

**Рекомендації щодо підвищення пропускної спроможності системи зв'язку,  
радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління**

Шифр  
Управління

## АНОТАЦІЯ

**Наукова робота на тему** “ Рекомендації щодо підвищення пропускної спроможності системи зв’язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління ”.

Робота складається з трьох розділів, кожен з яких містить від двох до трьох підрозділів. Список використаної літератури містить 23 джерела. Робота містить 41 аркуш.

**Мета роботи:** визначення та обґрунтування рекомендацій щодо підвищення пропускної спроможності системи зв’язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління до необхідного рівня.

**Об’єкт дослідження:** функціонування системи зв’язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.

**Предмет дослідження:** пропускна спроможність системи зв’язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.

**Методи дослідження:** в роботі знайшли своє використання загальнонаукові методи дослідження, теоретичний аналіз наукових джерел, узагальнення, конкретизація та моделювання.

В роботі проведено аналіз оперативно-тактичних факторів, що впливають на пропуску спроможність, удосконалено методику оцінювання пропускної спроможності системи зв’язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління із врахуванням вимог керівних документів та обґрунтовані практичні рекомендації щодо підвищення пропускної спроможності системи зв’язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ЗМІСТ.....	3
СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОПУСКНУ СПРОМОЖНІСТЬ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ.....	8
1.1. Аналіз можливостей противника щодо впливу на пропускну спроможність системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління .....	8
1.2. Аналіз прийнятої системи управління .....	11
1.3. Аналіз основних внутрішніх факторів.....	13
Висновки до першого розділу.....	15
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ .....	17
2.1. Математична модель оцінювання пропускнуї спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.....	17
2.2. Методика розрахунку пропускнуї спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.....	23
2.3. Оцінювання ефективності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління .....	25
Висновки до другого розділу.....	25
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ .....	27

3.1. Рекомендації щодо підвищення пропускної спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.....	27
3.2. Оцінювання пропускної спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління з врахуванням запропонованих рекомендацій.....	31
Висновки до третього розділу.....	32
ВИСНОВКИ.....	33
Додаток 1 .....	35
Додаток 2 .....	35
Додаток 3 .....	36
Додаток 4 .....	36
Додаток 5 .....	36
Додаток 6 .....	37
Додаток 7 .....	38
Додаток 8 .....	38
Додаток 9 .....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	40

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АСУВ	–	автоматизована система управління військами;
АТО	–	антитерористична операція;
ВКС РФ	–	Військово-космічні Сили Російської Федерації;
зрдн	–	зенітно-ракетний дивізіон;
ЗС	–	збройні сили;
ІТВ	–	інформаційно-телекомунікаційний вузол;
КЗА	–	комплекс засобів автоматизації;
КП	–	командний пункт;
КХ	–	короткі хвилі;
НТМ	–	національна телекомунікаційна мережа;
ООС	–	Операція об'єднаних сил;
орлр	–	окрема радіолокаційна рота;
ПД	–	передача даних
ПКП	–	передовий командний пункт;
ПУ	–	пункт управління;
РЕБ	–	радіоелектронна боротьба;
РЕЗ	–	радіоелектронні засоби;
РТЗ	–	радіотехнічного забезпечення;
РТЗ та АУ	–	радіотехнічне забезпечення та автоматизація управління;
СЗ, РТЗ та АУ	–	система зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління;
СУ	–	система управління;
ТМСП	–	телекомунікаційна мережа спеціального призначення;
УКХ	–	ультракороткі хвилі

## ВСТУП

Бурхливий науково-технічний прогрес у галузі телекомунікаційних технологій, а також досвід бойових дій Збройних Сил України в Операції об'єднаних сил (антитерористичній операції) на Сході України [1-2] зумовили необхідність переозброєння військ зв'язку, радіотехнічного забезпечення, автоматизованих та інформаційних систем на новітні зразки техніки зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління (РТЗ та АУ). Завдяки державним програмам система зв'язку, радіотехнічного забезпечення і автоматизації управління (СЗ, РТЗ та АУ), яку розгортають сили і засоби військових частин (підрозділів), з кожним роком осучаснюється (оцифровується).

Система зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління належить до класу складних, великих, ієрархічних, організаційно-технічних і динамічних систем відкритого типу. Складність СЗ, РТЗ та АУ визначається великим числом її взаємопов'язаних частин (підсистем) і елементів, різноманітністю зв'язків між ними і значною розгалуженістю.

Система зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління характеризується рядом властивостей. Однією із основних властивостей її функціонування є пропускна спроможність, використовуючи яку можна провести порівняльне оцінювання різних варіантів побудови системи з метою вибору потрібного.

На сторінках фахових наукових видань неодноразово висвітлювалися методи визначення пропускнуої спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління. Запропоновані підходи достатньо точно описують процеси, що досліджуються [3]. В той же час, у своїй більшості вони орієнтовані або окремо на цифрові, або окремо на аналогові системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління і тому не можуть бути використані для існуючих систем у ПС ЗС України.

Методи визначення пропускної спроможності аналогових СЗ, РТЗ та АУ не враховують особливості функціонування цифрових систем зв'язку в умовах активної радіоелектронної та вогневої протидії. Тому виникає необхідність в перегляді науково-методичного та математичного апарату і їх адаптації до сучасних умов, з метою надання обґрунтованих рекомендацій, щодо підвищення пропускної спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління в існуючих умовах.

Яскравим прикладом актуальності питання пропускної спроможності в наш час є використання слухачами платформи дистанційного навчання Moodle (Modular Object Oriented Dynamic Learning Environment) в умовах адаптивного карантину. Якість та ефективність даного навчання стає під питанням коли одночасно підключено більше слухачів, ніж можливості платформи дистанційного навчання. І тоді мова стає не зрозумілою, зображення “зависають”, ніхто не розуміє один одного. Саме так проявляється недостатня пропускна спроможність. Це лише один з незначних прикладів, але він яскраво свідчить про важливе значення пропускної спроможності.

Пропускна спроможність – поняття багатоаспектне. Воно може характеризувати швидкість забезпечення передачі інформації, кількість одночасно функціонуючих зв'язків, кількість каналів первинної мережі зв'язку, тощо.

Отже під **пропускною спроможністю системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління** в роботі розуміється її здатність обробляти та передавати потрібний обсяг інформації в інтересах системи управління за визначений проміжок часу, з врахуванням активної протидії противника та дії інших факторів впливу.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОПУСКНУ СПРОМОЖНІСТЬ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ

На пропускну спроможність системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління впливає безліч різноманітних факторів. Визначити та проаналізувати всі фактори фактично неможливо, а іноді і недоцільно. Тому визначають та аналізують основні, які суттєво впливають на предмет дослідження.

Основні фактори в роботі умовно розділені на дві групи, а саме зовнішні та внутрішні.

До зовнішніх факторів, слід віднести: можливості противника, щодо впливу на пропускну спроможність та прийнята система управління.

До внутрішніх факторів, слід віднести: підготовленість (навченість) особового складу чергових змін вузлів зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління (інформаційно-телекомунікаційних вузлів); граничну швидкість передавання; рівень помилок в каналі передавання даних; завантаження мережі службовими даними; загальне завантаження мережі; затримки в мережі.

### 1.1. Аналіз можливостей противника щодо впливу на пропускну спроможність системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління

Одне з головних місць, при розгортанні СЗ, РТЗ та АУ, а відповідно, і забезпеченні необхідної пропускну спроможності, займає радіозв'язок. Цей рід зв'язку у Повітряних Силах Збройних Сил України є одним з основних, а в багатьох випадках єдиним засобом, спроможним забезпечити стійке, безперервне, оперативне та скритне управління підлеглими військовими частинами авіації та протиповітряної оборони в складній оперативно-тактичній обстановці.



Це обумовлено можливістю встановлювати та підтримувати зв'язок з кореспондентами, місцезнаходження та відстань до яких невідомі, забезпечення одночасного передавання повідомлень необмеженій кількості кореспондентів, швидким встановлення та забезпеченням зв'язку не тільки на стоянці, але й у русі. У той же час, радіозв'язок володіє цілою низкою недоліків, а саме: залежність від завад, особливо навмисних, які може створювати противник; можливість перехоплення противником інформації, яка передається; визначення місцезнаходження радіостанцій, а через них пунктів управління і їх належність до ланки управління.

Зазначені недоліки радіозв'язку, особливо його залежність від навмисних завад, широко використовувалися та використовується збройними силами Російської Федерації в ході антитерористичної операції (Операції об'єднаних сил) на Сході України, з метою порушення управління силами і засобами наших військ. Вивчення та аналіз заводової обстановки в зоні проведення АТО (ООС) показав, що практично на кожній частоті можуть створюватися потужні радіозаводи, що значно знижує пропускну спроможність радіозв'язку в системі зв'язку, РТЗ та АУ [1-2].

Можливості впливу засобів РЕБ противника на радіозв'язок (додаток 1) значно знижують пропускну спроможність системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління та зумовлюють до розроблення рекомендацій щодо її відновлення в системі управління до необхідного рівня [4-5].

Можна передбачати, що наступним етапом збройної агресії, після РЕП, буде нанесення ракетно-авіаційного удару по важливим військовим об'єктам, пунктам управління і вузлам зв'язку та РТЗ (інформаційно-телекомунікаційним вузлам). Для цього противник буде використовувати як високоточну зброю, так і звичайні засоби ураження наземного, повітряного та морського базування.

Цими засобами противник здатний знищувати елементи СЗ, РТЗ та АУ по всій території України, а їх бойова частина дозволяє уражати об'єкти розгорнуті у спеціальних спорудах. Це обумовлює необхідність передбачати

розгортання елементів СЗ, РТЗ та АУ в зонах щільної системи ППО наших військ.

Аналіз досвіду воєнних конфліктів останніх десятиріч, які розв'язала Російська Федерація, показав, що в разі початку повномасштабного вторгнення на територію України, для дезорганізації роботи системи зв'язку, РТЗ та АУ ПС ЗС України, перш за все будуть використані засоби авіаційного ураження, які будуть доставлятися ударною авіацією.

Російська Федерація є найбільш сильним із імовірних противників, тому в роботі проаналізовано найбільш складний варіант застосування всіх наявних сил та засобів у противника. Ударна авіація ВКС РФ має у своєму складі дальню та оперативно-тактичну (бомбардувальну, штурмову) авіацію [6].

Аналіз відкритих джерел показує, що літаки тактичної авіації противника спроможні наносити удари на глибину до 1000 км від лінії бойового зіткнення і здатні уражати ПУ всіх ланок управління, аеродроми базування та розосередження тактичної авіації, знищувати елементи СЗ, РТЗ та АУ в усій операційній зоні.

Не менш небезпечними засобами ураження для елементів системи зв'язку, РТЗ та АУ є сили та засоби Сухопутних військ.

Вивчення та аналіз засобів ураження, які знаходяться на озброєнні збройних сил Російської Федерації показав, що противник потужний, а у разі широкомасштабної агресії, спроможний уражати елементи СЗ, РТЗ та АУ на всьому театрі воєнних дій. Виведення із ладу (знищення) елементів СЗ, РТЗ та АУ, як і у випадку із застосуванням засобів і комплексів РЕБ, призведе до необхідності перерозподілу навантаження на інші інформаційні напрямки, що у свою чергу суттєво знизить їх пропускну спроможність. Даний фактор не можливо залишити без уваги під час надання рекомендацій щодо підвищення пропускну спроможності системи зв'язку РТЗ та АУ.

## 1.2. Аналіз прийнятої системи управління

Управління військовими частинами і підрозділами організовується та здійснюється на основі замислу командувача (командира). Управління полягає у створенні і розгортанні системи управління, визначенні завдань та порядку роботи керівного складу під час підготовки і в ході ведення операції (бойових дій), забезпеченні стійкої і безперервної роботи пунктів управління, засобів зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.

Система управління – це сукупність функціонально і структурно пов'язаних між собою підсистем (елементів): органів управління (ОУ), пунктів управління (ПУ), зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.

Підсистема органів управління – це сукупність постійних (штатних) і тимчасово створюваних структурних підрозділів, організаційно і функціонально об'єднаних для виконання завдань з управління підпорядкованими військовими частинами та підрозділами [7].

В умовах підготовки та ведення бойових дій визначені органи управління функціонують одночасно і здійснюють управління підпорядкованими військами та силами відповідно до покладених на них функцій.

Для виконання завдань з управління військовими частинами та підрозділами органам управління встановлюються такі режими роботи: повсякденної діяльності, посиленій та бойовий. Робота органів військового управління повинна відповідати таким вимогам як цілеспрямованість, передбачення та прогнозування, організованість і оперативність, творчість та ініціативність, точність і ретельність, постійний взаємозв'язок з військами.

Для розміщення оперативного складу органу військового управління (військової частини) та забезпечення його ефективної роботи з управління військами (силами) у ході підготовки та ведення операцій (бойових дій) використовуються (створюються) пункти управління, які поєднуються в підсистему ПУ.

Підсистема ПУ – це сукупність ПУ всіх ланок управління, розгорнутих за єдиним замислом, які структурно, функціонально, технічно і інформаційно взаємопов'язані між собою для забезпечення ефективної роботи постійно діючих та тимчасово створених органів управління.

Пункт управління – спеціально обладнана захисна споруда, приміщення транспортний засіб або їх комплекс з необхідною кількістю робочих місць, з яких командувач (командир, начальник) разом з оперативним складом відповідного органу військового управління (органу управління, штабу) здійснює управління військами (силами і засобами) під час підготовки та ведення операцій (бойових дій), виконання інших бойових завдань.

Для забезпечення управління військами, їх взаємодії, взаємного обміну інформацією між ПУ і їх елементами під час підготовки та в ході операції (бойових дій) створюється та розгортається підсистема зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління військами.

Підсистема зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління – це сукупність взаємопов'язаних та узгоджених за завданнями мереж, вузлів, ліній зв'язку та інших елементів різного призначення, які створюються (розгортаються) з метою забезпечення обміну інформацією у системі управління військами.

Підсистема зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління у подальшому дослідженні буде розглядатися як окрема складна система, якій повинні бути притаманні наступні властивості: постійна готовність, стійкість, мобільність, пропускна спроможність та розвідзахищеність.

Однією з важливих властивостей системи зв'язку, РТЗ та АУ є пропускна спроможність що визначає можливість системи зв'язку, РТЗ та АУ передавати задані потоки повідомлень за одиницю часу.

Важливість цієї властивості полягає в тому, що:

по-перше, вона визначає її основне функціональне призначення. Тому, головним і першечерговим завданням під час планування зв'язку є забезпечення необхідної пропускну спроможності інформаційних напрямків;

по-друге, вимоги до пропускну спроможності системи зв'язку, РТЗ та АУ постійно зростають. Це обумовлено: зростаючим обсягом роботи штабів з питань управління військами, що призводить до зростання потоків повідомлень, циркулюючих у системі управління; швидким старінням інформації за умов високодинамічних бойових дій, а значить і необхідністю збільшення частоти збирання інформації; впровадженням АСУВ, з чим пов'язана поява відносно нового виду зв'язку – передачі даних (ПД) і, відповідно, необхідність у виділенні для неї каналів первинної мережі.

Для успішного вирішення завдання організації зв'язку потрібно знати, передачу яких обсягів повідомлень необхідно забезпечити на кожному інформаційному напрямку і, виходячи з цього, визначити, скільки та яких зв'язків необхідно організувати на напрямку зв'язку для забезпечення передачі даних потоків повідомлень за родами зв'язку, скільки та яких каналів необхідно мати для цього і на яких лініях зв'язку, як будувати систему зв'язку, враховуючи всі зазначені фактори.

Досвід проведення АТО (ООС), а також різноманітних командно-штабних навчань та командно-штабних ігор, дає можливість зробити висновок, що в ході переведення органів управління на різні режими роботи відбувається різка зміна навантаження на систему зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління, що в свою чергу безпосередньо впливає на її пропусну спроможність.

### 1.3. Аналіз основних внутрішніх факторів

Основним внутрішнім фактором, який суттєво впливає на пропусну спроможність СЗ, РТЗ та АУ є підготовленість (навченість) особового складу чергових змін вузлів зв'язку та РТЗ (ІТВ). Час за який чергова зміна вузлів зв'язку та РТЗ (ІТВ) здатна провести обробку повідомлень та кореспонденції,

враховуючи сервіси зв'язку, що надаються оперативному складу пунктів управління визначає пропускну спроможність системи зв'язку, РТЗ та АУ.

Крім того, навченість особового складу до дій в умовах РЕБ та вогневого впливу противника, а також дій при виході засобів та комплексів зв'язку, РТЗ та АУ з ладу в умовах дефіциту часу й при високих психофізіологічних навантаженнях безпосередньо впливають на реальну практичну пропускну спроможність системи зв'язку, РТЗ та АУ.

Тому, нехтувати системою підготовки фахівців зв'язку, РТЗ та АУ не можна, так як рівень підготовки дає можливість визначити чи спроможний особовий склад штатних підрозділів виконувати завдання щодо забезпечення необхідного рівня пропускну спроможності СЗ, РТЗ та АУ за будь-яких умов обстановки.

До основних внутрішніх факторів, у роботі віднесено граничну швидкість передавання, що визначається певними фізичними можливостями середовища розповсюдження сигналу. Гранична швидкість в мережі з використанням протоколу Transmission Control Protocol (TCP, протокол управління передаванням), в ідеальному випадку, складає 11.4 Мбайт/с. Це, природно, для випадку, коли в мережі «подорожують» тільки пакети максимального розміру. Проте, якщо розмір пакету менший, то на нього доводиться більше в відсотковому відношенні службових даних і реальна швидкість за даними буде нижче зазначеної величини [8].

Наступним внутрішнім фактором є рівень помилок в каналі передавання даних. При певному рівні помилок працездатність мережі не втрачається, а відбувається зниження реальної швидкості передавання даних, оскільки при передачі даних використовується потоковий протокол TCP, що забезпечує повторну передачу втрачених даних. Проте, чим вище рівень помилок в каналі, тим більше часу втрачається на повторне передавання і, врешті-решт, пропускну спроможність падає до нуля.

Не менш важливим внутрішнім фактором є завантаження мережі службовими даними. Даний фактор можна розділити на дві складові: перша –

довжина службових заголовків пакету даних, яка впливає на пропускну спроможність каналів безпосередньо. Друга складова – дані різних службових мережевих протоколів. Наприклад, мережі на основі протоколу NETBIOS дуже активно використовують широкомовні пакети (broadcast) для анонсування і запиту доступності мережевих сервісів. Якщо не обмежувати розповсюдження broadcast пакетів, вони можуть “з’їсти” до 30% смуги пропускання мережі [8].

Наступним фактором, який значно впливає на пропускну спроможність СЗ, РТЗ та АУ є загальне завантаження мережі. Для аналізу даного фактору, зручно будь-який канал зв'язку розглядати як деяку “трубу” з певною пропускну спроможністю (діаметр на швидкість розповсюдження), а пакети даних – як деяку сипку речовину. Природно, що через трубу за одиницю часу можна “пропустити” тільки певний обсяг речовини.

І останнім, але не менш вагомим внутрішнім фактором є затримки в мережі. Затримки в мережі, на перший погляд, не повинні впливати на пропускну спроможність, проте це справедливо тільки для протоколів без управління потоком. У разі, коли необхідно передавати наступну порцію даних треба чекати підтвердження отримання попередньої порції, що викликає затримку та істотно впливає на швидкість передавання даних між парою потокових сокетів.

Таким чином сукупність усіх внутрішніх факторів мають вплив на пропусну спроможність СЗ, РТЗ та АУ та потребують рекомендацій щодо її підвищення.

### Висновки до першого розділу

1. Результати дослідження свідчать про те, що на пропуску спроможність системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління впливає низка оперативно-тактичних факторів, які можна умовно розподілити на зовнішні та внутрішні. Зазначені фактори необхідно всебічно аналізувати та враховувати при побудові та забезпеченні функціонування системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.

2. Основними зовнішніми факторами, що суттєво впливають на пропускну спроможність системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління, слід вважати можливості вогневого і радіоелектронного впливу противника та топологію системи управління. Для вогневого впливу противник має можливості, щодо використання як високоточної зброї, так і звичайних засобів ураження наземного, повітряного та морського базування, а також використання диверсійно-розвідувальних груп та незаконних збройних формувань. Крім того з метою завоювання переваги в ефірі противник буде широко використовувати різноманітні засоби РЕБ різної потужності та діапазону впливу.

Виведення із ладу або знищення елементів системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління, як у випадку із застосуванням вогневих засобів так і під час використання засобів та комплексів РЕБ, призведе до суттєвого зниження їх пропускну спроможності.

3. Основними внутрішніми факторами, які впливають на пропускну спроможність, слід вважати: підготовленість (навченість) особового складу чергових змін вузлів зв'язку та радіотехнічного забезпечення (ІТВ), гранична швидкість передавання, рівень помилок в каналі передавання даних, завантаження мережі службовими даними, загальне завантаження мережі та затримки в мережі та інші, які також призводять до зниження пропускну спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.

4. Проведений аналіз оперативно-тактичних факторів обумовлює необхідність мати відповідний науково-методичний та математичний апарат який би враховував їх вплив при оцінюванні пропускну спроможності системи зв'язку, РТЗ та АУ.



## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ

2.1. Математична модель оцінювання пропускної спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління

Щоб оцінити можливості системи зв'язку, РТЗ та АУ необхідна відповідна модель. Метою моделювання є визначення відповідності організації системи зв'язку, РТЗ та АУ до прийнятої системи управління військами в заданих умовах обстановки і пошук шляхів підвищення спроможностей системи зв'язку, РТЗ та АУ.

В запропонованій нижче моделі враховується вплив: технічної пропускної спроможності каналів зв'язку; надійності засобів утворення каналів; маневру силами і засобами системи зв'язку, РТЗ та АУ; впливу противника; умов електромагнітної обстановки; рівня підготовки фахівців зв'язку; забезпечення заданої імовірності зв'язку; характеру і параметрів потоків повідомлень, що підлягає передачі.

Методика розрахунку, що покладена в основу моделі, дозволяє здійснити оцінювання пропускної спроможності системи зв'язку, РТЗ та АУ за показником відповідності  $Z$ , який визначає ступінь відповідності системи зв'язку, РТЗ та АУ потребам системи управління і може бути розрахований як:

$$Z = \frac{W}{Q_{г.н.н.}}, \quad (1)$$

де  $W$  – оперативна пропускна спроможність системи зв'язку, РТЗ та АУ;

$Q_{г.н.н.}$  – потреби системи управління в передачі визначеного обсягу повідомлень в години найбільшого навантаження.

В свою чергу  $W$  розраховується за виразом:

$$W = \sum_1^y R_{ni} , \quad (2)$$

де  $R_{ni}$  – оперативна пропускна спроможність  $i$ -го інформаційного напрямку;

$y$  – кількість інформаційних напрямків системи зв'язку, РТЗ та АУ.

В основі моделі лежить визначення оперативної пропускної спроможності інформаційних напрямків  $R_{ni}$ , які утворюються засобами зв'язку, РТЗ та АУ в реальних умовах обстановки. Для цього спочатку розраховується надійність каналів зв'язку  $P_\tau$  на інформаційному напрямку за формулою:

$$P_\tau = e^{-\frac{2t}{\bar{t}}} , \quad (3)$$

де  $t$  – час роботи каналу зв'язку, РТЗ та АУ, годинах;

$\bar{t}$  – середній час безвідмовної роботи каналу зв'язку, РТЗ та АУ, годинах.

У загальному випадку надійність каналів зв'язку розраховується для радіо –  $P_{\text{рп}}$ , радіорелейних та тропосферних –  $P_{\text{тррл}}$ , провідових –  $P_{\text{тп}}$ , та супутникових –  $P_{\text{тс}}$  каналів зв'язку.

Далі розраховуємо оперативну пропускну спроможність каналу зв'язку, ( $\tau$ ):

$$\tau = \tau_t P_\tau (1 - K_m) (1 - P_{\text{жс}}) (1 - K_{\text{зс}}) K_c K_\delta , \quad (4)$$

де  $\tau_t$  – технічна пропускна спроможність каналу зв'язку;

$P_\tau$  – надійність каналів зв'язку;

$K_m$  – коефіцієнт мобільності каналу зв'язку;

$P_{\text{жс}}$  – імовірність живучості каналу зв'язку;

$K_{\text{зс}}$  – коефіцієнт завадостійкості каналу зв'язку;

$K_c$  – коефіцієнт, що враховує рівень підготовки фахівців зв'язку;

$K_\delta$  – коефіцієнт заданої достовірності переданого потоку повідомлень по

каналу зв'язку.

Технічна пропускна спроможність каналу зв'язку розраховується відповідно до технічних можливостей та кількості наявних засобів каналу зв'язку:

$$\tau_t = \sum_1^k \tau_{nk} + \sum_1^m \tau_{pm} + \sum_1^n \tau_{ppn} + \sum_1^l \tau_{cl}, \quad (5)$$

де  $\tau_{nk}$  – реальні технічні можливості щодо пропускної спроможності  $k$ -го проводового каналу зв'язку;

$\tau_{pm}$  – реальні технічні можливості щодо пропускної спроможності  $m$ -го каналу радіозв'язку;

$\tau_{ppn}$  – реальні технічні можливості щодо пропускної спроможності  $n$ -го радіорелейного та тропосферного каналу зв'язку ІТВ;

$\tau_{cl}$  – реальні технічні можливості щодо пропускної спроможності  $l$ -го каналу супутникового зв'язку.

Для визначення інтенсивності передачі потоку повідомлень по каналу зв'язку розрахуємо його живучість. У якості показника оцінювання живучості каналу зв'язку, РТЗ та АУ прийнята імовірність виживання каналу зв'язку  $P_{жс}$  в умовах застосування противником засобів ураження, а також в залежності від ступеня захищеності, режиму роботи і місця розташування засобів каналу зв'язку. Імовірність  $P_{жс}$  може бути визначена зі співвідношення [9]:

$$P_{жс} = 1 - P_{пр} P_{ур} = 1 - P_{зн}, \quad (6)$$

де  $P_{пр}$  – імовірність вибору каналу зв'язку, РТЗ та АУ у якості об'єкту для удару;

$P_{ур}$  – імовірність ураження каналу зв'язку, РТЗ та АУ при нанесенні удару противником;

$P_{зн}$  – імовірність знищення каналу зв'язку, РТЗ та АУ.

На систему зв'язку, РТЗ та АУ покладається завдання по забезпеченню

безперервності управління при перебазуванні військових частин, зміні місць ПУ та при переміщенні командира. Отже, особливе значення має кількісна оцінка мобільності, під якою розуміється її здатність у визначені строки розгортатися, згортатися, пересуватися та змінювати свою структуру побудови відповідно до умов обстановки. Коефіцієнт мобільності каналу зв'язку, чисельно дорівнює:

$$K_m = \frac{\sum_1^n t_{nep}}{t} = \frac{\sum_1^n (t_{зг} + t_{руху} + t_{розгор})}{t}, \quad (7)$$

де  $t_{nep}$  – час на переміщення засобів каналу зв'язку;

$t_{зг}$  – час на згортання засобів каналу зв'язку;

$t_{руху}$  – час на рух засобів каналу зв'язку;

$t_{розг}$  – час на розгортання засобів каналу зв'язку;

$t$  – час відносно якого розраховується  $K_m$ ;

$n$  – кількість переміщень в проміжок часу, що досліджується;

Значення коефіцієнта  $K_m$  знаходяться в межах  $0 < K_m \leq 1$ .

Коефіцієнт, що враховує умови електромагнітної обстановки визначений за виразом:

$$K_{зс} = 1 - P_{ен} P_{ч}, \quad (8)$$

де  $P_{ен}$  – імовірність енергетичного подавлення каналу зв'язку;

$P_{ч}$  – імовірність подавлення каналу зв'язку по часу.

Імовірність енергетичного подавлення каналу зв'язку розраховується за формулою:

$$P_{ен} = \frac{K}{K_n}, \quad (9)$$

де  $K$  – відношення потужності завади до потужності сигналу;

$K_n$  – коефіцієнт подавлення каналу зв'язку (значення цього коефіцієнту наведено в таблиці 1).

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів подавлення каналу зв'язку для різних видів роботи

Вид роботи	ТЛГ-АТ	ТЛГ ЧТ	ТЛФ ОМ	ТЛФ АМ	ТЛФ ОМ MELP 600
Значення $K_n$	1,0	1,1	2-3	5-9	0,25-0,5

Імовірність подавлення каналу зв'язку по часу визначається відповідним відношенням:

$$P_u = \frac{t_{reak}}{t_{reak} + (\bar{t}_{pzk} - t_{взвз})}, \text{ якщо } \bar{t}_{pzk} > t_{взвз}, \quad (10)$$

$$P_u = 1, \text{ якщо } \bar{t}_{pzk} \leq t_{взвз},$$

де  $t_{reak}$  – час реакції на заваду;

$\bar{t}_{pzk}$  – середній час реакції каналу(наведено у додатку 2);

$\bar{t}_{взвз}$  – середній час входження у зв'язок (наведено у додатку 2).

Для провідних каналів зв'язку  $K_{zc} = 1$ .

Коефіцієнт, що враховує підготовку фахівців зв'язку можна розрахувати за допомогою наступного виразу:

$$K_c = \frac{t_{onep}}{t}, \quad (11)$$

де  $t_{onep}$  – час оперативного обміну повідомленнями (передача або прийом);

$t$  – час функціонування каналу зв'язку.

Коефіцієнт достовірності вказує на зниження пропускну здатності каналу зв'язку за рахунок забезпечення заданої достовірності та визначається за виразом:

$$K_d = \frac{\ln(1 - P_{mn})}{\ln(1 - P_{mn\text{зад}})}, \quad (12)$$

де  $P_{mn}$  – імовірність передачі повідомлення із  $m$  елементів з  $n$  числом викривлень, але не більше допустимого для каналу;

$P_{mn\text{зад}}$  – задана достовірність.

На підставі розрахунку пропускної спроможності каналів різних родів зв'язку визначається оперативна пропускна спроможність окремого  $i$ -го інформаційного напрямку  $R_{ni}$  за формулою:

$$R_{ni} = K_{op22} \left( \sum_{k=1}^p K_{op21k} \cdot \tau_{nk} \cdot p + \sum_{m=1}^s K_{op21m} \cdot \tau_{pm} \cdot s + \sum_{n=1}^t K_{op21n} \cdot \tau_{ppn} \cdot t + \sum_{l=1}^{\beta} K_{op21l} \cdot \tau_{cl} \cdot \beta \right), \quad (13)$$

де  $\tau_{nk}$  – оперативна пропускна спроможність  $k$ -го каналу проводового зв'язку,  $p$  – кількість каналів проводового зв'язку;

$\tau_{pm}$  – оперативна пропускна спроможність  $m$ -го каналу радіозв'язку,  $s$  – кількість каналів радіозв'язку;

$\tau_{ppn}$  – оперативна пропускна спроможність  $n$ -го радіорелейного та тропосферного каналу зв'язку,  $t$  – кількість каналів радіорелейного та тропосферного зв'язку;

$\tau_{cl}$  – оперативна пропускна спроможність  $l$ -го супутникового каналу зв'язку,  $\beta$  – кількість каналів супутникового зв'язку;

$K_{op21}$ ,  $K_{op22}$  – коефіцієнти, що враховують організаційні особливості функціонування інформаційного напрямку.

Коефіцієнт  $K_{op21}$  – визначає особливості комутації каналів зв'язку, що наведені у додатку 3.

Коефіцієнт  $K_{op22}$  – кількісно показує частку інформаційного обміну, що здійснюється в інтересах даного інформаційного напрямку.

Розраховується оперативна пропускна спроможність першого інформаційного напрямку  $R_{n1}$ , потім другого  $R_{n2}$ , третього  $R_{n3}$  і т.д., поки не будуть перелічені значення оперативної пропускної спроможності для всіх  $i$  інформаційних напрямків системи зв'язку, РТЗ та АУ в цілому.

Після визначення оперативної пропускної спроможності всіх інформаційних напрямків за формулою (2) визначаємо оперативну пропускну

спроможність системи зв'язку, РТЗ та АУ в цілому.

У випадку коли нам при визначенні вхідних даних відомі інтенсивності потоків повідомлень ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ), а також ми знаємо середні обсяги повідомлень ( $q_1, q_2, q_3$ ) з їх пріоритетами, розраховується об'єм повідомлень в години найбільшого навантаження за наступною формулою:

$$Q_{г.н.н} = (\lambda_1 q_1 + \lambda_2 q_2 + \lambda_3 q_3), \quad (14)$$

Для штабних розрахунків доцільно використовувати можливості щодо забезпечення зв'язку типовим модулем, сили і засоби якого дозволяють забезпечити зв'язок із розрахунку на 60 службових осіб пункту управління (оперативного та стратегічного рівнів) [10].

При необхідності забезпечення зв'язку для більшої кількості оперативного складу, можливості відповідного вузла зв'язку (ІТВ) збільшуються кратно можливостям одного модуля (до 120 осіб – два модулі, до 180 осіб – три модулі, тощо).

Після визначення  $W$  та  $Q_{г.н.н}$  здійснюємо обчислення показника відповідності  $Z$  за виразом (1) та визначаємо критерій відповідності відповідно до отриманого значення, наведений в додатку 5.

Алгоритм розрахунку відповідності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління потребам системи управління зображено у додатку 6.

2.2. Методика розрахунку пропускну́ї спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління

У роботі для розрахунку пропускну́ї спроможності системи зв'язку, РТЗ та АУ обрана методика наведена у розділі 2.1. роботи. У додатку 6 наведено алгоритм даної методики.

Вихідними даними для обчислення показника відповідності  $Z$  є:

$\tau_i$  – технічна пропускну́а спроможність каналів зв'язку;  $t$  – час роботи

каналів зв'язку, годин;  $\bar{t}$  – середній час безвідмовної роботи каналів зв'язку, годин.

У блоці 2 проводиться формування даних щодо можливостей системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління, тобто розрахунок оперативної пропускної спроможності каналів зв'язку з врахуванням надійності каналів зв'язку та відповідних умов функціонування.

У блоці 3 проводиться розрахунок оперативної пропускної спроможності інформаційних напрямків з врахуванням коефіцієнтів організаційної структури системи зв'язку, РТЗ та АУ.

У блоці 4 проводиться розрахунок показника відповідності з попереднім визначенням ймовірного об'єму повідомлень в години найбільшого навантаження.

У блоці 5 проводиться оцінювання показника відповідності  $Z$  за критеріями наведеними в додатку 5 і робиться висновок, щодо відповідності системи зв'язку, РТЗ та АУ вимогам системи управління. За умови невідповідності, приймаються відповідні заходи.

У блоці 6 та 7 надається оцінка показника відповідності  $Z$ , при виконанні умови виникає ефект перевитрат сил та засобів системи зв'язку та РТЗ, як наслідок необхідність їх перерозподілу.

У блоці 8 відбувається вивід кінцевих результатів та підтвердження того, що система зв'язку, РТЗ та АУ відповідає вимогам системи управління та може забезпечити всі її потреби.

За наведеною методикою проводиться оцінювання системи зв'язку, РТЗ та АУ щодо її відповідності вимогам системи управління при обраній структурі побудови. При цьому сам вибір структури побудови системи зв'язку, РТЗ та АУ на операцію (бойові дії), розподіл зусиль сил та засобів зв'язку, вибір заходів щодо їх радіоелектронного захисту та забезпечення безпеки проводиться командирами, які приймають рішення, на підставі оперативно-тактичних розрахунків, накопиченого досвіду та прогнозування. Це ще раз свідчить про можливість широкого використання математичних методів оптимізації в



процесі планування зв'язку, РТЗ та АУ і про великі труднощі в їх реалізації для таких складних систем, як системи військового зв'язку.

2.3. Оцінювання ефективності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.

Виходячи з аналізу проведеного в розділі 1, а також з досвіду проведення ООС (АТО), досвіду бойової підготовки (командно-штабних навчань) та вимог керівних документів було визначено і обрано варіант побудови системи зв'язку, РТЗ та АУ разом з кількістю інформаційних напрямків, що наведені в додатку 7 роботи.

Для обміну даними між об'єктами управління використовуються виділені цифрові канали зв'язку, 4-х, 2-х проводові стандартні канали тональної частоти, радіоканали передачі даних.

Відповідно до [10] узагальнені значення технічної пропускної спроможності ІТВ в залежності від інформаційних потреб СУ, які наведені в додатку 8, в роботі проведено оцінювання СЗ, РТЗ та АУ за допомогою методики наведеної в розділі 2.1., варіанту вихідних даних зазначених в таблиці 1, додатках 2-4 і 7, 8 з врахуванням коефіцієнта мобільності каналу зв'язку; імовірності живучості каналу зв'язку; коефіцієнту завадостійкості каналу зв'язку; коефіцієнту, що враховує рівень підготовки фахівців зв'язку; коефіцієнту заданої достовірності переданого потоку повідомлень. Одержано результат показника відповідності системи зв'язку радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління ( $Z = 0,65$ ).

### Висновки до другого розділу

1. Удосконалено методику оцінювання пропускної спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління, за рухунок поєднання методик та вимог керівних документів, що дає можливість обчислити значення пропускної спроможності каналів, інформаційних

напрямків і системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління в цілому.

2. Запропонована система показників дозволяє оцінити пропускну спроможність системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління за показником відповідності  $Z$  з врахуванням коефіцієнта мобільності каналу зв'язку; імовірності живучості каналу зв'язку; коефіцієнту завадостійкості каналу зв'язку; коефіцієнту, що враховує рівень підготовки фахівців зв'язку; коефіцієнту заданої достовірності переданого потоку повідомлень.

3. Розрахований показник відповідності ( $Z$ ) досліджуваної системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління склав  $Z = 0,65$ , тобто за критерієм відповідності даний показник “Не відповідає вимогам системи управління, потребує перебудови”, це визначає, що існує потреба в пошуку та обґрунтуванні рекомендацій, щодо підвищення пропускну спроможності системи зв'язку, РТЗ та АУ.

### РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ

#### 3.1. Рекомендації щодо підвищення пропускної спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління

Рекомендації щодо підвищення пропускної спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління носять організаційно-технічний характер та мають наступні властивості: обсяг залучених сил та засобів, тривалість впровадження, ефект дії та шлях їх реалізації. Тому умовно в дослідженні поділені на так звані тактичні та стратегічні.

На одній з наукових конференцій у модератора від Збройних Сил НАТО запитали: “Яким чином вони підвищують пропускну спроможність своїх систем зв'язку?” На що була досить логічна та проста відповідь: “Організаційними заходами. Тобто розподіл інформаційно-телекомунікаційних каналів (сервісів) за часом та визначенням пріоритетності”.

Цифрова транспортна телекомунікаційна мережа повинна поєднати ресурси операторів телекомунікації всіх форм власності та передбачати резервування основних інформаційних напрямків цифровими засобами радіорелейного та супутникового зв'язку. При цьому обмін всіма видами інформації між ПУ необхідно забезпечити в єдиному закритому інформаційному просторі із заданою пропускнуою спроможністю, що є основною умовою впровадження сучасної АСУ авіації і ППО. Це питання вирішується адмініструванням за визначеним пріоритетом.

В той же час в керівних документах необхідно прописати чіткий типовий алгоритм використання телекомунікаційної мережі, реформованими органами військового управління (штабами) на J, G, A, N, S-структури функціонування.

Сьогоднішня система зв'язку, радіотехнічного забезпечення та

автоматизації управління є цифро-аналогова, з недостатнім рівнем автоматизації процесів управління, такою що не в повному обсязі відповідає сучасним вимогам до управління.

З метою забезпечення інформаційних потреб органів управління в повному обсязі та в реальному масштабі часу, створення умов щодо впровадження АСУ авіації та ППО, необхідно в стислі терміни завершити перехід до цифрових технологій обробки інформації та створити єдиний інформаційно-телекомунікаційний простір, що в свою чергу значно підвищить пропускну спроможність системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.

Основу перспективної системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління оперативного органу управління мають складати інформаційно-телекомунікаційні вузли, що підключені до цифрової транспортної телекомунікаційної мережі зі створеною комплексною системою захисту інформації.

Оснащення ІТВ цифровими засобами телекомунікації необхідно проводити з урахуванням забезпечення необхідного рівня пропускну спроможності для функціонування КЗА на ПУ, які планується обладнати засобами автоматизації. Результати дослідження засвідчують, що для підвищення пропускну спроможності ІТВ необхідно мати 2-3 незалежні напрямки прив'язки до підприємств зв'язку різних операторів, побудованих за принципом динамічної маршрутизації, що дозволить здійснити маневр лініями та каналами зв'язку при різкому зростанні навантаження.

Результати проведених розрахунків в розділі 2 свідчать про те, що ключовою тактичною рекомендацією підвищення пропускну спроможності слід вважати широке використання телекомунікаційної мережі спеціального призначення (ТМСП) держави. Крім того за результатами проведеної роботи запропоновано ряд інших тактичних рекомендацій щодо підвищення пропускну спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління:

резервування волоконно-оптичних ліній прив'язки з використанням цифрових радіо, радіорелейних, тропосферних, супутникових засобів зв'язку та станцій широкосмугового доступу;

продовжити нарощування захищеної системи обміну інформації до окремої бригади (полку), батальйону включно за рахунок розгортання засобів криптографічного захисту інформації;

провести заходи щодо мінімізації кількості апаратних на польових вузлах зв'язку шляхом створення комплексних апаратних та уніфікувати їх обладнання за рівнями управління;

відмовитись від застарілої апаратури та технологій (каналів тональної частоти, комутаторів дальнього зв'язку тощо) та здійснити перехід на сучасні телекомунікаційні IP, Ethernet технології;

на стаціонарних та польових ІТВ ПУ використовувати термінали супутникового зв'язку типу iDirect, що дозволить збільшити швидкість обміну інформацією до 5 Мбіт/с.

Наведені вище рекомендації можна назвати короткотривалими за часом, тактичними за обсягом залучення та ефектом дії, тобто такі, які покращать, але докорінно не змінять пропускну спроможність системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.

Вони здатні покращити забезпечення виконання завдань в ході проведення операцій (бойових дій) у визначені, короткі терміни, але їх ефект дії буде незначним, а інколи непомітним, про це переконливо засвідчує досвід проведення АТО та ООС.

Можна передбачити, що за час нарощування пропускну спроможності за рахунок реалізації запропонованих рекомендацій, зростуть і вимоги СУ. Насправді цей процес триває постійно. Тому потрібні кардинальні зміни, реалізація яких може бути втілена за рахунок стратегічних рекомендацій.

Стратегічною рекомендацією в дослідженні є використання новітньої технології побудови радіоліній на основі особливостей розповсюдження радіохвиль у діапазоні 80 ГГц (Е-діапазон), та наявності ділянки 71-86 ГГц з

відносно низькими рівнем резонансного поглинання енергії хвиль в атмосферних газах (переважно, в молекулах води і кисню). Використання даної технології та її розвиток і впровадження у систему зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління в подальшому дозволить вирішити питання, щодо підвищення пропускної спроможності системи зв'язку у складних умовах бойової обстановки.

В [11] обґрунтовано можливості та доцільності використання ділянки (E-діапазону 71-86 ГГц) для побудови радіорелейних ліній прив'язки з пропускною спроможністю до 10 Гб/с.

В умовах сьогодення набуває особливої уваги удосконалення основних характеристик транспортних мереж зв'язку, зокрема: пропускної спроможності, мобільності та захищеності від РЕБ противника. Слід зазначити, що перелічені характеристики, нажаль, є взаємно суперечливими. Насамперед стосується радіотехнологій, які відповідають принципам забезпечення мобільності систем військового зв'язку.

З іншого боку на сьогодні можливості існуючих радіотехнологій транспортних мереж з точки зору пропускної спроможності, обмежені швидкістю передачі 155 Мб/с [12]. Це фактично унеможливує, наприклад, використання ресурсу Національної телекомунікаційної мережі (НТМ) України з потенціалом транспортної компоненти в 10 Гб/с. Слід додати, що практично усі існуючі радіотехнології мають принципово низьку захищеність від існуючих РЕБ противника.

В статті [11] зазначено, що завдяки балансу просторово-енергетичних характеристик радіоліній діапазону 80 ГГц, зокрема високих спрямованих властивостей антенних систем та використанню сучасних методів цифрової модуляції QPSK, QAM, можливо отримати швидкості передачі на Ethernet інтерфейсі до 10 Гб/с на відстанях 8-13 км. Відомо, що у імовірного противника відсутні засоби РЕБ у міліметровому діапазоні хвиль, це є додатковим мотивуючим фактором для впровадження радіотехнологій 80 ГГц для побудови захищених ліній прив'язки інформаційно-телекомунікаційних вузлів зв'язку

ЗСУ стратегічної та оперативної ланках управління до транспортної компоненти Національної телекомунікаційної мережі України [13-23]. В умовах сучасної війни ми зобов'язані використовувати всі можливості з врахуванням слабких сторін противника.

3.2. Оцінювання пропускної спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління з врахуванням запропонованих рекомендацій

На даний час система СЗ, РТЗ та АУ забезпечує інформаційні вимоги системи управління без врахування потреб КЗА АСУ авіацією та ППО.

Розрахунки засвідчили, що при обладнанні системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління ПС ЗС України АСУ авіацією та ППО з врахуванням запропонованих рекомендацій пропускна спроможність системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління зростає: для оперативно рівня управління у 7 разів (до 35 Мбіт/с); для тактичного рівня: КП військових частин зенітних ракетних військ (ЗРВ), КП груп зрдн, КП авіаційних частин, підрозділів, комендатур, у тому числі як інтегрований КЗА для КП, суміщеного з підрозділом радіотехнічних військ (РТВ) у 10 разів (до 28 Мбіт/с); КП ртб, у тому числі – суміщених з пунктом наведення авіації (ПНА) у 10 разів (до 28 Мбіт/с); ПУ орлр, у тому числі – суміщених з (ДПНА) у 5 разів (до 13 Мбіт/с); ПУ об РЕБ у 2 рази (до 4 Мбіт/с).

Використовуючи стратегічну рекомендацію, побудову системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління на радіорелейних лініях Е-діапазону з різною модуляцією, пропускна спроможність складатиме значення наведені у додатку 9.

Для організації зв'язку на дистанціях, які перевищують вказані у додатку 9 відстані, є необхідність будувати радіолінії з проміжними станціями.

Таким чином, застосувавши пропозиції щодо підвищення пропускної спроможності СЗ, РТЗ та АУ, що зазначені у пункті 3.1., та скорегувавши спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації

управління до відповідності потребам системи управління отримаємо показник  $z=1,23$ , що відповідає критерію “Відповідає вимогам СУ, має певний резерв інформаційних можливостей”, тобто СЗ, РТЗ та АУ спроможна забезпечити сервісами систему управління.

### Висновки до третього розділу

1. Результати оцінювання запропонованих рекомендацій дозволили умовно поділити їх на дві групи: стратегічні та тактичні. Реалізація тактичних рекомендацій дозволяє підвищити пропускну спроможність системи зв'язку, РТЗ та АУ лише в обмежений час ведення операції (бойових дій) і не дозволяє вирішити завдання на протязі усього терміну її ведення.

2. Стратегічною рекомендацією та ключовою в дослідженні є використання новітньої технології побудови радіоліній на основі особливостей розповсюдження радіохвиль у діапазоні 80 ГГц (Е-діапазон).

3. Аналіз існуючих комплексів на основі аналізу оперативно-технічних характеристик систем РЕБ противника підтверджено факт, що радіорелейні лінії діапазону 80 ГГц, не можуть бути виявлені, подавлені, тому що:

на сьогодні не існує технічних засобів у імовірного противника для виявлення та придушення радіоліній в діапазоні 80 ГГц;

навіть при наявності у імовірного противника технічних засобів РЕБ, особливі просторово-енергетичні характеристики радіоліній 80 ГГц, перш за все, вузька діаграма спрямованості, а саме 0,30 для антен діаметром 60 см та 0,90 для антен 30 см, широка смуга частот каналу унеможливають провести виявлення та ефективну постановку перешкод. Це робить доцільним впровадження радіорелейних ліній діапазону 80 ГГц для організації зв'язку між основними пунктами управління в оперативному угрупованні військ (сил).

4. Радіорелейні лінії діапазону 80 ГГц, можуть стати ключовим рішенням в питанні підвищення пропускнуої спроможності, оскільки вони її збільшують не в рази і не в десятки разів, а в сотні разів, що в свою чергу дозволить в подальшому задовольнити всі нагальні потреби системи управління військами.



## ВИСНОВКИ

Визначення та обґрунтування рекомендацій щодо підвищення пропускної спроможності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління до необхідного рівня у роботі відбувалось у наступній послідовності.

1. Проведено аналіз оперативно-тактичних факторів, що впливають на пропускну спроможність системи зв'язку, РТЗ та АУ. Їх умовно поділено на зовнішні та внутрішні та враховано під час вдосконалення методики оцінювання пропускної спроможності системи зв'язку, РТЗ та АУ.

2. Удосконалено методику оцінювання пропускної спроможності існуючої (аналогово-цифрової) системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління за рахунок поєднання вже відомих методик та вимог керівних документів. Дана методика відповідає сучасним вимогам практики військ і на відміну від існуючих враховує аналогову та цифрову складові системи та вимоги новітніх керівних документів.

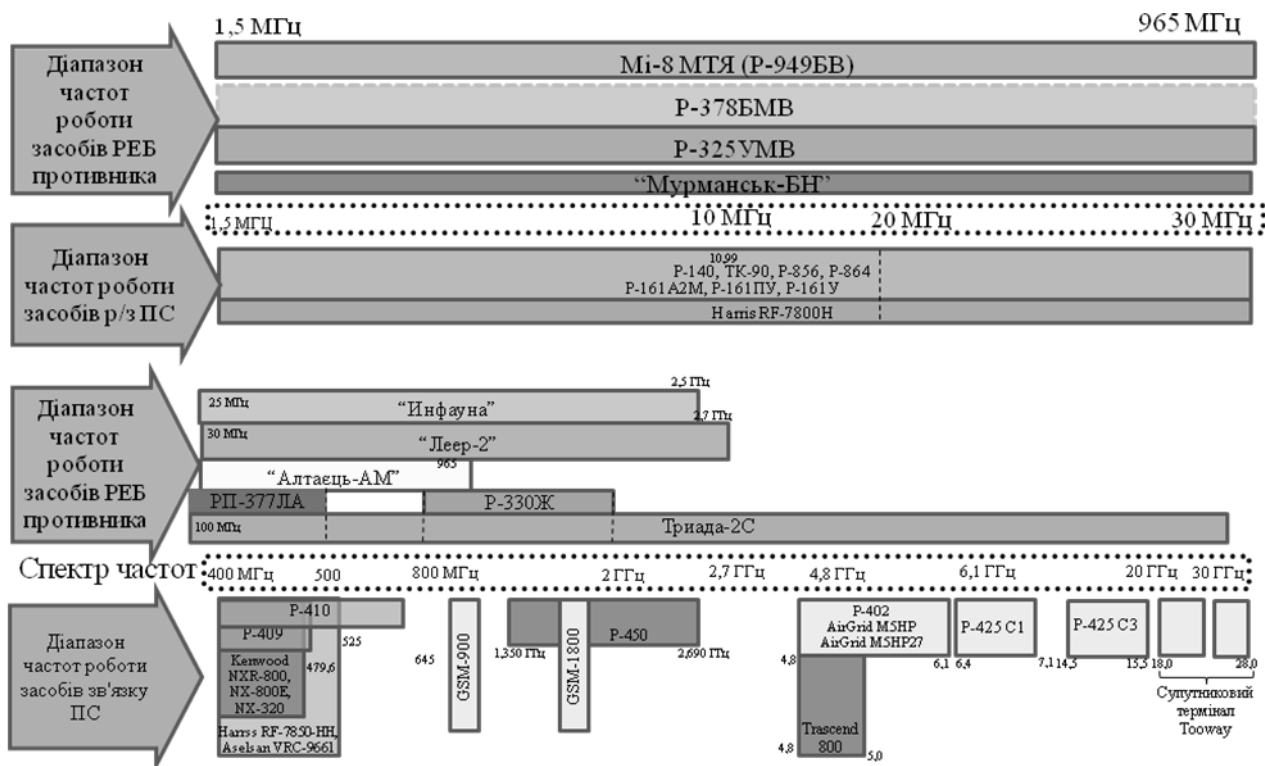
3. Проведено оцінювання варіанту побудови системи зв'язку радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління в прогнозованих умовах оперативної обстановки, та встановлено, що за показником відповідності її можливості не відповідають вимогам системи управління. Тому запропоновано ряд організаційно-технічних рекомендацій, щодо підвищення пропускної спроможності системи зв'язку радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління. Їх реалізація дозволить задовольнити вимоги системи управління.

4. Після обчислення показника відповідності  $Z$  з урахуванням наданих рекомендацій його значення  $Z = 1,23$  відповідає критерію “ Відповідає вимогам СУ, має певний резерв інформаційних можливостей ”. Тобто за таких умов система зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління відповідає вимогам системи управління та має незначну частку резерву спроможностей, яка може знадобитися в складних умовах обстановки.

Таким чином, мета дослідження, що полягала в обґрунтуванні рекомендацій щодо підвищення пропускної спроможності системи зв'язку до необхідного рівня, досягнута.

Теоретичне та практичне значення отриманих результатів дослідження, щодо підвищення пропускної спроможності системи зв'язку радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління, потребує всебічно обґрунтованого інноваційного підходу до вдосконалення системи управління військами. Наступним кроком досліджень може бути дослідження способів подальшого підвищення спектральної ефективності радіоліній міліметрового діапазону хвиль до 20-30 біт/с/Гц шляхом використання різноманітних схем МІМО, просторово-часового кодування з метою реалізації рішень в інтересах систем військового зв'язку.

### Можливості впливу засобів радіоелектронної боротьби противника на засоби радіозв'язку Повітряних Сил Збройних Сил України



### Середній час реакції каналу зв'язку та часу входження у зв'язок

Вид зв'язку	Час входження у зв'язок	Час реакції каналу
КХ відкритий	4-5 хв.	6 хв.
КХ закритий	12 хв.	16 хв.
КХ цифровий захищений	2 хв.	8 хв.
УКХ аналоговий	2-4 с	20-40 с
УКХ цифровий	2-4 с	2 хв.

## Значення особливостей комутації каналів зв'язку

Особливості комутації	Значення $K_{opt}$
Для прямих каналів зв'язку	1
При комутації через один вузол зв'язку (в радіомережі з трьома кореспондентами)	0,7
Для каналів, що комутуються через 2-3 вузли зв'язку (в радіомережі з чотирма кореспондентами)	0,5
Для радіомереж, що здійснюють обмін на одній частоті (з числом кореспондентів $\geq 5$ )	0,3

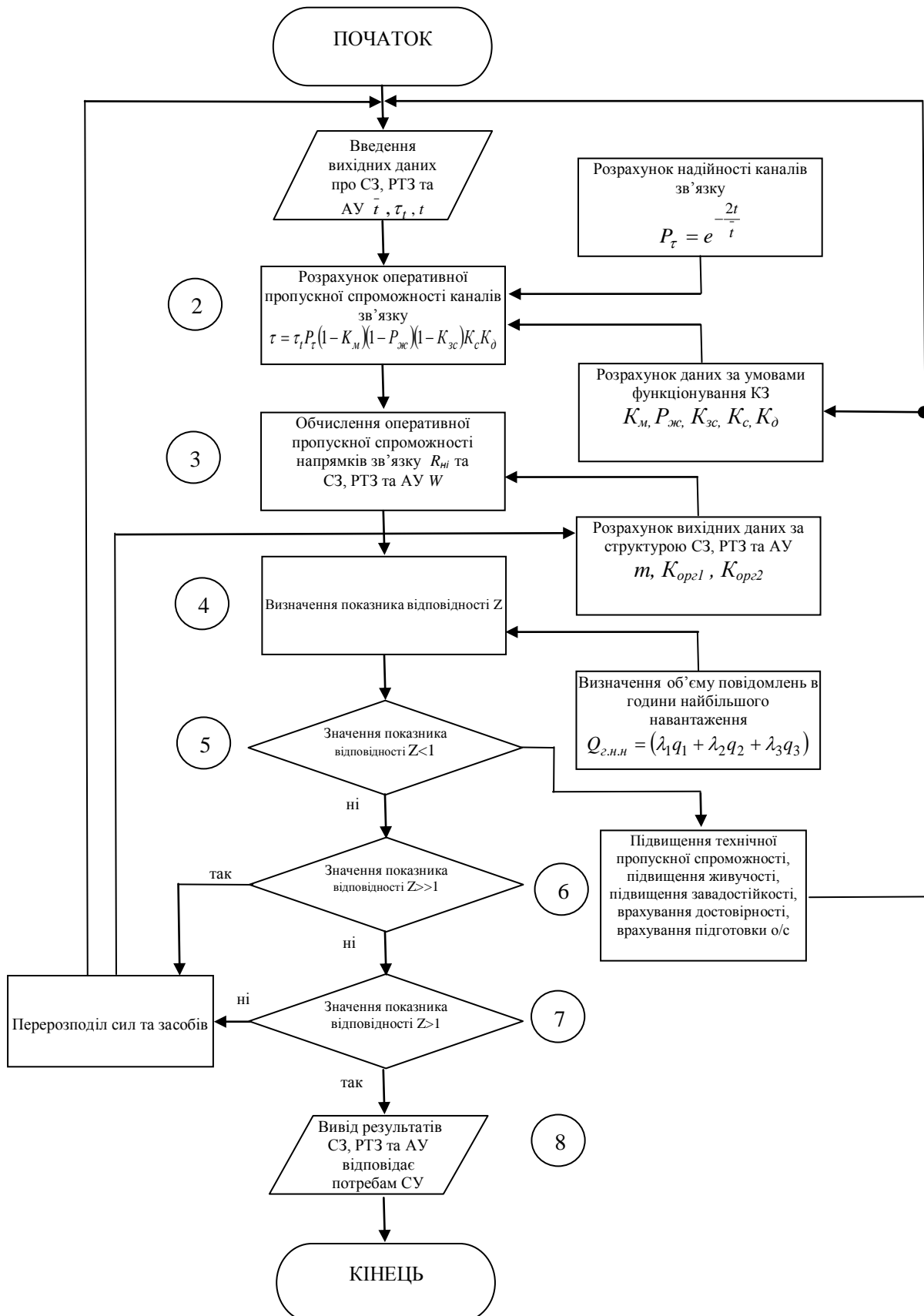
## Орієнтовні характеристики телекомунікаційних сервісів

Сервіс для службових осіб пунктів управління	Максимальна пропускна спроможність, кбіт/с	Пачечність	Середня пропускна спроможність, кбіт/с
IP телефонія	32	1	32
IP відеотелефонія	652	2	326
IP відеоконференція	1024	2	512
Передача даних	512	5	102,4
Надання цифрових каналів зв'язку	В залежності від типу каналу	1	В залежності від типу каналу
Передача даних у віртуальній приватній мережі	В залежності від типу віртуальної приватної мережі	10	В залежності від типу віртуальної приватної мережі

Значення показника відповідності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління відповідно до потреб визначеної системи управління

Характеристика системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління	Значення показника відповідності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління
Не відповідає вимогам СУ. Потребує перебудови	$Z < 1$
Відповідає вимогам СУ має значні перевитрати сил та засобів	$Z \gg 1$
Відповідає вимогам СУ	$Z \approx 1$
Відповідає вимогам СУ має певний резерв інформаційних можливостей	$Z > 1$

Алгоритм методики розрахунку пропускної спроможності системи зв'язу,  
радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління



## Кількість інформаційних напрямків обміну даними з зовнішніми об'єктами

Вид об'єкту	Кількість напрямків
9С162-1 (стратегічний рівень)	
Вищий КП	2 (перспективні)
Взаємодіючі об'єкти	13
Підпорядковані об'єкти	6
9С162-1 (оперативний рівень )	
Вищий КП	2
Взаємодіючі об'єкти	18
Підпорядковані об'єкти	41
9С162-2 по 9С162-6 (тактичний рівень)	
Вищий КП	10
Взаємодіючі об'єкти	47
Підпорядковані об'єкти	77
ВСЬОГО	216

## Узагальнені значення технічної пропускної спроможності в залежності від інформаційних потреб системи управління

№ з/п	Інформаційні потреби системи управління в послугах та сервісах	Узагальнені значення технічної пропускної спроможності, кбіт/с
1.	Телефонія	2,4-64
2.	Відеоконференц зв'язок	1024
3.	Електронна пошта в АСУ ЗС України "Дніпро"	512
4.	Електронна пошта в мережі ЗСУ 001, ЗСУ 002	512
5.	WEB - доступ в АСУ ЗС України "Дніпро"	512
6.	ПД засобами захищеної СЕДО	2048
7.	ПД "Віраж-Планшет"	512
8.	ПД "Ореанда ПС", "Персонал""Дельта", Логістична інформаційна система (ЛІС), Медична інформаційна система (МІС)	1024

Реальні відстані між станціями для отримання необхідної швидкості  
передачі на Ethernet інтерфейсі для різних смуг частот

Смуга каналу, МГц	Метод модуляції	Пропускна спроможність, Мбіт/с	Дальність зв'язку, км
250	64QAM	1000	12
	32QAM	835	13
	QPSK	333	15
500	64QAM	2000	10
	32QAM	1666	11
	16QAM	1333	12
	8PSK	1000	13
	QPSK	666	14
1000	64QAM	4500	10
2000	256 QAM	9680	8

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Досвід застосування Збройних сил в АТО. Інформаційні бюлетні.
2. Военные связисты организовали бесперебойное функционирование системы связи. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://vchaspik.ua>
3. Опис теорема Шеннона-Хартлі.[Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://siblec.ru/telekommunikatsii/teoreticheskie-osnovy-tsifrovoj-svyazi/9-kompromissy-pri-ispolzovanii-modulyatsii-i-kodirovaniya/9-4-teorema-shennona-khartli-o-propusknoj-sposobnosti-kanala>.
4. Куприянов А.И., Сахаров А.В. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: Учебное пособие. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.22.
5. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / под. ред. Радзивского В.Г. – М.: «Радиотехника», 2006. – 424 с.
6. Структура Военно-воздушных сил. Вооружённые Силы России. Интернет-портал Минобороны России. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://structure.mil.ru/structure/forces/air/structure.htm>.
7. Боговик А. В., Теорія управління в системах військового призначення/ А. В. Боговик, С. С. Загорулько, І. В. Ковальов : під редакцією І. В. Котенко. – М. : МО, 2001. – 320 с.
8. Крейг Хант «ТСР/IP — Сетевое администрирование», 2009 г.
9. Боговик, А. В. Эффективность систем военной связи и методика ее оценки/ А. В. Боговик, В. В. Игнатов. - СПб.: ВАС, 2006. - 184 с.
10. Наказ Генерального штабу Збройних Сил України від 26.08.2020 року №80 “Про затвердження та введення в дію методик розрахунку потреб та основних показників для забезпечення стійкого функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем і мереж Міністерства оборони України та Збройних Сил України”.
11. Використання транспортних радіотехнологій діапазону 80 ГГц для побудови захищених ліній прив’язки / А.С.Татаринов, Р.Н.Османов, М.Г.Пилипенко. //Збірник наукових праць ВІТІ № 1 – 2020.



12. Оцінка граничної дальності зв'язку на сучасних радіо-та радіорелених лініях / Т.Г. Гурський, Є.О. Степаненко, А.В.Шишацький Сбірник наукових праць ВІПІ. – 2019. – № 1 – С. 6 – 17.
13. M-band NATO, [Електронний ресурс]: Режим доступу: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/M\\_band\\_\(NATO\)](https://en.m.wikipedia.org/wiki/M_band_(NATO)).
14. Department of Defense (DoD) Strategic Spectrum Plan In Response to The Presidential Spectrum Policy Reform Initiative, 2008.
15. V. Dyadyuk, J. D. Bunton, and Y. J. Guo/Multi-gigabit wireless communication technology in the E-band//Conference/ Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology, 2009. Wireless VITAE 2009.
16. Nyquist H. Certain topic on telegraph transmission theory. Trans.AIEE,vol.47, April, 1928, pp.617 – 644.
17. Распространение радиоволн. Учебное пособие./М.В.Гряник М.В., В.И. Ломан.-К.: КВВИУС,1989. – 389 с.
18. Sklar.B. Digital Communications. Fundamentals and Applications. University of California. LA. Prentice-Hall, 1988 P.776 .
19. MIMO CyOFDM Wireless Communications with MATLAB by Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, Chung G. Kang, 2010, John Wiley & Sons.
20. Korn I.Digital communications. Van Nostrand Reinhold Co., New York,1985.
21. E-band com. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://e-band.com/products/e-link-1000q-fp/>, <https://e-band.com/products/e-link-eagle2/>.
22. Технології Huawei. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://e.huawei.com/ru/products/wireless/microwave/e-Band-millimeter/>.
23. Технології [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.everythingrf.com/products/microwave-backhaul/bridgewave/722-681-flexport/>.