

## ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ МОДЕЛІ МАЛОГАБАРИТНИХ СТАНЦІЙ ТРОПОСФЕРНОГО ЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Ільченко О. О.**

*старший помічник начальника навчального відділу  
Інституту Військово-Морських Сил Національного університету  
«Одеська морська академія»  
ORCID ID: 0000-0001-5585-5020*

**Бондаренко Л. О.**

*старший науковий співробітник  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут  
ORCID ID: 0000-0003-1850-0508*

**Бондаренко Т. В.**

*старший науковий співробітник  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут  
ORCID ID: 0000-0002-2879-2041*

**Бондаренко О. Є.**

*начальник наукового-дослідного відділу  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут  
ORCID ID: 0000-0002-9123-7462*

**Ткаченко А. Л.**

*начальник наукового-дослідного управління  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут  
ORCID ID: 0000-0002-9789-8536*

**Анотація.** Тенденції розвитку засобів зв'язку, що застосовуються у системах управління військами і зброєю, істотно залежать від змін характеру сучасних бойових дій. Реалізація вищезазначених тенденцій повинна здійснюватися на основі глобальної взаємодії оперативних об'єднань, з'єднань, частин і підрозділів, технологічної досконалості військ та інформаційної переваги шляхом ведення військових дій у єдиному інформаційному просторі або з використанням об'єднаних інформаційно-керуючих мереж (NCW – Network Centric Warfare).

Платформою функціонування NCW є інтегрована система електронних комунікацій, що складається з різних видів та родів зв'язку. Тропосферний зв'язок є одним із родів радіозв'язку поряд із радіорелейним і супутниковим, що застосовується в інтегрованій системі електронних комунікацій.

Ефективність використання тропосферних станцій для організації зв'язку на користь армій найбільш розвинених держав неодноразово доведено результатами експлуатаційного моніторингу, а можливість їх використання на користь ЗС України обґрунтовано програмами розвитку як ЗС загалом, так і системи управління зокрема.

Висока ефективність тропосферних ліній зумовлена меншою кількістю ретрансляційних станцій порівняно з радіорелейними лініями прямої видимості, можливістю працювати у важкодоступних районах, високою мобільністю розгортання та стійкістю зв'язку.

Висока мобільність під час експлуатації, відсутність демаскуючих ознак та мінімальна кількість персоналу забезпечення вигідно виділяють станції тропосферного зв'язку перед іншими засобами зв'язку.

Радіосигнали станції тропосферного зв'язку з точки передачі до точки прийому надходять за рахунок їх розсіювання на неоднорідностях тропосфери. Специфіка ліній тропосферного радіозв'язку визначає яскраво виражений багатопроменевий характер поширення сигналів, що викликають швидкі глибокі завмирання та значні ослаблення сигналу. Явище далекого тропосферного поширення, незрозуміле з позицій теорії дифракції за однорідної тропосфери, описується за допомогою теорії розсіювання, яка потребує глибокого знання фізичних явищ і використовує практично перевірені емпіричні формули та графіки в інженерних методиках розрахунку ліній зв'язку.

Розроблення нових та модернізація існуючих станцій тропосферного радіозв'язку набувають дедалі більшої актуальності, а напрями розвитку зосереджуються на створенні малогабаритних станцій тропосферного зв'язку, що мають функції радіорелейних станцій.

Створенню систем тропосферного радіозв'язку передувала низка теоретичних розробок, один з яких ґрунтується на понятті ентропії кількості інформації, що дає змогу проводити кількісний опис процесів передачі інформації, установити загальні закономірності і визначити пропускну спроможність каналу. Даний підхід, головним чином, зосереджений на кодуванні і декодуванні, розглядуваних із найбільш загальних позицій.

Цей напрям зумовлює необхідність застосування математичного моделювання та чисельних методів під час створення та випробування обладнання ліній тропосферного радіозв'язку.

**Ключові слова:** електронна комунікаційна мережа, радіозв'язок, тропосферний зв'язок, тропосферні станції, тропосферні лінії, супутниковий зв'язок, напрями розвитку, комбіновані станції.

**Пченко О. О., Bondarenko L. O., Bondarenko T. V., Bondarenko O. Ye., Tkachenko A. L.**  
**SELECTION AND SUBSTANTIATION OF THE STRUCTURE OF A MODEL OF SMALL STATIONS OF TROPOSPHERIC COMMUNICATIONS FOR SPECIAL PURPOSE**

**Abstract.** *The trends in the development of communications equipment used in command and control systems for troops and weapons depend significantly on changes in the nature of modern combat operations. The implementation of the above trends should be carried out on the basis of the global interaction of operational formations, formations, units and subunits, the technological excellence of the troops and the information advantage by conducting military operations in a single information space or using unified information and control networks (NCW – Network Centric Warfare).*

*The NCW functioning platform is an integrated system of electronic communications, consisting of different types and types of communication. Tropospheric communication is one of the types of radio communication, along with radio relay and satellite, used in an integrated electronic communications system.*

*The effectiveness of the use of tropospheric stations for organizing communications in the armies of the most developed countries has been repeatedly proven by the results of operational monitoring, and the possibility of their use in favor of the Armed Forces of Ukraine is justified by the programs for the development of both the Armed Forces in general and the control system in particular.*

*The high efficiency of tropospheric links is due to a smaller number of relay stations compared to line-of-sight radio relay lines, the ability to work in hard-to-reach areas, high deployment mobility and communication stability.*

*High mobility during operation, the absence of demassing signs and the minimum number of support personnel favorably distinguish tropospheric stations from other means of communication.*

*The radio signals of the tropospheric communication station from the point of transmission to the point of reception arrive due to their scattering on the inhomogeneities of the troposphere. The specificity of tropospheric radio links determines the pronounced multipath nature of signal propagation, causing fast fading and significant signal attenuation. The phenomenon of distant tropospheric propagation, incomprehensible from the standpoint of diffraction theory in a homogeneous troposphere, is described using scattering theory, which requires a deep knowledge of physical phenomena and uses practically proven empirical formulas and graphs in engineering methods for calculating communication lines.*

*The development of new and modernization of existing tropospheric radio communication stations are becoming increasingly important at the present time, and development directions are focused on the creation of small-sized tropospheric communication stations, which additionally have the functions of radio relay stations.*

*This direction necessitates the use of mathematical and simulation modeling in the creation and testing of equipment for tropospheric radio communication lines.*

**Key words:** *electronic communication network, radio communication, tropospheric communication, tropospheric communication stations, tropospheric communication lines, satellite connection, directions of development, combined stations.*

**Вступ**

**Постановка проблеми.** Властивості тропосферного зв'язку (ТРЗ), які визначаються характером поширення радіохвиль, що в змозі надати прийнятні швидкості передачі, скритність та захищеність, незалежність функціонування лінії ТРЗ від характеру бойових дій, погоди, геомагнітної активності, висотних ядерних вибухів та мобільність забезпечують

йому належне місце серед інших родів зв'язку в системі електронних комунікацій спеціального призначення (СП).

Найбільшу застосовність ТРЗ набуває у військових системах управління під час ведення сучасних бойових дій на стратегічному, оперативному та тактичному рівнях управління та в період ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

У загальному вигляді вимоги, що пред'являються до сучасної техніки та ліній ТРЗ, можуть бути сформульовані так:

здійснення електронних комунікацій із заданою якістю на відстані, що визначаються тактичними нормативами щодо розгортання та функціонування системи управління;

придатність до передачі різних видів інформації (мультимедійного трафіку);

захищеність від випадкових і організованих радіозавад;

безпека, достовірність та своєчасність зв'язку.

Вимоги до систем ТРЗ, що модернізуються або знову створюються, встановлюються виходячи з розроблених (установлених) критеріїв і показників, серед яких можна використувати таку інтегральну категорію, як якість зв'язку – властивість зв'язку, що характеризує її здатність забезпечувати своєчасну, достовірну і безпечну передачу мультимедійного трафіку.

Спроможність технічної та технологічної реалізації встановлених показників функціонування засобів та ліній ТРЗ можливо оцінювати методами натурних іспитів зразків або методами моделювання систем і процесів.

Моделювання проводиться з метою спрощення, здешевлення та прискорення вивчення властивостей засобів та ліній ТРЗ методами імітації процесів функціонування в умовах зовнішніх впливів, алгоритмів їх функціонування та правил зміни стану об'єкта дослідження під впливом зовнішніх та внутрішніх збурень.

**Постановка завдання.** Тропосферний зв'язок активно розвивається та використовується в арміях країн НАТО та інших країн світу.

В Україні сьогодні ведуться роботи зі створення малогабаритних станцій тропосферного зв'язку (МСТЗ) нового покоління для заміни ТРС існуючих типів, які мають низку суттєвих недоліків.

Основними напрямками розвитку станцій тропосферного зв'язку можуть бути:

підвищення мобільності ТРС за рахунок зменшення їхніх масогабаритних характеристик;

створення комбінованих (гібридних) станцій тропосферного зв'язку, здатних працювати в тропосферному – радіорелейному або

в тропосферному – супутниковому режимах залежно від поставлених бойових завдань;

підвищення швидкості передачі інформації (автоматична адаптація пропускної спроможності), розвід- та завадозахищеності;

розширення функціональних можливостей автоматизованого управління тропосферними станціями та лініями;

удосконалення способів боротьби з багатопроменевістю та завмираннями.

Для реалізації зазначених напрямів розвитку та зменшення часових та фінансових витрат на створення нових зразків ТРС необхідно розробити та впровадити процедури моделювання систем та процесів тропосферного зв'язку.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Закон [1] установлює правову основу діяльності у сферах електронних комунікацій та радіочастотного спектра щодо надання та отримання електронних комунікаційних послуг та доступу до електронних комунікаційних мереж.

Концепція [2] визначає основні засади та напрями створення умов упровадження сервіс-орієнтованої архітектури, забезпечення розгортання відмовостійкої Електронної комунікаційної мережі (ЕКМ) ЗС України та надає опис функціоналу її основних елементів.

Доктрина [3] визначає загальні принципи застосування зв'язку та інформаційних систем у ЗС України, вводить термінологію у галузі зв'язку та інформаційних систем (сумісну з термінологією НАТО), описує характеристики, архітектуру побудови інформаційно-телекомунікаційної системи (ІТС), її завдання та функції. Документ визначає загальні положення з планування та застосування зв'язку та інформаційних систем.

Військовий стандарт [4] передбачений для застосування у ЗС України. У цьому стандарті наведено терміни та визначення понять стосовно військового зв'язку.

У роботі [5] розглядаються внутрішні і зовнішні дестабілізуючі чинники, які впливають на якість тропосферного зв'язку. Проводиться загальна характеристика станцій, які знаходяться на озброєнні ЗС України, указуються їхні недоліки та визначаються перспективи розвитку тропосферного зв'язку в інтересах сил оборони держави.

У роботі [6] проаналізовано недоліки існуючих вітчизняних мобільних засобів тропосферного зв'язку та сформульовано шляхи їх удосконалення; визначено напрями вдосконалення мобільних засобів тропосферного зв'язку: створення станцій, що працюють за схемою «крапка – багатокрапка»; розроблення комбінованих та малогабаритних цифрових тропосферно-радіорелейних станцій.

У роботі [7] запропоновано нові технічні рішення, ключові технології і концепція побудови конкурентоздатних малогабаритних станцій тропосферного зв'язку нового покоління. Показано, що на їх основі в перспективі можна створити комбіновану станцію тропосферного і супутникового зв'язку.

У роботі [8] досліджено стан, проблемні питання та напрями подальшого розвитку вітчизняних тропосферних систем зв'язку. Автори розглядають технічні аспекти роботи тропосферних станцій у сучасних умовах та пропонують шляхи їх модернізації.

У роботах іноземних фахівців, наприклад [9], висвітлюються окремі варіанти розвитку тропосферного зв'язку шляхом поліпшення їхніх технічних характеристик та будуються оптимізаційні моделі роботи тропосферних станцій.

Таким чином, проведений аналіз основних публікацій показав, що сьогодні є низка досліджень стану та перспектив розвитку тропосферного зв'язку в ЗС України, але не існує узагальнених робіт, якіб розглядали питання управління алгоритмами формування та прийому сигналів у лініях тропосферного зв'язку.

Цей факт зумовлює актуальність розроблення нових моделей та алгоритмів функціонування малогабаритних станцій тропосферного зв'язку (МСТЗ), які дадуть змогу розширити спектр досліджуваних характеристик станцій та сформулювати основні напрями їх удосконалення.

**Мета статті** – проведення досліджень щодо розроблення моделей та алгоритмів функціонування МСТЗ, якими є дослідження можливості застосування пристроїв адаптації, що призначені для відстеження змін станів каналу і переналаштування основних елементів обладнання станції залежно від зовнішніх умов, що склалися.

## Виклад основного матеріалу

### 1. Тропосферний зв'язок у системі електронних комунікацій спеціального призначення

ІТС спеціального призначення (СП) є інтегрованою сукупністю ЕКМ, спеціальних електронних комунікаційних мереж (систем спеціального зв'язку), інформаційних систем, системи захисту інформації та кібербезпеки, системи управління ІКС СП, які у процесі обробки інформації діють як єдине ціле з метою надання стандартизованих технічних (комунікаційних, базових, функціональних) сервісів користувачам.

ІТС СП є матеріальною основою системи управління та являє собою сукупність взаємопов'язаних вузлів та ліній зв'язку різного призначення, які діють узгоджено щодо завдань, місця, часу та розгортаються або створюються за єдиним планом для вирішення завдань забезпечення управління військами (силами) і зброєю. ІТС СП складається з програмних (програмно-технічних), технічних засобів електронних комунікацій та споруд, призначених для надання комунікаційних сервісів [2].

Лінія електронних комунікаційних мереж (лінія зв'язку) – елемент інфраструктури ЕКМ, що використовує середовище розповсюдження електромагнітних сигналів (радіо, проводове), між технічними засобами електронних комунікацій, призначеними для передавання та/або приймання електромагнітних сигналів, та/або кінцевим обладнанням [2].

Тропосферний зв'язок – це радіозв'язок, що є складовою частиною ліній ЕКМ, який засновано на використанні явища переміщення електромагнітної енергії в електрично-неоднорідній тропосфері за поширення в ній радіохвиль дециметрового та сантиметрового діапазонів [10; 11].

Електрична неоднорідність тропосфери (неоднорідність її діелектричної проникності) зумовлена випадковими локальними змінами температури, тиску та вологості повітря, а також регулярним зменшенням цих величин зі збільшенням висоти. Переміщення енергії відбувається в області перетину діаграм спрямованості передавальної та приймальної антен. Відстань між пунктами передачі та прийому може досягати 1000 км.

Принципова відмінність ліній тропосферного радіозв'язку (ТРЛЗ) від радіорелейних ліній полягає у відсутності прямої радіовидимості: приймач знаходиться, як правило, за радіогоризонтом у сфері глибокої тіні. Усе це визначає специфіку ліній тропосферного радіозв'язку, основний зміст якого зводиться до яскраво вираженого багатопроменевого характеру поширення сигналів, що викликають швидкі глибокі завмирання і значні (до 200–250 дБ) ослаблення сигналу з відстанню, що перевищує ослаблення сигналу на аналогічних ділянках за прямої радіовидимості на 100–150 дБ [10–13]. Загальне пояснення тропосферного розповсюдження наведено на рис. 1.

Для аналізу закономірностей поширення радіохвиль використано теорію розсіювання, яка не вимагала детального знання фізики явищ, які є у каналі зв'язку [13]. Суть цього аналізу зводиться до визначення залежності рівня сигналу, що приймається, від переданого через коефіцієнт передачі (множник ослаблення) або коефіцієнт загасання [11; 14; 15].

Як фізична модель була запропонована модель з одноразовим розсіюванням (кожна неоднорідність бере участь із перевипромінюванням один раз) в області перетину діаграм спрямованості приймальної та передавальної антен [10; 11] (рис 1). Дана модель, очевидно, не відображала всіх деталей фізичних процесів, що відбуваються в каналі зв'язку, оскільки у цій моделі не враховувалася багаторазовість розсіювання, що відбувається на шляху радіотраси, не враховувалася специфіка будови самої тропосфери та інші важливі особливості. В.Н. Троїцьким було запропоновано більш адекватну теорію розсіювання з урахуванням шаруватих неоднорідностей [13]. Надалі ці фізичні моделі вдосконалювалися, уточнювалися та ускладнювалися [14;

15], що призводило до значного ускладнення розрахунків лінії зв'язку. Тому дотепер використовується початкова модель поширення з одноразовим розсіюванням у певному обсязі з практично перевіреними емпіричними формулами та графіками.

Розвиток електронної техніки та її основи – елементної бази дає можливість переглядати підходи до розвитку техніки тропосферного зв'язку (ТРЗ) у напрямі побудови адаптивних радіосистем.

Створенню адаптивних радіосистем передувала низка теоретичних розробок, які умовно можна розділити на два напрями:

**перший напрям** являє собою статистичну теорію прийняття рішення і оцінку потенційної завадостійкості, що націлена на розроблення оптимальних методів прийому та обробки переданих сигналів на тлі флуктуаційного шуму, взаємних і навмисних завад;

**другий напрям** ґрунтується на понятті ентропії кількості інформації, що дає змогу проводити кількісний опис процесів передачі інформації, установити загальні закономірності та визначити пропускну спроможність каналу. Даний підхід, головним чином, зосереджений на кодуванні і декодуванні, розглядуваних із найбільш загальних позицій.

Реалізація функцій ТРЗ у системі ЕКМ СП України спирається на статистичну теорію прийняття рішення й оцінку потенційної завадостійкості, що призводить до використання потужних передавачів, гостроспрямованих антенних систем, застосовують різні методи рознесеного прийому та передачі, а також інші методи підвищення надійності та завадозахищеності ліній ТРЗ [10; 11].

## 2. Структура лінії тропосферного зв'язку

Станції ТРЗ за своїм функціональним призначенням відносяться до каналотворюючих

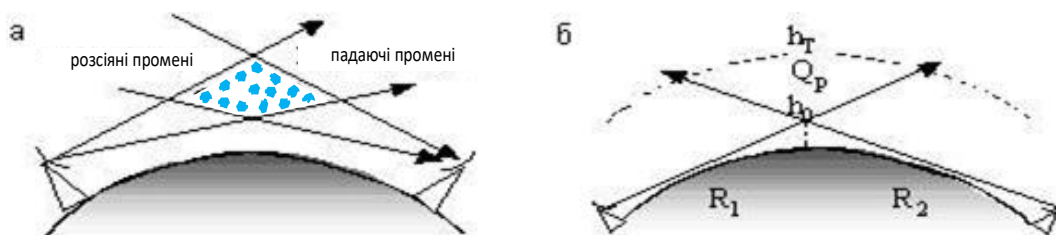


Рис. 1. Загальне пояснення тропосферного розповсюдження

засобів та призначені для будівництва (розгортання) ліній (вісей, рокад, ліній прямого зв'язку між пунктами управління, ліній доступу (прив'язки)) та організації каналів передачі інформації по них на стратегічному, оперативному та тактичному рівнях управління.

Станції ТРЗ можуть виконуватися у стаціонарному або мобільному варіантах.

Лінії ТРЗ СП являють собою сукупність технічних, програмних засобів та середовища поширення сигналу для створення каналів передачі транспортної мережі.

Первинним елементом лінії ТРЗ є станції тропосферного зв'язку. Вони існують у трьох різновидах: кінцеві, вузлові, проміжні.

Кінцева станція – станція, яка встановлюється на кінцевому пункті лінії і здає канали передавання (групові тракти, потоки) на інформаційно-телекомуніційні вузли (ІТВ).

Ретрансляційна станція – проміжна станція, яка забезпечує передачу сигналу високо-частотного ствола транзитом без відгалуження каналів передавання (потоків).

Вузлова станція – проміжна станція, на якій частина каналів (потоків) передавання відгалужується для здачі на опорний (допоміжний) ІТВ, а інші передаються по лінії електронних комунікацій транзитом (ретранслюються).

Інтервал лінії ТРЗ – це частина лінії між двома сусідніми станціями.

Ділянка лінії ТРЗ – це частина лінії, яка виділяється за організаційною або технічною ознакою. За організаційною ознакою ТРЛ поділяються на ротні та батальйонні ділянки, а за технічною – на переприймальні ділянки.

Переприймальна ділянка – це ділянка між двома сусідніми станціями (кінцевими, вузловими), на яких здійснюється виділення каналів (потоків) передавання.

### 3. Аналіз стану тропосферного зв'язку у ЗС України

Аналіз стану тропосферного зв'язку у ЗС України проведено, наприклад, у [5–9].

З аналізу видно, що на постачанні ЗС України знаходяться станції тропосферного зв'язку: Р-417МУ, Р-423 1МУ та Р-412М. Дані станції є модифікаціями станцій ТРЗ колишнього СРСР Р-417, Р-423 і Р-412 А(Ф), які застосовувалися у стратегічній та оперативно-стратегічній ланках управління.

Із дослідження характеристик існуючих у ЗС України станцій ТРЗ можливо зробити висновок про те, що в станціях використовуються методи розносу флюктуючих сигналів по простору та частоті, що призводить до недоліків побудови тропосферних систем, таких як:

низька енергетична і частотна ефективність сигнальних конструкцій, що, своєю чергою, призводить до низької пропускної здатності ліній тропосферного зв'язку;

значні потужності випромінювання НВЧ сигналів передавальними пристроями станцій; високе енергоспоживання обладнання;

великі габарити апаратних машин, що зніжує мобільність станцій та демаскує їх на місцевості;

великий час розгортання і входження у зв'язок.

На підставі аналізу можливо констатувати, що станції Р-417, Р-417 МУ, Р-423, Р-423 1МУ і Р-412 А(Ф) є фізично та морально застарілими та мають низку суттєвих недоліків, таких як: високі масо-габаритні та енергетичні показники, низька мобільність, недостатня швидкість передачі інформації (не більше 2 Мбіт/с) та ін. Проаналізувавши головні недоліки та технічний стан даних станцій, можна зробити висновок, що подальше їх використання недоцільне.

Аналіз результатів створення сучасних малогабаритних станцій ТРЗ у країнах НАТО показує, що є нове вікно можливостей для створення МСТЗ.

Перспективні МСТЗ повинні мати:

- а) компактні антенні системи;
- б) режими часового поділу каналів (TDM) з адаптацією пропускної здатності до умов розповсюдження радіохвиль;
- в) модеми, що реалізують адаптивну швидкість передачі;
- г) компактну апаратуру складових частин станцій ТРЗ.

Привертає увагу постановка питання необхідності розроблення МСТЗ, здатної працювати зі змінною швидкістю в IP-мережах.

### 4. Вибір та обґрунтування структури моделі МСТЗ

Для станцій ТРЗ більш привабливим є метод передачі з адаптацією по частоті, який

є вдосконаленим різновидом систем із частотним рознесенням сигналів [10; 12–15]. Такий метод має переваги в станціях загоризонтного зв'язку, які можуть працювати як у дифракційній зоні, так і в тропосферній.

Побудова адаптивних радіосистем вважається найбільш перспективним напрямом створення нових та модернізації існуючих систем ТРЗ, який дасть змогу досягти граничних характеристик якості в сегменті тропосферного зв'язку.

Моделі, що відображають основні процеси у тропосферній лінії, повинні включати: виявлення джерел сигналу, передачу інформації, вплив завад, обробку сигналів та завад, оцінку якості передачі інформації [10; 12–15].

Для створення такої математичної моделі необхідно знайти співвідношення, що пов'язують основні параметри елементів радіоелектронного конфлікту, наприклад у вигляді низки підмоделей [16].

У межах проблеми, що досліджується, об'єктом є тропосферна лінія зв'язку, куди входять передавач і приймач, об'єднані каналом поширення. У тропосферній лінії здійснюється передача інформації та адаптація до заводової обстановки. Основною характеристикою тропосферної лінії виберемо залежність імовірності помилки від параметрів приймально-передавального комплексу, каналів поширення сигналу та завад у тропосферній лінії. Для цього модель повинна включати моделі вимірювачів відносин сигнал/завада, імітатор помилок.

Модель каналу поширення сигналу в тропосферному каналі зв'язку повинна враховувати розсіювання сигналу за частотою та часом. Така модель зазвичай ґрунтується на поданні сигналу квадратурними компонентами. Алгоритми моделювання квадратурних компонентів сигналу, флуктуації яких підпорядковуються нормальному закону, описані в [17]. Типовою моделлю розсіювання сигналу за часом є лінія затримки з відводами, вагові коефіцієнти у яких мають випадковий характер і та відображають завмирання елементарних «променів» сигналу [18].

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити завдання, що полягає у розробленні моделей та алгоритмів функціонування МСТЗ у різних зовнішніх умовах.

Для розроблення моделі радіолінії, що утворена МСТЗ, необхідно вирішити низку приватних завдань [19]:

1. Визначити основні вхідні та вихідні дані моделі МСТЗ, що розробляється.

2. Розробити структурну схему моделі функціонування радіолінії з урахуванням особливостей поширення сигналів у тропосфері і контролером робочих режимів.

3. Обґрунтувати характеристики сигнально-кодових конструкцій (СКК).

4. Розробити вдосконалений алгоритм прийому сигналу, що враховує режим функціонування ТРЗ за умов навмисних завад.

5. Розробити вдосконалений алгоритм передачі сигналу, що дає змогу МСТС здійснювати функціонування в умовах радіоелектронного придушення та формувати умови для вибору робочого режиму.

6. Дослідити основні результати застосування розробленої моделі.

Модель функціонування лінії ТРЗ із МСТЗ наведено на рис. 2.

Модель ТРЛ включає такі структурні елементи:

1. Схема функціонування радіолінії.
2. Обґрунтування характеристик СКК (модему).
3. Структурна схема малогабаритної ТРЗ.
4. Спектр сигналу, що формується.
5. Алгоритм формування сигналу.
6. Алгоритм прийому сигналу.

Вхідними даними моделі є значення відношення сигнал/шум (SNR) залежно від стану каналу, що формуються сімюлятором багатопроменевого каналу. Сімюлятор доцільно виконувати відповідно до рекомендації ІТУ-R F.1487 з урахуванням особливостей каналу тропосферного зв'язку.

### **5. Напрями подальшого наукового дослідження**

Напрямами подальшого наукового дослідження повинні бути:

1) Нова аналітична модель функціонування радіолінії, утвореної МСТЗ, та визначення основних вхідних та вихідних даних моделі.

2) Обґрунтування показників СКК, розроблення вдосконаленого алгоритму прийому сигналу, що враховує режим функціонування МСТЗ за умов навмисних завад.

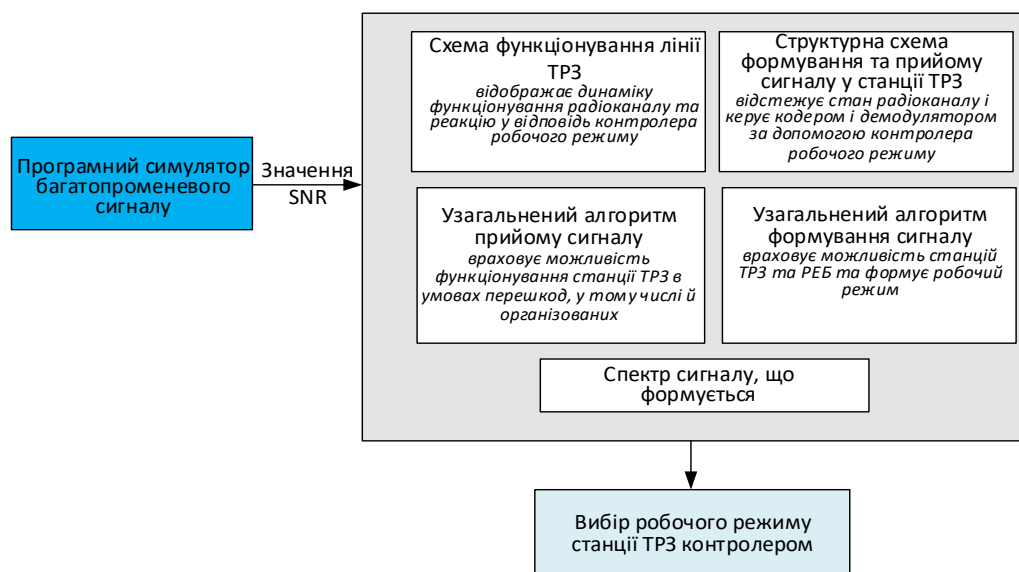


Рис. 2. Модель функціонування лінії ТРЗ із малогабаритними станціями

3) Розроблення вдосконаленого алгоритму передачі сигналу, що дає змогу МСТЗ здійснювати функціонування в умовах радіоелектронного придушення та формувати умови для вибору робочого режиму.

**Висновки.** Запит, що сформувався на засоби ТРЗ, визначає актуальність розроблення перспективних засобів, реалізованих на базі використання сучасних технологій, що володіють високою надійністю та енергетичною ефективністю.

На основі проведеного аналізу ТРЗ у системі електронних комунікацій СП, структури ліній ТРЗ та аналізу стану ТРЗ у ЗС України запропоновано способи дослідження та оцінки завадостійкої передачі та прийому цифрової інформації на основі моделювання тропосферних ліній зв'язку з використанням методів маневрування частотним ресурсом, адаптації до частотно-завадової обстановці та завмирання сигналів.

#### Література:

1. Закон України від 16.12.2020 № 1089-IX «Про електронні комунікації». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-IX#Text>.
2. Концепція побудови Електронної комунікаційної мережі Збройних сил України, затверджена Головнокомандувачем ЗС України від 2021 р.
3. ВКП 6-00(01).01 Доктрина «Зв'язок та інформаційні системи», затверджена Головнокомандувачем ЗС України від 01.07.2020.
4. ВСТ 01.112.001-2006 Військовий зв'язок. Терміни та визначення.
5. Степаненко Є.О., Димитраш В.О., Димитраш О.В., Кокошинський В.В. Перспективи розвитку тропосферного зв'язку в інформаційно-телекомунікаційних системах спеціального призначення. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2021. № 3(42). С. 71–78.
6. Почерняєв В.М., Повхліб В.С. Стан і напрями розвитку мобільних цифрових тропосферних систем зв'язку. *Системи озброєння і військова техніка*. 2018. № 2(54). С. 51–60.
7. Ільченко М.Є., Наритник Т.Н., Слюсар В.І. Напрямки створення тропосферних станцій нового покоління. *Цифрові технології*. 2014. № 16. С. 8–18.
8. Масесов 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 ВІПІ ДУТ*. 2014. № 1. С. 43–48.
9. Chandra Bhardwaj Sharat. Characterization and Performance Evaluation of a Typical Troposcatter Channel / Sharat Chandra Bhardwaj, Eisha Madhwal, B.S. Jassal. 2015 Second International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE) – 2015, IEEE, Dehradun, India. P. 228–233. URL: <https://doi.org/10.1109/ICACCE.2015.115> (дата звернення: 05.06.2021).



10. Testing of HF modems with bandwidth of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators. Recommendation ITU-RF.1487(05/2000). URL: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=recommendation+itu-r+f.1487> (дата звернення: 05.06.2021).

#### References:

1. Verkhovna Rada of Ukraine (2020). Zakon Ukrainy vid 16.12.2020 roku № 1089-IX “Pro elektronni komunikatsii” [Law of Ukraine dated December 16, 2020 No. 1089-IX “On Electronic Communications”]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-IX#Text> [in Ukrainian].

2. Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine (2021). Kontseptsiiia pobudovy Elektronnoi komunikatsiinoi merezhi Zbroinykh Syl Ukrainy zatverdzhena Holovnokomanduvachem ZS Ukrainy vid 2021 r. [The concept of building the Electronic Communication Network of the Armed Forces of Ukraine was approved by the Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine from 2021] [in Ukrainian].

3. Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine (2020). VKP 6-00(01).01 Doktryna “Zviazok ta informatsiini systemy” zatverdzhena Holovnokomanduvachem ZS Ukrainy vid 01.07.2020 [VKP 6-00(01).01 Doctrine “Communication and Information Systems” was approved by the Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine on July 1, 2020] [in Ukrainian].

4. N.a. (2006). VST 01.112.001-2006 Viiskovyi zviazok. Terminy ta vyznachennia [VST 01.112.001-2006 Military communications. Terms and definitions] [in Ukrainian].

5. Stepanenko Ye.O. (2021). Perspektyvy rozvytku troposferneho zviazku v informatsiino-telekomunikatsiinykh systemakh spetsialnogo pryznachennia [Prospects for the development of tropospheric communication in special purpose information and telecommunication systems]. *Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony*. NUOU. Kyiv: № 3 (42). pp. 71–78. [in Ukrainian].

6. Pocherniaiev V.M. (2018). Stan i napriamky rozvytku mobilnykh tsyfrovyykh troposfernykh system zviazku [Status and directions of development of mobile digital tropospheric communication systems]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*. ONAZ, Kyivskyi koledzh zviazku. Kyiv: № 2(54). pp. 51–60 [in Ukrainian].

7. Ilchenko M.Ie. (2014). Napriamky stvorennia troposfernykh stantsii novoho pokolinnia [Directions for the creation of tropospheric stations of a new generation]. *Tsyfrovi tekhnologii*. Kyiv: № 16. pp. 8–18. [in Ukrainian].

8. Masesov M.O. (2014). Perspektyvy zastosuvannia tsyfrovoho diahramoutvorennia u stantsiiakh troposferneho zviazku spetsialnogo pryznachennia [Перспективи застосування цифрового діаграмоутворення у станціях тропосферного зв'язку спеціального призначення]. *Zbirnyk naukovykh prats VITI DUT*. № 1. pp. 43–48 [in Ukrainian].

9. Chandra Bhardwaj Sharat (2015). Characterization and Performance Evaluation of a Typical Troposcatter Channel. Second International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE). IEEE, Dehradun, India. pp. 228–233. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/ICACCE.2015.115> [in English].

10. Testing of HF modems with bandwidth of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators. Recommendation ITU-RF.1487(05/2000). Elektronnyi resurs. Retrieved from: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=recommendation+itu-r+f.1487> [in English].