

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІОЗВ'ЯЗКОМ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ ПОБУДОВИ МАРШРУТІВ НЕСЕННЯ СЛУЖБИ ПРИКОРДОННИМИ НАРЯДАМИ

Микола Шпорт

Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Україна



ШПОРТ Микола Миколайович

Рік та місце народження: 1982 рік, с. Іванівка, Хмельницька область, Україна.
Освіта: Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», 2004 рік.
Посада: ад'юнкт Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького.
Наукові інтереси: радіозв'язок, геоінформаційні системи, покриття.
Публікації: 4 наукові статті.
E-mail: shport_nik@ukr.net

Анотація Сьогодні інформаційна складова відіграє дуже важливу роль в організації охорони державного кордону. Геоінформаційні системи дозволяють ефективно й надійно зберігати та обробляти інформацію. У статті запропоновано використовувати імовірнісний показник для урахування наявності радіозв'язку при побудові маршрутів несення служби прикордонними нарядами. В запропонованому імовірнісному показнику враховані наступні фактори: імовірність того, що відстань не перевищує гранично допустимую; імовірність того, що випадковий рельєф між кореспондентами не перекриває першу зону Френеля та імовірність перевищення рівнем сигналу в точці прийому при виконанні попередніх умов.

Ключові слова: радіозв'язок, раціональний маршрут, зони Френеля, інформація, геоінформаційна система.

Вступ

Аналіз сучасних підходів до організації охорони державного кордону свідчить про зростання ролі інформаційної складової в охороні кордону. При цьому, абсолютна більшість оперативно-службових дій елементів оперативної побудови пов'язана з необхідністю використання географічної прив'язки цих дій до конкретних ділянок відповідальності.

Аналіз сучасних підходів до вирішення завдань зберігання і обробки інформації з географічною прив'язкою дозволяє зробити висновок про те, що при їх вирішенні доцільне використання геоінформаційних систем (ГІС) [1].

Сучасні геоінформаційні системи дозволяють не лише вирішувати задачі зберігання інформації з геоприв'язкою, але і розв'язувати більш складні проблеми аналізу інформації з використанням геомоделювання.

Окремим класом задач геомоделювання є задачі побудови маршруту руху елементів службового порядку підрозділів охорони кордону.

На відміну від більшості класичних підходів до вибору раціональних маршрутів, коли мінімізується час або вартість пересування, в ГІС ДПСУ при побудові маршрутів необхідно врахувати низку додаткових факторів в умовах невизначеності вихідної інформації. Все це потребує розробки науково-методичного апарату побудови раціональ-

них маршрутів з урахуванням специфіки організації оперативно-службової діяльності (ОСД) ДПСУ. При цьому існує ряд факторів, які необхідно врахувати при побудові маршруту.

Одним з таких факторів є необхідність забезпечення прикордонних нарядів радіозв'язком та забезпечення мобільного функціонування автоматизованих робочих місць при пересуванні прикордонних нарядів по маршруту руху.

У зв'язку з цим, **метою дослідження** є визначення показника забезпеченості радіозв'язком елементів службового порядку підрозділів охорони кордону при побудові маршрутів несення служби.

Відповідно до [1,2] для вирішення складних задач побудови маршрутів з урахуванням багатьох факторів доцільним є використання хвильового методу. Цей метод дозволяє будувати маршрути на довільній місцевості, а не лише вздовж чітко визначених доріг. Окрім цього перевагою хвильового алгоритму є закладені в ньому потенційні можливості врахування значного числа факторів, які визначатимуть раціональність побудованого маршруту. Основним показником, який впливає на вибір маршруту в хвильовому методі є маска місцевості – матриця M . Кожен елемент $M - m_{ij}$ є числом, що визначає перевагу відповідного елемента місцевості при побудові маршруту. У традиційній реалізації хвильового методу нульове значення цього показника відповідає відсутності можливості

пересування по відповідному елементу місцевості (рис. 1).

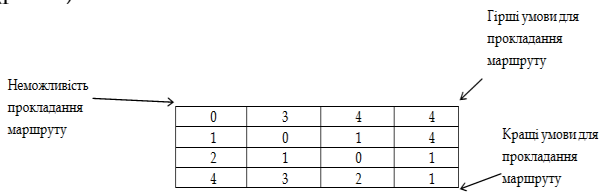


Рис. 1. Інтерпретація маски місцевості хвильового алгоритму

Звичайно в традиційних задачах застосування хвильового алгоритму значення елементів матриці M вибираються виходячи з прохідності місцевості або вартості (наприклад, витратам пального) пересування по маршруту. Іноді використовується комплексний показник, який враховує і прохідність місцевості і витрати пального. Крім того, в оперативно-службовій діяльності необхідно враховувати забезпеченість прикордонних нарядів радіозв'язком.

При побудові маски місцевості з метою зменшення обчислювальної складності і виконання вимог до ресурсів обчислювальної системи необхідно зменшувати роздільну здатність при дискретизації. У зв'язку з цим, показник наявності радіозв'язку має описувати не конкретну точку місцевості, а характеризувати певну її ділянку, яка покривається елементом маски місцевості m_{ij} . Це вимагає провести певне узагальнення рельєфу ділянки місцевості і визначити показник для цієї ділянки в цілому.

При вирішенні задач такого класу звичайно використовується статистична теорія зв'язку, в якій 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 розміщення кореспондентів [3]. Особливості прикордонних ділянок місцевості при цьому проявляються в різних розподілах висот та інших факторів.

Відповідно до цього, в якості показника доцільно вибрати імовірність наявності радіозв'язку з абонентом, який знаходиться в довільному місці в межах ділянки місцевості з урахуванням її рельєфу.

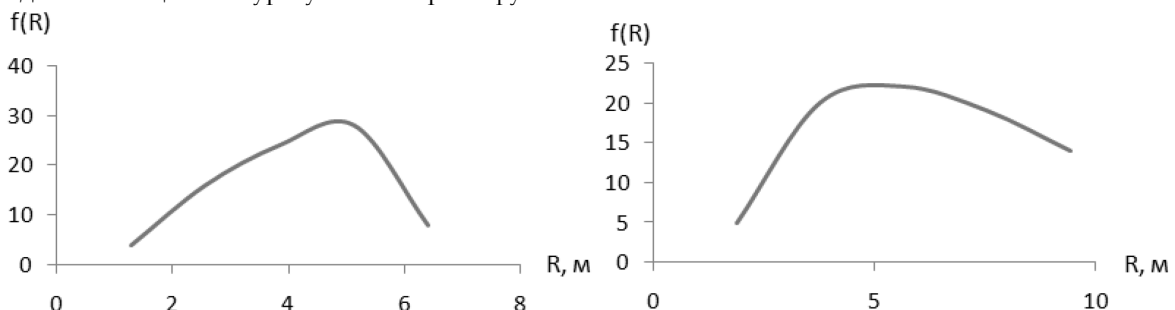


Рис. 2. Вигляд функції розподілу відстаней до базової станції на незначному віддаленні від базової станції

При розташуванні базової станції на незначному віддаленні (спів мірному з розмірами кроку дискретизації) або в межах ділянки місцевості закони розподілу відстаней мають наступний вигляд (рис. 2).

Для визначення цього імовірнісного показника побудуємо статистичну модель, яка враховує основні фізичні фактори, що перешкоджають прийому аналогових сигналів.

Ефективність прийому радіосигналів будемо описувати забезпеченням в точці прийому необхідного співвідношення сигнал/завада. Будемо вважати, що пряма радіовидимість має місце тоді, коли на радіотрасі немає перешкод, які повністю перебивають першу зону Френеля [4]. При цьому наявність зв'язку є імовірність події [4]:

$$P_{зв} = P\{R < R_{\text{фран}}\} \cdot P\{\gamma < \varepsilon_1\} \cdot P\{U_{\text{сиг}} > U_{\text{зав}} \mid \begin{matrix} R < R_{\text{фран}} \\ \gamma < \varepsilon_1 \end{matrix} \},$$

де $U_{\text{сиг}}$ - рівень сигналу; $U_{\text{зав}}$ - рівень завади ($U_{\text{зав}} = \Omega U_{\text{вх}}$); $U_{\text{вх}}$ - чутливість приймача; Ω - задане перевищення $U_{\text{сиг}}$ над $U_{\text{вх}}$; $P\{R < R_{\text{фран}}\}$ - імовірність того, що відстань не перевищує гранично допустимого $R_{\text{фран}}$ (для рівної поверхні), обумовленою кривизною земної кулі; $P\{\gamma < \varepsilon_1\}$ - імовірність того, що випадковий рельєф між кореспондентами не перебиває першої зони Френеля;

$P\{U_{\text{сиг}} > U_{\text{зав}} \mid \begin{matrix} R < R_{\text{фран}} \\ \gamma < \varepsilon_1 \end{matrix} \}$ - імовірність перевищення рівнем сигналу в точці прийому рівня U_z при виконанні попередніх умов.

Аналіз рельєфу прикордонних регіонів з урахуванням типових розмірів ділянок дискретизації хвильового алгоритму дозволяє зробити висновок про те, що для опису можливо використати рівномірний закон розподілу висот:

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

де H_{min} , H_{max} - граничні значення висот випадкового рельєфу.

Визначимо закон розподілу віддалення рухомого абонента в системі рухомого зв'язку. Для визначення відстаней будемо використовувати декартову систему координат з початком координат у верхньому лівому куті карти. Проведемо моделювання закону розподілу відстаней для різних варіантів взаємного розташування базової станції і дискретної ділянки місцевості.

Слід зауважити, що при невеликих відстанях від базової станції апріорно забезпечується стійкий зв'язок. У зв'язку з цим при незначному віддаленні незважаючи на вигляд закону розподілу відстані є настільки малими, що не впливатимуть на

імовірнісний показник. Таким чином, для спрощення подальших досліджень можливо використати рівномірний закон розподілу відстаней до базової станції.

Відповідно до рис. 2, координати центра ділянки визначатимуться наступним чином:

$$x_c(i) = \frac{x_2(i) + x_1(i)}{2}, \quad y_c(j) = \frac{y_2(i) + y_1(i)}{2}.$$

Відстань R_0 від базової станції до центра ділянки визначається виходячи з евклідової метрики:

$$R_0 = \sqrt{(x_0 - x_c)^2 + (y_0 - y_c)^2}.$$

В межах ділянки дискретизації можливе відхилення від R_0 на відстань

$$\Delta R = \frac{\sqrt{d^2 + d^2}}{2} = \frac{d}{\sqrt{2}}.$$

При використанні рівномірного закону розподілу отримаємо наступний його вигляд:

$$W(R) = \begin{cases} W_1(R), & R_{\min} \leq R \leq R_{\max}, \\ 0, & R \leq R_{\min} \cup R_{\max} \leq R. \end{cases}$$

$$W_1(R) = \frac{1}{(R_{\max} - R_{\min})} = \frac{1}{R_0 + \frac{d}{\sqrt{2}} - R_0 - \frac{d}{\sqrt{2}}} = \frac{1}{d \cdot \sqrt{2}}.$$

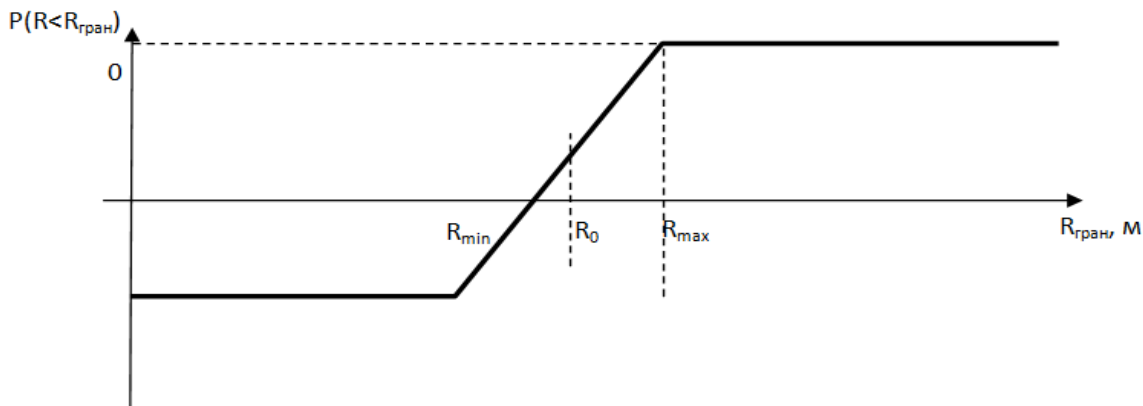


Рис. 3. Вигляд залежності імовірності не перевищення відстані до абонента гранично допустимої

Оскільки для більшості ділянок дискретизації $(R_{\max} - R_{\min}) \ll R_0$, при виконанні цієї умови можливо наближено прийняти:

$$P(R < R_{\text{гран}}) = \begin{cases} 0, & R_{\text{гран}} < R_0; \\ 1, & R_{\text{гран}} > R_0. \end{cases} \quad (1)$$

Побудуємо (4) для $h_1=1 \text{ m}$, $h_2=10 \text{ m}$ для регіону місцевості розмірами (50 км, 50 км) і координатами базової станції (15 км, 11 км).

Розглянемо другий співмножник у (1), знаходити який ми будемо для всієї місцевості в цілому, оскільки в теорії статистичного радіозв'язку ця імовірність використовується як узагальнений показник для опису великих площ [5]:

$$\text{де } R_{\min} = R_0 - \frac{d}{\sqrt{2}}; \quad R_{\max} = R_0 + \frac{d}{\sqrt{2}}.$$

Розглянемо при цьому законі розподілу відстаней перший співмножник у (1).

$$P(R < R_{\text{гран}}) = \int_{R_{\min}}^{R_{\text{гран}}} W(R) dR = \int_{R_{\min}}^{R_{\text{гран}}} \frac{dR}{d \cdot \sqrt{2}},$$

$$P(R < R_{\text{гран}}) = \begin{cases} 0, & R_{\text{гран}} < R_{\min}; \\ \frac{R_{\text{гран}} - R_{\min}}{d \cdot \sqrt{2}}, & R_{\min} \leq R_{\text{гран}} \leq R_{\max}; \\ 1, & R_{\text{гран}} > R_{\max}, \end{cases}$$

де $R_{\text{гран}} = 3.57 \cdot 10^3 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$ - гранична дальність зв'язку в метрах (h_1, h_2 - висоти антен в метрах) [4]. Розкриємо у (2) вираз для $R_{\min} \leq R_{\text{гран}} \leq R_{\max}$.

$$\begin{aligned} \frac{R_{\text{гран}} - R_{\min}}{d \cdot \sqrt{2}} &= \frac{3.57 \cdot 10^3 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) - R_0 + \frac{d}{\sqrt{2}}}{d \cdot \sqrt{2}} = \\ &= \frac{3.57 \cdot 10^3 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) - R_0}{d \cdot \sqrt{2}} + 0,5 = \\ &= \frac{3.57 \cdot 10^3 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) - \sqrt{(x_0 - x_c(i))^2 + (y_0 - y_c(j))^2}}{d \cdot \sqrt{2}} + 0,5. \end{aligned}$$

Побудуємо графік залежності (2) від $R_{\text{гран}}$.

$$P(\gamma < \varepsilon_1) = \int_{\varepsilon_{1\min}}^{\varepsilon_{1\max}} F_\gamma(\varepsilon_1) W(\varepsilon_1) d\varepsilon_1, \quad (2)$$

де $F_\gamma(\varepsilon_1)$ - інтегральна функція розподілу висот рельєфу; $W(\varepsilon_1)$ - густина імовірності радіуса першої зони.

Знаходити величину першої зони Френеля ε_1 будемо на середині радіотраси R [5]:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\lambda \cdot \frac{R}{3}}, \quad (3)$$

де λ - довжина хвилі.

Таким чином, у випадку рівномірного закону розподілу висот місцевості (наближено може використовуватись для опису більшості прикордонних регіонів):

$$F_\gamma(\varepsilon_1) = \int_0^{\varepsilon_1} W(H) dH = \int_0^{\varepsilon_1} \frac{dH}{H_{\max} - H_{\min}} = \frac{\varepsilon_1}{H_{\max} - H_{\min}}, \quad (4)$$

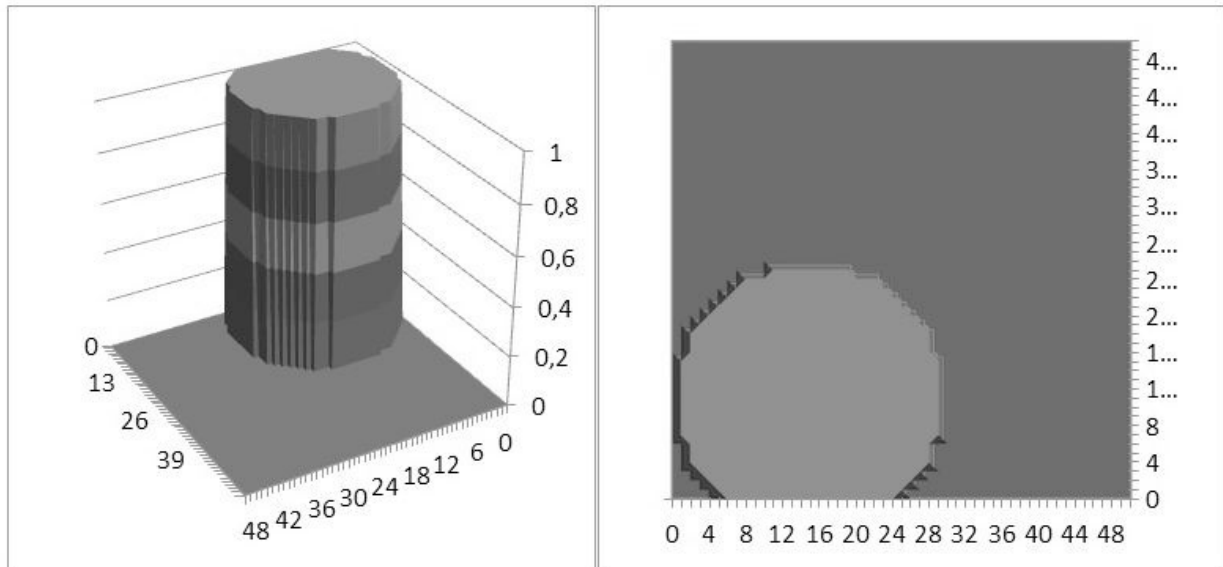


Рис. 4. Видяг залежності імовірності не перевищення відстані до абонента гранично допустимої для регіону місцевості

$$W(\varepsilon_1) = W[R = R(\varepsilon_1)] \cdot \left| \frac{dR}{d\varepsilon_1} \right|, \quad (5)$$

$$W(\varepsilon_1) = \frac{2 \cdot \varepsilon_1}{\varepsilon_{1\max}^2 - \varepsilon_{1\min}^2}, \quad (6)$$

$$P(\gamma < \varepsilon_1) = \frac{2}{(H_{\max} - H_{\min})(\varepsilon_{1\max}^2 - \varepsilon_{1\min}^2)} \int_{\varepsilon_{1\min}}^{\varepsilon_{1\max}} \varepsilon_1^2 d\varepsilon_1. \quad (7)$$

В спрощеному випадку, для $H_{\min}=0$, $R_{\min}=0$ та $R_{\text{сеп}}=0,5R_0$.

$$P(\gamma < \varepsilon_1) = \frac{1}{2H_{\max}} \sqrt{\frac{2\lambda \cdot R_{\text{сеп}}}{3}}. \quad (8)$$

Розглянемо третій співмножник у (1):

$$P\{U_c > U_3 \mid \gamma < \varepsilon_1\} = \int_{U_3}^{U_{c\max}} W(U_c) dU_c, \quad (9)$$

$$W(U_c) = W[R = R(U_c)] \cdot \left| \frac{dR}{dU_c} \right|. \quad (10)$$

Слід відмітити, що область визначення функції розподілу (10) $\left(U_{c\min} = \frac{k}{R_{\max}^2}, U_{c\max} = \frac{k}{R_{\min}^2} \right)$, поза якою вона дорівнює 0.

Враховуючи [5] $U_{\text{св}} = k \cdot R^{-2}$, де $k = \sqrt{P_1 G_1 G_2 \eta_1 \eta_2} W_{\text{св}} (h_1^2 + h_0^2)(h_2^2 + h_0^2)$; P_1 - потужність передавача; G_1, G_2, η_1, η_2 - коефіцієнти підсилення і коефіцієнти корисної дії антенно-фідерних трактів передавальної і приймальної систем; $W_{\text{св}}$ - вхідний опір приймача; H_0 - мінімальна ефективна висота антени.

Після підстановки (9) у (10) та інтегрування з урахуванням обмеження на область визначення функції розподілу отримаємо:

$$P\{U_c > U_3 \mid \gamma < \varepsilon_1\} = \begin{cases} \left(\frac{1}{\sqrt{U_3}} - \frac{R_{\min}}{\sqrt{k}} \right) \sqrt{k} & U_3 > U_{c\min}; \\ \frac{(R_{\max} - R_{\min})}{(R_{\max} - R_{\min})} & U_3 \leq U_{c\min}; \\ 0 & U_3 > U_{c\max}. \end{cases} \quad (11)$$

Видяг залежності (1) для сукупності параметрів ($G_1=G_2=1$; $\eta_1=\eta_2=0,9$; $W_{\text{св}}=75$ Ом; $h_0=1$ м; $U_3 = \alpha U_{\text{св}} = 3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} \text{В} = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{В}$) представлений на рис. 4.

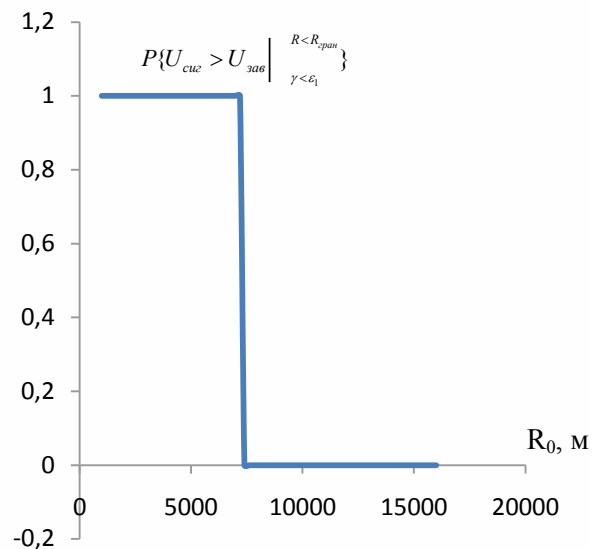


Рис. 4. Імовірність досягнення необхідного рівня сигналу в точці прийому

Слід відмітити, що оскільки при визначенні першого і останнього співмножника у (1) області визначення у функціях розподілу брались в межах ділянки дискретизації з урахуванням того що крок дискретизації значно менший за відстані до базової

станції, границі переходу імовірності від 1 до 0 є чіткими.

$$\text{Використання } P(R < R_{\text{гран}}) = \begin{cases} 0, R_{\text{гран}} < R_0; \\ 1, R_{\text{гран}} > R_0. \end{cases} \text{ разом з (8),}$$

(11) дозволяє для кожної ділянки дискретизації місцевості (елементу маски місцевості) на основі (1) обчислити імовірність наявності радіозв'язку.

Висновки

У результаті проведених досліджень визначено, що для врахування наявності радіозв'язку при побудові раціональних маршрутів можливо використати імовірнісний показник (формула 1). В запропонованому імовірнісному показнику мають бути враховані наступні фактори: імовірність того, що відстань не перевищує гранично допустимую; імовірність того, що випадковий рельєф між кореспондентами не перекриває першої зони Френеля; імовірність перевищення рівнем сигналу в точці прийому рівня U_3 при виконанні попередніх умов.

УДК 621.396:351.746.1 (045)

Шпорт Н.Н. *Определение показателя обеспеченности радиосвязи при решении задач построения маршрутов несения службы пограничными нарядами.*

Аннотация. Сегодня информационная составляющая играет очень важную роль в организации охраны государственной границы. Геоинформационные системы позволяют эффективно и надежно хранить и обрабатывать информацию. В статье предложено использовать вероятностный показатель для учета наличия радиосвязи при построении маршрутов несения службы пограничными нарядами. В предложенном вероятностном показателе учтены следующие факторы: вероятность того, что расстояние не превышает предельно допустимую; вероятность того, что случайный рельеф между корреспондентами не перекрывает первой зоны Френеля и вероятность превышения уровня сигнала в точке приема при выполнении предварительных условий.

Ключевые слова: радиосвязь, рациональный маршрут, зоны Френеля, информация, геоинформационная система.

Shport M.M. *Definition of indicator provide radio communication in solving problems of route planning performance of duty border patrol*

Abstract. Information component plays a very important role in the organization of the state border security today. Geographic information systems can efficiently and reliably store and process the information. This article proposed to use probability indicator to account for the presence of radio communications in the construction of routes duty border patrol. The proposed probabilistic index takes into account the following factors: the probability that the distance does not exceed the maximum allowable, and the probability that a random relief between the correspondents does not overlap the first Fresnel zone and the probability of exceeding the signal level at the receiving point in the performance preconditions.

Key words: radio, rational route, Fresnel zones, information, geographic information system.

Література

[1] Катеринчук І.С., Рачок Р.В. Алгоритм для визначення раціонального маршруту руху в геоінформаційних системах // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка №28 / головний редактор Ленков С.В. — Київ: Видавництво ВІКНУ, 2010. — С. 320-322.

[2] Боровик О.В., Рачок Р.В. Использование волнового алгоритма для определения рационального маршрута движения // Сборник статей V Международной научно-технической конференции «Информационно-вычислительные технологии и их приложения». — Пенза: РИО ПГСХА. — 2006. — С.26-29.

[3] 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.

[4] Калинин А.И., Черенкова Е.А. Распространение радиоволн и работа радиолоний. — М.: Связь, 1971. — 440 с.

[5] Шарапов И.П. Функция распределения высот рельефа. Рельеф Земли и математика. — М.: Мысль, 1982. — С. 72-79.

Отримано 25 вересня 2013 року, затверджено редколегією 14 жовтня 2013 року