

ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ МІСЦЕВОСТІ В ЗАДАЧАХ ПОБУДОВИ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Розроблено методику оцінки та вибору варіанту застосування засобів радіозв'язку на ділянці охорони державного кордону. В методиці застосовано технології побудови цифрової моделі місцевості; хвильовий алгоритм; методи дискретної геометрії. За допомогою методики розв'язуються такі задачі: визначення зони радіовидимості окремим засобом радіозв'язку на місцевості; визначення ділянок розташування стаціонарних (місць застосування мобільних) засобів радіозв'язку; за результатами порівняння тактико-технічних можливостей засобів радіозв'язку на визначених ділянках їхнього застосування визначити типи та оптимальну кількість засобів, якими забезпечуватиметься «покриття» всієї ділянки охорони державного кордону.

Ключові слова: засоби радіозв'язку, цифрова модель рельєфу місцевості, державний кордон.

Актуальність дослідження. Необхідність забезпечення безперервності, гнучкості охорони державного кордону; безперервної взаємодії сил і засобів поряд з іншими чинниками визначають особливу роль мережі радіозв'язку в складі системи зв'язку та автоматизації. Це визначає актуальність її розвитку. Одним із напрямів розвитку мереж радіозв'язку поряд з впровадженням нових систем і засобів зв'язку є підвищення ефективності їх функціонування за рахунок ефективного планування цих радіомереж. При цьому плануванні потрібне одночасне врахування розмірів радіомережі, рельєфу місцевості, частотного діапазону, тощо. В польових умовах та за відсутності можливості використання проводового зв'язку – основною стає мережа радіозв'язку. Використання мереж радіозв'язку у багатьох випадках, не вимагаючи значних затрат, дозволяє в короткі строки організувати зв'язок. Швидкі зміни обстановки на кордоні, розосередження частин та підрозділів і широке застосування морських з'єднань та частин, авіації та підрозділів спеціального призначення, керівництво під час довгострокового перебування командирів (начальників) у русі - є найбільш характерними рисами сучасного етапу охорони державного кордону. В цих умовах роль радіозв'язку незмірно зросла. Тому використання засобів радіозв'язку є необхідним і особливо актуальним там, де немає можливості використання мереж проводового зв'язку (наприклад, на значній частині південної ділянки державного кордону). На сучасному етапі ділянки несення служби збільшуються до меж районів і областей або відповідних регіонів. Тому при відсутності місцевої інфраструктури проводових мереж (магістральних каналів і окремих ліній зв'язку), або при відсутності можливості їх оренди більш простим способом організації зв'язку є використання радіозасобів.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз тенденцій розвитку відповідних засобів вказує на актуальність впровадження сучасних засобів УКХ радіозв'язку. Особливо перспективним є використання систем рухомого (мобільного) радіозв'язку. При формуванні нового стандарту, який задовольняв би вимогам до системи зв'язку (особливо це стосується стільникових систем), необхідно вирішити низку завдань [1-5]: планування маршрутизації інформаційних повідомлень; побудова географічної маршрутизації; раціональний підбір обладнання, вибрати місця розташування базових станцій; розробка програмного забезпечення; підвищення завадостійкості системи та інші.

При розробці систем радіозв'язку для різних регіонів України надзвичайно важливим є імовірнісний підхід до одночасного врахування стохастичної природи трьох основних факторів, які впливають на вірність передачі інформації: розповсюдження радіохвиль, рельєфу місцевості і процесу взаємного переміщення кореспондентів [6-8].

Вирішення завдання підвищення завадостійкості полягає у виборі значень параметрів системи зв'язку при яких досягається мінімальна імовірність появи помилки при прийомі сигналу (максимальна імовірність наявності зв'язку) і розрахунку цієї імовірності. При його вирішенні, звичайно, враховуються лише найбільш визначальні фактори, які впливають на

функціонування системи зв'язку. Одним із завдань побудови системи радіозв'язку є вибір (розроблення) моделей побудови цифрової карт місцевості [9-11].

Постановка задачі. Метою дослідження є розроблення методики оцінки та вибору варіанту застосування засобів радіозв'язку на ділянці охорони державного кордону. В основу методики покладено реалізацію таких завдань: визначення зони радіобачення окремим засобом радіозв'язку на місцевості; визначення ділянок розташування стаціонарних (місць застосування мобільних) засобів радіозв'язку; за результатами порівняння тактико-технічних можливостей засобів радіозв'язку на визначених ділянках їхнього застосування визначити типи та оптимальну кількість засобів, якими забезпечуватиметься «покриття» всієї ділянки охорони державного кордону.

Виклад основного матеріалу дослідження. В методиці оцінки та вибору варіанту застосування засобів радіозв'язку на ділянці охорони державного кордону застосовано такі технології, моделі та методи: технологію SRTM (Shuttle radar topographic mission) [12] – для одержання даних цифрової моделі рельєфу місцевості; хвильовий алгоритм [13] – для пошуку множини кінцевих точок видимості на місцевості засобами радіозв'язку та побудови контуру зони видимості; методи дискретної геометрії [14-16] – для обчислення площі неправильних багатокутників, що відповідають зонам видимості засобів радіозв'язку на місцевості; моделі програмних модулів ArcGIS та Arcview Spatial Analyst – для обробки багатоканальних растрових даних, таких як аерофотознімків, супутникових зображень, та одержання растрових шарів місцевості у цифровому форматі.

Одержання даних цифрової моделі рельєфу місцевості за допомогою технології SRTM. Дані SRTM поширюються у вільному доступі та існують в декількох версіях. Перша версія була побудована у 2003 р. Остаточна (четверта) версія пройшла додаткову обробку: виділення берегових ліній і водних об'єктів, фільтрацію помилкових значень. Дані SRTM реалізовані у двох варіантах - сітка з розміром елемента 1×1 кутової секунди (30 м.) і 3×3 кутових секунд (90 м.).

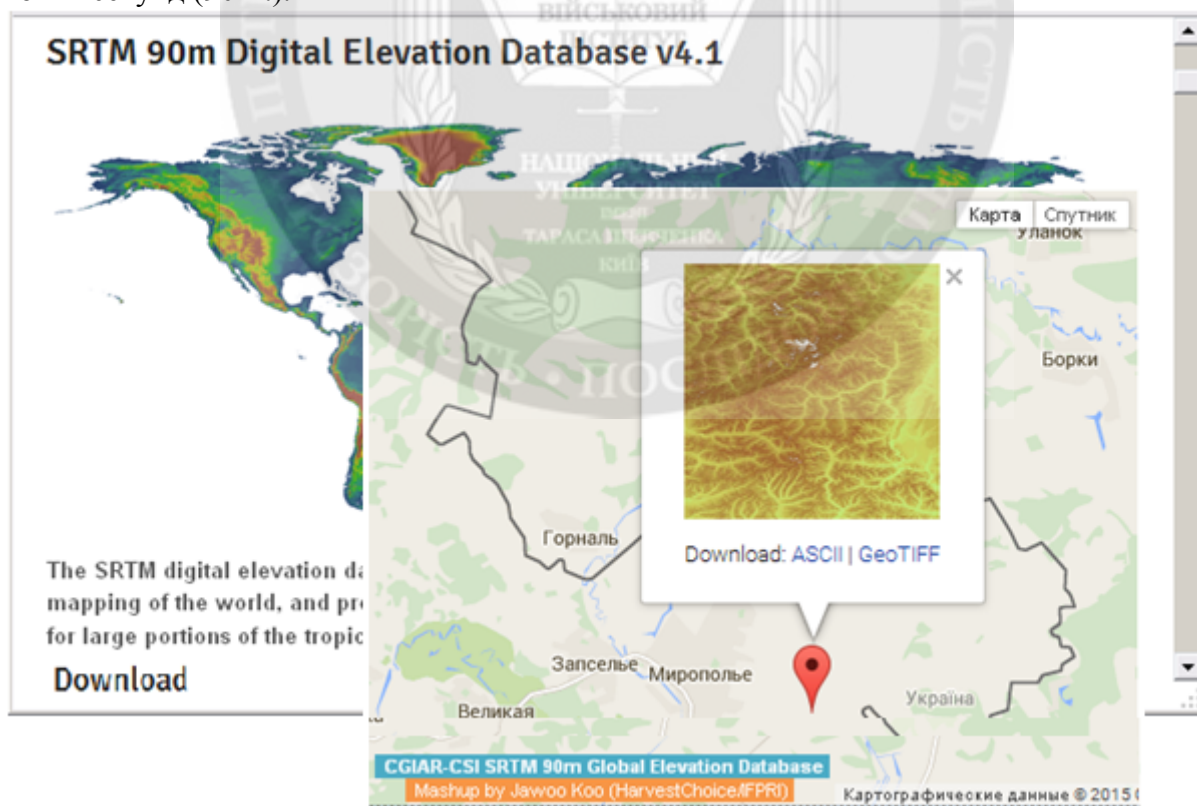


Рис. 1. Порядок застосування системи SRTM

За оцінками А. К. Корвеула та І. Євіака [17] матриця SRTM має похибку, яка в середньому становить для рівнинної території 2,9 м. і 5,4 м для горбистої місцевості. Матриця SRTM підходить для створення контурних ліній горизонталей на топографічних картах масштабів 1: 100 000, 1: 50 000 і дрібніших. На місцевостях з різким перепадом висот, особливо в гірських районах, можливі пропуски, що призводить до зниження точності матриці SRTM. Для підвищення точності даних необхідно проводити додаткові операції по інтерполяції (для усунення, згладжування пропусків). Значення похибок на практиці виявилися значно кращими [18]: абсолютна похибка по висоті менше 8.7 метрів; відносна похибка по висоті менше 6.2 метрів; абсолютна похибка в плані менше ніж 8.8 метрів; відносна похибка по висоті для даних X-band SRTM менше 2.6 метрів. Всі похибки в довірчому інтервалі 90%.

Імпорт даних SRTM та генерація sml-файлів здійснюється за допомогою програмного модуля Arcview spatial analyst. Розмір одного пікселя складає 0.000833333333333 градусів по ширині і висоті. За результатами роботи модуля Arcview spatial analyst кожна матриця рельєфу буде представлена трьома файлами з однаковими назвами, але різною роздільною здатністю. При цьому розмір одного пікселя складає 0.000833333333333 градусів по ширині і висоті. На рис. 1 наведено порядок застосування системи SRTM, на рис. 2 – рельєф місцевості за даними SRTM.

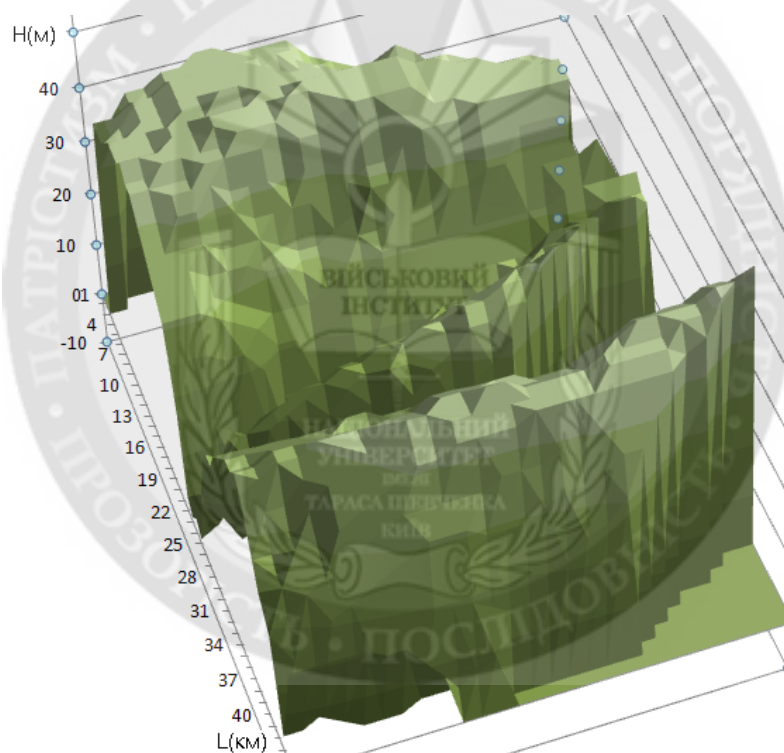


Рис. 2. Рельєф місцевості за даними SRTM (Миропілля, Сумська обл. ВПС «Хмельник»)

Точність матриці SRTM (табл. 1) відповідає критерію LE90 (величина, яку з імовірністю 90% не перевищить відхилення висоти точки від її істинного значення). Значення висот за своєю точністю приблизно відповідають висотам, отриманим з топографічної карти масштабу 1: 100 000. При урахування систематичної похибки можливе підвищення точності висот SRTM. Матриця висот SRTM може бути використана при створенні ортофотопланів масштабу 1:25 000 і дрібніше на райони з рівнинним і горбистим рельєфом. У районах з гірським рельєфом необхідно проводити попередній розрахунок точності з урахуванням конкретних умов зйомки.

Необхідну точність висот цифрової моделі рельєфу місцевості (ΔH) можна оцінити по допустимому значенню зміщення за рельєф (ΔL), яке визначається за формулою [19]:

$$\Delta L = \Delta H \operatorname{tg}(\alpha),$$

де α – кут відхилення осі камери від надира при зйомці.

Стандартними при космічній зйомки вважаються кути відхилення від надира до 300. У цьому випадку, щоб зміщення за рельєф не перевищували 0,5 мм в масштабі ортофотоплану, точність висот ЦМР не повинна бути гіршою, ніж 1 мм перемноженого на «знаменник масштабу». Наприклад, для карти масштабу 1:25 000 вона становитиме: 1 мм \times 25 000 = 25 м.

Спосіб обчислення площі неправильного багатокутника. Для обчислення площі неправильного багатокутника скористаємося формулою Піка [15-16]. Припустимо, що сторона однієї клітини дорівнює 1 (відповідно, площа клітки буде дорівнює 1 кв. од.). При застосуванні цифрової моделі рельєфу місцевості SRTM з елементом 1×1 кутової секунди сторони одного елемента дорівнюватимуть 30 м. і з сіткою 3×3 кутових секунд – 90 м. Тоді остаточно формула Піка матиме вигляд:

$$S = \left(n - \frac{m}{2} - 1 \right) \cdot 90 ,$$

де n – кількість цілочислових точок всередині багатокутника; m – кількість цілочислових точок на межі багатокутника.

Для збільшення точності визначення площі багатокутника розмір клітини сітки цифрової моделі рельєфу місцевості необхідно зменшувати.

Алгоритм методики вибору варіанту застосування засобів радіозв'язку. включає декілька етапів: 1) підготовка вихідних даних: оцінка ТТХ засобів радіозв'язку, їх кількості та визначення місць можливого застосування стаціонарних та переносних ЗТС, k_{ij} ; 2) підготовка карти місцевості: визначення вихідних величин для розрахунків (розмір елемента матриці місцевості, x_{ij} ; розміру кроку сканування по азимуту $\Delta\varphi_i$ (обирається таким чином, щоб за один крок на найбільшій відстані зони видимості засобом радіозв'язку не було пропусків елемента матриці місцевості)); побудова цифрової моделі рельєфу місцевості (матриця h_{ij}); визначення місць можливого застосування засобів радіозв'язку; 3) визначення значень характеристик застосування засобів радіозв'язку на визначених ділянках (точках): зони контролю; площі контролю; протяжності ділянки державного кордону, що контролюється засобом радіозв'язку; середньої дальності видимості; 4) за значеннями характеристик застосування засобів радіозв'язку на визначених ділянках (точках) обирається раціональний варіант.

Приклад застосування методики вибору варіанту застосування засобів радіозв'язку. У відповідності до розглянутого вище алгоритму на карті (ділянка кордону відділу прикордонної служби «Хмільник») нанесемо: район можливого застосування засобів радіозв'язку на визначених ділянках (обрано зону ефективного виявлення людини на фоні місцевості на віддалені від ліній державного кордону 6-8 км.).

Для прикладу оцінку характеристик застосування засобів радіозв'язку проведемо для двох точок: н.п. Олександрія та висоти 211. Розраховано площі контролю (за формулою Піка); протяжності ділянки державного кордону, що контролюється засобом радіозв'язку; середні дальності контролю. Результати розрахунків наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики застосування засобів радіозв'язку (варіант)

Варіант розташування	Характеристики		
	Протяжність ділянки кордону, км	Площа контролю, км ²	Середня дальність контролю, км
ПУ 1 (Олександрія)	16,5	22	6,5
ПУ 2 (Висота 211)	12,2	34	7,6

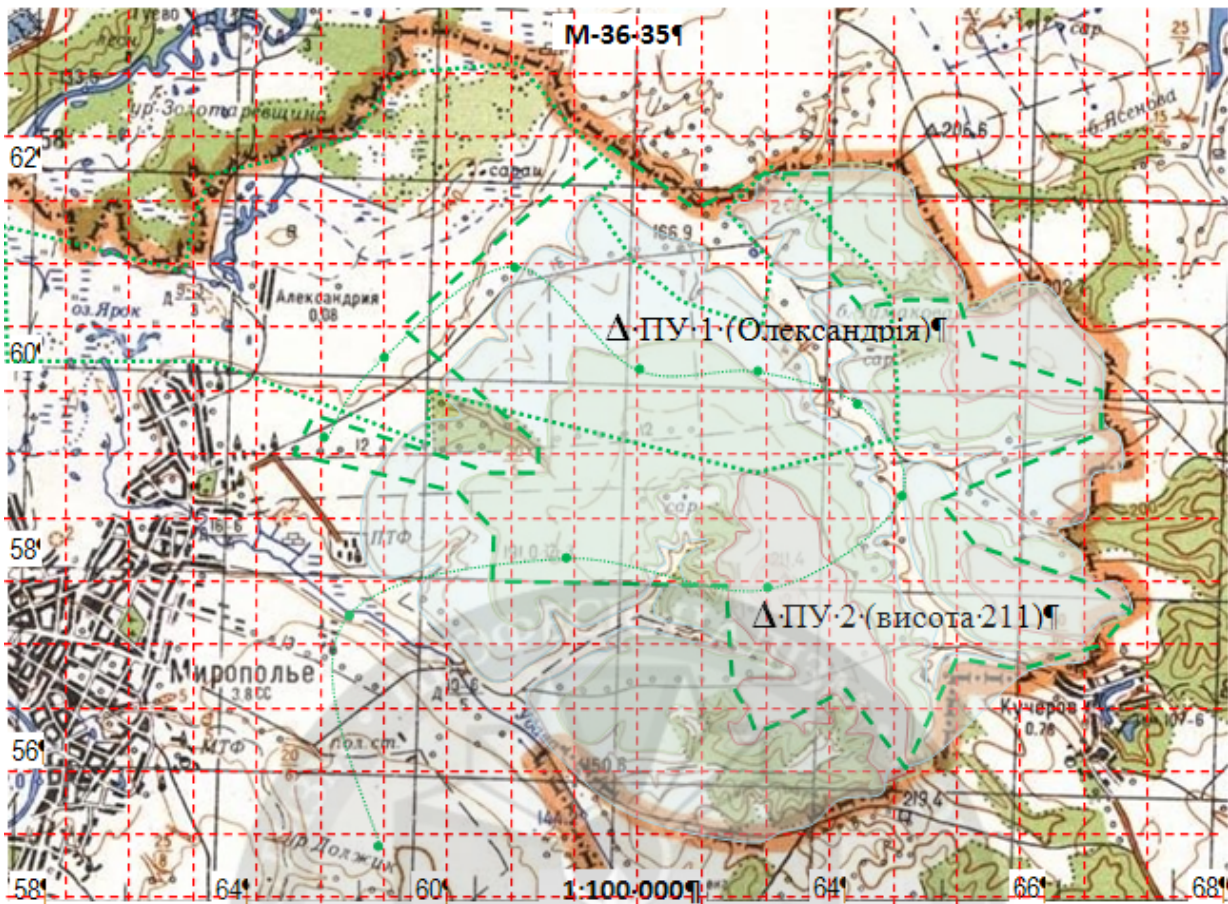


Рис. 3. Варіант використання засобів радіозв'язку ділянці відповідальності ВПС

Висновок. За розробленою методикою оцінка можна вирішити такі завдання: 1) оцінити площу та ділянку державного кордону, яка контролюватися засобом радіозв'язку з кожної окремої точки; 2) визначити необхідну кількість засобів радіозв'язку, якими забезпечуватиметься контроль визначених районів контролю та ділянок кордону; 3) за визначеними характеристиками застосування засобів радіозв'язку у кожній конкретній ділянці обрати найкращий варіант.

Також матеріали дослідження можуть бути використані: при проведенні імовірнісної оцінки забезпеченості радіозв'язком з використанням методів статистичної радіофізики; для визначення варіантів застосування радіолокаційних, тепловізійних, оптико-електронних, безпілотних комплексів і інших засобів контролю державного кордону; в навчальному процесі Національної академії Державної прикордонної служби України.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Voruganti R. and Levesque A. C4I Mobility Architectures for 21st Century Wafighters // IEEE MILCOM'97, 1997. – P.18.04.01 – 18.04.06.
2. Минович А. И. Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях / А. И. Минович, В. А. Романюк // Зв'язок. – 2001. – №1. – С. 31 – 36.
3. Романюк В.А. Геомаршрутизация в мобильных радиосетях / В. А. Романюк // Зв'язок. – 2001. – №5. – С. 37 – 40.
4. Романюк В.А. Применение базы знаний для управления структурой автоматизированной сети радиосвязи / В.А. Романюк // 36. наук. праць. – К.: КВІУЗ, – 1999. – №1. – С. 46 – 49.
5. Романюк В.А. Направления развития тактических сетей связи / В. А. Романюк // Зв'язок. – 2001. – №3. – С. 63 – 65.
6. Доровских А.В. Сети связи с подвижными объектами / А. В. Доровских, А. А. Сикарев // – К., Техника, 1989. – 158 с.

7. Сикарев А.А. Статистическая модель для оптимизации размеров сотовых зон в сетях оперативной связи и передачи данных / А. А. Сикарев // Технические средства судовождения и связи на внутренних судоходных и морских путях. – Л.: ЛИВТ, 1990. – С. 26 – 32.

8. Рачок Р.В. Окремі питання побудови систем стільникового радіозв'язку Прикордонних військ України / Р.В. Рачок // Збірник наукових праць №24. – Хмельницький: Видавництво Національної академії ПВУ, 2003. – 232 с.

9. Скрипченко О.П., Варава В.В. Методичний підхід до врахування впливу рельєфу місцевості в моделі бою протитанкового артилерійського комплексу / Системи озброєння і військова техніка, 2010, № 1(21). – С. 79-81.

10. Бурштинська Х.В. Теоретичні та методологічні основи цифрового моделювання рельєфу за фотограмметричними та картометричними даними: Автореферат дисертації д-ра. техн. наук: 05.24.02 / Національний ун-т «Львівська політехніка». – Л., 2003. – 36 с.

11. Бурштинська Х.В. Порівняльний аналіз побудови цифрових моделей рельєфу з використанням апроксимаційних функцій. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2001. – Вип. 61. – С. 137-148.

12. Shuttle radar topographic mission [електронний ресурс] <http://mapgroup.com.ua/articles/dzz/109-dannye-srtm-sposoby-polucheniya-dannykh>.

13. Волновой алгоритм - Построение кратчайшего маршрута. <http://www.codenet.ru/progr/alg/way.php>.

14. Bezdek, András; Kuperberg, W. Discrete geometry: in honor of W. Kuperberg's 60th birthday. – New York, N.Y: Marcel Dekker, 2003. – 461 p.

15. Прасолов В. В. Задачи по планиметрии. – 4-е изд., дополненное. – М.: Изд-во Московского центра непрерывного математического образования, 2001. – 584 с.

16. Васильев Н. Б. Вокруг формулы Пика // Квант. 1974. № 12. – С. 39-43.

17. Karwel A. K., Ewiak I. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing 2008, pp. 169-172.

18. Описание и получение данных SRTM. <http://gis-lab.info/qa/srtm.html>.

19. Карионов Ю.И. Оценка точности матрицы высот SRTM. Геопрофи, – 2010. – № 1. – С. 48-51

REFERENCES:

1. Voruganti R. and Levesque A. C4I Mobility Architectures for 21st Century Wafighters // IEEE MILCOM'97, 1997. – P.18.04.01 – 18.04.06.

2. Minochkin A. I. Protokoly marshrutizacii v mobil'nyh radiosetjah / A. I. Minochkin, V. A. Romanjuk // Zv'jazok. – 2001. – №1. – С. 31 – 36.

3. Romanjuk V. A. Geomarshrutizacija v mobil'nyh radiosetjah / V. A. Romanjuk // Zv'jazok. – 2001. – №5. – С. 37 – 40.

4. Romanjuk V. A. Primenenie bazy znaniy dlja upravlenija strukturoj avtomatizirovannoj seti radiosvjazi / V. A. Romanjuk // Zb. nauk. prac'. – K.: KVIUZ, – 1999. – №1. – С. 46 – 49.

5. Romanjuk V. A. Napravlenija razvitija takticheskikh setej svjazi / V. A. Romanjuk // Zv'jazok. – 2001. – №3. – С. 63 – 65.

6. Dorovskih A. V. Seti svjazi s podvizhnyimi ob#ektami / A. V. Dorovskih, A. A. Sikarev // . – K., Tehnika, 1989. — 158 s.

7. Sikarev A. A. Statisticheskaja model' dlja optimizacii razmerov sotovyh zon v setjah operativnoj svjazi i peredachi dannjah / A. A. Sikarev // Tehniceskie sredstva sudovozhdenija i svjazi na vnutrennih sudohodnyh i morskijh putjah. – L.: LIVT, 1990. – S. 26 – 32.

8. Rachok R. V. Okremi pytannja pobudovy system stil'nykovogo radiozv'jazku Prykordonnyh vijs'k Ukraïny / R. V. Rachok // Zbirnyk naukovykh prac' №24. – Hmel'nyc'kyj: Vydavnyctvo Nacional'noi akademii' PVU, 2003. – 232 s.

9. Skrypchenko O.P., Varava V.V. Metodychnyj pidhid do vrahuvannja vplyvu rel'jefu miscevosti v modeli boju protytankovogo artylerijs'kogo kompleksu / Systemy ozbrojennja i vijs'kova tehnik, 2010, № 1(21). – S. 79-81.

10. Burshtyn's'ka H.V. Teoretychni ta metodologichni osnovy cyfrovogo modeljuvannja rel'jefu za fotogrammetrychnymy ta kartometrychnymy danymy: Avtoreferat dysertacii' d-ra. tehn. nauk: 05.24.02 / Nacional'nyj un-t «L'vivs'ka politehnik». – L., 2003. – 36 s.

11. Burshtyn's'ka H.V. Porivnjal'nyj analiz pobudovy cyfrovych modelej rel'jefu z vykorystannjam aproksymacijnyh funkcij. // Geodezija, kartografija i aerofotoznimannja. – 2001. – Vyp. 61. – S. 137-148.

12. Shuttle radar topographic mission [электронный ресурс] <http://mapgroup.com.ua/articles/dzz/109-dannye-srtm-sposoby-polucheniya-dannykh>.
13. Volnovoj algoritm - Postroenie kratchajshogo marshruta. <http://www.codenet.ru/progr/alg/way.php>.
14. Bezdek, András; Kuperberg, W. Discrete geometry: in honor of W. Kuperberg's 60th birthday. – New York, N.Y: Marcel Dekker, 2003. – 461 p.
15. Prasolov V. V. Zadachi po planimetrii. – 4-e izd., dopolnennoe. – M.: Izd-vo Moskovskogo centra nepreryvnogo matematicheskogo obrazovaniya, 2001. – 584 s.
16. Vasil'ev N.B. Vokrug formuly Pika // Kvant. 1974. № 12. – S. 39-43.
17. Karwel A.K., Ewiak I. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing 2008, pp. 169-172.
18. Описание и получение данных SRTM. <http://gis-lab.info/qa/srtm.html>.
19. Карионов Ю.И. Оценка точности матрицы высот SRTM. – Геопрофи, – 2010. – № 1. – С. 48-51.

Рецензент: д.т.н., проф. Сбітнєв А.І., провідний науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

д.т.н., проф. Катеринчук І.С.

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ В ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ

Разработана методика оценки и выбора варианта применения средств радиосвязи на участке охраны государственной границы. В методике применены технологии построения цифровой модели местности; волновой алгоритм; методы дискретной геометрии. С помощью методики решаются следующие задачи: определение зоны радиовидимости отдельным средством радиосвязи на местности; определение участков расположения стационарных (мест применения мобильных) средств радиосвязи; по результатам сравнения тактико-технических возможностей средств радиосвязи на определенных участках их применения определить типы и оптимальное количество средств, которыми будет обеспечиваться «покрытие» всего участка охраны государственной границы.

Ключевые слова: средства радиосвязи, цифровая модель рельефа местности, государственная граница.

Prof. Katerynychuk I.S.

DIGITAL MODELING OF THE TERRAIN IN THE TASK OF CONSTRUCTING COMMUNICATION SYSTEMS

A method for evaluating and selecting options for the application of radio communication in the area of protection of the state border. The methodology applied technology to build a digital terrain model; wave algorithm; methods of discrete geometry. With the help of this methodology the following tasks are solved: the definition of sight of the individual means of radio communication on the ground; determining the location of fixed sites (sites use mobile) radio communications; by comparing the tactical and technical capabilities of radio communications in certain areas of their application to determine the optimal number and types of funds, which will provide "cover" the whole area of protection of the state border.

Keywords: radio communications, digital terrain model, state border.