

УДК 621.391.372

канд. техн. наук Остапчук В. М. ORCID: 0000-0001-5686-0198 (ГУЗ та КБ ГШ ЗСУ)
канд. техн. наук, ст. наук. співр. Масесов М. О. ORCID: 0000-0003-4537-4295 (ВІТІ ім. Героїв Крут)
Зінченко М. О. ORCID: 0000-0002-1428-8231 (ВІТІ ім. Героїв Крут)
Думітраш В. О. ORCID: 0000-0003-1996-3096 (ВІТІ ім. Героїв Крут)

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ТА ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕРЕЖ LTE

Подальший розвиток системи зв'язку Збройних Сил України неможливий без врахування отриманого передового бойового досвіду та поступового впровадження сучасних систем (комплексів, зразків) зв'язку для вирішення завдань, що стоять перед Силами оборони України. Тому ключовими постають питання не тільки вибору нових інформаційних технологій та сучасних стандартів у галузі комунікацій, але й дослідження щодо їх впровадження в умовах бойових (максимально наближених до бойових) дій.

Досвід виконання завдань на сході України, особливо під час наступальних (контрнаступальних) дій, чітко визначив проблеми забезпечення зв'язком на територіях, не підготовлених у відношенні зв'язку, а також на таких, де телекомунікаційна інфраструктура повністю або частково зруйнована. Метою статті є обґрунтування перспектив розвитку системи та засобів зв'язку спеціального призначення з урахуванням не тільки теоретичних досліджень у галузі радіозв'язку, але й результатів практичних досліджень ефективності системо-технічних рішень, що ґрунтуються на використанні радіообладнання стандартів стільникового зв'язку 3G та 4G.

За результатами досліджень сформовано висновки та пропозиції щодо перспектив подальшого впровадження системи, засобів та обладнання LTE в системі зв'язку Збройних Сил України. Зазначені пропозиції ґрунтуються на отриманих результатах отриманого досвіду використання зазначеного обладнання в інтересах забезпечення зв'язком військових частин (підрозділів) в Сумській області України, а також на лінії бойового зіткнення в умовах ведення наступальних (контрнаступальних) дій Сил оборони України на сході нашої Держави.

Наведений матеріал статті є актуальним та необхідним для врахування під час проведення досліджень, спрямованих на удосконалення форм і способів бойового застосування засобів (підрозділів) зв'язку, обґрунтування рішень щодо вибору необхідного комунікаційного обладнання, а також формування управлінських рішень органами військового управління щодо організації (забезпечення) зв'язку в майбутніх операціях з визволення тимчасово окупованих територій України.

Ключові слова: система зв'язку, комунікації, радіообладнання, стільниковий зв'язок, LTE (Long-Term Evolution), бойовий досвід.

V. Ostapchuk, M. Masesov, M. Zinchenko, V. Dumitrash Prospects for the development of the communication system and the equipment of special purpose with the regulation of the implementation of measures LTE

Further development of the communication system of the Armed Forces of Ukraine is impossible without the recovery of advanced combat experience and the step-by-step implementation of current communication systems (complexes, equipment) for the highest task to face the Defense Forces of Ukraine. Therefore, the key is not only the selection of new information technologies and current standards in the field of communication, but also the investigation of their implementation in the minds of combatants (as close as possible to the combative ones) of action.

Experience in carrying out tasks in the east of Ukraine, especially during offensive (counter-offensive) operations, clearly identifying the problems of securing communications in territories not prepared for communications, as well as in areas where telecommunications infrastructure is completely or partially destroyed. The purpose of this article is to outline the prospects for the development of the communication system and the equipment of special purpose with the understanding of not only theoretical research in radio communications, but also the results of practical research into the effectiveness of system-technical solution based by installed on the local radio station with mobile communication standards 3G and 4G.

Based on the results of the research, conclusions and proposals were formed regarding the prospects for further development of the system, including the use of LTE in the communication system of the Armed Forces of Ukraine. The stated propositions are based on the results of the final experience of the assigned possession in the interests of the security of military units (subdivisions) in the Sumy region of Ukraine, as well as on the combat line the focus on the offensive (counter-offensive) actions of the Defense Forces of Ukraine in the east of our State.

The presentation material of the article is relevant and necessary for training during the research, aimed at improving the forms and methods of combat stagnation of communication equipment (units), tying the decision to choose

necessary communication equipment, as well as the formation of management decisions by military administration bodies to organize (secure) connections in future operations with the release of the immediate occupation of the territories of Ukraine.

Keywords: *communication system, communications, radio equipment, cellular communication, LTE (Long-Term Evolution), combat experience.*

Постановка проблеми

Досвід виконання завдань на сході України показав значні проблемні питання організації та забезпечення зв'язку під час наступальних (контрнаступальних) дій Сил оборони України в умовах, коли телекомунікаційна інфраструктура території, на якій виконують бойові завдання військові частини (підрозділи) Збройних Сил України, повністю або частково зруйнована.

Зазначені проблемні питання стосуються не тільки забезпечення безпосередньо зв'язком особового складу, командирів (начальників) та військових структур (наприклад, військових комендатур), але й забезпечення функціонування систем, що розгортаються – електроживлення, передавання та розподіл телекомунікаційних ресурсів, забезпечення життєдіяльності особового складу, охорона та оборона об'єктів зв'язку, тощо.

В зазначених умовах фактично відсутня (зруйнована) транспортна опорна мережа зв'язку, прокладання нових кабельних ліній вимагає значного часового ресурсу, тому більшість зв'язків забезпечується радіозасобами. Ситуацію може значно ускладнювати складна електромагнітна обстановка безпосередньо на лінії бойового зіткнення, постійний вплив засобів радіоелектронної боротьби противника, неможливість забезпечення зв'язком з використанням терміналів супутникового зв'язку Starlink на певних територіях, в тому числі на території рф.

Таким чином, постає проблема визначення подальших перспектив розвитку системи зв'язку спеціального призначення у зазначених умовах для організації та забезпечення зв'язку в інтересах Сил оборони України під час наступальних (контрнаступальних) дій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження з наведеної тематики проводились різними авторами, в тому числі – науковими співробітниками наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, що відображені в публікаціях [1–3]. В роботах [1, 2] акцент зроблено на використанні сучасних засобів військового радіозв'язку іноземного виробництва. Зазначені засоби та обладнання військового призначення відповідають сучасним вимогам системи управління військами (силами), але їх кількість у Збройних Силах України залишається незадовільною (особливо в тактичній ланці управління), а номенклатура продовжує збільшуватись, що, в свою чергу, призводить до “зоопарку” засобів радіозв'язку на полі бою та проблем з їх взаємосумісністю, особливо в захищених режимах роботи.

В роботі [3] авторами робиться спроба узагальнити підхід щодо забезпечення розвитку військової техніки, в тому числі – засобів (систем, комплексів) зв'язку, з використанням досвіду провідних країн світу. Нарешті, в роботі [4] наведені результати досліджень досвіду впровадження технологій стільникового зв'язку в окремих військових частинах (підрозділах) Сил оборони України, які виконують бойові завдання на сході України. В той же час, в роботі [4] відсутні пропозиції щодо подальшого розвитку (впровадження) таких систем (мереж) у Збройних Силах України.

Мета статті

Метою статті є обґрунтування практичних рекомендацій щодо вибору, впровадження та використання комунікаційного радіообладнання, побудови та експлуатації відповідної

побудованої радіомережі системи зв'язку з використанням обладнання стільникового зв'язку з урахуванням набутого бойового досвіду та результатів практичних перевірок технічних характеристик радіоканалів. Представлені в роботі результати будуть корисними для фахівців та посадових осіб органів військового управління для обґрунтування технологічних рішень при побудові мереж (систем) зв'язку спеціального призначення. Крім того, матеріал буде корисним науковцям та здобувачам, які здійснюють наукові дослідження в галузі стільникового (радіо) зв'язку.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для досягнення мети статті авторами пропонується використання досвіду розгортання та функціонування мережі зв'язку, побудованої за принципом стільникових мереж, в інтересах забезпечення функціонування системи зв'язку Сил оборони України.

Зазначений досвід ґрунтується на забезпеченні передачі даних (без голосового зв'язку) з використанням абонентських пристроїв типу смартфон, планшет, мобільний роутер, USB-модем, які підключаються до власної (приватної) мережі стільникового зв'язку з використанням спеціальних SIM-карток.

Досвід впровадження таких мереж в Збройних Силах України показав спроможність забезпечувати передачу даних (повідомлення, фото, відео, телефонія), в тому числі – для забезпечення роботи інформаційних (автоматизованих) систем (систем ситуаційної обізнаності).

Для простоти розуміння функціонування таких систем в інтересах Сил оборони України, доцільно умовно поділити мережу на такі складові: ядро мережі, базові станції мережі, транспортна інфраструктура, абонентське обладнання.

В якості абонентського обладнання, як зазначено вище, можна використовувати звичайні смартфони (модеми, роутери, планшети), які підтримують відповідні стандарти зв'язку та відповідні діапазони робочих частот базових станцій.

Залежно від стандарту зв'язку, діапазону частот, ширини робочої смуги частот, висоти підняття антен базової станції, кількості одночасно працюючих абонентів та, звичайно, рельєфу місцевості і електромагнітної обстановки, – може бути забезпечена дальність зв'язку від базової станції до абонента до 2–5 км та швидкості передачі даних на абонентському пристрої порядку одиниць – десятків Мбіт/сек (при забезпеченні прямої радіовидимості).

Узагальнений графік залежності пропускної спроможності на абонентському терміналі від віддаленості до базової станції наведено на рис. 1.

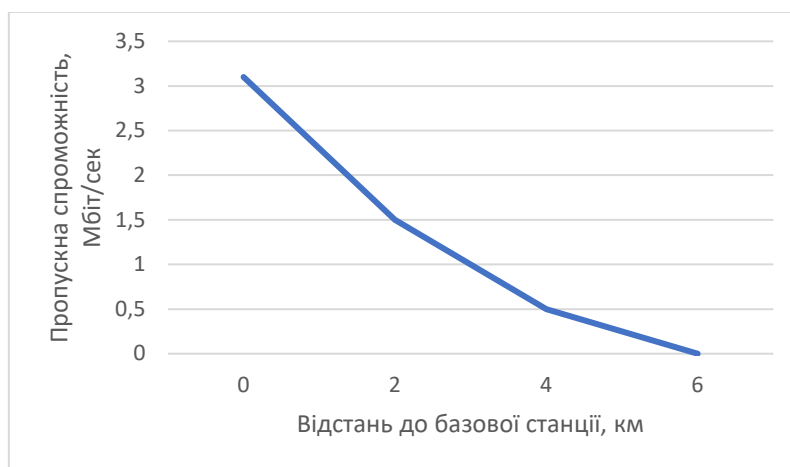


Рис. 1. Графік залежності пропускної спроможності від віддаленості до базової станції

Отриманий характер залежності (рис. 1) підтвердив загальну тенденцію зменшення пропускної спроможності із збільшенням відстані до базової станції.

Для покращення характеристик дальності зв'язку та швидкості передачі даних за досвідом виконання завдань доцільно використовувати додаткове обладнання типу Mikrotik SXT LTE6 kit та Mikrotik LHGG LTE6 kit, зовнішній вигляд якого наведений на рис. 2.



Рис. 2. Зовнішній вигляд додаткового обладнання типу Mikrotik SXT LTE6 kit (ліворуч), Mikrotik LHGG LTE6 kit (праворуч)

Наведені варіанти додаткового обладнання використовують антенну технологію MIMO, мають вбудовані підсилювачі потужності передавача та значно покращені характеристики направленості антени. Зазначені переваги дозволяють значно збільшити дальність зв'язку та швидкість (upload) передачі даних (рис. 3). Крім того, додаткових пристроїв для юстування антенного обладнання не потрібно, а саме обладнання можна підняти на невелику висоту (декілька метрів) або винести з укриття із забезпечення живлення та передачі даних за технологією PoE.

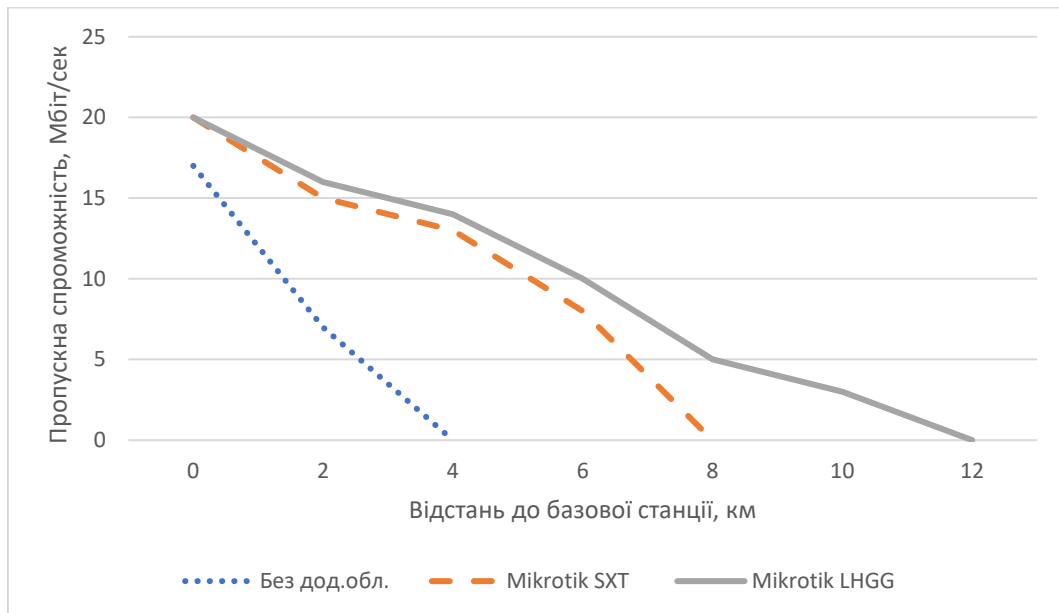


Рис. 3. Графіки залежності пропускної спроможності від відстані до базової станції для кінцевих пристроїв без додаткового антенного обладнання та з додатковим обладнанням типу Mikrotik SXT LTE6 kit та LHGG LTE6 kit

В якості недоліків застосування додаткового обладнання слід зазначити необхідність забезпечення додаткового електроживлення, а також наявні демаскуючі ознаки через габарити обладнання (кабелю, антени та щогли).

Наступним структурним елементом мережі є базові станції. В свою чергу, в склад типової базової станції входить:

антенно-щоглове обладнання з комплектом кабелів;

приймально-передавальне обладнання (з підсилювачем потужності);

нижній блок BBU (Base Band Unit);

маршрутизатор;

блок (джерело) живлення (48 В, 50 А для забезпечення живлення BBU, маршрутизатора та підсилювачів потужності).

Конкретні типи та виробники обладнання базової станції можуть бути обрані за умов наявності та підтримки необхідного стандарту роботи мережі.

За досвідом виконання завдань, в якості щоглового обладнання найчастіше використовуються стаціонарні об'єкти концерну радіомовлення, радіозв'язку та телебачення, які в свою чергу дозволяють розмістити обладнання на значній висоті та забезпечити максимальний радіус радіопокриття.

В той же час, досвід виконання завдань із забезпечення зв'язку на територіях, де транспортна інфраструктура зруйнована повністю або частково, показав доцільність використання також мобільних базових станцій на рухомій базі, що розгорнуті з використанням телескопічних та/або секційних щогл. Зазначений підхід дозволить забезпечити зв'язок у важкодоступних районах, покращити якість радіопокриття в умовах відсутності такого від стаціонарних веж, а також забезпечити зв'язок за принципом “тут і зараз” в умовах швидкоплинності ведення бойових дій, особливо наступальних (контрнаступальних). Зовнішній вигляд типової базової станції, розгорнутої на рухомій базі, наведено на рис. 4.



Рис. 4. Зовнішній вигляд (варіант) рухомої базової станції мережі LTE

Діаграма направленості антенного обладнання базової станції залежить від кількості підключених антен (2 або 3) і може складати до 360 градусів. Кількість одночасно працюючих

абонентських терміналів (з SIM-картами) в зоні обслуговування однієї базової станції відповідно до її спроможностей може становити декілька сотень пристроїв (в стандартах 3G або 4G). Швидкість підключення кожного пристрою в такому випадку залежатиме від швидкості підключення базової станції до транспортної мережі.

В свою чергу, підключення базової станції до транспортної мережі здійснюється з використанням провідних та радіорелейних засобів. Особливо важливим при цьому є забезпечення якості підключення з достатньою швидкістю та мінімальним часом затримки (ping). За досвідом виконання завдань, базові станції також можна підключати з використанням терміналів супутникового зв'язку (типу Starlink) та засобів тропосферного зв'язку. В останньому випадку значно зростає час затримки сигналів (ping), що також стає нестабільним через особливості поширення сигналів у тропосфері, що в свою чергу, може негативно вплинути на роботу інформаційних (автоматизованих) систем та засобів криптографічного захисту інформації, що є критичними до зазначених характеристик каналу.

Завдання розгортання базових станцій покладається на спеціально підготовлений екіпаж (мінімум 2–3 особи), який спроможний розгорнути антенно-щоглове обладнання, підключити заздалегідь підготовлені (налаштовані) приймально-передавальні пристрої та нижній блок, а також розгорнути систему електроживлення базової станції з резервуванням.

Для забезпечення стабільного електроживлення базової станції крім стаціонарної мережі електроживлення доцільно використовувати резервні джерела електроживлення – мобільні генератори, зарядні станції та блоки безперебійного живлення (UPS).

Швидкість розгортання базових станцій (за досвідом виконання завдань) залежить від умов бойової обстановки, навченості особового складу та наявного комплексу обладнання.

Після розгортання базової станції, для забезпечення її охорони, оборони і обслуговування доцільно визначати екіпаж чергової обслуги.

Найбільш складною та такою, що вимагає постійного цілодобового моніторингу та налаштування, є ядро мережі. Саме ядро мережі призначено для обробки та маршрутизації IP-трафіку між користувачами та сервісами мережі, а також автоматичного налаштування робочих частот базових станцій в одній мережі.

За досвідом виконання завдань, ядро мережі повинно бути розгорнуто на значній відстані від безпосередніх районів ведення бойових дій, мати незалежне підключення як мінімум до двох операторів комунікацій, стабільне джерело електроживлення з резервуванням. Крім того, для забезпечення безперебійного обслуговування абонентів та доступу їх до інформаційних ресурсів доцільно забезпечити як мінімум подвійне “гаряче” резервування ядра мережі з виконанням вищезазначених вимог до кожного ядра.

Моніторинг і управління мережею доцільно здійснювати з автоматизованого робочого місця чергової зміни з доступом до ядра мережі.

Мінімальний перелік можливостей персоналу, що здійснює управління роботою мережі з доступом до ядра, включає:

- реєстрацію, підключення та блокування абонентів у мережі (за SIM-карткою);
- моніторинг працездатності базових станцій (з використанням, наприклад, Zabbix);
- моніторинг працездатності та керування лініями зв'язку, що з'єднують базові станції;
- віддалене налаштування мережевого обладнання;
- вимірювання окремих характеристик підключення базових станцій (затримку, статистику підключення (за визначений період часу), статистику об'єму трафіку, перезавантаження базових станцій та ядра, тощо).

Критично важливим, за досвідом виконання завдань, при цьому стає фізичне “володіння” ядром мережі саме підготовленим особовим складом Сил оборони України, що максимально знизить (унеможливить) ризики несанкціонованого доступу до ресурсів мережі, дозволить

здійснювати цілодобовий моніторинг та налаштування мережі, контролювати та надавати (блокувати) доступ абонентів, тощо.

В рамках проведених досліджень неможливо обійти питання необхідності побудови транспортної інфраструктури, що об'єднує базові станції у єдину мережу. Як було зазначено, підключення базових станцій до транспортної мережі можливо здійснювати з використанням: волоконно-оптичних ліній зв'язку; провідних (мідних) ліній зв'язку; радіорелейних ліній зв'язку (в тому числі – організованих з використанням обладнання типу AirFiber або радіозасобів типу HARRIS RF-7850W); станцій (терміналів) супутникового зв'язку (типу Starlink, Tooway, Satcube); станцій тропосферного зв'язку.

Основними вимогами для підключення базової станції при цьому стають необхідна пропускна спроможність та характеристика затримки сигналів в каналі. Зазначене, в свою чергу, визначає кількість можливих підключень абонентських пристроїв на необхідній швидкості із заданою якістю передачі інформації.

Висновки і перспективи подальших досліджень

За результатами проведених досліджень, для забезпечення зв'язком Сил оборони України побудовані додаткові сегменти мереж за принципом стільникових мереж зв'язку.

В межах покриття розгорнуті мережі забезпечують передавання текстової, графічної, аудіо-відеоінформації для кінцевих користувачів (зі стільникових телефонів та інших мобільних комунікаційних пристроїв), використовуються відомі стандарти та діапазони частот стільникового зв'язку, що дозволяє забезпечити розвідзахищеність мереж. Таким чином, розгорнуті мережі можуть стати незамінним інструментом для забезпечення передачі інформації в прифронтових територіях, створення інфраструктури в непередбачуваних (у відношенні зв'язку) районах виконання завдань.

З урахуванням вищезазначеного, за результатами проведених практичних досліджень обладнання, розроблено наступні пропозиції щодо розвитку (удосконалення) мереж, побудованих за принципом стільникових:

1. Для забезпечення зв'язком в наступальних (контрнаступальних) операціях сил оборони України під час визволення тимчасово окупованих територій, а також проведення операцій на окремих напрямках – сформувати мобільні підрозділи для розгортання базових станцій мережі на мобільній базі (автомобілі підвищеної прохідності з телескопічними щоглами, антенні машини з секційними щоглами). Базові станції на мобільній базі використовувати додатково до розгорнутої стаціонарної інфраструктури.

На зазначені мобільні підрозділи покласти завдання оперативного виходу та розгортання у визначеному районі базових станцій мережі для забезпечення управління передовими Силами оборони України.

2. Для підвищення стійкості роботи мережі доцільно впроваджувати резервне ядро мережі (територіально рознесене, підключене до іншого оператора по іншій фізичній лінії зв'язку, на іншій лінії електроживлення), яке повністю дублюватиме можливості основного ядра та постійного знаходитись в режимі “гарячої” заміни. Крім того, для забезпечення автономності кожної окремої базової станції доцільно використовувати в якості резерву ядро мережі на тактичному рівні в інтересах визначеної військової частини (тактичної групи).

3. Для забезпечення більш якісного покриття базових станцій мережі доцільно використовувати обладнання з випромінюванням в декількох діапазонах частот (від 700 МГц до 2100 МГц), що також надасть можливість адаптованої зміни робочих частот при подавленні певних ділянок частот засобами радіоелектронної боротьби противника.

4. В місцях нестійкого прийому сигналу мережі доцільно використовувати додаткове обладнання типу точок доступу та/або антенного обладнання з направленими антенами.

Одним із **напрямів подальших досліджень** є практичні випробування різних стандартів стільникового зв'язку з метою формування пропозицій щодо вибору та забезпечення стійкості роботи мережі в умовах навмисних радіоперешкод.

Перспективними також є дослідження у напрямку розробки базових станцій повітряного базування на базі безпілотних літальних апаратів – ретрансляторів з обов'язковою перевіркою їх функціональних можливостей і тактико-технічних характеристик мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лаврут О. О., Климович О. К., Тарасюк М. Л., Антонюк О. Л. Стан та перспективи застосування сучасних технологій та засобів радіозв'язку в Збройних Силах України. *Системи озброєння та військова техніка*. 2017. № 1 (49). С. 42–49.
2. Лаврут О. О., Лаврут Т. В., Климович О. К., Здоренко Ю. М. Новітні технології та засоби зв'язку у Збройних Силах України: шлях трансформації та перспективи розвитку. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2019. № 1 (34). С. 91–101. URL: <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.34.13>.
3. Радзівілов Г. Д., Масесов М. О, Дегтяр О. А. Світові тенденції зі створення та розвитку військової техніки. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2024. Випуск № 56. С. 381–385. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-56-45>.
4. Лазута Р. Р. та ін. Військова навчально-методична публікація щодо застосування технології LTE (4G) системи зв'язку у військових частинах Збройних Сил України. *Матеріали вивчення бойового досвіду застосування Збройних Сил України*. Київ: НЦЗІ ВІТІ. 20 с.