



АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТОПОЛОГІЧНОГО УЗГОДЖЕННЯ КАДАСТРОВОЇ КАРТИ

Рассматриваются вопросы качества кадастровых данных в автоматизированной системе земельного кадастра и в сервисе публичного представления кадастровой информации. Изложены подходы к организации структуры хранения пространственных данных и их модификации при координатной и топологической коррекции. Доказана возможность использования методики связывания границ соседних объектов при последовательной обработке поступающих в систему данных. Выполнено математическое моделирование увязывания границ участков с различными последовательностями поступления данных. Экспериментально подтверждается эффективность предлагаемой методики.

The issues of the cadastral data quality in the automatized system of land cadastre and in the service of public presentation of cadastral information are reviewed in the paper. The approaches to the organization of the structure of spatial data storing and their modification under coordinate and topological correction are considered. It is proved the possibility of using the technique of coordination of boundaries of adjacent objects under successive processing of the data arriving into the system. The mathematical modeling of coordination of parcels borders with various sequences of data receiving is carried out. The effectiveness of the proposed technique is experimentally proved.

Постановка проблеми. У січні 2013 р. відкрито доступ в Інтернет до автоматизованої Публічної кадастрової карти України [2]. Незважаючи на серйозні недоліки в постановці, організації та веденні земельного кадастру в Україні, не можна переоцінити важливість цієї події як для суспільства в цілому, так і для Державного агентства земельних ресурсів зокрема.

Ігнорування важливості геодезичних робіт у системі земельного кадастрування, незавершеність та неоднозначність процесу введення в дію єдиної державної системи координат привели до того, що на цій карті розташування окремих земельних ділянок не відповідає як взаємному, так і просторовому географічному положенню. Для ілюстрування сказаного візьмемо ділянку в новому районі приватної забудови, де межі землекористування чітко ідентифікуються на місцевості (мал. 1). Межі земельних ділянок, дані про які зберігаються в автоматизованій системі кадастру та представлені на Публічній кадастровій карті, позначені на

ній синім кольором. Навіть у цьому простому випадку помітні невідповідності, що набагато перевищують як похибки ортофотоплану, так і нормативи щодо точності кадастрових зйомок.

У багатьох інших місцях кадастрової карти стан ще гірший і навіть неприглядний. Можна знаходити пояснення та виправдання такій картині, але залишати її на огляд усьому світу неприпустимо.

Змусити виконавців кадастрових зйомок виправити невідповідність координат вершин меж ділянок у всіх випадках практично неможливо, до того ж це потребуватиме значного часу. А ще необхідно буде понести значні затрати на повторне введення даних до системи. Усунення зазначених недоліків Публічної кадастрової карти України є актуальним та важливим державним завданням.

Вирішення цього завдання можливе за рахунок корекції меж земельних ділянок. Існує декілька підходів до виконання просторової і топологічної корекції.

Одним із найбільш відомих методів корекції є застосування модуля ArcGIS – Cadastral Editor, що дозволяє побудувати таку модель зберігання даних, яка може виправляти помилки взаємного розташування та дає змогу уникати розривів і накладань земельних ділянок. Деталі алгоритму корекції в модулі Cadastral Editor невідомі, але наявність фіксованих пунктів, координати яких не змінюються в процесі зрівняння, є обов'язковим [3].

Ефективнішою вважаємо методику, запропоновану нами [1], яка дозволяє виправити просторове положення земельних ділянок при мінімальній зміні площ. При цьому наявність фіксованих пунктів необов'язкова, що дозволяє виконувати зв'язування при неповному заповнюванні блоку і при поступовому надходженні даних до системи.

Виклад основного матеріалу. В основу запропонованого рішення покладено такі припущення:

- ортофотоплани, які використовуються як картографічна підкладка для підготовки кадастрової карти, створені в останні роки під проект "Видача державних актів на право власності на



Мал. 1. Фрагмент кадастрової карти



землю у сільській місцевості та розвиток системи кадастру" (Закон України від 15.06.2004 № 1776-IV). Вони відповідають актуальному стану топографічної ситуації та мають високу точність контурів, що задовольняє вимоги до точності планів масштабу не нижче 1:5 000;

– точність визначення взаємного положення точок повороту меж кожної ділянки при сучасних методах кадастрових зйомок з використанням електронних тахеометрів дуже висока – у межах 1-3 см.

За таких умов вирішення поставленого завдання може бути переміщення окремих ділянок за координатами так, щоб їх положення відповідало ортофотоплану і при цьому не порушувалися спільні межі й практично не змінювалися площі кожної ділянки.

Теоретичні основи автоматизованого вирішення поставленого завдання описано в праці [1]. Відповідно до цього скореговано положення меж ділянок, зображених на мал. 1.

Процес корегування включав такі процедури:

– ідентифікація на ортофотоплані двох або більше точок, що збігаються з точками повороту меж деяких ділянок;

– ідентифікація спільних точок повороту меж суміжних ділянок;

– аналітична коректура координат точок повороту меж і об'єднання їх у загальну систему, узгоджену з ортофотопланом або державною системою координат.

Результати коректури відображено на мал. 2, де жовтим кольором показано скореговані межі ділянок. Для цього використано чотири контрольні точки (відмічені червоними квадратами). Координати точок повороту меж кожної ділянки визначено за їх растровим зображенням. Алгоритм аналітичної коректури забезпечує збереження площі й форми ділянок, вносячи зміни тільки в межах точності кадастрової зйомки.

Оскільки Публічна кадастрова карта є візуалі-



Мал. 2. Фрагмент кадастрової карти з виправленими межами кадастрових об'єктів

зацією деякої підмножини даних загальної бази кадастрових даних, то з трьох зазначених вище процедур тільки перша вимагає втручання людини, а друга і третя можуть бути значною мірою автоматизовані. Певна трудність у тому, що загальна кадастрова база є неповною, внесені до неї земельні ділянки не покривають всю територію України. Процес поступового заповнення бази триває. При цьому виникає проблема організації збереження координат і визначення часу на виконання координатної і топологічної корекції. Можливі три варіанти вирішення даної проблеми.

1. У базі даних визначені координати меж ділянок зберігаються доти, поки не буде заповнено весь блок. У цьому випадку забезпечується строге розв'язання системи рівнянь, а координати вершин ділянок змінюватимуться тільки раз. Але при такому підході тривалий час (до повного заповнення блоку) ділянки можуть залишатись незв'язані, для кожної вершини, яка входить до n полігонів, необхідно буде зберігати n пар координат, що призводитиме до значного збільшення об'єму збережуваної інформації.

2. Друге рішення передбачає зв'язування меж ділянок при кожному черговому надходженні нової ділянки або групи ділянок, причому при кожному зв'язуванні за вихідні приймаються визначені координати. Це дозволяє забезпечити строгість рішення, але додатково передбачає зберігання виміряних координат меж ділянок до повного заповнення блоку, що ускладнює структуру і неминуче збільшує об'єм інформації, що зберігається. При такому підході виконується топологічне коригування меж об'єктів землекористування, але скореговані координати змінюватимуться з часом у процесі надходження нових даних.

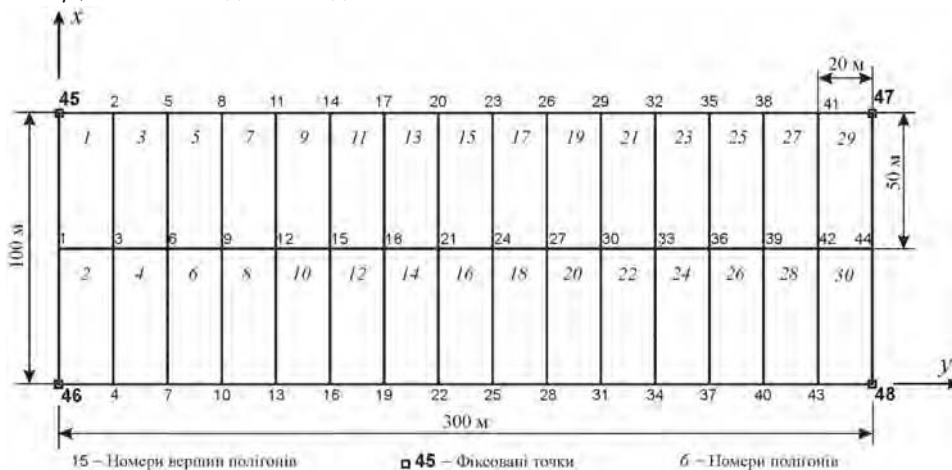
3. Найбільш раціональний варіант вирішення проблеми (з огляду на потребу зберігання і оброблення даних) полягає у зв'язуванні меж ділянок у міру надходження даних до земельно-кадастрової системи, при якому для кожної точки пропонується зберігати тільки одну пару скорегованих координат. Приєднання кожної нової ділянки спричинює зміну координат усіх полігонів, які з ним зв'язані. При такому покроковому варіанті корекції з'являється нестрогість у рішенні задачі, яка виражається в тому, що виконується багаторазове переобчислення координат, а далі використовуються не виміряні, а скореговані координати вершин полігонів. Виходячи з того, що черговість занесення даних про ділянки до системи кадастру довільна, порядок надходження ділянок до системи впливатиме на кінцевий результат координатної і топологічної корекції.

Розглянемо ступінь впливу послідовного переобчислення координат на кінцевий результат корекції.

Дослідження виконувалося на моделі (мал. 3) методом математичного статистичного моделювання. Якби координати точок повороту меж окремих ділянок не мали похибок, то незалежно від



систем координат кожної ділянки кінцеві результати об'єднання за пропонуваним алгоритмом були б тотожні. Тому при постановці моделювання передбачалось, що визначення координат точок повороту меж обтяжені похибками. У координати точок повороту меж перед їх переобчисленням (зрівнянням) вводилися випадкові нормально розподілені похибки із середнім квадратичним відхиленням μ , постійним для всіх ділянок.



Мал. 3. Модель, використана при аналізованні порядку приєднання ділянок

Для кожного варіанту розрахунку виконувалось багаторазове послідовне приєднання полігонів у довільному порядку та їх покрокове зв'язування. Приєднання здійснювали по одному полігону до повного заповнення блоку. На кожному новому кроці при зв'язуванні обирались оптимальні ваги. Наприкінці проводилось одночасне зв'язування всіх полігонів у блоці з чотирма жорсткими точками по кутах. При цьому за вихідні приймалися координати, отримані на останньому кроці послідовного зв'язування.

Випробували 50 варіантів моделі, кожен з яких розраховували при 50-ти варіантах послідовностей приєднання ділянок. Аналізу піддавалися як координати, отримані при послідовному зв'язуванні, так і дані, отримані після зв'язування блоку з жорсткими пунктами.

За результатами цих розрахунків для всіх вершин було визначено середньоквадратичні відхилення координат x та y відносно строгого рішення цілим блоком. Для цього в кожному варіанті розрахунку j для кожної вершини i обчислювались різниці координат:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{xi}^j &= x_{ki}^j - x_i^j; \\ \delta_{yi}^j &= y_{ki}^j - y_i^j; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де x_{ki}^j, y_{ki}^j – зрівняні координати i -ї вершини при послідовному приєднанні та зв'язуванні полігонів; x_i^j, y_i^j – зрівняні координати i -ї вершини при зв'язуванні полігонів одним цілим блоком за вимірними координатами.

Середні квадратичні відхилення обчислювались за формулами

$$\sigma_{x_i} = \sqrt{\frac{\sum \delta_{xi}^2}{\mu^2 n}}; \quad \sigma_{y_i} = \sqrt{\frac{\sum \delta_{yi}^2}{\mu^2 n}}; \quad \sigma_i = \sqrt{\sigma_{x_i}^2 + \sigma_{y_i}^2}, \quad (2)$$

$$\sigma_{x_{сер}} = \frac{\sum \sigma_{x_j}}{m}; \quad \sigma_{y_{сер}} = \frac{\sum \sigma_{y_j}}{m}; \quad \sigma_{сер} = \frac{\sum \sigma_j}{m}, \quad (3)$$

де n – кількість варіантів розрахунків; m – кількість точок моделі, для яких отримано значення середньоквадратичних відхилень.

Результати розрахунків зведено у табл. 1. На мал. 4 та 5 відображено розподіл середніх квадратичних відхилень у блоці.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити такі висновки:

1. Нестрогість, пов'язана з послідовним приєднанням полігонів і використанням з кожним подальшим кроком скорегованих

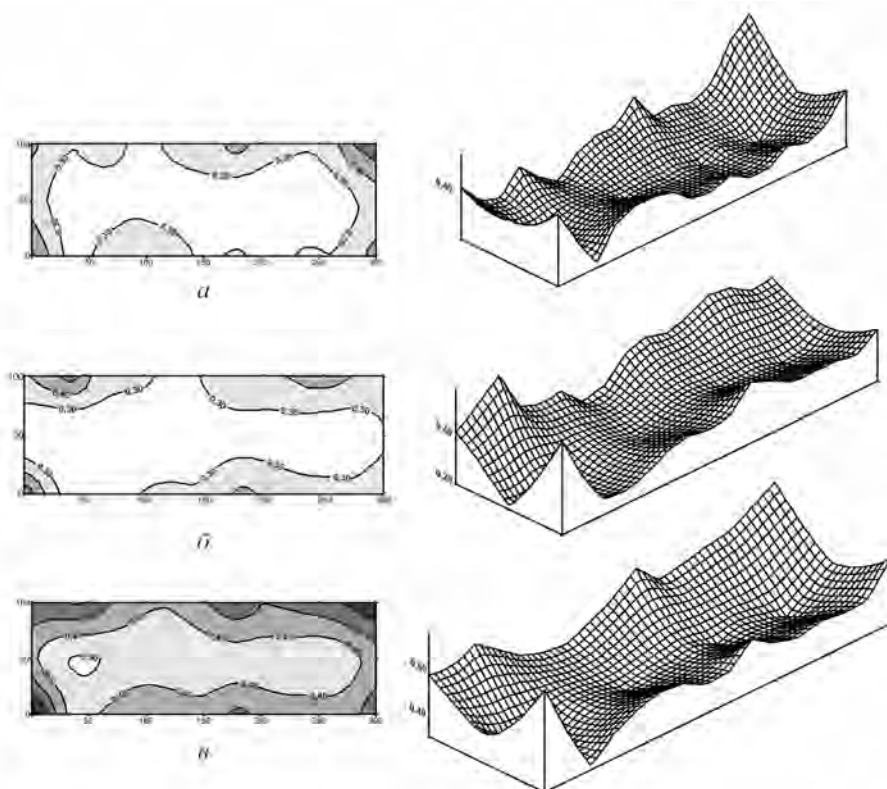
координат, породжує похибки в координатах пунктів, які в середньому становлять 0,3 величини похибки вимірних координат μ .

2. Найменші відхилення (менші за $0,3 \mu$) спостерігаються в точках, до яких примикає 4 полігони; у точках, спільних для 2-х полігонів, це відхилення становить 0,25-0,40 μ , а в крайніх точках, що входять тільки до одного полігона та мають місце тільки при відсутності фіксованих пунктів, це значення досягає 0,60 від величини μ .

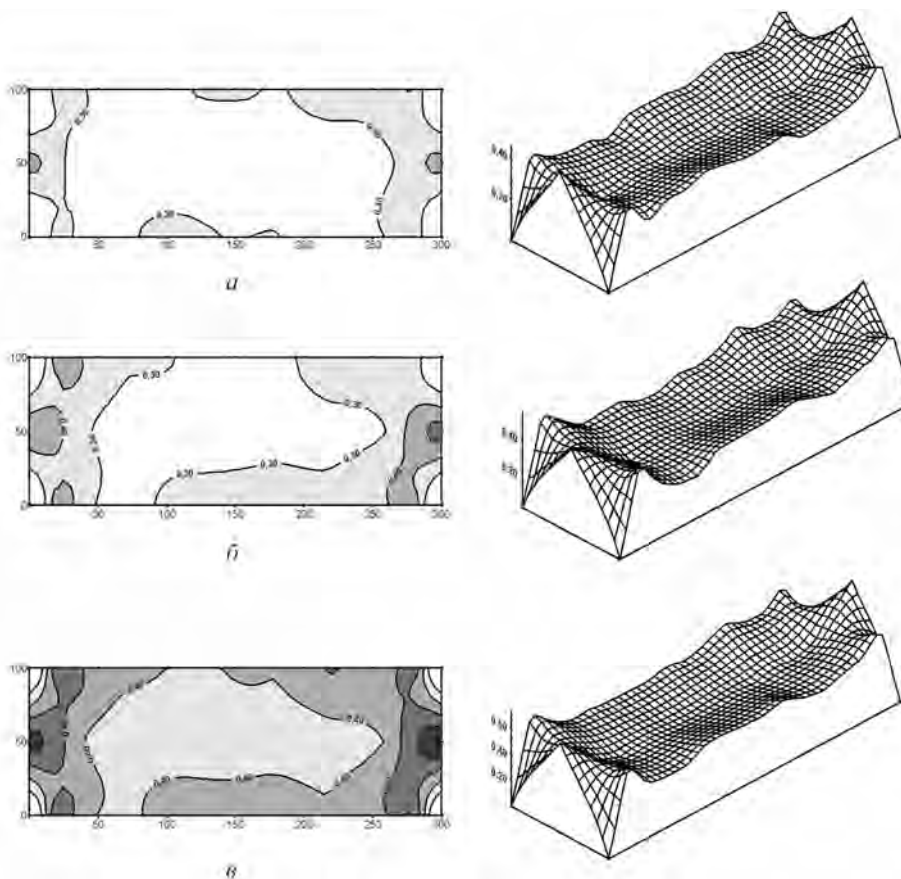
3. Значення середніх квадратичних відхилень та їх розподіл по блоку при наявності чи відсутності фіксованих точок практично не відрізняються. Середні величини відхилень при наявності фіксованих точок зменшуються на 1-5 % через те, що в схемі відсутні вільні точки, які входять до одного полігона.

Таблиця 1. Результати аналізу відхилень координат меж ділянок при довільній послідовності їх приєднання

Варіант обчислень	Середні квадратичні відхилення, у частках μ					
	по осі x		по осі y		загального положення	
	max	сер.	max	сер.	max	сер.
Відхилення між послідовним (покроковим) рішенням і зрівнянням цілого блоку без фіксованих точок	0,58	0,32	0,58	0,32	0,78	0,46
	0,20		0,16		0,29	
Відхилення між послідовним (покроковим) рішенням з фіксуванням на заключному кроці за 4-ма фіксованими точками і зрівнянням цілого блоку з фіксованими точками	0,46	0,27	0,57	0,31	0,73	0,41
	0,22		0,23		0,33	



Мал. 4. Середні квадратичні відхилення координат, які отримані при послідовному приєднанні та зрівнянні цілого блоку без фіксованих точок:
a – по осі *x*; *b* – по осі *y*; *v* – по обох осях



Мал. 5. Середні квадратичні відхилення координат, отриманих при послідовному приєднанні та зрівнянні цілого блоку з чотирма фіксованими точками по кутах:
a – по осі *x*; *b* – по осі *y*; *v* – по обох осях



Загалом отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що нестрогістю, пов'язану з послідовним приєднанням полігонів, можна знехтувати.

Однією з переваг математичного апарату пропонуваної топологічної і координатної корекції є мінімальна зміна площ полігонів [1]. Тому одночасно з аналізом зміни координат було досліджено зміни площ ділянок і всього блоку.

При аналізі моделювання обчислювалися відхилення площ за формулою

$$\delta_{S_i}^j = S_i^j - S_i, \quad (4)$$

де S_i^j – площа i -го полігона в j -му варіанті розрахунку, обчислена за перетвореними (зрівняними) координатами; S_i – площа, обчислена за результатами кадастрової зйомки.

Середні квадратичні відхилення площ ділянок δ_{S_i} та цілого блоку δ_{S_6} обчислювалися за формулами

$$\delta_{S_i} = \sqrt{\frac{\sum \delta_{S_i}^2}{m_{S_i}^2 n}}; \quad \delta_{S_6} = \sqrt{\frac{\sum \delta_{S_i}^2}{m_{S_i}^2 nk}}, \quad (5)$$

де n – кількість варіантів розрахунків; m_{S_i} – середня квадратична похибка площі полігона, обчислена за вихідними координатами; k – кількість ділянок, які входять до блоку.

Результати аналізу площ (табл. 2) свідчать, що середні квадратичні відхилення цього показника по окремих ділянках при послідовному зрівнянні й строгому зрівнянні цілим блоком істотно менше похибки визначення площ ділянок при кадастровій зйомці.

Висновки. 1. На підставі проведених досліджень можна стверджувати, що нестрогість, пов'язана з послідовним приєднанням і зв'язуванням окремих полігонів земельних ділянок, істотно не впливає на остаточний результат.

2. Середні квадратичні відхилення в координатах при строгому рішенні цілим блоком становлять у середньому 0,3 значення похибки вимірювання координат.

3. Середні значення змін площ ділянок при будь-якому порядку їх об'єднання не перевищують похибок кадастрової зйомки, тому корегу-

Таблиця 2. Результати аналізу змін площ ділянок при їх корекції

Варіант зрівняння	Величини відхилень площ, у частках m_s			
	окремої ділянки			блоку
	$\delta_{S_i, \text{сеп}}$	$\delta_{S_i, \text{min}}$	$\delta_{S_i, \text{max}}$	
Послідовне приєднання і покрокове зрівняння без фіксованих точок	0,71	0,56	0,90	0,46
Зрівняння одним загальним блоком без фіксованих точок	0,70	0,55	0,87	0,42
Послідовне приєднання і покрокове зрівняння з фіксуванням за 4-ма фіксованими точками	0,69	0,55	0,88	0,40
Зрівняння одним загальним блоком з 4-ма фіксованими точками по кутах блоку	0,68	0,54	0,87	0,38
Вихідні площі, обчислені за вимірними координатами без корегування	1,00	0,81	1,19	0,93

вання положення ділянок за пропонуваним алгоритмом не вимагає внесення змін до реєстраційних даних, але забезпечує об'єктивний контроль інформації про земельні ділянки, що зрештою приведе Публічну кадастрову карту України в належний стан. При відповідній організації та програмному забезпеченні завдання може бути вирішене швидко і з оптимальними затратами.

Література

1. Могильний, С.Г. Топологічна та координатна корекція меж землекористування в автоматизованих системах кадастру / С. Г. Могильний, Д. Ю. Гавриленко // Вісн. геодез. та картогр. – 2010. – № 4. – С. 33-40.

Інтернет-джерела

2. Публічна кадастрова карта України (Реж. доступу: <http://map.dazru.gov.ua/kadastrova-karta>) станом на 11.06.2013.

3. *Cadastral Editor tutorial* (Реж. доступу: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/pdf/cadastral_editor_tutorial.pdf) станом на 11.06.2013.

Надійшла 13.05.13