

рекламе, починаючих web-аналитиков, а также студентов, изучающих поисковую оптимизацию и web-аналитику.

Література

1. Ашманов, И. Оптимизация и продвижение сайтов в поисковых системах [Текст] / И. Ашманов, А. Иванов. – СПб.: Питер, 2008. – 400 с.
2. Кошик, А. Веб-аналитика 2.0 на практике. Тонкости и лучшие методики [Текст] / А. Кошик. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2011. – 528 с.
3. Хант, Б. Конверсия сайта. Превращаем посетителей в покупателей [Текст] / Б. Хант. – М.: Питер, 2012. – 288 с.
4. Айзенберг, Б. Добавьте в корзину. Ключевые принципы повышения конверсии веб-сайта [Текст] / Б. Айзенберг. – М., 2011. – 209 с.
5. Клифтон, Б. Google Analytics для профессионалов [Текст] / Б. Клифтон. – М.: Вильямс, 2014. – 608 с.
6. Хасслер, М. Web Analytics [Текст] / М. Хасслер. – М.: Эксмо, 2010. – 432 с.
7. Холмогоров, В. Интернет-маркетинг. Краткий курс [Текст] / В. Холмогоров. – СПб.: Питер, 2001. – 136 с.
8. Котлер, Ф. А. Маркетинг. Менеджмент [Текст] / Ф. А. Котлер, К. Ю. Келлер. – СПб.: Питер, 2007. – 816 с.
9. Зиссер, Ю. А. Маркетинг on-line: как превратить сайт компании в эффективный инструмент продаж [Текст] / Ю. А. Зиссер. – Минск: Изд-во Гребцова, 2007. – 304 с.

10. Яковлев, А. А. Раскрутка и продвижение сайтов: основы, секреты, трюки [Текст] / А. А. Яковлев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 336 с.

References

1. Ashmanov, I., Ivanov, A. (2008). Optimization and promotion of websites in search systems. Sankt-Peterburg, 400.
2. Koshik, A. (2011). Web Analytics 2.0 in practice. Subtleties and best methods. Moscow: LTD «I. D. Williams», 528.
3. Hunt, B. (2012). Conversion of the site. Turn visitors into buyers. Moscow: Piter, 288.
4. Eisenberg, B. (2011). Add to a cart. The key principles of increasing the conversion of the site. Moscow, 209.
5. Clifton, B. (2014). Google Analytics for professionals. Moscow: Williams, 608.
6. Hassler, M. (2010). Web Analytics. Moscow: Eksmo, 432.
7. Kholmogorov, V. (2001). Internet Marketing. Short course. Sankt-Peterburg 136.
8. Kotler, F. A., Keller, K. J. (2007). Marketing. Menedzhment. Sankt-Peterburg: Piter, 816.
9. Zisser, U. (2007). Marketing on-line: how to turn the site of the company into an effective instrument of sales. Minsk: Grebtsov's publishing house, 304.
10. Yakovlev, A. (2007). Promotion and advance of sites: bases, secrets, tricks. Sankt-Peterburg: BHV-Petersburg, 336.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Синотин А. М.
Дата надходження рукопису 23.12.2015*

Егорова Ирина Николаевна, кандидат технических наук, профессор, кафедра медиасистем и технологий, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: tvicg@kture.kharkov.ua

Кадушкевич Олеся Николаевна, кафедра медиасистем и технологий, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: kadushkevich_olesya@mail.ru

УДК 528

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.58561

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНОГО РОЗПОДІЛУ ЗАЛИШКОВИХ ВІДХИЛЕНЬ ПРИ РІЗНИХ ПІДХОДАХ ДО ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ

© Р. В. Шульц, А. В. Островський

Об'єктом досліджень є рельєф земної поверхні, а предметом досліджень – методи та параметри цифрового моделювання. Метою роботи є дослідження різних методів математичного моделювання ЦМР за залишковими відхиленнями на контрольних точках. За аналізом залишкових відхилень пропонується встановлювати ступінь адекватності побудованої моделі реальним даним

Ключові слова: статистичний аналіз, дисперсія асиметрії, ексцес, крігінг, радіальна базисна функція, рельєф

The object of research is the earth relief, as the subject of research – methods and parameters of digital simulation. The aim is to study various methods of mathematical simulation for the DEM residual deviations on control points. It is proposed to establish the adequacy of the constructed model with real data for the analysis of residual deviations

Keywords: statistical analysis, variance skewness, kurtosis, kriging, radial basis function, relief

1. Вступ

На сьогоденний день існує безліч підходів до моделювання рельєфу місцевості. При цьому немає різниці яким чином отримані вихідні дані для моде-

лювання. Це можуть бути результати геодезичних вимірювань, фотограмметричних вимірювань або картографічні дані. Особливо слід відмітити метод повітряного та наземного лазерного сканування, як

найбільш прогресивний метод збору даних про рельєф місцевості. В будь-якому випадку при моделюванні використовують результати вимірювань, які теоретично підкоряються нормальному розподілу, оскільки вони отримані за результатами в загальному випадку геодезичних вимірювань. В такому випадку при побудові цифрової моделі рельєфу (ЦМР) за результатами вимірювань, залишкові відхилення в контрольних точках між виміряною висотою та висотою створеної ЦМР також повинні підкорятися нормальному розподілу та не спотворювати реальну картину рельєфу.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Аналізуючи літературні джерела перш за все відмітимо фундаментальні роботи, що стосуються теорії похибок вимірювань та застосування нормального розподілу в геодезії. Ця предметна область є достатньо відомою і в ній отримано цілий ряд важливих теоретичних і практичних результатів. Так в роботах [1–4] розглянуто умови виникнення нормального закону розподілу або закону Гауса теорії ймовірностей та параметри нормального закону. Загальновідомо, що нормальний закон розподілу є найбільш розповсюдженим у природі законом розподілу ймовірностей випадкових величин; закон пов'язаний з багатьма іншими законами розподілу випадкових величин. Центральна гранична теорема стверджує, що нормальний розподіл виникає тоді, коли дана випадкова величина являє собою суму великого числа незалежних випадкових величин, вклад кожної з яких окремо у загальну суму є незначним. В подальшому в роботі ми скористаємося основними властивостями та параметрами нормального розподілу.

Головним питанням представленої роботи є дослідження як характеристики нормального розподілу проявляються при цифровому моделюванні рельєфу. В [5, 6] виконано аналіз питань цифрового моделювання рельєфу. Інтерактивні методи проектування інженерних споруд, аналіз просторових даних, управління територіями та природними ресурсами вимагають подання інформації про місцевість у цифровій формі. Отже, сучасні методи комп'ютерного опрацювання інформації базуються на створенні ЦМР, які слугують основою для географічних інформаційних систем (ГІС) і є пріоритетними для цілої низки наукових та виробничих завдань. Відомі в цій галузі вчені визначають ЦМР як цифрове і математичне представлення рельєфу місцевості на основі дискретної сукупності вихідних точок, які дозволяють із заданою точністю відтворити реальну поверхню та її структуру, тобто ЦМР являє набір точок та інтерполяційний алгоритм для визначення висот між фіксованими точкам. На підставі виконаного у [5, 6] аналізу можна стверджувати, що основні методи моделювання умовно поділено на такі відмінні групи: перша передбачає для моделювання рельєфу використання аналітичних функцій, зокрема методи базовані на застосуванні степеневих і ортогональних поліномів; сплайнів; радіальних базисних функцій; триангуляції; скінченних елементів; R – функцій; рядів Фур'є; до другої групи відносяться статистичні методи, такі як,

середнього вагового; вагових функцій; випадкових функцій; колокації; Крайгінга.

Аналіз основних чинників цифрового моделювання рельєфу, виконаний за напрямками: методи отримання вихідної інформації; технічні засоби отримання вихідної інформації; способи завдання вихідної інформації; теоретичні основи та експериментальні дослідження математичних функцій та інші методи математичного моделювання рельєфу; технологічні особливості створення ЦМР, виділення структурних елементів; створення цифрових моделей рельєфу за допомогою сплайн-функцій; сфери застосування; дослідження точності побудови цифрових моделей рельєфу на основі карто метричних даних, подано у [7–9].

У [10] розглянуто перспективу використання сучасних геодезичних технологій у вирішенні задач вертикального планування на прикладі програмного комплексу CREDO і Geonics.

На основі виконаного аналізу літературних даних можна зробити висновок, що надалі залишаються невирішеними питання вибору математичної моделі для опису ЦМР та інтерполяції точок на ЦМР. Проблема якісного і адекватного математичного моделювання є особливо важливою у задачах проектування об'єктів за ЦМР, зокрема, при вертикальному плануванні ділянки місцевості.

3. Ціль та задачі дослідження

Об'єктом досліджень є рельєф земної поверхні, а предметом досліджень – методи та параметри цифрового моделювання. Метою роботи є дослідження різних методів математичного моделювання ЦМР за залишковими відхиленнями на контрольних точках. За аналізом залишкових відхилень пропонується встановлювати ступінь адекватності побудованої моделі реальним даним. Для досягнення поставленої мети, в роботі вирішено наступні завдання: за матеріалами повітряного лазерного сканування побудовано ЦМР різними методами моделювання рельєфу; на контрольних точках, що не використані при побудові ЦМР, для цих точок обчислено залишкові відхилення; виконано дослідження методів цифрового моделювання рельєфу та встановлено закони розподілу залишкових відхилень для різних методів моделювання. Встановлені закони дозволяють підібрати оптимальний метод моделювання, виходячи із припущення, що оптимальним в геодезії є нормальний закон.

4. Опис та результати моделювання рельєфу

4.1. Короткий опис досліджуваних методів моделювання рельєфу

В роботі було досліджено наступні методи моделювання рельєфу:

Inverse Distance to a Power може бути як точним, так і згладжуючим інтерполяційним методом. Цей метод заснований на обчисленні вагових коефіцієнтів, за допомогою яких зважуються значення в точках спостережень при побудові інтерполяційної функції (рис. 1, а), (рис. 5);

Kriging – геостатистичний метод побудови моделі. У даному методі виділяють тренди, наявність

яких передбачається в даних. Наприклад, точки високого рівня з'єднують уздовж гребеня, а не ізолюють за допомогою замкнених горизонталей (рис. 1, б), (рис. 6);

Minimum Curvature широко використовується в науках про землю. Поверхня, побудована за допомогою цього методу, аналогічна тонкій пружній плівці, що проходить через всі експериментальні точки даних з мінімальним числом вигинів. Метод мінімальної кривини, однак, не є точним методом. Він генерує найбільш гладку поверхню, яка проходить настільки близько до експериментальних точок, наскільки це можливо, але ці експериментальні точки не обов'язково належать інтерполяційній поверхні (рис. 1, в), (рис. 7);

Modified Shepard's Method використовує зворотну зважену відстань. Метод схожий на Inverse Distance to a Power, він може бути, як інтерполяційним так і апроксимаційним (рис. 2, а), (рис. 8);

Natural Neighbor є досить популярним в деяких областях. Розглянемо набір полігонів Тіссена (подвійної триангуляції Делоне). Якщо нова точка буде додана до набору даних, ці багатокутники Тіссена будуть змінені. Справді, деякі з полігонів будуть зменшуватися в розмірі. Область, пов'язана з цілком багатокутника Тіссена, яка була отримана з існуючого багатокутника називається "Займана площа". Алгоритм методу використовує середнє зважене сусідніх спостережень, де ваги пропорційні "займаній площі".

Відмітимо дуже важливу особливість сьогоденішніх методів збору даних про рельєф місцевості. Так метод повітряного лазерного сканування дозволяє отримувати точки з такою щільністю, що функція методів цифрового моделювання рельєфу пов'язана із подальшим згущенням мережі точок практично відпала і основним завданням зараз є вибір математичної моделі методу для інтерполяції відміток точок між вимірними точками (рис. 2, б), (рис. 9).

Nearest Neighbor – метод інтерполяції, при якому в якості проміжного значення вибирається найближче відоме значення функції. Інтерполяція методом найближчого сусіда є найпростішим методом інтерполяції. В 3D графіці реального часу часто використовується одночасно разом з тірпар (рис. 2, в), (рис. 10);

Polynomial Regression (поліноміальної регресії) використовується для виділення великих трендів і структур у даних. Цей метод є апроксимаційним, оскільки згенерована поверхня не проходить через експериментальні точки (рис. 3, а), (рис. 11);

Radial Basis Functions багатьма авторами розглядається як найкращий метод з погляду побудови гладкої поверхні, що проходить через експериментальні точки.

Метод радіальних базисних функцій є точним інтерполятором. Це означає, що інтерполяційна функція в точках спостережень збігається в точності з заданими значеннями. Однак, маючи певні припущення про точність вихідних даних можна ввести згладжуючий фактор для того, щоб отримати більш гладку поверхню. Радіальні базисні функції аналогічні варіаграмам, використовуваним в методі Кріге. Ці функції визначають оптимальну модель ваг, за допомогою яких зважуються значення функції в точках спостережень при побудові інтерполяційної функції (рис. 3, б), (рис. 12);

Triangulation with Linear Interpolation використовує оптимальну триангуляцію Делоне. Алгоритм створює трикутники, малюючи лінії між точками даних. Вихідні точки з'єднані таким чином, що ніякі трикутники не перетинаються з іншими трикутниками. Цей метод інтерполяції точний.

Кожен трикутник визначає площину на вузлах сітки, що лежать всередині трикутника, нахил і висота трикутника визначаються трьома вихідними точками даних, що визначають трикутник. Метод працює найкраще, коли дані рівномірно розподілені по площі решітки (рис. 3, в), (рис. 13);

Local Polynomial визначає значення вузлів сітки за допомогою зважених найменших квадратів за даними в межах еліпса вузла сітки (рис. 4, а), (рис. 14);

Moving Average привласнює значення вузлам сітки шляхом усереднення даних в межах еліпса вузла сітки. Метод може включати структурні лінії даних і не рекомендується для створення карт з малих і середніх наборів даних (рис. 4, б), (рис. 15);

4. 2. Опис ділянки моделювання рельєфу

Для дослідження методів моделювання рельєфу було використано фрагмент ЦМР, що утворена даними повітряного лазерного сканування. Розмір ділянки складає у 0,15434×0,14628 км. Крок сітки лазерного сканування складає 0.367 м. Очікувана точність визначення висотної складової заходиться в межах 15–20 см.

4. 3. Результати моделювання рельєфу різними методами

Використовуючи розглянуті вище методи та вихідні дані повітряного лазерного сканування.

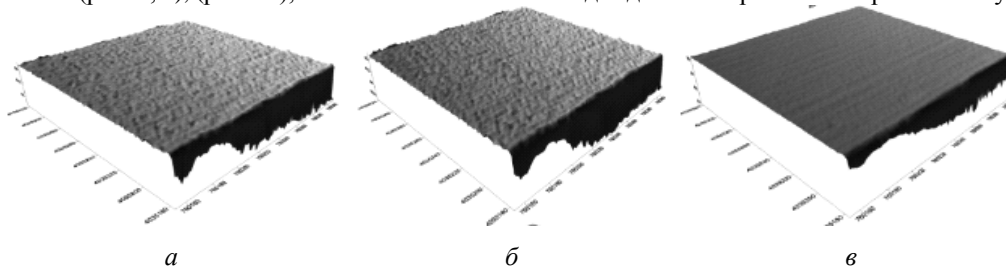


Рис. 1. Тривимірні моделі побудовані методами:
а – Inverse Distance to a Power; б – Kriging; в – Minimum Curvature

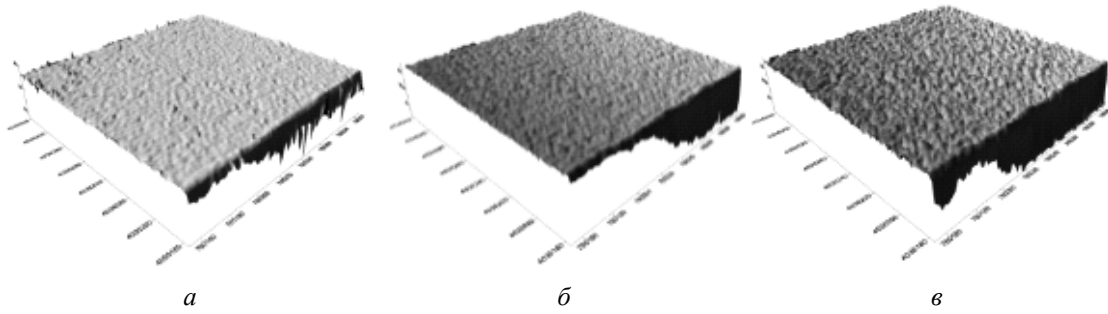


Рис. 2. Тривимірні моделі побудовані методами: *a* – Modified Shepard's Method; *б* – Natural Neighbor; *в* – Nearest Neighbor

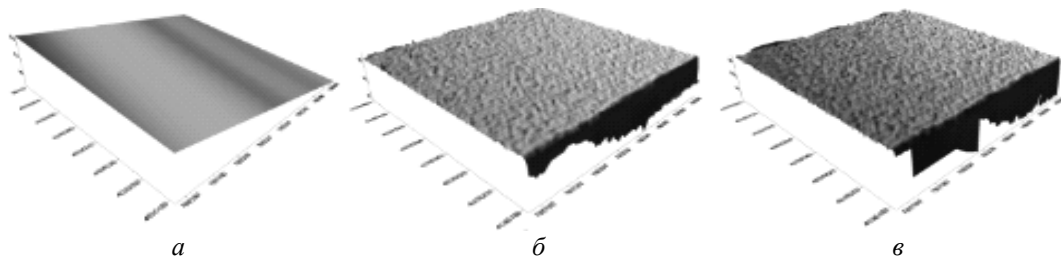


Рис. 3. Тривимірні моделі побудовані методами: *a* – Polynomial Regression; *б* – Radial Basis Functions; *в* – Triangulation with Linear Interpolation

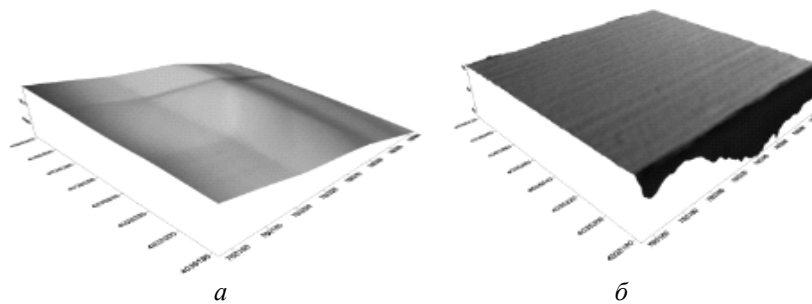


Рис. 4. Тривимірні моделі побудовані методами: *a* – Moving Average; *б* – Local Polynomial

4. 4. Графіки залишкових відхилень для різних методів моделювання

Безпосередньо виконати аналіз за отриманими моделями поверхонь неможливо. Тому, як було запропоновано раніше були утворені різниці та отримано залишкові відхилення, які наведено на графіках нижче.

Отримані залишкові відхилення вимагають поглибленого статистичного аналізу.

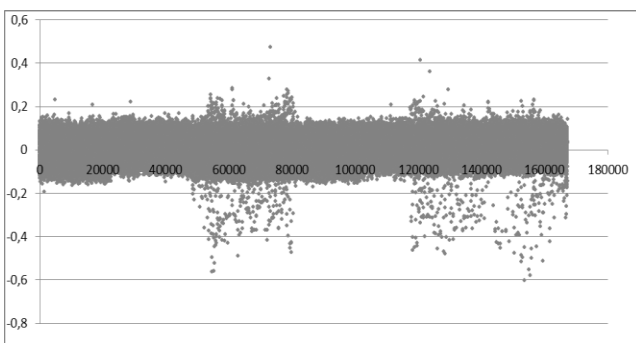


Рис. 5. Метод «Inverse distance to a Power»

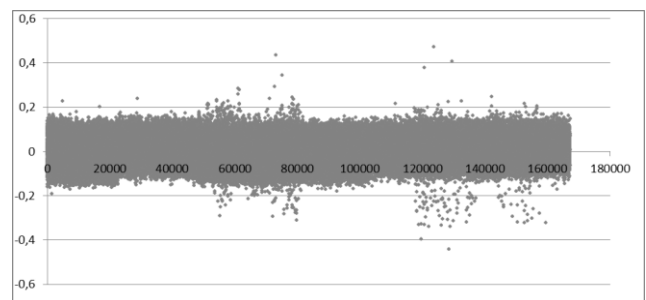


Рис. 6. Метод «Kriging»

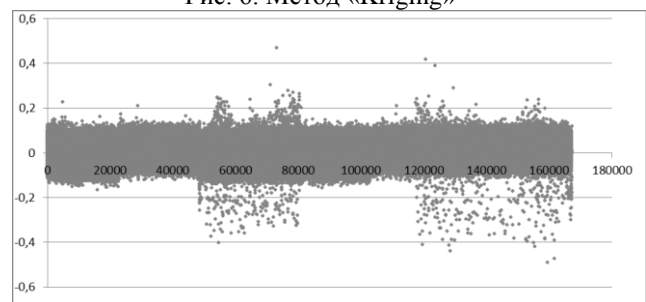


Рис. 7. Метод «Minimum curvature»

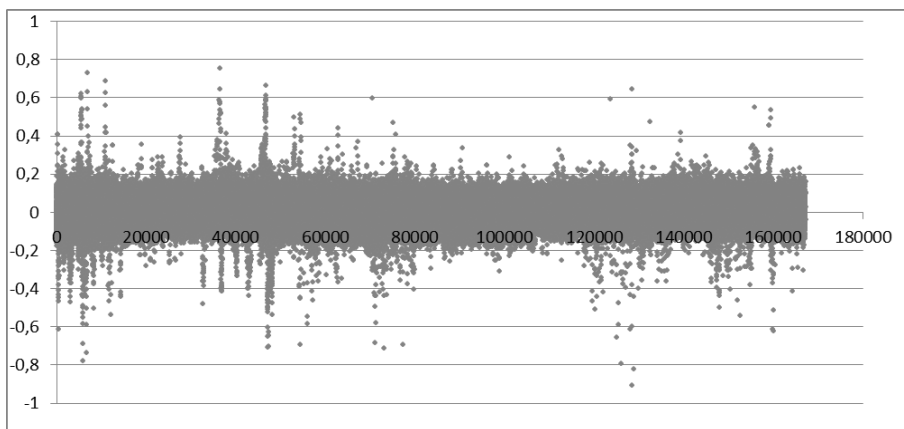


Рис. 8. Метод «Modified shepards method»

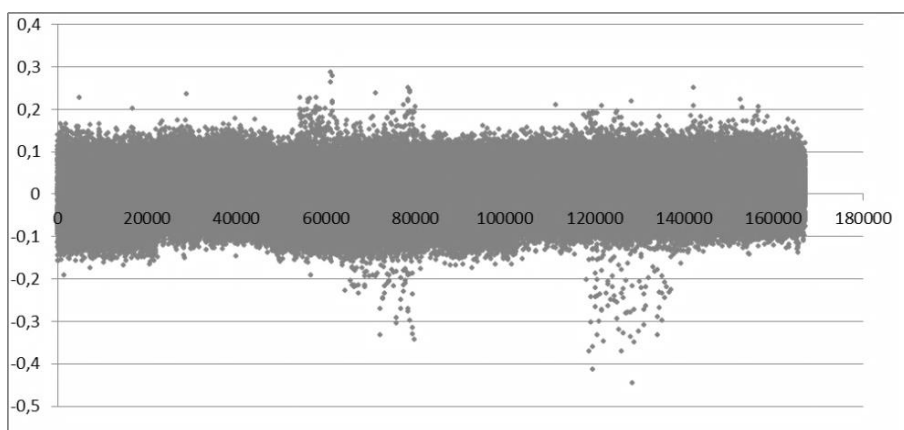


Рис. 9. Метод «Natural neighbor»

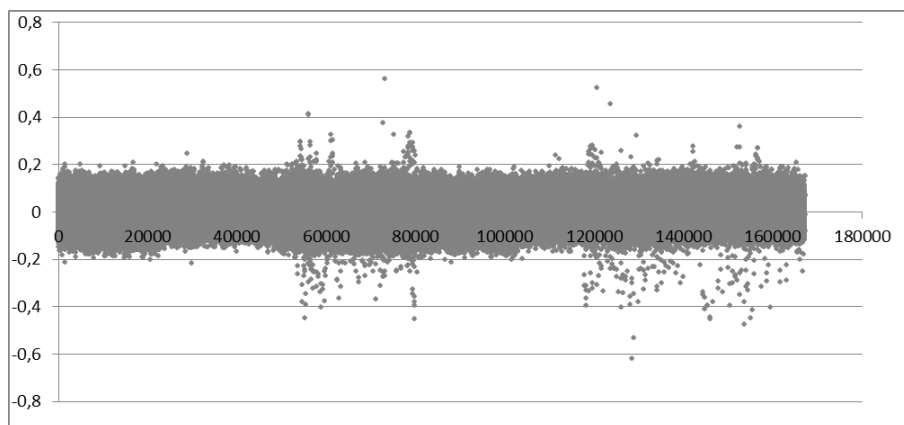


Рис. 10. Метод «Nearest neighbor»

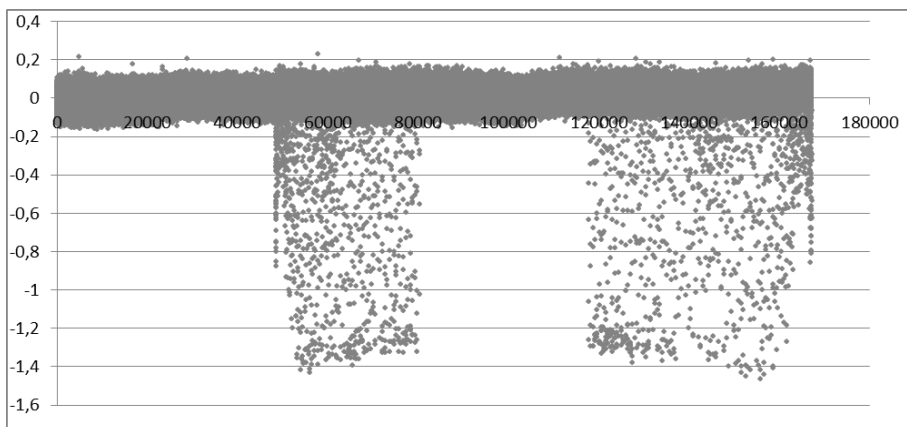


Рис. 11. Метод «Polynomial regression»

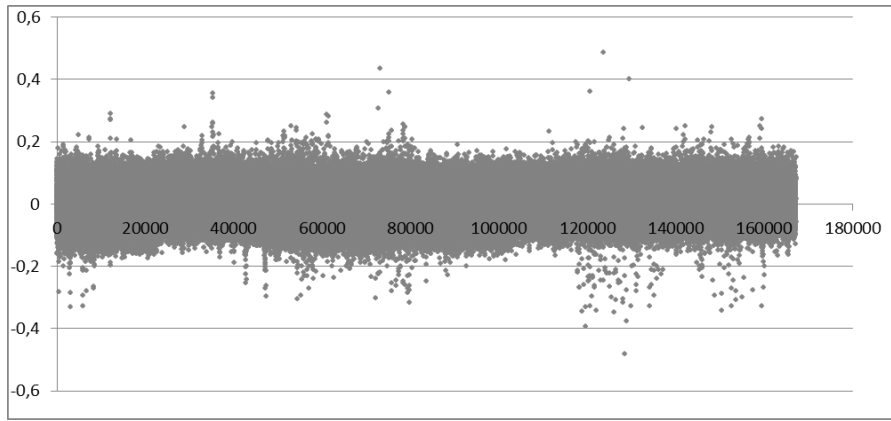


Рис. 12. Метод «Radial basic function»

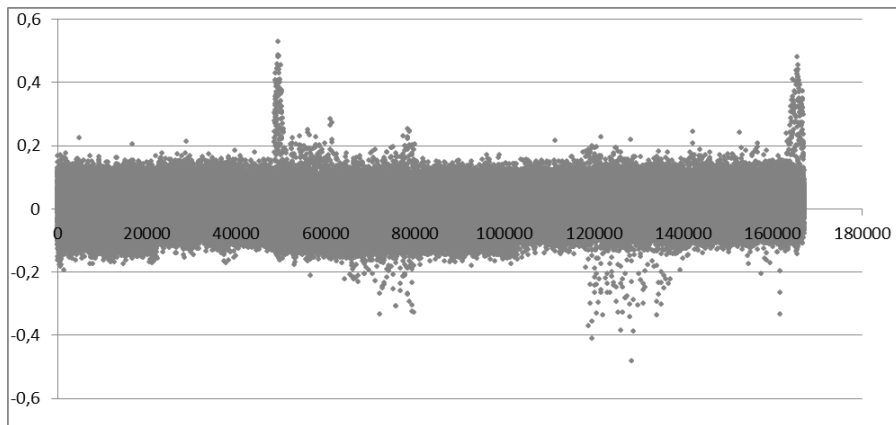


Рис. 13. Метод «Triangulation with linear interpolation»

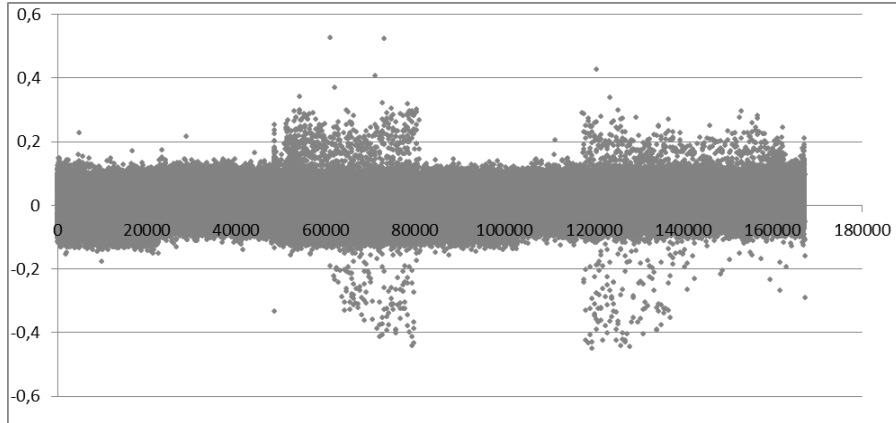


Рис. 14. Метод «Local polynomial»

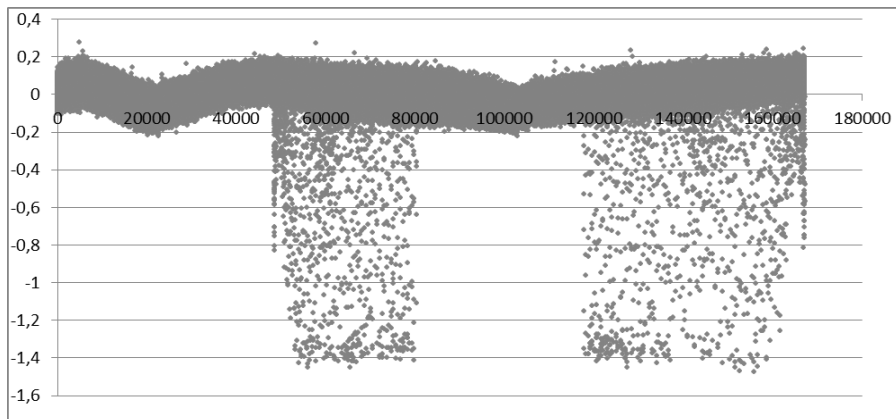


Рис. 15. Метод «Moving average»

4. 4. Статистичний аналіз залишкових відхилень

Для виконання статистичного аналізу обчислимо основні статистичні характеристики для кожного методу побудови ЦМР. Результати розрахунків представлені в табл. 1.

Для дослідження нормальності спершу використаємо найпростіший критерій асиметрії і ексцесу. Прийmemo ексцес E_k та асиметрію S_k .

Розрахуємо дисперсію асиметрії

$$m_{S_k}^2 = \frac{6}{n}$$

та дисперсію ексцеса

$$m_{E_k}^2 = \frac{24}{n},$$

де n – кількість точок.

Гіпотеза про нормальність розподілу залишкових відхилень приймається при дотриманні наступних умов

$$|S_k| \leq t^* m_{S_k},$$

$$|E_k| \leq t^* m_{E_k},$$

$$t=2.5,$$

результати розрахунків представлено в табл. 2.

Таблиця 1

Основні статистичні характеристики

	Kriging	Local polynomial	Minimum curvature	Modified shepards method	Moving average	Natural neighbor	Nearest neighbor	Polynomial regression	Radial function	Triangulation with linear interpolation	Inverse distance to a power
Среднее	0,001378967	0,001485	0,00010888	0,002617	-0,0029	0,00152	0,001314	1,9261E-06	0,00159	0,00193	0,000231
Стандартная ошибка	0,000143858	0,000142	0,000140265	0,000176	0,000267	0,000146	0,000161	0,00023931	0,000151	0,00015	0,000144
Медиана	0,002264984	0,002618	0,001596336	0,003149	0,003339	0,002447	0,001444	0,00718493	0,002238	0,002515	0,001643
Мода	0,01147439	0,060487	0,060125993	0,015218	0,111249	0,008631	0,02	0,04157478	0,027027	0,002471	0,02528
Стандартное отклонение	0,058838803	0,058139	0,057369199	0,072156	0,109055	0,058394	0,065716	0,09787839	0,061837	0,06064	0,058786
Дисперсия выборки	0,003462005	0,00338	0,003291225	0,005206	0,011893	0,00341	0,004319	0,00958018	0,003824	0,003677	0,003456
Эксцесс	-0,295078001	0,840747	0,286855228	4,219535	58,46666	-0,35973	0,280074	77,4652044	-0,12909	0,70091	1,61262
Асимметричность	-0,060481082	-0,05011	-0,208180679	-0,17554	-5,57818	-0,07232	-0,08469	-6,8642998	-0,06059	0,117878	-0,36121
Интервал	0,914536772	0,97676	0,959146181	1,660703	1,751681	0,732442	1,180153	1,69487151	0,967733	1,011049	1,077541
Минимум	-0,441377351	-0,45092	-0,490492666	-0,9069	-1,47421	-0,44529	-0,6188	-1,4658502	-0,48053	-0,48035	-0,6023
Максимум	0,473159421	0,525838	0,468653516	0,753801	0,277467	0,287152	0,561354	0,22902136	0,487201	0,530696	0,475243
Сумма	230,680432	248,3705	18,21399558	437,8371	-484,373	243,7225	219,8245	0,322209	265,9345	316,4659	38,58281
Счет	167285	167285	167285	167282	167285	160301	167285	167285	167285	163980	167285
Уровень надежности (95,0 %)	0,000281959	0,000279	0,000274917	0,000346	0,000523	0,000286	0,000315	0,00046904	0,000296	0,000294	0,000282

Таблиця 2

Дослідження нормальності розподілу

	Minimum curvature	Inverse distance to a power	Kriging	Local polynomial	Modified shepards method	Moving average	Natural neighbor	Nearest neighbor	Poly-nomial regression	Radial function	Triangulation with linear interpolation
Ексцес	0,286855	1,61262026	-0,29508	0,840747	4,219535	58,46666	-0,44529	0,280074	77,4652	-0,12909	0,70091
Асиметричність	-0,20818	1,61262026	-0,06048	-0,05011	-0,17554	-5,57818	0,287152	-0,08469	-6,8643	-0,06059	0,117878
n	167286	167286	167286	167286	167286	167286	167286	167286	167286	167286	167286
дисперсія асиметрії	3,59E-05	3,5867E-05	3,59E-05	3,59E-05	3,59E-05	3,59E-05	3,59E-05	3,59E-05	3,59E-05	3,59E-05	3,59E-05
m_{sk}	0,005989	0,00598888	0,005989	0,005989	0,005989	0,005989	0,005989	0,005989	0,005989	0,005989	0,005989
дисперсія ексцесу	0,000143	0,00014347	0,000143	0,000143	0,000143	0,000143	0,000143	0,000143	0,000143	0,000143	0,000143
m_{Ek}	0,011978	0,01197777	0,011978	0,011978	0,011978	0,011978	0,011978	0,011978	0,011978	0,011978	0,011978
t	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
$ S_k $	0,286855	1,61262026	0,295078	0,840747	4,219535	58,46666	0,445291	0,280074	77,4652	0,129092	0,70091
$t * m_{sk}$	0,014972	0,01497221	0,014972	0,014972	0,014972	0,014972	0,014972	0,014972	0,014972	0,014972	0,014972
$ S_k \leq t * m_{sk}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$ E_k $	0,208181	1,61262026	0,060481	0,050106	0,175542	5,578175	0,287152	0,08469	6,8643	0,060592	0,117878
$t * m_{Ek}$	0,029944	0,02994441	0,029944	0,029944	0,029944	0,029944	0,029944	0,029944	0,029944	0,029944	0,029944
$ E_k \leq t * m_{Ek}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

5. Обговорення результатів статистичного дослідження залишкових відхилень

Згідно з проведеними дослідженнями відхилення у жодному з методів не відповідають нормальному розподілу. Причин такої ситуації може бути декілька:

– у результатах вимірювань присутня значна систематична похибка, що призводить до зміщень у законі розподілу;

– характер обраної ділянки рельєфу не може бути описаний розглянутими математичними залежностями.

6. Висновки

З огляду на отримані результати у подальших дослідженнях необхідно до початку моделювання рельєфу виконати наступні дослідження:

– перевірити вихідні дані на наявність грубих і систематичних похибок, причому джерелом похибок

можуть як засоби вимірювань так і помилки у виборі системи координат і висот;

– дослідити характер рельєфу місцевості за виміряними відмітками, з метою визначення спектральних характеристик рельєфу, що дозволить більш аргументовано встановити метод моделювання ЦМР.

Література

1. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
2. Зазуляк, П. М. Основи математичного опрацювання геодезичних вимірювань [Текст]: навч. пос. / П. М. Зазуляк, В. Г. Гавриш, Е. М. Євсєєва, М. Д. Йосипчук. – Львів: Видавництво «Растр – 7», 2007. – 408 с.
3. Пряха, Б. Г. Про точність геодезичних вимірювань [Текст] / Б. Г. Пряха, Я. В. Білецький // Вісник геодезії та картографії. – 2003. – № 3 (30). – С. 43–49.
4. Колмогоров, А. Н. Основные понятия теории вероятностей [Текст] / А. Н. Колмогоров. – М.: Наука, 1974. – 119 с.

5. Бурштинська, Х. В. Теоретичні та методологічні основи цифрового моделювання рельєфу за фотограмметричними та картографічними даними [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.24.02 / Х. В. Бурштинська. – Львів, 2003. – 226 с.

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

7. Бурштинська, Х. В. Дослідження точності побудови цифрових моделей рельєфу на основі картографічних даних [Текст] / Х. В. Бурштинська, О. С. Заяць // Вісник геодезії і картографії. – 2002. – № 2. – С. 26–31.

8. Бурштинська, Х. В. Теоретичні основи та експериментальні дослідження математичних функцій для побудови цифрових моделей рельєфу [Текст] / Х. В. Бурштинська, О. С. Заяць // Вісник геодезії і картографії. – 2002. – № 4. – С. 32–37.

9. Бурштинська, Х. В. Застосування сплайн-функцій для побудови цифрових моделей рельєфу [Текст]: конференція / Х. В. Бурштинська, О. С. Заяць. – «Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології і перспективи розвитку». – Краків, 2001. – С. 2.5.–2.11.

10. Островський, А. В. Перспективи використання сучасних геодезичних технологій у вирішенні задач вертикального планування. Вип. 53 [Текст]: наук.-техн. збірник / А. В. Островський. – К.: КНУБА, 2014. – С. 374–382.

References

1. Venttsel, E. S. (1964). Teoriya veroyatnostey [Probability theory]. Moscow: Nauka, 576.

2. Zazulyak, P. M., Gavrish, V. G., Evseeva, E. M., Yosipchuk, M. D. (2007). Osnovi matematichnogo opratsyuvannya geodezichnih vimiryuvan [Fundamentals of mathematical processing of geodetic measurements]. Lviv: Rastr – 7, 408.

3. Pryaha, B. G., Bileckij, Ja. V. (2003). Pro tochnist geodezichnih vimiryuvan [About precision geodetic measurements]. Visnik geodeziyi ta kartografyi, 3 (30), 43–49.

4. Kolmogorov, A. N. (1974). Osnovnyie ponyatiya teorii veroyatnostey [Basic concepts of probability theory]. Moscow: Nauka, 119.

5. Burshtinska, H. V. (2003). Teoretichni ta metodologichni osnovi tsifrovogo modelyuvannya relefu za fotogrammetrichnimi ta kartografichnimi danimi [Theoretical and methodological basis of digital terrain modeling for photogrammetric and cartographic data]. Lviv, 226.

6. Burshtinska, H. V. (2001). Porivnyalniy analiz pobudovi tsifrovih modeley relefu z vikoristannyam aproksimatsiynih funktsiy [Comparative analysis of digital elevation models using approximating functions]. Geodeziya, kartografiya i aerofotoznimannya, 61, 137–148.

7. Burshtinska, H. V., Zayats, O. S. (2002). Doslidzhennya tochnosti pobudovi tsifrovih modeley relefu na osnovi kartografichnih danih [Study accuracy of digital elevation models based on mapping data]. Visnik geodeziyi ta kartografyi, 2, 26–31.

8. Burshtinska, H. V., Zayats, O. S. (2002). Teoretichni osnovi ta eksperimentalni doslidzhennya matematichnih funktsiy dlya pobudovi tsifrovih modeley relefu [The theoretical basis and experimental study of mathematical functions to build digital elevation models]. Visnik geodeziyi ta kartografyi, 4, 32–37.

9. Burshtinska, H. V., Zayats, O. S. (2001). Zastosuvannya splayn-funktsiy dlya pobudovi tsifrovih modeley relefu [The use of spline functions for building digital elevation models]. «Kadast, fotogrammetriya, geoinformatika – suchasni tehnologiyi i perspektivi rozvitku». Kракiv, 2.5.–2.11.

10. Ostrovskiy, A. V. (2014). Perspektivi vikoristannya suchasnih geodezichnih tehnologiy u virishenni zadach vertikalnogo planuvannya Vol. 53 [Prospects of using modern surveying technology in solving problems of vertical planning]. Kyiv: KNUBA, 374–382.

Дата надходження рукопису 22.12.2015

Островський Аполлінарій Вікторович, аспірант, кафедра інженерної геодезії, Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: naokakao@rambler.ru

Шульц Роман Володимирович, доктор технічних наук, професор, кафедра інженерно геодезії, Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: r-schultz@mail.ru

УДК 004.052.001.57

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.58713

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА СТРУКТУРНОЇ ВІДМОВСТІЙКОСТІ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

© О. С. Савельєва

Запропоновано інформаційну технологію для оцінювання структурної надійності технічних об'єктів, структура яких відповідає одному з відомих типів нейронних мереж. В структурі технології міститься інформаційна морфологічна модель, яка дозволяє здійснювати формування та зміну структури моделі досліджуваного об'єкта за правилами, що ґрунтуються на визначенні ймовірності безвідмовної роботи в теорії надійності

Ключові слова: відмовостійкість, надійність технічних об'єктів, морфологічна модель, інформаційна технологія