

Штонда Роман Михайлович¹
Зінченко Михайло Олександрович¹
Чайка Євген Іванович²

¹ Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна

² Військова частина А0707, Гайсин, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МАЛОГАБАРИТНИХ ЦИФРОВИХ ТРОПОСФЕРНИХ СТАНЦІЙ ЗВ'ЯЗКУ ПІД ЧАС ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ (ОПЕРАЦІЙ)

На сьогоднішній день підходи щодо ведення операції (бойових дій) змінили погляди із застосування Сил оборони під час відсічі збройного конфлікту. До 2000-х років ХХІ століття війни та військові конфлікти розвивалися за напрямом нарощування масовості живої сили та техніки з безпосереднім контактом військ (сил) на полі бою. Але сучасні збройні конфлікти і війни ведуться за принципом зменшення людського потенціалу й збільшення застосування високоточної та високо-інтегрованої зброї на великих відстанях. Сьогодні, використання високоточної зброї у поєднанні з розвідувальними засобами, диверсійними групами, незаконними збройними формуваннями, радіоелектронною розвідкою, засобами радіоелектронної боротьби значно впливає на організацію та функціонування системи зв'язку. Така тенденція буде лише нарощуватися та удосконалюватися, що призведе до виникнення проблем із роботою систем управління. Аналіз досвіду ведення операцій (бойових дій) свідчить, що використання великогабаритних станцій тропосферного зв'язку, призводить до моментального їх виявлення, внаслідок чого противник застосовує різні заходи щодо їх знищення. Тому, актуальним стало завдання щодо створення та впровадження до системи зв'язку держави малогабаритних цифрових тропосферних станцій зв'язку, які мають поєднувати в собі тропосферну та радіорелейну станції. Проаналізувавши попередні наукові видання стосовно тропосферного зв'язку, з'ясовано, що вони, переважно, зорієнтовані на висвітлення принципів застосування та впровадження великогабаритних тропосферних станцій зв'язку вітчизняних виробників. Водночас, підходи до застосування малогабаритних цифрових тропосферних станцій зв'язку розкриті недостатньо. Тому, в статті запропоновано підходи щодо застосування малогабаритних цифрових тропосферних станцій зв'язку іноземного виробництва як альтернатива вітчизняним розробкам в сучасних умовах ведення бойових дій (операцій), та надано рекомендації подальших напрямів наукової діяльності з розвитку тропосферного зв'язку.

Ключові слова: малогабаритна цифрова тропосферна станція зв'язку, тропосферний зв'язок, радіорелейний зв'язок, супутниковий зв'язок, комбінована тропосферна-радіорелейна станція зв'язку, кібератака.

Вступ

Від самого початку повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України стало відомо про численні кібератаки на українські ресурси. Напад російських зломників мереж і програм (хакерів) розпочався буквально за кілька годин до повномасштабного вторгнення російських військ. За даними агентства Reuters, США, Великобританія та Європейський Союз офіційно звинуватили росію у великомасштабному кібернападі, який порушив роботу супутникового інтернет-сервісу Viasat за годину до початку нового етапу війни 24 лютого 2022 року. Це спричинило знищення «десятиків тисяч» супутникових терміналів [1].

Під час цієї кібератаки, 24 лютого 2022 року було запущено шкідливе програмне забезпечення AcidRain. Воно видалило усі дані на модемах та

маршрутизаторах Viasat, які працювали на той час, через що всі термінали Viasat, перестали забезпечувати супутниковий зв'язок. І саме таким методом були виведені з ладу тисячі терміналів. Тому, після порушення роботи супутникового інтернет-сервісу Viasat велика частка передачі даних лягла на радіорелейні станції зв'язку [2]. Але на рівні з радіорелейними станціями зв'язку широко почали застосовуватися тропосферні станції зв'язку.

А отже, одним із найстійкіших і швидкісних способів передачі сигналу на сотні кілометрів, зокрема, у важкодоступні регіони, залишається тропосферний зв'язок.

Постановка проблеми. Протягом останніх років у науковому середовищі ведеться дискусія про місце та роль тропосферних станцій зв'язку в системі зв'язку. На сьогоднішній день актуальним є завдання стосовно створення та впровадження

малогабаритних цифрових тропосферних станцій зв'язку (далі – МЦТСЗ), які одночасно могли б працювати в двох режимах: загоризонтного зв'язку та прямої видимості. Поєднання цих двох режимів в одному виробі дозволить застосовувати тропосферні станції зв'язку під час ведення сучасних операцій (бойових дій) на полі бою з метою забезпечення надійного, стійкого, захищеного зв'язку між органами управління, зменшення ризиків щодо загибелі та травмування обслуговуючого персоналу та зниження можливості їх виявлення з метою ураження противником. Для досягнення даної мети буде необхідним впровадження МЦТСЗ до сучасної системи зв'язку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У роботі [3] проаналізовано недоліки існуючих вітчизняних мобільних засобів тропосферного зв'язку та сформульовані шляхи їх вдосконалення. Крім того, підкреслено, що проблему розвитку військових систем цифрового тропосферного зв'язку потрібно вирішувати комплексно. А також визначено напрями вдосконалення мобільних засобів тропосферного зв'язку: створення станцій, що працюють за схемою «точка–багатоточка».

У статті [4] запропоновано нові технічні рішення, ключові технології і концепція побудови конкурентоздатних малогабаритних станцій тропосферного зв'язку нового покоління з високою пропускнуною спроможністю і захищеним радіодоступом до каналів зв'язку. Показано, що на їх основі в перспективі можна створити комбіновану станцію тропосферного і супутникового зв'язку.

У роботі [5] було досліджено стан, проблемні питання та напрями подальшого розвитку вітчизняних тропосферних систем зв'язку. Автори розглядають технічні аспекти роботи тропосферних станцій в сучасних умовах та пропонують шляхи їх модернізації.

Таким чином, проведений аналіз основних публікацій свідчить про наявність досліджень стану тропосферного зв'язку в Збройних Силах України. Проте узагальнені роботи, які б всебічно розглядали підходи до застосування МЦТСЗ, наразі відсутні.

Метою статті є пропонування підходів щодо застосування малогабаритних цифрових тропосферних станцій зв'язку в сучасних умовах проведення операцій (бойових дій) та надання рекомендацій стосовно подальших напрямів наукової діяльності з розвитку тропосферного зв'язку.

Виклад основного матеріалу дослідження

Станції тропосферного зв'язку за своїм функціональним призначенням відносяться до каналотворюючих станцій і призначені для будівництва (розгортання) ліній (осей, рокад, ліній прямого зв'язку між пунктами управління, ліній

доступу (прив'язки)) та організації каналів передачі ними інформації на різних рівнях управління [6].

Тропосферні станції зв'язку розроблені десяти років тому але після модернізації мають низку переваг не лише перед радіорелейними та супутниковими станціями зв'язку. Сьогодні в Україні модернізовано ряд станцій тропосферного зв'язку, серед них Р-417 до версії Р-417МУ та Р-423-1М до версії Р-423-1МУ. Ці сучасні модернізовані станції відносяться до великогабаритних станцій оскільки обладнання розміщується в кузові уніфікованого нульового габариту, який переміщується габаритними транспортними засобами з великою вантажопідйомністю, що не забезпечує скритість під час маршу, розгортання та експлуатації тропосферної станції зв'язку [7].

Отже, актуальним постає питання пошуку технічних рішень щодо зменшення великогабаритних тропосферних станцій зв'язку, а також уніфікації їх зовнішніх відмінних ознак, бо в умовах ведення операцій (бойових дій) будь-яка автомобільна техніка, що має нетипові ознаки, є об'єктом ураження. Тому для якісного виконання поставленого завдання щодо забезпечення надійного, стійкого, захищеного зв'язку між органами управління, зменшення ризиків стосовно загибелі й травмування обслуговуючого персоналу та зниження можливості їх виявлення з метою враження противником, буде перехід від великогабаритних тропосферних станцій зв'язку на МЦТСЗ.

Для вирішення даного питання пропонується розглянути можливість застосування вітчизняних МЦТСЗ або іноземного виробництва як альтернатива вітчизняним розробкам під час ведення операцій (бойових дій) [8].

МЦТСЗ повинні бути створені за блочно-модульним принципом на базі єдиних уніфікованих конструкцій, що розроблені з використанням сучасної мікроелектронної елементної бази та програмно-апаратних систем [9]. Основні складові конструктивної частини МЦТСЗ наведені на рисунку 1.



Рисунок 1 – Основні складові малогабаритної цифрової тропосферної станції зв'язку

Проект зовнішнього вигляду малогабаритних цифрових тропосферних станцій зв'язку наведено на рисунку 2.

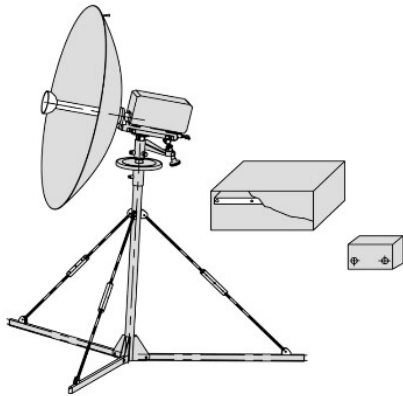


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд малогабаритної цифрової тропосферної станції зв'язку

Антенно-поворотний пристрій складається з: триноги з можливістю встановлення обладнання вагою не менше 20 кілограм та механізмами закріплення на місцевості або на даху приміщень;

антени діаметром не більше 1 метру; поворотного пристрою із забезпеченням повороту антени на 360 градусів.

До складу блоку приймально-передавального входять:

підвищувальний конвертер частоти; підсилювач потужності з можливістю управління коефіцієнтом підсилення; дуплексерні фільтри на передачу та прийом; малошумливий понижуючий конвертер частоти;

пристрій вбудованого автоматичного контролю виробу;

елементи вторинного електроживлення вузлів виробу; перехід на антенний хвилевід круглого перерізу.

До складу модемного пристрою входять плати: блоку обробки та управління;

процесора групового потоку і контролю та індикації;

інтерфейсу телефонного; блоку вторинних джерел живлення; віддаленого підключення.

До складу пристрою дистанційного контролю та управління входить:

ноутбук з програмно-апаратним комплексом для налаштування та управління МЦТСЗ;

також має бути доступна функція віддаленого доступу керування та налаштування за допомогою смартфона/планшета.

Крім того до складу МЦТСЗ входять: телекомунікаційний комплект ТК-3 у разі потреби враховується можливість додавання ТК-4; засоби захисту інформації та кібербезпеки;

джерело безперебійного живлення вихідною потужністю не менше 1500 Вт, діапазоном вхідної напруги живлення від 160–295 В, вихідною

номінальною напругою 230 В., не менше 12 годин неперервної роботи;

дизель-генератор потужністю не менше 8 кВт; кабелі живлення, довжиною не менше 30 метрів, і кабелі управління.

МЦТСЗ передбачає наявність таких технічних характеристик:

діапазон робочих частот від 4,4 до 5,0 ГГц; максимальна швидкість приймання/передачі цифрового інформаційного потоку до 8 Мбіт/с;

інформаційний інтерфейс 10/100/1000 Base-T, наявні порти з можливістю інкапсуляції зовнішнього потоку конвертора E1 (G.703) в Ethernet;

протокол та інтерфейс передачі даних IP (TCP/IP), Ethernet;

вихідна потужність передавача на антенному фланці має становити приблизно 200 Вт;

забезпечувати швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с – при тропосферному зв'язку та до 200 Мбіт/с – при радіорелейному зв'язку;

дальність тропосферної лінії зв'язку до 120 км; дальність радіорелейної лінії зв'язку до 40 км;

час розгортання і входження в зв'язок має бути не більше 20 хв;

можливість віддаленого управління має здійснюватися дистанційно на відстані не більше 100 метрів.

Таке обладнання має бути виготовлене в захищеному виконанні за стандартом не нижче IP67, з урахуванням можливості живлення від декількох джерел. Одним із джерел живлення є стаціонарна (основна) мережа. Через те, що під час живлення від стаціонарної мережі є можливість відбору значних величин потужності, а струмове навантаження зовнішніх силових кабелів і внутрішніх приводів обмежене, необхідно суворо регламентувати споживану потужність, яка контролюється за показами споживаного струму. Так, номінальна величина споживаного струму для МЦТСЗ не повинна перевищувати величину 20-25 А. На нормальну роботу обладнання МЦТСЗ величина напруги живлення, що має становити величину $220 \text{ В} \pm 10 \%$ і постійно контролюватися.

За допомогою дизель-генератора (резервна мережа) МЦТСЗ може працювати у випадку відсутності стаціонарної мережі. У зв'язку з тим, що дизель-генератори розраховані на видачу обмежених величин потужності, живлення сторонніх споживачів заборонено.

У разі відсутності стаціонарної та резервної мережі обладнання МЦТСЗ може працювати від джерела безперебійного живлення. Безперервна робота повинна бути не менше 12 годин. При під'єднаному джерелі безперебійного живлення категорично заборонено підключати сторонніх споживачів. Обслуговуючий персонал, становить не більше ніж 3 осіб і має знати:

власні функціональні обов'язки та, за необхідності, мають право замінити номер обслуги;

досконало знати експлуатаційні можливості обладнання МЦТЄЗ;

уміти здійснювати розгортання обладнання МЦТЄЗ у визначений термін;

бути підготовленим та досконало знати принципи застосування МЦТЄЗ;

уміло проводити без порушень термінів технічне обслуговування МЦТЄЗ.

Автомобільне шасі (пікап) формули 4×4 має забезпечувати надійну прохідність у різних кліматичних умовах на асфальтних та ґрунтових покриттях доріг, а також в важкодоступних складках місцевості. Залежно від умов проведення операцій (бойових дій) доцільно застосовувати броньоване автомобільне шасі, з метою забезпечення збереження життя особового складу. Також для перевезення майна екіпажу необхідне доукомплектування броньованого автомобільного шасі, одновісним чи двовісним напівприцепом з вантажопідіймністю не менше 3 тон.

Варіанти МЦТЄЗ наведені на рис. 3, 4.



Рисунок 3 – Варіант 1. Розміщення малогабаритної цифрової тропосферної станції зв'язку на автомобільній базі

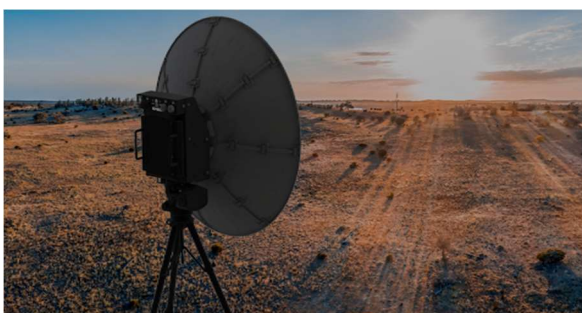


Рисунок 4 – Варіант 2. Переносна малогабаритна цифрова тропосферна станція зв'язку

Для розрахунку зон доступу МЦТЄЗ має бути враховане максимальне значення дальності, на яку буде здійснюватися передача сигналу за заданою швидкістю і за необхідного значення якості передачі та заданою вірогідністю забезпечення зв'язку. Доступність каналу визначається за формулою [10]:

$$P_c = P(P_{\text{прм}} \geq P_{\text{мін}}), \quad (1)$$

де:

$P_{\text{прм}}$ – потужність сигналу на вході приймального пристрою;

$P_{\text{мін}}$ – реальна чутливість приймача;

P_c – доступність каналу.

Розрахунок доступності каналу в зоні доступу має будуватися на розрахунку енергетичного потенціалу тропосферних ліній зв'язку. Для розрахунку зон доступу на максимально допустимій відстані між МЦТЄЗ в мережах необхідно враховувати:

потужності передавачів МЦТЄЗ;

параметри антено-фідерного тракту приймально-передаючого обладнання (характеристики діаграм направленості антен, їх діючі висоти, втрати в антено-фідерному тракті і т.д.);

рівень зовнішніх та внутрішніх шумів на вході приймача та його чутливість;

електричні параметри обладнання, що застосовується (робоча частота, тип модуляції, ширина полоси пропускання приймача і т. д.).

Розглянуті параметри визначаються технічними умовами (технічними характеристиками) МЦТЄЗ.

Максимальна зона доступу за високопіднятих антен в умовах рівнинної місцевості визначається виразом:

$$R_{\text{max}} \leq 0,8 \left[4,12 \left(\sqrt{h_1} + 2\sqrt{h_0} + \sqrt{h_2} \right) \right], \quad (2)$$

де:

R_{max} – максимальна відстань до межі зони доступу;

h_1 – висота передавальної антени в метрах;

h_2 – висота прийомної антени в метрах;

h_0 – висота точки перехрещення між напрямками випромінювання дотичних до поверхні землі антен.

Додаткові втрати розраховуються як [11]:

$$W_{\text{дтр}} = W_{\text{ст}} + W_p + \Delta W_A + \Delta W_k + \Delta W_h + \Delta W_{\text{гет}} + \Delta W_3, \quad (3)$$

де:

$W_{\text{ст}}$ – стандартне ослаблення, яке залежить лише від відстані R і довжини хвилі λ ;

W_p – втрати, що обумовлені впливом нерівностей рельєфу місцевості й висот підйому антен;

ΔW_A – втрати підсилення антен;

ΔW_k – втрати, що обумовлені кліматичними умовами;

ΔW_h – втрати, що обумовлені впливом земної поверхні, за невеликих величин відношення h/λ ;

$\Delta W_{\text{гет}}$ – втрати, що обумовлені відмінностями географічних висот;

ΔW_3 – поправка, яка враховує швидкі та повільні завмирання.

Наприкінці зазначимо, що розрахунок зон доступу МЦТЄЗ, згідно наведених виразів, дасть змогу обслуговуючому персоналу якісно будувати тропосферні лінії зв'язку.

Отже, впровадження таких МЦТЄЗ надасть

можливість підвищити мобільність підрозділів зв'язку та якість виконання завдань і забезпечити:

стійкий та захищений зв'язок, який не залежить від погодних умов та фізичних завад, на відміну від супутникових і станцій зв'язку;

високу заводо захищеність, порівняно із супутниковими станціями зв'язку, тих же діапазонів частот;

високу живучість, порівняно із радіорелейними станціями зв'язку, до дій наземних станцій постановки завад та до засобів радіоелектронної боротьби повітряного базування;

кращу протидію до направлених та загороджувальних постановки завад;

можливість використання як тропосферної, так і радіорелейної станції зв'язку;

захищеність обслуговуючого персоналу.

Висновки й перспективи подальших досліджень

В статті авторським колективом розглянуто основні складові МЦТСЗ, описано характеристики станцій іноземного виробництва як альтернатива перспективним вітчизняним розробкам під час ведення операцій (бойових дій). Використання наведених в статті виразів/формул дасть можливість обслуговуючому персоналу

Список бібліографічних посилань

1. Нечет Т. Війна росії проти України почалася з кібернападу на супутники. За годину до вторгнення були знищені «десятки тисяч» терміналів Viasat. ITC.ua. URL: <https://itc.ua/ua/novini/vijna-rosiyi-proti-ukrayini-rochalasya-z-kibernapadu-na-suputniki-za-godinu-do-vtorgnennya-buli-znishheni-desyatki-tisyach-terminaliv-viasat/> (дата звернення: 01.03.2023). 2. Олексенко В. П., Штонда Р. М., Черниш Ю. О., Мальцева І. Р. Сучасні підходи до забезпечення кібербезпеки в радіорелейних лініях зв'язку. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2022. № 1(17). С. 57–64. 3. Почерняєв В. М., Повхліб В. С. Стан і напрямки розвитку мобільних цифрових тропосферних систем зв'язку. Харків : *Системи озброєння і військова техніка*. 2018. № 2(54). С. 51–60. 4. Ільченко М. Є., Наритник Т. Н., Слюсар В. І. Напрямок створення тропосферних станцій нового покоління. *Цифрові технології*. 2014. №16. С. 8–18. 5. Масєсов М. О., Субач І. Ю., Руденко Д. М., Станович О. В. Перспективи застосування цифрового діаграмоутворення у станціях тропосферного зв'язку спеціального призначення. *Збірник наукових праць ВІТІ ДУТ*. 2014. №1. С. 43–48. 6. Руденко В.І., Зінченко М. О., Бондаренко Л. О., Лазута Р. Р. Вибір і

здійснювати розрахунок зон доступу та розгортати тропосферні лінії зв'язку на належному рівні та в стислі терміни.

Водночас зазначимо, що МЦТСЗ доцільно застосовувати для забезпечення зв'язку зі старшим штабом/командиром, з підлеглими та взаємодіючими військами, а також між пунктами управління в оперативній та стратегічній ланках управління. В свою чергу, в тактичній ланці управління МЦТСЗ доцільно використовувати для забезпечення управління військами, починаючи з бригади і вище для побудови ліній прямого зв'язку та ліній прив'язки.

В свою чергу слід зауважити що МЦТСЗ також доцільно застосовувати в окремих випадках для організації зв'язку в інших підрозділах тактичного рівня (відділення, взвод, рота, батальйон та їм рівні) за неможливістю використання інших засобів зв'язку.

Таким чином, перспективність застосування малогабаритних цифрових тропосферних станцій зв'язку, що відповідають тенденціям розвитку тропосферних і радіорелейних засобів зв'язку, є актуальним напрямом для розроблення комбінованих цифрових комунікаційних систем вітчизняного виробництва.

обґрунтування структури системи тропосферного зв'язку спеціального призначення з урахуванням застосування інноваційних технологій. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2022. № 3(45). С. 75–82. 7. Чайка Є. І., Штонда Р. М. Сучасні підходи до розвитку малогабаритних цифрових тропосферних станцій зв'язку. *Перспективи розвитку та застосування сучасних систем і засобів зв'язку в інтересах управління військами* : матер. наук.-практ. конф. Харків : НАНГУ, 2023. С. 10. 8. Кравчук С. О. Принципи створення портативних тропосферних радіорелейних станцій. *Проблеми телекомунікацій* : матер. Міжнар. наук.-техн. конф. Київ : НТУУ КПІ, 2015. С. 254–256. 9. Кравчук С. О. Портативна тропосферна радіорелейна станція зв'язку. *Проблеми телекомунікацій* : матер. Міжнар. наук.-техн. конф. Київ : НТУУ КПІ, 2016. URL: <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/70959> (дата звернення: 01.03.2023) 10. Руденко В. І., Бондаренко О. Є., Сергієнко А. В., Остапук О. І. Розрахунок зон доступу радіорелейними та тропосферними засобами зв'язку. *Збірник наукових праць ВІТІ ДУТ*. 2018. №3. С. 87–93.

MODERN APPROACHES TO THE APPLICATION OF SMALL DIGITAL TROPOSPHERIC COMMUNICATION STATIONS

Shtonda Roman¹
Zinchenko Michael¹
Chaika Yevhen²

¹ Kruty Heroes Military Institute of Telecommunications and Information Technologies, Kyiv, Ukraine,

² Military unit A0707, Haisyn, Ukraine

To date, approaches to conducting operations (combat operations) have changed views on the use of the Defense Forces during the repulsion of an armed conflict. Until the 2000s of the 21st century, wars and military

conflicts developed in the direction of increasing the mass of manpower and equipment with direct contact of troops (forces) on the battlefield. But modern armed conflicts and wars are conducted according to the principle of reducing human potential and increasing the use of highly accurate and highly integrated weapons at long distances. Today, the use of high-precision weapons in combination with reconnaissance means, sabotage groups, illegal armed formations, radio-electronic intelligence, means of radio-electronic warfare significantly affects the organization and functioning of the communication system. This trend will only increase and improve, which will lead to problems with the operation of management systems. Analysis of the experience of conducting operations (combat operations) shows that the use of large-sized tropospheric communication stations leads to their immediate detection, as a result of which the enemy uses various measures to destroy them. Therefore, the task of creating and introducing small-sized digital tropospheric communication stations to the state communication system, which should combine tropospheric and radio relay stations, has become urgent. Having analyzed previous scientific publications related to tropospheric communication, it was found that they are mainly focused on highlighting the principles of application and implementation of large-sized tropospheric communication stations of domestic manufacturers. At the same time, approaches to the use of small-sized digital tropospheric communication stations are not sufficiently disclosed. Therefore, the article proposes approaches to the use of small-sized digital tropospheric communication stations in modern conditions of operations (combat operations) and provides recommendations for further directions of scientific activity in the development of tropospheric communication.

Keywords: small-sized digital tropospheric communication station, tropospheric communication, radio relay communication, satellite communication, combined tropospheric-radio relay communication station, cyber attack.

References

1. Nechet, T., (2022). *Russia's war against Ukraine began with a cyberattack on satellites. An hour before the invasion, "tens of thousands" of Viasat terminals were destroyed.* ITC.ua. [online]. Available at: <https://itc.ua/ua/novini/vijna-rosiyi-proti-ukrayini-pochalasya-z-kibernapadu-na-suputniki-za-godinu-do-vtorgnennya-buli-znishheni-desyاتي-tisyach-terminaliv-viasat/> [Accessed : 01 March 2023].
2. Oleksenko, V. P., Shtonda, R. M., Chernysh, Y. O., Maltseva, I. R. (2022), Modern approaches to ensuring cyber security in radio relay communication lines. *Cyber security: education, science, technology.* 1(17), 57-64.
3. Pocherniaev, V. M., Povhlib, V. S., (2018). Status and directions of development of mobile digital tropospheric communication systems. *Armament systems and military equipment.* 2(54), 51-60.
4. Ilchenko, M. E., Narytnyk, T. N., Slyusar, V. I. (2014), Directions for the creation of tropospheric stations of a new generation. *Digital technologies.* 16, 8-18.
5. Masesov, M. O., Subach, I. Y., Rudenko, D. M., Stanovich, O. V., (2014). Prospects for the use of digital charting in special purpose tropospheric communication stations. *Collection of scientific papers VITI DUT,* 1, 43-48.
6. Rudenko, V. I., Zinchenko, M. O., Bondarenko, L. O., Lazuta, R. R., (2022). Selection and justification of the structure of the special purpose tropospheric communication system taking into account the application of innovative technologies. *Modern information technologies in the sphere of security and defense,* 3(45), 75-82.
7. Chaika, E. I., Shtonda, R. M., (2023). Modern approaches to the development of small-sized digital tropospheric communication stations. In: *Prospects for the development and application of modern communication systems and means in the interests of troop management: materials of the scientific and practical conference:* NANGU, 10.
8. Kravchuk, S. O., (2015). Principles of creation of portable tropospheric radio relay stations. In: *Problems of telecommunications: materials of the International Scientific and Technical Conference.* Kyiv : NTUU KPI, 254-256.
9. Kravchuk, S. O., (2016). Portable tropospheric radio relay communication station. In: *Problems of telecommunications: materials of the International Scientific and Technical Conference.* Kyiv: NTUU KPI, [online]. Available at: <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/709> [Accessed : 15 March 2023].
10. Rudenok, V. I., Bondarenko, O. E., Sergienko, A. V., Ostapuk, O. I., (2018). Calculation of access zones by radio relay and tropospheric means of communication. *Collection of scientific papers VITI.* 3, 87-93.