

## ФОРМУВАННЯ МАСКИ МІСЦЕВОСТІ ПРИ ПОБУДОВІ МАРШРУТІВ В ЗАДАЧАХ ОПЕРАТИВНО-СЛУЖБОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРИКОРДОННОГО ВІДОМСТВА

*У роботі вдосконалено методику побудови маски хвильового алгоритму для пошуку маршрутів підрозділів швидкого реагування прикордонного відомства. Існуюча методика передбачає використання лише рівномірного закону для опису рельєфу місцевості. На основі запропонованого підходу суттєво підвищено точність статистичного опису рельєфу при визначенні раціональних маршрутів.*

*Рачок Р.В. Формирование маски местности при построении маршрутов в задачах оперативно-служебной деятельности пограничного ведомства. В работе усовершенствована методика построения маски волнового алгоритма для поиска маршрутов подразделений быстрого реагирования пограничного ведомства. Существующая методика предусматривает использование только равномерного закона для описания рельефа местности. На основе предложенного подхода существенно повышена точность статистического описания рельефа при определении рациональных маршрутов.*

*R. Rachok The formation of the mask of the area when constructing routes in the tasks of operational activities of border agencies. In the work of the improved method of constructing a mask in wave algorithm for searching routes of rapid response units from the border agency. The current method involves the use of only a steady law for the description of the terrain. The proposed approach significantly improves the accuracy of the statistical description of the topography in determining efficient routes.*

*Ключові слова:* рельєф місцевості, закон розподілу висот, хвильовий алгоритм, маршрут.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Забезпечення національної безпеки України потребує реалізації прикордонної безпеки [1]. На сьогодні це неможливе без впровадження нових підходів до охорони кордону з відповідним інформаційним забезпеченням. З цією метою у Державній прикордонній службі України (ДПСУ), зокрема, створюються підрозділи швидкого реагування. Плани розвитку прикордонного відомства передбачають всебічне, у тому числі і інформаційне, забезпечення цих підрозділів.

Використання підрозділів швидкого реагування передбачає необхідність їх швидкого висунення в заданий район з застосуванням різних сучасних транспортних засобів (всюдиходів, квадроциклів, снігоходів та ін.). Можливості цих транспортних засобів значною мірою залежать від властивостей ділянок місцевості з урахуванням погодно-кліматичних умов. Тактика використання підрозділів швидкого реагування з метою забезпечення постійного управління ними передбачає наявність ультракороткохвильового (УКХ) радіозв'язку при їх пересуванні. Сукупність цих факторів обумовлює особливу постановку завдання визначення маршрутів для даних підрозділів. Визначення таких маршрутів має бути реалізоване в системі геоінформаційного забезпечення „Гарт-17”, яка є складовою інтегрованою інформаційно-телекомунікаційною системою ДПСУ „Гарт”.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори.** Завдання побудови маршрутів вивчаються в багатьох дослідженнях. При побудові найкоротших маршрутів вздовж мережі доріг, які описуються зваженим графом з визначенням початкової і кінцевої вершин, дана задача стала класичною. Для її вирішення застосовують алгоритм Дейкстри, або інші, більш сучасні методи, зокрема мурашиний алгоритм [2].

Побудова маршруту на довільній місцевості з урахуванням можливих перешкод є більш складним завданням [3]. Для його розв'язання використовують алгоритм Лі (хвильовий алгоритм), який реалізує пошук маршруту на планарному графі і ґрунтується на методах „пошуку в ширину”. Для побудови маршрутів на довільній місцевості з обходом перешкод також використовують: алгоритм  $A^*$ , алгоритм  $HPA^*$  (дворівневий  $A^*$ ) та інші алгоритми [4].

Задача ще більш ускладнюється при потребі врахування, окрім перешкод, інших додаткових факторів. Головним показником, який визначає побудову маршруту, при цьому,

є маска місцевості. Дана маска представляє собою числову матрицю, елементи якої описують відповідні їм точки місцевості з точки зору доцільності прокладання через них маршруту.

Побудова маршрутів в завданнях охорони державного кордону розглянута в ряді робіт [5 – 7]. Базова постановка завдання та шляхи його розв’язання визначені у [5 – 6].

У [7], при визначенні маски місцевості, велика увага приділена забезпеченості радіозв’язком.

Для врахування цього використовується ймовірнісний показник, отриманий з використанням статистичного аналізу рельєфу місцевості. Однак, при описі рельєфу місцевості, у даному дослідженні використаний лише рівномірний закон розподілу. Проте, як показано в [8], для статистичного представлення висот певних ділянок місцевості, кращими є інші закони розподілу, які, в окремих випадках, потребують коригування [9]. Необхідний науково-методичний апарат для врахування забезпеченості радіозв’язком при використанні цих розподілів наведений в [10].

Все це робить актуальним дослідження, щодо вдосконалення визначеної у [7] методики за рахунок використання різних законів розподілу, адекватних рельєфу місцевості.

**Мета статті.** З урахуванням цього, метою даної роботи є вдосконалення методики побудови маски хвильового алгоритму для пошуку маршрутів підрозділів швидкого реагування прикордонного відомства за рахунок використання різних розподілів висот, адекватних рельєфу місцевості.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відповідно до [5 – 7], задача побудови маршруту на довільній місцевості може бути вирішена з використанням хвильового алгоритму (алгоритму Лі), або інших подібних алгоритмів. Основним показником, який в цих алгоритмах визначає формування маршруту, є маска місцевості.

Маска місцевості представляє собою двомірну матрицю, елементи якої описують точки місцевості. Звичайним є підхід, при якому менші значення елементів, окрім 0, відповідають кращим точкам місцевості з точки зору побудови маршруту. Нульове значення, звичайно, резервується для позначення ділянок, через які неможливе проведення маршруту. У [7] запропонована методика визначення маски місцевості в задачах оперативно-службової діяльності прикордонного відомства. У цій методиці враховувались особливості прохідності місцевості різними транспортними засобами в різних погодних умовах, потреби забезпечення підрозділів ДПСУ УКХ радіозв’язком і неможливість використання для маршрутів окремих ділянок місцевості. Ці аспекти представлені у комплексному показнику, який при можливості прокладання маршруту через ділянку  $(i, j)$  у [7] має наступний вигляд:

$$\tilde{M}_{ij} = \omega_1 \cdot (254 \cdot \bar{P}_{зв}(i, j) + 1) + \omega_2 \cdot (254 \cdot (1 - \frac{\tilde{v}_{ij}}{v_m}) + 1), \quad (1)$$

де:  $\tilde{M}_{ij}$  – нечіткі елементи маски місцевості;

$\bar{P}_{зв}(i, j)$  – ймовірність відсутності радіозв’язку з ділянкою  $(i, j)$ ;

$\tilde{v}_{ij}$  – нечітка швидкість пересування транспортного засобу по ділянці  $(i, j)$  з урахуванням різних факторів;

$v_m$  – максимальна швидкість пересування транспортного засобу;

$\omega_1, \omega_2$  – вагові коефіцієнти, до яких висувається умова  $\omega_1 + \omega_2 = 1$ .

Таке визначення маски місцевості забезпечує значення її елементів для прохідних ділянок місцевості в діапазоні [1, 255], що є необхідним для функціонування хвильового алгоритму при однобайтному кодуванні маски.

Другий доданок в (1) враховує прохідність ділянок місцевості з точки зору швидкостей транспортного засобу, яка забезпечується на цих ділянках. При цьому враховуються: характеристики вибраного транспортного засобу, погодні умови та інформація про характер ділянок з геоінформаційної системи ДПСУ „Гарт-17”. Однак, оскільки на значення швидкості можуть вплинути і інші фактори (динаміка зміни погодних умов, рельєф

місцевості та ін.), швидкість  $\tilde{v}_{ij}$  транспортного засобу на ділянці місцевості  $(i,j)$  визначається як нечітка величина [7]. Внаслідок цього елементи маски місцевості  $\tilde{M}_{ij}$  також є нечіткими величинами, що враховується у методиці побудови маски хвильового алгоритму [7].

При прокладанні маршруту для підрозділів швидкого реагування прикордонного відомства важливо забезпечити наявність УКХ радіозв'язку [7]. З цією метою, до (1) у першому доданку включений ймовірнісний показник відсутності радіозв'язку.

При його визначенні у [7] використовується статистичний опис висот місцевості з використанням функції густини розподілу. Для спрощення викладок у [7] закон розподілу прийнято рівномірним

$$W(H) = \frac{1}{(H_{\max} - H_{\min})}, \quad (2)$$

де:  $W(H)$  – функція густини ймовірності випадкової величини  $H$ ;

$H_{\min}$  – мінімальне  $H_{\max}$  – граничні (та максимальне) значення висот випадкового рельєфу.

Однак, цей закон розподілу приводить до суттєвого спрощення опису висот, внаслідок чого втрачається інформація про особливості рельєфу місцевості. Як показано в [8 – 9], емпіричний розподіл для багатьох ділянок місцевості суттєво відрізняється від рівномірного і лише в окремих достатньо рідких випадках доцільне використання рівномірного розподілу (рис. 1).

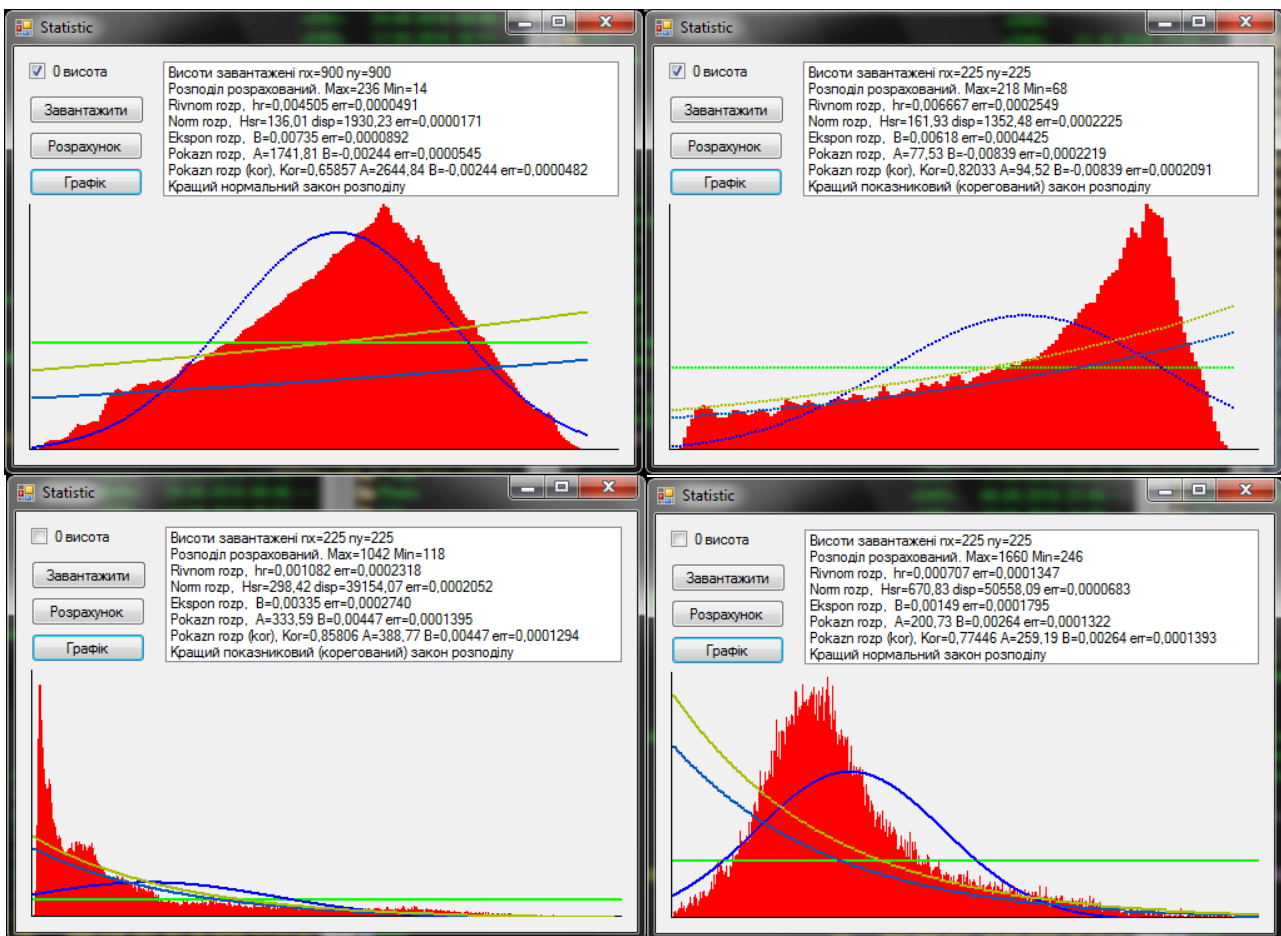


Рис. 1 Апроксимація емпіричних розподілів висот для різних ділянок місцевості

З аналізу рельєфу різних за фізико-географічними умовами ділянок місцевості випливає, що в багатьох випадках середньоквадратична помилка є суттєво меншою при

використанні нормального закону розподілу (3) та, в окремих випадках, показникового (експоненціального) закону розподілу (4). Використання цих розподілів у порівнянні з рівномірним дозволяє суттєво зменшити помилку апроксимації (середньоквадратична помилка апроксимації зменшується у середньому на 43 %) (рис.1). При цьому необхідно врахувати особливості проведення апроксимації, описані у [9].

$$W(H) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(H-\bar{H})^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

$$W(H) = \alpha \cdot e^{-\beta \cdot H}, \quad (4)$$

де:  $W(H)$  – функція густини ймовірності випадкової величини  $H$ ;

$\bar{H}$  – математичне очікування  $H$ ;

$\sigma^2$  – дисперсія  $H$ ;

$\alpha, \beta$  – параметри показникового розподілу.

Ймовірнісний показник наявності радіозв'язку, при використанні таких законів розподілу (нормального та показникового), досліджено у [10]. Ймовірність наявності радіозв'язку (5) розглядається, як ймовірність складної події, яка полягає: в неперевищенні максимальної відстані для встановлення радіозв'язку, обумовленої кривизною земної поверхні; не перекриття випадковим рельєфом першої зони Френеля; забезпечення достатнього рівня сигналу в точці прийому [10].

$$P_{зв} = P\{R < R_{гран}\} \cdot P\{\eta < b_1\} \cdot P\{U_c > U_3 \mid \left. \begin{matrix} R < R_{гран} \\ \eta < b_1 \end{matrix} \right\}, \quad (5)$$

де:  $P_{зв}$  – ймовірнісний показник наявності радіозв'язку;

$P\{R < R_{гран}\}$  – ймовірність того, що відстань між кореспондентами не перевищує гранично допустимої  $R_{гран}$  (для рівної поверхні);

$P\{\eta < b_1\}$  – ймовірність того, що випадковий рельєф між кореспондентами не перекриває першої зони Френеля;

$P\{U_c > U_3 \mid \left. \begin{matrix} R < R_{гран} \\ \eta < b_1 \end{matrix} \right\}$  – ймовірність перевищення рівнем сигналу в точці прийому рівня

$U_3$  при виконанні попередніх умов.

У [10], для співмножників (5), при використанні нормального та показникового законів розподілу висот місцевості, отримані аналітичні залежності або, в більш складних випадках, вирази, які потребують використання методів чисельного інтегрування (підінтегральні вирази занадто складні для знаходження результатів в аналітичному вигляді).

Враховуючи вищевикладене, пропонується вдосконалити методику побудови маски хвильового алгоритму для пошуку маршрутів підрозділів швидкого реагування прикордонного відомства наступним чином:

Для кожної ділянки місцевості, щодо якої обчислюється (5), проводити аналіз емпіричного розподілу висот і за критерієм мінімальності середньоквадратичної помилки визначати, який з класичних розподілів (рівномірний, нормальний, показниковий) забезпечує мінімальну помилку апроксимації;

Для визначеного у попередньому кроці закону розподілу, з використанням викладених у [10] виразів, проводити обчислення ймовірнісного показника наявності радіозв'язку.

На основі (1) проводити розрахунок маски місцевості, аналогічно до визначеної у [7] методики.

**Висновки.** Проведення аналізу емпіричного розподілу висот місцевості, з вибором найкращого для апроксимації класичного закону розподілу, дозволяє суттєво покращити точність опису рельєфу.

Використання нормального та показникового законів розподілу при статистичному описі різних за фізико-географічними умовами ділянок забезпечує, в середньому, на 43 %

меншу середньоквадратичну помилку апроксимації в порівнянні з використанням лише рівномірного розподілу.

У зв'язку з цим, запропоноване вдосконалення методики побудови маски хвильового алгоритму для пошуку маршрутів підрозділів швидкого реагування прикордонного відомства, хоча і дещо ускладнить проведення розрахунку ймовірнісного показника наявності радіозв'язку, проте дозволить більш точно врахувати рельєф місцевості.

Напрямок подальших досліджень вбачається розробка відповідного програмного забезпечення, яке реалізує вдосконалену методику.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бірюков В. П. Прикордонна безпека як складова національної безпеки України / В. П. Бірюков // Південноукраїнський правничий часопис. – 2013. – № 2. – С. 88 – 92.
2. Сопіжук Б. В. Дослідження комп'ютерної системи пошуку оптимального маршруту з динамічним вибором алгоритму / Б. В. Сопіжук, М. А. Демидюк // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2013. – № 12. – С. 70 – 74.
3. Шаповалова С. І. Оптимізація пошуку маршруту на топографічних картах / С.І. Шаповалова, Д. К. Радченко // Адаптивні системи автоматичного управління: міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2013. – № 1 (22). – С. 60 – 65. – Бібліогр.: 4 назви.
4. Online Graph Pruning for Pathfinding on Grid Maps [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://users.cecs.anu.edu.au/~dharabor/data/papers/harabor-grastien-aaai11.pdf>.
5. Катеринчук І.С., Рачок Р.В., Мул Д.А. Використання хвильового алгоритму для визначення раціонального маршруту руху в геоінформаційних системах // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України № 40. – Хмельницький: НАДПСУ, 2007. – Ч. 2. – С. 29 – 30.
6. Катеринчук І.С. Алгоритм для визначення раціонального маршруту руху в геоінформаційних системах / І.С. Катеринчук, Р.В. Рачок // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка № 28; [гол. ред. Ленков С.В.]. – К.: Видавництво ВІКНУ, 2010. – С. 320 – 322.
7. Шпорт М. М. Методика побудови маски хвильового алгоритму для пошуку раціональних маршрутів, необхідних для розв'язання завдань оперативно-службової діяльності Державної прикордонної служби України. [Електронний ресурс] / М. М. Шпорт. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2014. – Вип. 2. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNTUV\\_2014\\_2\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNTUV_2014_2_10).
8. Рачок Р.В. Аналіз статистичних розподілів висот прикордонної місцевості з використанням геоінформаційної системи / Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки: наукове видання / [гол. ред. Олексієнко Б.М.]. – Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2016. – № 3 (69). – С. 299 – 308.
9. Боровик О.В., Рачок Р.В. Особливості визначення функцій густини розподілу висот місцевості / Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. – Випуск № 1. – Київ: ВІТІ, 2017. – С. 28 – 36.
10. Рачок Р.В. Оцінка завадостійкості системи зв'язку при урахуванні різних законів розподілу висот місцевості і відстані між абонентами // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. – №1. – С. 186 – 188.