

УДК 528.29

Юрій ДАНИК,
доктор технічних наук, професор,
Інститут інформаційних технологій Національного університету
оборони України імені Івана Черняховського, м. Київ

Ігор БАЛИЦЬКИЙ,
кандидат технічних наук, доцент,
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

**КОРЕГУВАННЯ ДАНИХ ПРО ВИСОТИ
ПЕРЕШКОДЖАЮЧОГО РЕЛЬЄФУ
В ЗАДАЧАХ СТАТИСТИЧНОЇ ГЕООБРОБКИ
В ІНТЕРЕСАХ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ
БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ
В ОХОРОНІ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ**

У статті розглянуто окремі питання моделювання рельєфу місцевості засобами відомчої геоінформаційної системи у задачах контролю ділянок державного кордону з урахуванням впливу рельєфу місцевості на ефективність застосування безпілотних авіаційних комплексів. Запропоновано методика корегування даних про висоти перешкоджаючого рельєфу. Застосування даної методики доцільне в задачах геообробки з використанням імовірнісних моделей визначення видимості на основі статистичних даних про рельєф місцевості.

© Даник Ю., Балицький І.

Ключові слова: геообробка, висота, місцевість, перешкоди, рельєф, щільність розподілу.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Одним із напрямів ефективного застосування безпілотних авіаційних комплексів (БАК) є розбудова відомчої геоінформаційної системи (ГІС), перспективним напрямом якої є імплементація в ГІС засобів геообробки даних. Актуальним питанням ефективного застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є урахування перешкод рельєфу місцевості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В окремих задачах повітряного моніторингу використовуються ймовірнісні моделі, котрі ґрунтуються на статистичних даних висот місцевості. Як відомо, для статистичного опису рельєфу місцевості використовують різні класичні закони розподілу (рівномірний, нормальний, експоненціальний) [1–4]. Коректне визначення і застосування цих законів надаватиме можливості адекватно здійснювати статистичний опис висот певної ділянки державного кордону. Отримати такі дані можливо, зокрема, з проекту “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) [5]. Однак у багатьох задачах важливими є не абсолютні значення висот поверхні Землі (над рівнем моря), а висоти рельєфу місцевості з точки зору перешкоджання функціонуванню технічних засобів, у тому числі БПЛА, моніторингу державного кордону.

Усе це обумовлює актуальність дослідження – корегування даних про висоти місцевості в задачах статистичного дослідження перешкоджаючих властивостей рельєфу.

Метою статті є обґрунтування методики корегування даних про висоти перешкоджаючого рельєфу в задачах статистичної геообробки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дані про рельєф місцевості з проекту SRTM описують висоти з просторовою точністю 90 м (30 м для території США) і точністю по висоті 16 м. Ці висоти вказуються над рівнем моря. Однак при використанні окремих бортових технічних засобів контролю на БПЛА, навіть при незмінній висоті в межах досліджуваної ділянки, дальність виявлення буде обмежуватись кривизною земної поверхні. Цю кривизну можливо розглядати як додаткове викривлення в рельєфі для досліджуваної ділянки (рис. 1).

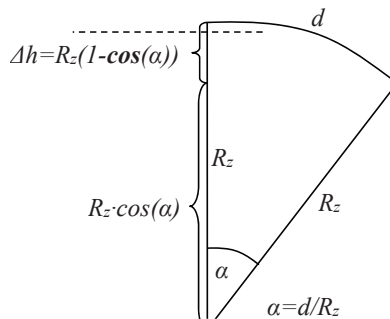


Рис. 1. Викривлення рельєфу, обумовлене кривизною земної поверхні:
 (d – відстань до точки на місцевості; R_z – радіус Землі; Δh – поправка по висоті,
 обумовлена кривизною земної поверхні)

Отже, методика корегування даних про висоти включатиме такі етапи:

визначення координат центру досліджуваної ділянки (x_c, y_c) ;

визначення відстані до центру $d = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}$ для кожної

точки місцевості (x, y) з даними про висоту h_0 ;

оцінка поправки по висоті $\Delta h = R_z(1 - \cos(d/R_z))$ та корегування висоти в (x, y) $h = h_0 - \Delta h$.

Іншим фактором, який потребує врахування при початковій обробці даних про висоти місцевості, є характеристика (форма) рельєфу. Якщо рельєф всієї ділянки являє собою площину (навіть похилу), то він не створюватиме перешкод для роботи різноманітних засобів (спостереження, радіозв'язку, управління безпілотними літальними апаратами). В окремих випадках рельєф місцевості може мати форму, близьку до відносно рівної площини. Це є більш характерним для рівнинної місцевості. Однак у випадках горбкуватої і гірської місцевості окремі ділянки (звичайно невеликі) можуть бути близькими до такої площини. Загалом, перешкоди рельєфу доцільно розглядати відносно площини, якою апроксимується форма рельєфу місцевості (рис. 2).

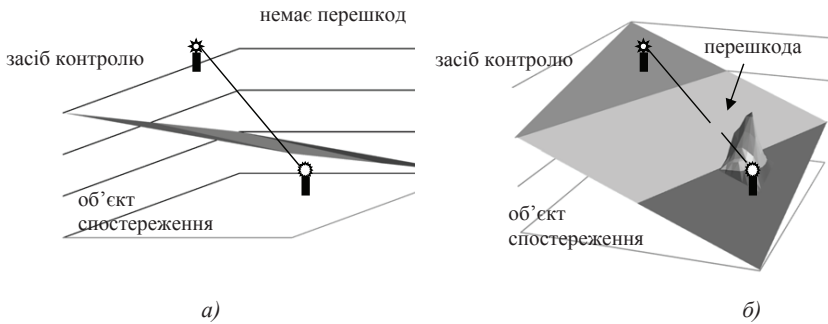


Рис. 2. Спостереження у випадку площинного рельєфу

Слід відмітити, що навіть у випадку, коли рельєф місцевості описується похилою площиною, закон щільності розподілу висот може мати складний вигляд, який залежить від орієнтації та величини кута нахилу (рис. 3). Унаслідок цього можуть бути зроблені хибні висновки про складність рельєфу місцевості і його перешкоджання використанню засобів спостереження і радіозв'язку.

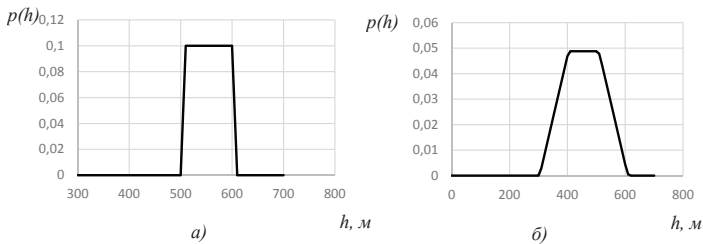


Рис. 3. Графіки густини розподілу висот площинного рельєфу

З рис. 3 можна зробити хибний висновок про наявність на досліджуваній ділянці місцевості елементів рельєфу з різними висотами, які можуть перешкоджати спостереженню чи поширенню радіохвиль.

Тому в окремих прикладних застосуваннях доцільно розглядати рельєф з точки зору його відхилень від площини. У цьому випадку необхідне додаткове корегування інформації про висоти. Потрібно отримати дані про відхилення висоти рельєфу від “базової” площини.

Саме ці відхилення утворюють перешкоди. У результаті буде отримано новий рельєф відхилень, подальший статистичний аналіз якого є доцільним в різноманітних задачах геообробки в інтересах ефективного застосування БАК в охороні державного кордону.

Для вирішення цього завдання проведемо апроксимацію висот місцевості (попередньо скорегованих з урахуванням кривизни земної поверхні) площиною. Площини у просторі можна описати рівнянням

$$h(x, y) = Ax + By + C, \quad (1)$$

де x, y – координати точки з висотою h ; A, B, C – коефіцієнти рівняння.

З використанням методу найменших квадратів отримуємо систему рівнянь для визначення коефіцієнтів A, B та C

$$\begin{cases} S_{x_2} \cdot A + S_{xy} \cdot B + S_x \cdot C = S_{xh}, \\ S_{xy} \cdot A + S_{y_2} \cdot B + S_y \cdot C = S_{yh}, \\ S_x \cdot A + S_y \cdot B + n \cdot C = S_h, \end{cases} \quad (2)$$

де $S_{x_2} = \sum_{i=1}^n x_i^2$; $S_x = \sum_{i=1}^n x_i$; $S_y = \sum_{i=1}^n y_i$; $S_{y_2} = \sum_{i=1}^n y_i^2$; $S_{xh} = \sum_{i=1}^n x_i h_i$; $S_{yh} = \sum_{i=1}^n y_i h_i$; $S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i$;
 $S_h = \sum_{i=1}^n h_i$; n – кількість точок з даними про висоту.

Розв'яжемо систему рівнянь (2) методом Крамера і отримуємо коефіцієнти у рівнянні (1).

$$\begin{aligned} A &= \frac{S_x(S_h \cdot S_{y_2} - S_y \cdot S_{yh}) + S_{xy}(n \cdot S_{yh} - S_h \cdot S_y) + S_{xh}(S_y^2 - n \cdot S_{y_2})}{S_{x_2}(S_y^2 - n \cdot S_{y_2}) + S_x^2 \cdot S_{y_2} - 2 \cdot S_x \cdot S_{xy} \cdot S_y + n \cdot S_{xy}^2}; \\ B &= \frac{S_{x_2}(S_h \cdot S_y - n \cdot S_{yh}) + S_x^2 \cdot S_{yh} - S_x \cdot S_{xh} \cdot S_y + S_{xy}(n \cdot S_{xh} - S_h \cdot S_x)}{S_{x_2}(S_y^2 - n \cdot S_{y_2}) + S_x^2 \cdot S_{y_2} - 2 \cdot S_x \cdot S_{xy} \cdot S_y + n \cdot S_{xy}^2}; \\ C &= \frac{S_{x_2}(S_y \cdot S_{yh} - S_h \cdot S_{y_2}) + S_{xy}(-S_x \cdot S_{yh} - S_{xh} \cdot S_y) + S_x \cdot S_{xh} \cdot S_{y_2} + S_h \cdot S_{xy}^2}{S_{x_2}(S_y^2 - n \cdot S_{y_2}) + S_x^2 \cdot S_{y_2} - 2 \cdot S_x \cdot S_{xy} \cdot S_y + n \cdot S_{xy}^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Слід відмітити, що (1) зазвичай буде перетинати поверхню рельєфу. Тому відхилення $h_i - h(x_p, y_i)$ можуть бути як додатними, так і від'ємними. Для отримання додатних відхилень висот від "базової" площини можливо побудувати площину, яка паралельна (1) і про-

ходить через точку $(x_{\min}, y_{\min}, h_{\min})$, яка відповідає мінімальній висоті рельєфу місцевості. Однак можливо отримати такий самий результат, визначивши $\min(h_i - h(x_p, y_p))$ та провівши корегування $(h_i - h(x_p, y_p)) - \min(h_i - h(x_p, y_p))$.

Застосуємо таке корегування для рельєфу рис. 2,б. Щільність розподілу висот місцевості початкового рельєфу подано на рис. 4.

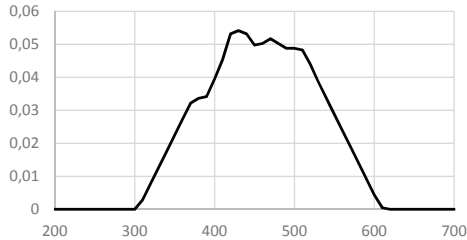


Рис. 4. Щільність розподілу висот для рельєфу рис. 2,б

Провівши порівняння рис. 4 з рис. 3,б, можливо зробити висновок про те, що структура рельєфу рис. 2,б є більш складною (функція дещо відрізняється від прямокутної або трапецієподібної). Однак статистична структура загороджуючої складової рельєфу все ще залишається прихованою. Використавши (3), отримаємо рівняння площини $h(x,y) = -4,91 \cdot x - 1,99 \cdot y + 599,1$ та проведемо корегування рельєфу.

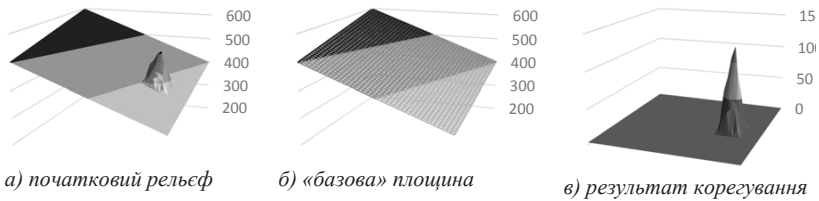


Рис. 5. Корегування рельєфу місцевості

Як видно з рис. 5,в, у результаті запропонованого корегування виділяються елементи рельєфу ділянки місцевості, які становлять перешкоди. Більшість площі досліджуваної ділянки після обробки має висоти близькі до 0, що відповідає незначним відхиленням від базової

площини. Ця територія не становить перешкод для функціонування засобів спостереження, радіозасобів та ін. І лише незначна частка досліджуваної ділянки характеризується висотами до 122 метрів. Усе це підкреслюють функції щільності розподілу (рис. 6).

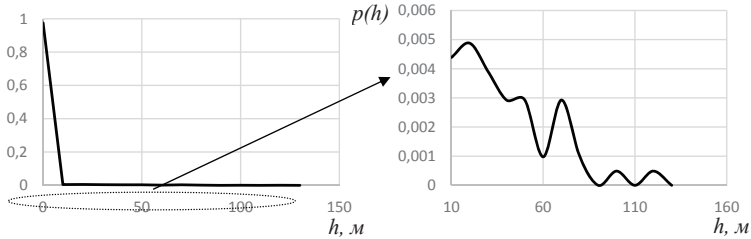


Рис. 6. Щільність розподілу висот виділених перешкод

Значна частина функції розподілу, наведена на рис. 6, зосереджена в області малих висот до 10 м, що відповідає великій рівнинній частині рельєфу (рис. 5,а). Однак при детальному аналізі (збільшенні масштабу карти місцевості) функції для висот, більших за 10 м, видно структуру розподілу висот для наявної на рис. 5,а перешкоди. Різкі перепади висот у правій частині рис. 6 пояснюються невеликими просторовими розмірами перешкоди і, відповідно, кількістю точок з інформацією про висоти окремих її частин. Отже, така попередня обробка даних про висоти дозволяє при проведенні статистичного аналізу краще виділити “тонку” структуру перешкоджаючого рельєфу місцевості.

Висновки. При вирішенні окремих задач геообробки, в яких передбачається статистична оцінка перешкоджаючого рельєфу ділянок місцевості, доцільне проведення попередньої обробки первинної інформації про висоти, вказані над рівнем моря, у наведеній вище послідовності. При проведенні такої обробки доцільне врахування кривизни земної поверхні та “виключення” похилих площинних рівнинних ділянок.

Перспективи подальших досліджень – оптимізація застосування БАК для ефективного моніторингу ділянок державного кордону з урахуванням особливостей рельєфу місцевості.

Список використаної літератури

1. Шпорт М. М. Урахування забезпеченості радіозв'язком при побудові раціональних маршрутів в ході вирішення задач оперативно-службової діяльності Державної прикордонної служби України / М. М. Шпорт // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: Військові та технічні науки. – 2013. – № 1(59). – С. 312–320.

2. Ямпольский С. М., Наумов А. И., Кичигин Е. К., Рубинов В. И. Статистическая модель прогнозного профиля рельефа местности в задаче выполнения маловысотного полета воздушного судна по цифровой карте высот // Электронный журнал “Труды Московского авиационного института”. – 2014. – № 76.

3. Syzdykova G. D., Kurmankozhaev A. K. Communication parameters of the static allocation of morphometric characters and geometric elements dismemberment of relief, Austrian Journal of Technical and Natural Sciences № 11–12 / 2015 (Pages: 16–19).

4. 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.

Даньк Ю., Балицкий И. Корректировка данных о высотах препятствующего рельефа в задачах статистической геообработки в интересах эффективного применения беспилотных авиационных комплексов в охране государственной границы

В статье рассмотрены отдельные вопросы моделирования рельефа местности средствами ведомственной геоинформационной системы в задачах контроля участков государственной границы с учетом влияния рельефа местности на эффективность применения беспилотных авиационных комплексов. Предложена методика корректировки данных о высотах препятствующего рельефа. Применение данной методики целесообразно в задачах геообработки с использованием вероятностных моделей определения видимости на основе статистических данных о рельефе местности.

Ключевые слова: геообработка, высота, местность, препятствия, рельеф, плотность распределения.

Danik Y., Balitski I. Adjustment of Data on the Height of the Hindering Terrain in Problems of Statistical Joorabchi in the Interests of Effective Application of Unmanned Aircraft Systems in the Protection of the State Border

For the effective application of unmanned aircraft systems requires the restructuring of departmental geographic information system. A promising direction of such development geographic information systems is the implementation of funds geoprocessing data. The recognition of obstacles of the terrain is an important issue for the effective application of unmanned aerial vehicles.

The monitoring from air are used probabilistic models. These models are based on the statistics of heights of the area. For a statistical description of the terrain using different classical distribution laws (uniform, normal, exponential). Correct definition and application of these laws enables the statistical description of the heights of a certain area of the border. In many applications it is important to consider the obstacles of the terrain functioning of technical means. Such task is the inspection of the border areas with unmanned aerial vehicles, monitoring of the state border, the individual tasks of statistical radio-physics.

Therefore, relevant is the study of the adjustment data on the heights of the terrain in the problems of statistical study of inhibiting properties of the terrain.

The purpose of the article is justification of the adjustment method data on the height of the hindering terrain in problems of statistical geoprocessing.

Information about the terrain from the SRTM project describe the height above sea level. As a consequence, the study of inhibiting effect of topography, proposed to account for the curvature of the Earth. The following factor that requires consideration in the initial processing of data on the heights of the terrain, shape of the terrain. If the topography of the entire area is a plane, then it will not create hindrances for work of various means. Therefore, preventing the effect of topography can be studied relative to a reference plane, which is approximated by the real terrain. For this approximation used the equation of the plane which is defined by three parameters. These parameters are determined using the method of least squares. For

positive deviations of the heights from “basic” plane, built the plane, which is parallel to approximately and passes through the point with the minimum surface elevation.

Conduct this adjustment allows the distribution of the heights to allocate for preventing observation of the height of the terrain. The proposed data pre-processing on height allows for statistical analysis better highlight the “thin” structure hindering terrain.

Keywords: *geoprocessing, altitude, terrain, obstacles, terrain, density of the distribution.*