

УДК 528.4:332.64

**Пілічева М.О.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Попик Н.В.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОБУДОВИ РЕЛЬЄФУ ТА УХИЛІВ МІСЦЕВОСТІ ДЛЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ ПОТРЕБ

У статті досліджено методи побудови цифрової моделі місцевості та ухилів. Розглянуто їх основні етапи, виявлено переваги та недоліки. Як пріоритетний метод побудови цифрової моделі місцевості запропоновано метод оцифрування наявних карт та планів у геоінформаційній системі, який дозволяє автоматизувати процес побудови ухилів місцевості. Рекомендовано використовувати крок створення цифрової моделі місцевості, рівний 200 м для рівнинного рельєфу, а для складного рельєфу – доповнювати додатковими точками, які описують особливості місцевості. Кількість додаткових точок зростає прямо пропорційно складності рельєфу місцевості.

**Ключові слова:** рельєф, ухили місцевості, цифрова модель рельєфу, проект землеустрою, автоматизація побудови цифрової моделі місцевості, геоінформаційні технології.

**Постановка проблеми.** Просторові властивості землі, такі як рельєф, площа земельних ділянок, їх місце розташування, конфігурація та інші, мають велике значення для досягнення мети землеустрою – забезпечення раціонального використання та охорони земель, створення сприятливого екологічного середовища і поліпшення природних ландшафтів (ст. 182 Земельного кодексу України [1]). Особливу увагу при цьому приділяють використанню земель сільськогосподарського призначення за принципами зменшення деградаційних процесів і підвищення родючості. Одним зі способів ефективного ведення сільськогосподарського виробництва є визначення його організації та впорядкування сільськогосподарських угідь у межах землеволодінь і землекористувань проектом землеустрою, що забезпечує еколого-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкування угідь [2].

У розробці згаданого проекту землеустрою важливу роль відіграє рельєф місцевості, крутість схилів земної поверхні, їх довжина, форма та експозиція. Урахування цих характеристик є важливим на етапі визначення внутрішньо-польової організації території, розміщення угідь сільськогосподарських культур, водорегулювальних й інших лісосмуг, вживання гідротехнічних і протиерозійних заходів, проектування полів сівозміни, визначення її типів і видів.

Необхідність і доцільність застосування автоматизації процесу побудови рельєфу та ухилів

місцевості у розробці проекту землеустрою, що забезпечує еколого-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкування угідь, полягає в тому, що завдяки цьому процесу землепорядники значно заощаджують час та трудовитрати на виконання робіт, бо сьогодні швидкими темпами зростають потреби в землепорядних роботах у процесі земельних перетворень, що пов'язано з реорганізацією землеволодінь і землекористувань сільськогосподарських організацій, перерозподілом земель, відводами земельних ділянок юридичним і фізичним особам, активізацією земельного обороту [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методи моделювання рельєфу та ухилів місцевості як способи вирішення різноманітних наукових і прикладних інженерних завдань розглядаються у роботах таких учених, як Х.В. Бурштинська, О.Л. Дорожинський, Ю.О. Карпінський, Г.П. Левчук, А.А. Лященко, В.М. Мельник, О.Р. Мусін, Р.М. Рудий, Н.Ю. Лазоренко-Гевель, М. Armstrong, F.J. Doyle, F. Divenyi, B. Markus, D.F. Watson, M. Vencovsky та інших [4–9].

Проблемами автоматизації землепорядних робіт та їх ефективним впровадженням займаються Б.М. Данилишин, Д.С. Добряк, О.В. Грянник, В.С. Михалевич, Л.Я. Новаковський, А.І. Половинкін, Р.І. Солнцев, А.Я. Сохнич, А.Г. Тихонов, Н.М. Тищенко, А.М. Третяк та інші.

Але в роботах згаданих дослідників не приділено уваги особливостям автоматизації побудови

## Порівняльні характеристики методів створення ЦМР

Етапи методу	Переваги	Недоліки
<b>Геодезичні вимірювання</b>		
Підготовчі роботи; рекогносцировка місцевості; створення знімальної основи; зйомка рельєфу; камеральна обробка польових вимірювань; складання плану поверхні землі за допомогою програмного забезпечення.	Висока точність.	Значні трудові, фінансові та часові витрати; необхідність геодезичних приладів та спеціального програмного забезпечення.
<b>Оцифрування наявних карт і планів у геоінформаційній системі</b>		
Завантаження топографічної карти (плану) у програмне забезпечення; просторова прив'язка карти (плану); створення бази геоданих; створення класу просторових об'єктів; створення набору об'єктів; оцифрування карти (плану); заповнення таблиць бази геоданих атрибутивною інформацією.	Відсутність польових робіт; висока точність.	Значні трудові, фінансові та часові витрати; необхідність спеціального програмного забезпечення.
<b>Фотограмметричний метод</b>		
Проведення фотограмметричної зйомки; координування опорних точок; камеральна обробка результатів зйомки.	Не потребує безпосереднього контакту; висока точність.	Значні трудові і фінансові, часові витрати; необхідність цифрової камери та спеціального програмного забезпечення.
<b>Метод лазерного сканування</b>		
Проведення лазерної зйомки; координування опорних точок; камеральна обробка результатів зйомки.	Не потребує безпосереднього контакту; висока точність.	Значні трудові і фінансові, часові витрати; необхідність лазерного сканера та спеціального програмного забезпечення.
<b>Метод отримання рельєфу місцевості з використанням безкоштовних глобальних ЦМР</b>		
	Загальнодоступність даних; значне просторове охоплення; простота у використанні.	Відсутність даних на окремі ділянки; наявність помилкових артефактів та «розривів» на зображеннях; великий крок ЦМР; невисока точність; необхідність переведення у систему координат УСК 2000.

рельєфу та ухилів місцевості саме для розробки проектів землеустрою, тому аналіз методів автоматизації побудови рельєфу й ухилів місцевості для землевпорядних потреб є актуальним питанням.

**Постановка завдання.** Мета роботи полягає в аналізі методів автоматизації побудови рельєфу й ухилів місцевості та визначенні пріоритетного методу автоматизації побудови рельєфу й ухилів місцевості у процесі створення проектів землеустрою.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Рельєф місцевості для розробки проектів землеустрою можливо отримати за допомогою таких методів:

Геодезичні вимірювання (здійснення геодезичної зйомки рельєфу місцевості, що полягає у визначенні координат і висот її точок).

Оцифрування наявних топографічних карт і планів (побудова рельєфу місцевості шляхом оцифрування горизонталей або створення набору точок цифрової моделі місцевості (далі – ЦМР) за наявними топографічними планами або картами в геоінформаційних системах).

Фотограмметричний метод (здійснення фотограмметричної зйомки рельєфу місцевості).

Метод лазерного сканування (полягає у визначенні характеристик поверхні (рельєфу) і наданні їм цифрового вигляду в тривимірній системі координат за допомогою лазерного сканера).

Метод отримання рельєфу місцевості з використанням безкоштовних глобальних ЦМР (SRTM3, ASTER GDEM v.2, GTOPO30, ACE2, ETOPO2 та GMTED2010 [10]) – растрового зображення, для кожного пікселя якого визначено зна-

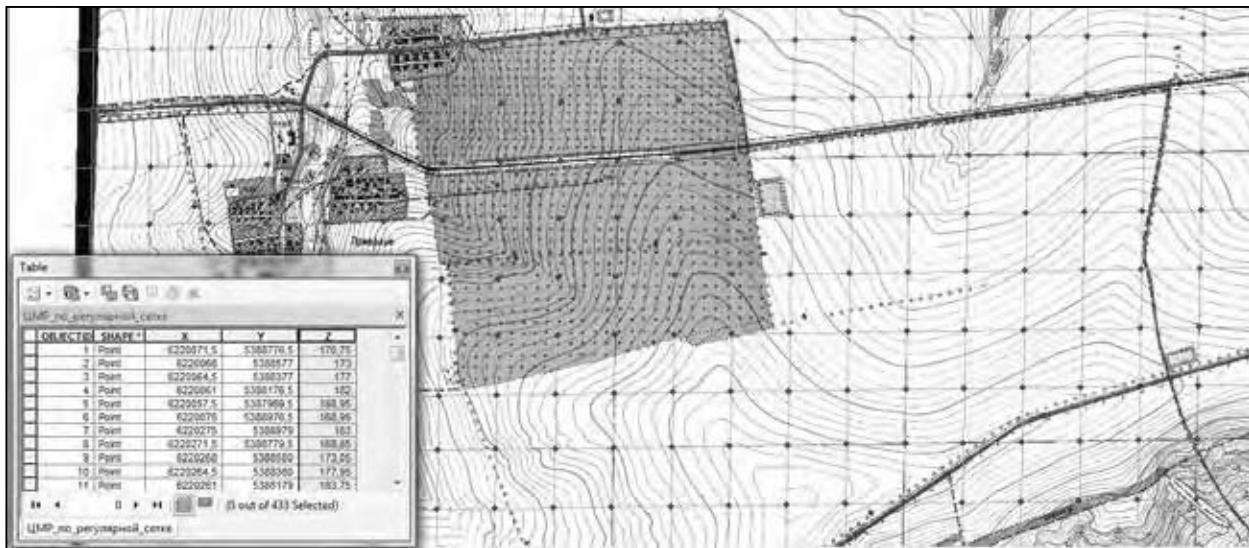


Рис. 1. Регулярна сітка ЦМР

чення абсолютної висоти. Розмір земної поверхні, що відповідає одному пікселю, визначає просторову роздільну здатність моделі, яка може становити від 10 м до 1 км.

З метою визначення пріоритетного методу отримання ЦМР для землепорядних потреб здійснено порівняльну характеристику переваг та недоліків наведених методів (Таблиця 1).

Використання безкоштовних глобальних ЦМР у розробці проектів землеустрою є недоцільним, бо вони мають великий крок розташування точок, що спричинює необхідність інтерполяції для визначення висот проміжних точок і, відповідно, негативно впливає на точність. Згідно з дослідженнями [10; 11], похибки визначення висот за безкоштовними глобальними ЦМР можуть досягати 5–30 м. До того ж згадані ЦМР постачаються у системі координат WSG 84, а нині немає точних параметрів переходу між цією системою координат і державною геодезичною системою координат України УСК 2000 або місцевими, похідними від неї, що також погіршує точність визначення висот точок [12].

Кожен із чотирьох наведених методів (Таблиця 1) має майже однакові недоліки: трудові, фінансові та часові витрати, а також необхідність використання спеціального обладнання та програмного забезпечення для обробки даних і побудови ЦМР. Але метод оцифрування наявних карт та планів у геоінформаційній системі не потребує виконання польових робіт і камеральної обробки геодезичних даних. До того ж геоінформаційні технології дозволяють автоматизувати процес побудови ухилів місцевості, бо це значно заоща-

джує час та трудовитрати на виконання робіт на значних за площею територіях. Тому цей метод вважаємо пріоритетним.

Найбільш поширеним геоінформаційним програмним продуктом є ArcGIS [13; 14], бо модуль 3D Analyst дозволяє будувати поверхні методом інтерполяції значень, що зберігаються в точках вимірних значень (для побудови горизонталей), створити поверхні з іншої поверхні (побудова растру ухилів із використанням рельєфу місцевості).

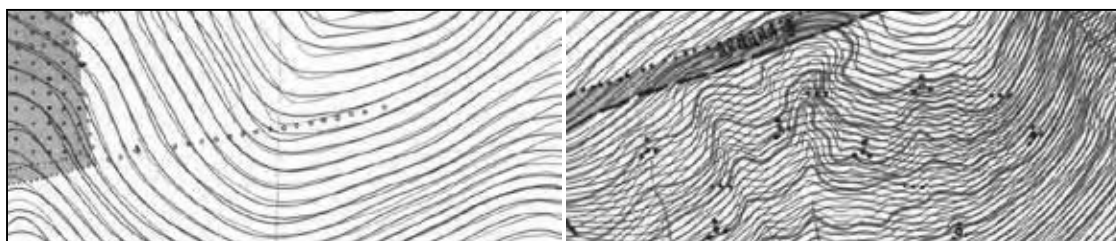
Для побудови ухилів місцевості використовуються точки з відомими висотами, які становлять ЦМР (Рис. 1).

Для визначення оптимальної відстані між точками ЦМР було проведено експеримент – побудовано горизонталі та ухили місцевості з використанням ЦМР регулярної сітки із кроками 500 м, 200 м, 100 м та 50 м. Порівняння отриманих результатів виконувалось із горизонталями плану масштабу 1:2000 та ухилів, побудованих вручну, на об'єкт дослідження.

За використання ЦМР із кроком 500 м результат є незадовільним, бо відхилення між горизонталями, побудованими автоматично, і горизонталями на плані масштабу 1:2000 мають значні відхилення, які можуть досягати декількох десятків метрів на складному рельєфі.

За використання ЦМР із кроком 200 м результат є задовільним на рівнинній частині об'єкта і незадовільним на складному рельєфі (Рис. 2).

За використання ЦМР із кроком 100 м і 50 м точність побудови горизонталей покращилася, але для складного рельєфу несуттєво. При цьому



а) рівнинний рельєф

б) складний рельєф

Рис. 2. Побудова горизонталей за ЦМР із кроком 200 м



а) ухили, побудовані в ArcGIS

б) ухили, побудовані вручну

Рис. 3. Порівняння побудови ухилів місцевості автоматизованим методом та вручну

значно підвищились трудовитрати на створення ЦМР.

Стосовно побудови ухилів місцевості, то їх точність прямо пропорційна точності побудови горизонталей. Так, наприклад, для ЦМР із кроком 200 м зони ухилів від  $0^\circ$  до  $3^\circ$  та від  $3^\circ$  до  $7^\circ$ , побудовані в ArcGIS, співпадають на 90% з ухилами, побудованими вручну, які були прийняті за еталон (Рис. 3).

За використання для побудови ухилів місцевості ЦМР із кроком 100 м і 50 м точність побудови покращилася до 95–97%, але на складному рельєфі відмінності зон ухилів залишилися.

**Висновки.** Дослідивши методи формування ЦМР, можемо стверджувати, що метод оцифру-

вання наявних карт та планів і застосування геоінформаційних технологій є пріоритетним методом автоматизації побудови ухилів для землевпорядників у розробці проектів землеустрою, що забезпечують еколого-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкування угідь. При цьому можемо дати такі рекомендації щодо автоматизації побудови горизонталей і ухилів місцевості:

1) використовувати крок створення ЦМР, рівний 200 м, який є прийнятним для рівнинного рельєфу;

2) використовувати додаткові точки поза сіткою ЦМР, які описують особливості складного рельєфу. Кількість додаткових точок зростає прямо пропорційно складності рельєфу місцевості.

#### Список літератури:

1. Земельний Кодекс України: Закон України від 25 жовтня 2001 р. № 2768-III. Відомості Верховної Ради України. 2002. № 3. Ст. 27.
2. Про землеустрій: Закон України від 22 травня 2003 р. № 858-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 36. Ст. 282.

3. Уханева А.В. Построение рельефа местности: современный подход к автоматизации процесса. Геодезия и картография. 2010. Т. 71. Вып. 11. С. 24–29.
4. Паздрій І.М., Білінський Ю.В. Використання геоінформаційних систем для зображення рельєфу земної поверхні. Вісник Львівського університету. Серія географічна. 2006. Вип. 33. С. 301–309.
5. Карпінський Ю.О., Лященко А.А., Рунець Р.В. Еталонна модель бази топографічних даних. Вісник геодезії та картографії. 2010. Вип. 2. С. 28–36.
6. Лазоренко-Гевель Н.Ю., Денисюк Б.І. Аналіз методів і моделей цифрового моделювання рельєфу в об'єктно-реляційних базах топографічних даних. Управління розвитком складних систем. 2016. Вип. 26. С. 178–186.
7. Philip G.M. A precise method for determining contoured surfaces. Australian Petroleum Exploration Association Journal. 1982. № 22. P. 205–212.
8. Watson D.F. A refinement of inverse distance weighted interpolation. Geo-Processing. 1985. № 2. P. 315–327.
9. Eckstrein B.A. Evaluation of spline and weighted average interpolation algorithms. Comput. and beasci. 1989. Vol. 15, № 1. P. 79–94.
10. Глобальные цифровые модели высот. URL: [http://www.racurs.ru/wiki/index.php/Глобальные\\_цифровые\\_модели\\_высот](http://www.racurs.ru/wiki/index.php/Глобальные_цифровые_модели_высот) (дата звернення: 05.11.2018).
11. Пиличева М.О. Исследование методов трансформирования космических изображений. Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. 2009. Вип. 9(143). С. 132–139.
12. Боровий В.О., Зарицький О.В., Кінь Д.О. Технологія координатного перетворення та трансформування при геодезичних та землевпорядних роботах. URL: [https://www.researchgate.net/publication/323129523\\_Tehnologia\\_koordinatnogo\\_peretvorennja\\_ta\\_transformuvanna\\_pri\\_geodezicnih\\_ta\\_zemlevporadnih\\_robotah](https://www.researchgate.net/publication/323129523_Tehnologia_koordinatnogo_peretvorennja_ta_transformuvanna_pri_geodezicnih_ta_zemlevporadnih_robotah) (дата звернення: 05.11.2018).
13. Грещук Г.В., Ступень Р.К. Використання геоінформаційних систем у землевпорядкуванні. URL: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/Vlnau\\_econ\\_2015\\_22\(2\)\\_33.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vlnau_econ_2015_22(2)_33.pdf) (дата звернення: 05.11.2018).
14. Поправко О.В. Застосування геоінформаційних систем (ArcGIS) у землевпорядкуванні. URL: [http://maptimes.inf.ua/CH\\_10/15.pdf](http://maptimes.inf.ua/CH_10/15.pdf) (дата звернення: 05.11.2018).

### ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЬЕФА И УКЛОНОВ МЕСТНОСТИ ДЛЯ ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНЫХ НУЖД

*В статье исследованы методы построения цифровой модели местности и уклонов. Рассмотрены их основные этапы, выявлены преимущества и недостатки. В качестве приоритетного метода построения цифровой модели местности предложен метод оцифровки существующих карт и планов в геоинформационной системе, который позволяет автоматизировать процесс построения уклонов местности. Рекомендуется использовать шаг создания цифровой модели местности равный 200 м для равнинного рельефа, а для сложного рельефа – дополнять дополнительными точками, описывающими особенности местности. Количество дополнительных точек увеличивается прямо пропорционально сложности рельефа местности.*

**Ключевые слова:** рельеф, уклоны местности, цифровая модель рельефа, проект землеустройства, автоматизация построения цифровой модели местности, геоинформационные технологии.

### THE GEOINFORMATION TECHNOLOGIES OF AUTOMATION OF THE RELIEF AND SLOPES CONSTRUCTING FOR LAND MANAGEMENT NEEDS

*The article explores methods for constructing of the digital model of terrain and slopes. Their main stages are considered, advantages and disadvantages are revealed. As a priority method for constructing of the digital terrain model, a method of digitizing existing maps and plans in a geographic information system has been proposed, which allows automating of the process of constructing terrain slopes. It is recommended to use the step of creating of the digital terrain model equals to 200 m for flat terrain, for complex terrain – to complement with additional points describing the features of the terrain. The number of additional points increases in direct proportion to the complexity of the terrain.*

**Key words:** terrain, terrain slopes, digital terrain model, land management project, automation of digital terrain model construction, geoinformation technologies.