

Руденко В.І. (ВІТІ)
Бондаренко О.Є. (ВІТІ)
Сергієнко А.В. (ВІТІ)
Остапук О.І. (ВІТІ)

РОЗРАХУНОК ЗОН ДОСТУПУ РАДІОРЕЛЕЙНИМИ ТА ТРОПОСФЕРНИМИ ЗАСОБАМИ ЗВ'ЯЗКУ

В статті проведена методика розрахунку максимального значення дальності зони доступу на яку буде забезпечуватися передача інформації з заданою швидкістю та вірогідністю забезпечення зв'язку при необхідному значенні якості під час розгортання польових радіорелейних та тропосферних ліній зв'язку.

Руденко В.И., Бондаренко О.Е., Сергиенко А.В., Остапук А.И. Расчет зон доступа радиорелейными и тропосферными средствами связи. В статье проведена методика расчета максимального значения дальности зон доступа на которую будет обеспечена передача информации с заданной скоростью и вероятностью обеспечения связи при необходимом значении качества во время развертывания радиорелейных и тропосферных линий связи.

V. Rudenko, O. Bondarenko, A. Serhiienko, O. Ostapuk Calculation of access points by radioelectric and tropospheric communication means. The article gives a method for calculating the maximum value of the access zone range during the field deployment radio relay and tropospheric communication lines. This zone will be provided with the transmission of information at the given speed and probability of providing communications with the required quality value.

Ключові слова: розрахунок зон доступу, радіорелейні, тропосферні засоби зв'язку.

Постановка завдання в загальному вигляді. Система зв'язку Збройних сил України складається з взаємопов'язаних між собою стаціонарного і мобільного компонентів, які виконують спільні завдання.

Стаціонарний компонент системи зв'язку і автоматизації застосовується в умовах повсякденної діяльності військ (сил), в особливий період та умовах воєнного стану.

Мобільний компонент системи зв'язку і автоматизації розгортається і застосовується для забезпечення управління військами, нарощування (резервування, відновлення) стаціонарного компоненту. До його складу входять: рухомі вузли зв'язку і автоматизації пунктів управління; опорні та допоміжні вузли зв'язку; польові лінії прямого зв'язку; лінії прив'язки до транспортної телекомунікаційної мережі. Мобільний компонент з переведенням ЗС України з мирного на особливий період розгортається у необхідному обсязі, а у мирний час, за необхідності, у відповідності з обстановкою, що склалася.

В особливий період здійснюється: нарощування ємності стаціонарного і мобільного компоненту за рахунок додаткового приймання каналів (послуг) та передавання групових трактів (послуг) з телекомунікаційних мереж операторів України, телекомунікаційної мережі спеціального призначення (ТМСП) та розгортання польових вузлів і ліній зв'язку в необхідному обсязі. Виділена ТМСП Держспецзв'язку базується на технологіях DWDM, STM, IP, Ethernet. Мережі доступу (польові вузли та лінії зв'язку ЗС України) повинні забезпечувати підключення кінцевих пристроїв користувачів до послуг та сервісів цифрової телекомунікаційної мережі. У вузлах доступу повинна забезпечуватися реалізація протоколів мережі доступу при взаємодії з абонентськими терміналами, протоколів ТМСП при роботі з вузлом комутації, а також взаємна конвертація цих протоколів та керування потоком даних у системі абонентського доступу. Підключення інформаційно-телекомунікаційних вузлів ЗС України до ТМСП (інших операторів телекомунікаційних послуг) здійснюється власними засобами споживача. В зв'язку з цим виникла необхідність по впровадженню в війська радіорелейних і тропосферних засобів зв'язку (РРТЗЗ) нового парку, таких як: Р-414 МУ, Р-425, Р-402, Р-417 МУ та Р-423 МУ.

Дані станції за своїм функціональним призначенням відносяться до каналоутворюючих засобів та призначені для будівництва (розгортання) ліній (осей, рокад ліній прямого зв'язку між пунктами управління, ліній прив'язки) та організації каналів передачі інформації по ним

в оперативно-тактичній та стратегічній ланках управління. Під час планування ліній та зон доступу на базі РРТЗЗ, виникає необхідність в визначенні зони обслуговування даних засобів зв'язку, в якій буде забезпечуватись зв'язок з заданою якістю та надійністю, і максимально допустимою відстані між радіорелейними і тропосферними засобами (РРТЗ) на лінії зв'язку.

Найбільш трудомістким та складним являється процес проведення оперативних розрахунків планування польових радіорелейних і тропосферних ліній (РРТЛ) військового призначення, так як він проходить в обмежених часових інтервалах з урахуванням впливу на систему зв'язку зовнішніх дестабілізуючих факторів, таких як:

- динамічна зміна оперативної обстановки;
- впливу засобів радіоелектронного та вогневого враження противника;
- змін вимог до параметрів якості зв'язку на етапах проведення операції;
- зміни погодних умов та інших факторів.

Найбільшу складність при плануванні застосування РРТЗЗ визиває розгортання ліній прив'язки до стаціонарних вузлів зв'язку операторів зв'язку України та ТМСП, так як дані вузли здебільшого розташовуються в межах населених пунктів. Механізм розповсюдження радіохвиль в реальних умовах розгортання РРТЗ, визначаються характеристиками місцевості, а відповідно дуже складний, так як в точку прийому потрапляє декілька відбитих хвиль, амплітуди і фази яких врахувати дуже складно.

Спираючись на проведений аналіз необхідно зробити висновок про те, що планування РРТЗ доцільно розділити на декілька фаз:

1 фаза. Визначення зон електромагнітного покриття РРТЗ, в межах якої забезпечується передача інформації з заданою швидкістю при необхідному значенні якості передачі та заданої вірогідності забезпечення зв'язку. Вірогідність зв'язку (часто її називають доступністю каналу).

2 фаза. Визначення конкретних географічних координат розміщення РРТЗ в зоні електромагнітного покриття з урахуванням тактичних параметрів (захист від всіх видів розвідки противника, від вражаючих факторів звичайного озброєння, мобільність, зовнішня ЕМС та ін.).

3 фаза. Генерація можливих варіантів розміщення РРТЗ та вибір найбільш оптимального.

Задача даної статті є актуальною науковою задачею зі створення програмного модуля „Автоматизований розрахунок зон доступу радіорелейними і тропосферними засобами зв'язку військового призначення”.

Аналіз останніх публікацій. В даний час існує велика кількість моделей автоматизованого розрахунку різних РРТЛ. Дані моделі розроблені здебільшого для розрахунку стаціонарних ліній цивільного призначення, РРТЗ старого парку, іншого частотного ресурсу, без врахування зовнішніх дестабілізуючих факторів та без визначення зон доступу. Частина розробок представляють собою аналітичні моделі, частина – емпіричні. Деякі моделі, такі як модель Окумура-Хата [1], представляють собою набір експериментальних кривих загасання сигналу, які знайдені в результаті проведених великої кількості вимірів рівня сигналу на прийомі та призначені для розрахунку зон доступу з „точки” в „зону”.

За останній час знаходять застосування моделі в приближенні геометричної оптики. Основною ідеєю даних моделей являється оцінка рівня сигналу за допомогою трасування променів між радіосистемами. В зв'язку з цим, переваги надаються аналітичним та частіше всього емпіричним моделям.

В даній статті надається математичний апарат і методика розрахунку зон доступу РРТЗЗ та джерела даних, які необхідні для розрахунку.

В якості джерел даних можна використовувати:

– про рельєф місцевості вздовж профілю траси РПЛ – цифрову модель висот (ЦМВ) „Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) з розширенням 1”. Файли даних представляють собою матрицю висот із шагом 1 кутової секунди (~30 метрів), які доступні на всій території

України (до широт 60 градусів). Детальність рельєфу, представленого ЦМБ SRTM відповідає детальності топографічних карт масштабів 1:50 000 – 1:25 000;

– про межі, висоти лісу та межі водойм – набір даних, підготовлених на основі проекту Global Forest Change версії 1.2 (http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download_v1.2.html) і даних по висоті лісового покриву, підготовлених групою винахідників із NASA's Jet Propulsion Laboratory, the University of Maryland, Woods Hole Research Center (<https://www.nasa.gov/topics/earth/features/forest20120217.html>);

– про межі та висоти забудов – базу даних проекту OpenStreetMap.org (OSM);

– основні технічні характеристики станцій військового призначення.

При проведенні інженерних розрахунків під час будівництва стаціонарних, а також при розгортанні польових РРТЛ, при точно визначених географічних координатах розміщення засобів зв'язку, доцільно використовувати методичний та математичний апарат, який приведений в Рекомендаціях МСЕ–R P.530–16 [1], МСЕ–R P.526 [2], МСЕ–R P.527 [3], МСЕ–R P.836 [4], МСЕ–R P.837 [5], МСЕ–R P.1546–2 [6].

Метою статті є розрахунок максимального значення дальності зони доступу (відстані) між РРТЗЗ нового парку на яку буде забезпечуватися передача з заданою швидкістю при необхідній якості передачі та заданою вірогідністю забезпечення зв'язку.

Виклад основного матеріалу.

1. Розрахунок зон доступу радіорелейними засобами зв'язку (РРЗ)

1.1. Математичний апарат розрахунку зон доступу РРЗ

Кінцева ціль розрахунків складається з оцінки максимального значення дальності на яку буде забезпечуватися передача сигналів з заданою швидкістю при необхідному значенні якості передачі та заданою вірогідністю забезпечення зв'язку. Вірогідність зв'язку (доступність каналу) визначається виразом:

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

1

де:

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

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

P_c – ймовірність зв'язку (доступність каналу).

Розрахунок доступності каналу в зоні доступу повинен будуватися на розрахунку енергетичного потенціалу радіолінії.

Для розрахунку зон доступу на максимально допустимій відстані між РРЗ в мережах необхідно враховувати:

потужності передавачів РРЗ;

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

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

статистична закономірність розповсюдження радіохвиль в умовах пересіченої місцевості та міської забудови;

параметри радіоканалу зв'язку (характер місцевості, ступінь урбанізації і т.д.);

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

Розглянуті параметри визначаються технічними умовами (технічними характеристиками) РРЗ.

Максимальна зона доступу при високо піднятих антенах в умовах рівнинної місцевості визначається співвідношенням [8]:

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

2

де:

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

h_1 – висота передавальної антени в метрах;

h_2 – висота прийомної антени в метрах.

Потужність сигналу в точці прийому станції зони доступу визначається виразом [9]:

$$P_{\text{пр}[dBm]} = P_{\text{пер}[dBm]} + \eta_{\text{Фпер}[dBm]} + G_{\text{Апер}[dBm]} + 20\lg F_{\text{пер}[dBm]}(\theta, \phi) + G_{\text{Апр}[dBm]} + \eta_{\text{Фпр}[dBm]} + \xi_{\text{п}[dBm]} + \xi_{\text{с}[dBm]} - W_{\text{св}[dBm]} - W_{\text{Т}[dBm]} \quad 3$$

де:

$P_{\text{пер}[dBm]}$ – потужність передавача;

$\eta_{\text{Фпер}[dBm]}$ – коефіцієнт корисної дії фідера передавача;

$G_{\text{Апер}[dBm]}$ – коефіцієнт підсилення антени передавача;

$20\lg F_{\text{пер}[dBm]}(\theta, \phi)$ – нормована діаграма направленості антени передавача;

$\eta_{\text{Фпр}[dBm]}$ – коефіцієнт корисної дії фідера передавача;

$\xi_{\text{п}[dBm]}$ – коефіцієнт узгодження приймальної антени з полем, що приймається, по поляризації приймального пристрою;

$\xi_{\text{с}[dBm]}$ – коефіцієнт узгодження приймальної антени з входом приймального пристрою по опору.

Дані значення беруться з технічних характеристик станцій. Величини загасання радіохвиль у вільному просторі ($W_{\text{св}}$) та загасання, яке вносить рельєф місцевості ($W_{\text{Т}}$) розраховуються наступним чином.

1.1.1 Загасання радіохвиль у вільному просторі – $W_{\text{св}}$

Розрахунок втрат розповсюдження сигналу у вільному просторі вичислюється за формулою [9]:

$$W_{\text{св}[dBm]} = 122 + 20\lg \frac{R_0}{\lambda} \quad 4$$

де:

R_0 – відстань між антенами приймача та передавача в км;

λ – довжина хвилі в см.

1.1.2 Коефіцієнт послаблення, яке вносить рельєф місцевості – $W_{\text{Т}}$

Дане загасання залежить від геометричних параметрів інтервалу, фізичних властивостей поверхні землі та ряду других факторів. Послаблення визначається наступним чином:

– будується профіль місцевості інтервалу, в точках розміщення станцій наносяться висоти антенних опор, центри яких з'єднуються прямою;

– по профілю встановлюється: довжина інтервалу зв'язку, відстань до перешкоди та величина просвіту;

– визначається загасання радіохвиль на відкритих, напіввідкритих, або закритих інтервалах.

Таким чином, проводячи розрахунок потужності сигналу в точці прийому, становиться можливим визначення місця розміщення кореспондента РРЗ в зоні доступу.

Робляться висновки про придатність інтервалу для забезпечення радіорелейного зв'язку в заданих режимах по застосованих при розрахунках критеріям якості.

1.2. Методика розрахунку зон доступу РРЗ

Методика розрахунку зон доступу РРЗ проводиться в наступній послідовності:

Крок 1. Визначається тип РРЗ та береться значення технічних параметрів даної станції:

f – частота, ГГц;

$P_{\text{прд}}$ – потужність передавача, dBm;

$D_{\text{прд}}$ – діаграма направленості антени передавача, градусів;

$D_{\text{прм}}$ – діаграма направленості антени приймача, градусів;

$G_{\text{прд}}$ – коефіцієнт підсилення передаючої антени, dBm;

$G_{\text{прм}}$ – коефіцієнт підсилення прийомної антени, dBm;

$\eta_{\text{Фпер}[dBm]}$ – загасання в антенно-фідерному (антенно-хвильовому) тракті передавача, dBm;

$\eta_{\text{Фпр[dBm]}}$ – загасання в антенно-фідерному (антенно-хвильовому) тракті приймача, dBm;

P_{min} – реальна чутливість приймача (при заданому значенні BER), dBm;

h_1 – висота передавальної антени в метрах;

h_2 – висота прийомної антени в метрах.

Крок 2. Визначаються координати РРЗ від якої розраховується зона доступу. Використовується топографічна (електронно-векторна) карта М1:50000.

Крок 3. Розраховується за формулою (2) максимальна зона доступу при високо піднятих антенах в умовах рівнинної місцевості та нормальної дифракції. Будується кругова діаграма відносно координат станції, які визначені в Кроці 2.

Крок 4. Ділиться кругова діаграма максимальної зони доступу на сектори, кратні величині $D_{\text{прд}}$. Кількість секторів (К) кругової діаграми розраховується за формулою:

$$K = 360^{\circ} : D_{\text{прд}}$$

Крок 5. За формулою (3) проводиться розрахунок потужності сигналу в кінцевій точці прийому кожної станції сектора зони доступу за умови прямої видимості. За розраховану максимальну кругову зону доступу станції секторів не повинні виходити.

При відсутності прямої видимості в зоні сектора, останній виключається із розрахунків, а сам сектор рахується зоною доступності до першої перешкоди ($H \leq 0$).

Крок 6. Проводиться зрівняння величин потужності сигналу в граничній точці прийому сектора зони доступу (формула розрахунку 3) з величиною А (значення відношення потужності сигнал/завада на вході приймача, при якому забезпечується стабільний прийом сигналу). Необхідно, щоб були виконані умови встановленого параметра А (значення відношення потужності сигнал/завада на вході приймача). Беремо величину (5÷10) dBm – запас потужності сигналу в точці прийому, розрахованого загасання сигналу на трасі розповсюдження.

Після розрахунку рівня сигналу в точці прийому

$$P_{\text{прм}} \geq P_{\text{min}} + 10 \text{ дБ};$$

де:

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

P_{min} – реальна чутливість приймача;

Робляться висновки про придатність РРЛ інтервалу для забезпечення зв'язку в заданих режимах по застосованих при розрахунках критеріям якості.

При отриманні позитивного результату робиться відмітка на карті. Операція Кроку 6 проводиться по всіх секторах (К) діаграми зони доступу.

Крок 7. За отриманими результатами будується розрахункова діаграма зони доступу та проводиться визначення можливих варіантів координат кореспондентів РРЗ.

Після визначення вибору конкретних координат кореспондентів РРЗ проводиться детальний автоматизований розрахунок РРЛ з урахуванням методичного і математичного апарату, описаного в Рекомендаціях МСЕ-R та робиться висновок.

2. Розрахунок зон доступу тропосферними засобами зв'язку (ТРЗЗ)

Тропосферний зв'язок базується на використанні такого явища, як – дальнє (загоризонтне) розповсюдження УКХ, яке виникає за рахунок розсіювання та відбиття радіохвиль цього діапазону діелектричними неоднорідностями повітряних мас тропосфери.

Принципи організації зв'язку та характеристики тропосферних ліній багато в чому схожі з принципами організації зв'язку та характеристиками РРЛ, але використання явища дальнього тропосферного розсіювання (ДТР) УКХ визначають тільки їм присутні властивості:

– функціонування тропосферної лінії (ТРЛ) можливо тільки за умови присутності неоднорідного по своїм діелектричним властивостям середовища, якою являється тропосфера Землі, розміщена на висотах до 12 – 15 км;

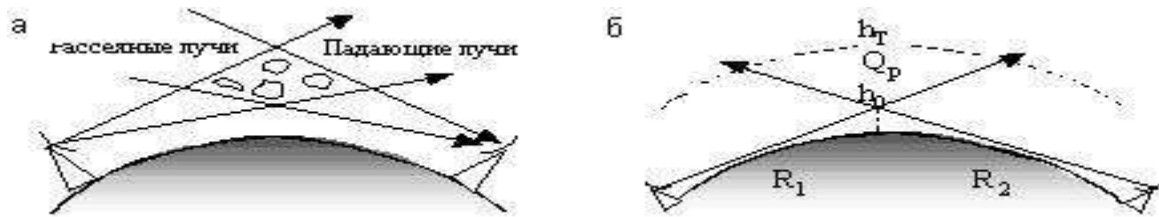


Рис. 1. Умови (а) та дальність (б) тропосферного зв'язку

– довжина інтервалів ТРЛ в 4 – 6 разів більша по відношенню до РРЛ прямої видимості.

Звичайні ТРЗ забезпечують дальність зв'язку в основному на 200 – 300 км, польові військові ТРЛ будуються з інтервалом 120 – 200 км. Розрахунок ТРЛ базується на тому ж методологічному підході, що і розрахунок РРЛ. В той же час, при визначенні реального рівня потужності сигналу на вході прийомного пристрою тропосферної станції складова загасання повинна розраховуватись з урахуванням всіх поправок та особливостей ДТР, способів та кратності прийому. Також необхідно враховувати розподілення загасань для всіх варіантів рознесеного прийому та способів складання сигналів.

2.1. Умови, які впливають на розрахунок зон доступу ТРЗЗ

Разом з технічними характеристиками ТРЗ на розрахунок зон доступу суттєвий вплив має вибір місця розміщення станцій на місцевості.

2.1.1 Вибір місця розгортання тропосферних станцій.

При розгортанні тропосферних станцій враховуються:

- підвищення та відкриті пануючі площадки;
- місцеві предмети (особливо великі), лінії електропередач та антенні
- поля – відстань до них повинна бути не менше 1,5 км;
- під'їзд, інженерне обладнання, маскування, електромагнітна сумісність з другими радіоелектронними станціями.

2.1.2 Побудова креслень профілів місцевості та визначення кутів закриття (по топографічним картам М 1:50 000, висоти М 1:1 000).

Побудова креслень інтервалу проводиться з метою визначення кутів закриття для антен тропосферних станцій.

Лінія кривизни Землі будується від точки розміщення станції – в одну сторону.

2.2. Математичний апарат розрахунку зон доступу ТРЗЗ

Математичний апарат розрахунку зон доступу ТРЗЗ такий, як у РРЗ, за винятком:

2.2.1 Максимальна зона доступу при високopіднятих антенах в умовах рівнинної місцевості визначається співвідношенням [9]:

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

5

де:

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

h_1 – висота передавальної антени в метрах;

h_2 – висота прийомної антени в метрах;

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

2.2.2 Додаткові втрати вичислюються як [9]:

$$W_{дтр} = W_{ст} + W_p + \Delta W_A + \Delta W_k + \Delta W_h + \Delta W_{лст} + \Delta W_3,$$

6

де:

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

W_p – втрати, які обумовлені впливом нерівностей рельєфу місцевості і висот підйому антен;

ΔW_A – втрати підсилення антен при ДТР;

ΔW_k – втрати, які обумовлені кліматичними умовами;

ΔW_h – втрати, які обумовлені впливом земної поверхні, при невеликих величинах відношення $\frac{h}{\lambda}$;

$\Delta W_{\text{вст}}$ – втрати, які обумовлені відмінностями географічних висот;

ΔW_3 – поправка, яка враховує швидкі та повільні завмирання при ДТР.

Методика розрахунку зон доступу ТРЗЗ аналогічна методиці розрахунку РРЗ.

На підставі представлених вище математичного та методичних розрахунків складається програмний модуль „Автоматизований розрахунок зон доступу радіорелейними і тропосферними засобами зв'язку військового призначення”, який забезпечить:

1. Розрахунок якісних показників зон доступу та окремих інтервалів РРТЗЗ, які є та поступають на озброєння в ЗС України з урахуванням просторового та частотного рознесення.

2. Розрахунок норм на РРТЛ відповідно до технічних параметрів обладнання та діючих норм.

3. Імпорт даних про рельєф місцевості, межі та висоти лісу і забудов.

4. Побудову та редагування профілів рельєфу трас з урахуванням забудов, рослинного покриву та водойм.

5. Автоматичне визначення та облік кліматичних параметрів на основі географічних координат зони доступу.

6. Аналіз рівня завад від сусідніх станцій та випромінюючих засобів.

7. Зменшення часу планування застосування польових військових РРТЗЗ.

8. Наглядне зображення зони застосування РРТЗЗ.

9. Автоматизоване формування звіту на основі шаблону Microsoft Word.

10. Експорт даних в форматі Excel.

Висновок. В статті розглянуті математичний апарат та методика розрахунку зон доступу радіорелейними та тропосферними засобами зв'язку нового парку з використанням геоінформаційної системи. Напрямок подальшого дослідження є впровадження в війська програмного модуля „Автоматизований розрахунок зон доступу радіорелейними і тропосферними засобами зв'язку військового призначення”, що призведе до підвищення ефективності управління та функціонування системи зв'язку ЗС України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рекомендації МСЕ–R P.530–16. Дані про розповсюдження радіохвиль та методи прогнозування, які необхідні для проектування наземних систем прямої видимості.

2. Рекомендації МСЕ–R P.526. Розповсюдження радіохвиль за рахунок дифракції.

3. Рекомендації МСЕ–R P.527. Електричні характеристики поверхні Землі.

4. Рекомендації МСЕ–R P.836. Водяні пари: платність у поверхні Землі та загальний об'ємний склад.

5. Рекомендації МСЕ–R P.837. Характеристики опадів, які використовуються при моделюванні розповсюдження радіохвиль.

6. Рекомендації МСЕ–R P.1546–2. Метод прогнозування для трас „точка – зона” для наземних служб в діапазоні частот від 30 МГц до 3000 МГц.

7. Ільченко М.Ю. Сучасні телекомунікаційні системи / М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук // К.: Наукова думка, 2008. – С. 78 – 88.

8. Руководство по развертыванию и эксплуатации радиорелейных и тропосферных линий связи Вооруженных Сил. Часть 2. Расчет радиорелейных и тропосферных линий. – М.: Военное издательство, 1989.

9. Волков Е.А. Методика расчета радиорелейных и тропосферных линий связи./ Е.А. Волков, В.П. Васильев, В.В. Куликов // Л.: ВАС, 1982.