УДК 623.4:681.5

Д. І. Насонов

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУЦІЛЬНОГО ПОЛЯ СИСТЕМИ ОБМІНУ ТАКТИЧНИМИ ДАНИМИ LINK-16 ДЛЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ, ЩО ЗДІЙСНЮЮТЬ ПОЛЬОТИ НА МАЛИХ ВИСОТАХ

Анотація. *У роботі розглядаються способи вирішення проблеми втрати радіосигналу в мережах Link-16 під час виконання польотів на висотах від 30 до 300 метрів. Проаналізовано вплив рельєфу на пряму радіовидимість та розглянуто комбіноване використання повітряних ретрансляторів, супутникових каналів і прив'язних аеростатів для утримання часової синхронізації терміналів.*

Ключові слова: *Link-16, радіогоризонт, маловисотний політ, дифракційні втрати, ретрансляція, синхронізація TDMA.*

Abstract. *This paper addresses solutions for preventing signal loss in Link-16 networks during flights at altitudes from 30 to 300 meters. The influence of terrain on direct radio visibility is analyzed, and the combined use of airborne repeaters, satellite channels, and tethered aerostats to maintain terminal time synchronization is considered.*

Keywords: *Link-16, radio horizon, low-altitude flight, diffraction losses, relaying, TDMA synchronization.*

Стрімкий розвиток засобів ППО змушує як пілотовану авіацію, так і ударні чи розвідувальні БпЛА знижуватися до 30–300 метрів. На таких ешелонах радіолокаційне виявлення противником ускладнюється, проте виникає інша критична проблема — зрив тактичного обміну даними в мережі Link-16.

Оскільки обладнання працює у дециметровому діапазоні (960–1215 МГц), розповсюдження радіохвиль підпорядковується законам прямої оптичної видимості. Якщо на висоті кількох тисяч метрів радіус дії вимірюється сотнями кілометрів, то біля самої землі геометрія покриття різко звужується. Розрахунок граничної дальності $D_{\text{LOS}} = 4,12 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$ показує лише теоретичну межу для гладкої поверхні. В реальних умовах навіть невеликі пагорби, забудова чи лісові масиви перекривають промінь, утворюючи тривалі «радіотіні». За умов використання протоколу TDMA короткочасне зникнення сигналу призводить до накопичення часового зсуву внутрішнього генератора термінала. Як наслідок — борт втрачає синхронізацію і змушений заново проходити процедуру входу в мережу, втрачаючи оперативність.

Для компенсації цих обмежень без залучення громіздкої наземної інфраструктури пропонується поєднати кілька технічних рішень:

Застосування БпЛА-ретрансляторів (MALE/HALE). Підйом ретрансляційного борту на 5–9 км створює стабільне суцільне покриття радіусом до 350 км. Завдяки більшому куту місця радіохвилі не перекриваються рельєфом навколо маловисотної групи.

Інтеграція низькоорбітального сегмента (SDA). Прямий канал із супутниками дає змогу передавати тактичну обстановку за принципом «зверху-вниз», що повністю виключає затінення складками місцевості чи каньйонами.

Адаптивне управління ресурсом NPG. При короткочасних випаданнях зв'язку доцільно використовувати алгоритми буферизації з виділенням позачергових часових слотів одразу після відновлення видимості, що запобігає розриву сесії.

Локальні прив'язні аеростатні пункти. Для прикриття конкретних зон чи прикордонних ділянок підйом аеростата на 1–2 км забезпечує цілодобове радіополе з мінімальними витратами на обслуговування.

Висновки. Лише за рахунок наземних вишок забезпечити надійне функціонування Link-16 на малих висотах неможливо. Найбільш перспективним є створення гнучкої ешелонованої мережі з використанням висотних БпЛА та супутникових каналів, а також оптимізація алгоритмів повторного підключення терміналів після виходу з затінених зон.

Список використаних джерел:

1. Understanding Voice and Data Link Networking. AFTTP 3-3.J-Fire. Washington: Department of the Air Force, 2021. 248 p.
2. Слюсар В. І. Концепція Link-16: стан та перспективи розвитку тактичних систем обміну даними // Озброєння та військова техніка. 2019. № 2. С. 64–72.
3. Joint Tactical Information Distribution System (JTIDS). NATO STANAG 5516 (Ed. 8). Brussels: NSA, 2020. 312 p.
4. Powell M., Johnson R. Tactical Data Link Relay Architectures for Low-Altitude Operations // IEEE AES Magazine. 2023. Vol. 38, No. 5. P. 18–29.

Насонов Дмитро Ілліч *– курсант Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: dimanasonov199@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0009-2176-2358*

Nasonov Dmytro Illich *– Cadet of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: dimanasonov199@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0009-2176-2358*