [3, 6]. Вона передбачає транкінг із керуючим каналом (Type-C) і без нього (Type-D) [8]. За відсутності керуючого каналу немає передавача, який постійно працює в ефірі, а такий передавач є зручною ціллю для пеленгації та подавлення. Водночас можливості Type-D вужчі, тому їх слід перевірити під час пробного розгортання. Для захисту інформації передбачено DES та опційне шифрування AES-256 [6, 7].

DMR Tier III – відкритий стандарт ETSI, який використовує два часові слоти в каналі 12,5 кГц і дає два незалежні розмовні тракти [4]. Радіостанції цього стандарту випускають багато виробників, що полегшує поєднання з наявним парком радіозасобів. Проте захист інформації залежить від реалізації: у документації Kenwood для режиму DMR вказано, зокрема, опційне шифрування ARC4 [6], який є застарілим алгоритмом. Тому для військового застосування потрібні сертифіковані засоби криптографічного захисту.

APCO P25 (серія стандартів TIA-102) у першій фазі використовує частотний поділ каналів 12,5 кГц, а в другій – два часові слоти [5]. Стандарт передбачає шифрування AES-256, що є його перевагою для захищеного зв’язку. У документації Kenwood друга фаза вказана для транкінгового режиму [6]. Вибір P25 доцільний передусім тоді, коли потрібна сумісність із системами партнерів, які його застосовують.

Жодна з систем не робить мережу стійкою до радіоелектронного подавлення сама по собі, тому при її побудові потрібно передбачити низьку організаційно-технічних заходів. Мережу доцільно будувати на двох–трьох рознесених мобільних базових станціях з автоматичним перемиканням у разі виходу з ладу однієї з них. Комутаційне обладнання та диспетчерський пункт розміщують в укритті, а зв’язок із базовими станціями забезпечують кабельні або волоконно-оптичні лінії, які більш захищенні від потенційного вогневого ураження. Щоб знизити помітність мережі, використовують малопотужні базові станції й термінали, напрямлені секторні антени та щогли мінімальної висоти, а місця розгортання станцій періодично змінюють. На випадок втрати базових станцій або подавлення керуючого каналу передбачають перехід терміналів у прямий режим або роботу через резервний (прихований) ретранслятор.

Порядок застосування мережі доцільно прив’язати до етапів підготовки літака. Черговий зі зв'язку відкриває розмовні групи керівника підготовки, технічної експлуатаційної частини та паливо-мастильних матеріалів. Під час заправлення й підвішування озброєння підвищується пріоритет відповідних груп, а решта абонентів переходить у режим очікування. Готовність від виконавців передається короткими статусними повідомленнями, що скорочує час роботи передавачів в ефірі порівняно з голосовою доповіддю. Позивні замінюють ідентифікаторами абонентів, ключі шифрування змінюють регулярно, а втрачений термінал блокують дистанційно.

Для живлення базових станцій і ретрансляторів потрібні автономні джерела із запасом, достатнім для роботи за відсутності зовнішньої мережі, а місця їх розміщення вибирають з урахуванням укриття та можливості швидкого перебазування. Пробне розгортання доцільно проводити на одній групі стоянок і оцінювати кожну систему за однаковими показниками: час встановлення групового виклику, дальність і якість зв'язку на території аеродрому та в укриттях, тривалість роботи терміналів від акумуляторів, поведінка мережі за дії навмисних завад, зручність обліку й заміни ключів шифрування, час переходу на резервний режим після втрати базової станції. Окрему увагу слід приділити електромагнітній сумісності з іншими засобами, що працюють на аеродромі, зокрема з радіолокаційними засобами (П-18, "Малахіт"). Додатково необхідно відпрацювати з особовим складом порядок переходу в прямий режим і дії у разі компрометації терміналу чи ключа без зупинки підготовки літаків.

За результатами аналізу пропонується наступне. По-перше, як основну систему для нової аеродромної мережі розглядати NXDN, оскільки вузькі канали та наявність варіанта без керуючого каналу дають змогу зменшити слід мережі в ефірі. По-друге, залишати DMR Tier III там, де вже є парк радіостанцій цього стандарту, доповнивши його сертифікованим шифруванням. По-третє, обирати APCO P25, коли головною вимогою є стандартизований захист AES-256 і сумісність із партнерами. Щоб переходити між системами поетапно, доцільно закуповувати багатопротокольні термінали, які підтримують два цифрові протоколи й аналоговий режим. Остаточний вибір слід робити за результатами пробного розгортання та оцінки завадостійкості мережі в реальній електромагнітній обстановці. Подальші дослідження доцільно спрямувати на кількісну оцінку енергетичного запасу радіолінії за дії завад і скорочення часу підготовки літака до повторного вильоту.

Список використаних джерел:

1. Adamy D. L. EW 101: A First Course in Electronic Warfare. Boston: Artech House, 2001.
2. Poisel R. A. Modern Communications Jamming Principles and Techniques. 2nd ed. Boston: Artech House, 2011.
3. NXDN Technical Specifications. NXDN Forum.
4. ETSI TS 102 361-4. Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 4: DMR trunking protocol. Sophia Antipolis: ETSI.
5. TIA-102. Project 25 (P25) Suite of Standards. Telecommunications Industry Association.
6. NX-5000 Series NEXEDGE VHF/UHF/700-800 MHz. Multi-Protocol Digital & Analog Radios [Електронний ресурс]. JVCKENWOOD. – Режим доступу: https://www.dot.state.wy.us/files/live/sites/wydot/files/shared/Administration/WyoLink/NX-5000_Catalog.pdf (дата звернення 29.10.2026). – Назва з екрана.
7. NX-5700/5800/5900 Comparison [Електронний ресурс]. JVCKENWOOD. – Режим доступу: https://www.dot.state.wy.us/files/live/sites/wydot/files/shared/Administration/WyoLink/NX-5700.5800.5900Comp.pdf (дата звернення 29.10.2026). – Назва з екрана.
8. Kenwood's NX-5000 series now supports DMR, together with NXDN and P25 [Електронний ресурс]. Land Mobile. – Режим доступу: https://landmobile.co.uk/content/news/kenwoods-nx-5000-series-now-supports-dmr-together-with-nxdn-and-p25 (дата звернення 29.10.2026). – Назва з екрана.

Пилипенко Марія Андріївна – курсант 443 навчальної групи, факультету автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, mashapilipenko10@gmail.com

Pylypenko Mariia Andriivna – cadet of the 443rd study group, Faculty of Automated Control Systems and Aviation Ground Support, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, mashapilipenko10@gmail.com