

Мал. 4. Тематичний шар з рекомендаціями щодо розміщення АЗС

множин, яка в свою чергу лише фіксує задану точність інформації, що використовується для просторово-планувальних рішень у ході вибору придатної території. Застосування нечіткої логіки дозволяє визначити проміжні значення щодо вимог ДБН України. Означення на кшталт *далеко, дуже далеко, недалеко* можна формулювати математично і обробляти на комп'ютерах для забезпечення просторово-планувальних рішень в умовах невизначеності.

Отримані результати підтверджують ефективність інтегрування засобів ГІС та методів нечіткої

логіки для моделювання при вирішенні завдань територіального планування.

#### Література

1. Борисов, А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений [Текст] / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьев [и др.] – М.: Радио и связь, 1989. – 394 с.
2. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов [Текст] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
3. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
4. Круглов, В.В. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода [Текст] / В.В. Круглов, М.И. Дли. – М.: Физматлит, 2002. – 256 с.
5. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH [Текст] / А.В. Леоненков. – С.Пб., 2003. – 340 с.
6. Мелихов, А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой [Текст] / А.Н. Мелихов, Л.С. Бернштейн, С.Я. Коровин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 272 с.
7. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 452 с.
8. Cordon, O. A General study on genetic fuzzy systems [Text] / O. Cordon, F. Herrera // Genetic Algorithms in engineering and computer science. – 1995. – P. 33-57.
9. Kosko, B. Fuzzy systems as universal approximators [Text] / B. Kosko // IEEE Transactions on Computers. – Vol. 43, No. 11, November 1994. – P. 1329-1333.

Надійшла 08.11.10

\* \* \*

УДК 528.92:65.011.56

О. В. Кондратюк

## КООРДИНАТНЕ ІНТЕГРУВАННЯ РІЗНОРІДНИХ КАРТОГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ У ГІС-КОРДОН

*Рассматривается задача преобразования геопространственных данных про объекты делимитации и демаркации государственной границы Украины (векторные данные, растровые модели картографических материалов, изображения поверхностей, изображения специальных объектов) в одну систему координат путем координатного интегрирования в геоинформационную систему на основании международного стандарта ISO 19111.*

*It is considered the problem of transformation of the geospatial data about objects of delimitation and demarcation of state boundary of Ukraine (vector data, raster models of cartographic materials, images of surfaces, images of special objects) into one coordinate system by means of coordinate integration into the geoinformation system on the basis of ISO 19111 standard.*

**Вступ. Постановка проблеми.** Документи на встановлення державного кордону України містять різноманітні відомості про об'єкти кордону з їх просторовою локалізацією та інформацією про просторову прив'язку даних до певного місця/простору. До комплексу

цих документів входять векторні, растрові, комбіновані (растрово-векторні) й текстові моделі картографічних матеріалів, і саме вони є предметом для розміщення в геоінформаційних системах.

Безперечно, наразі ефективне забезпечення переговорного процесу і проведення робіт з делімітації та демаркації державного кордону неможливе без

© О. В. Кондратюк, 2010

застосування ГС. Геопросторові дані про об'єкти кордону характеризуються різноманітністю, вони сформовані в різних системах координат та проекціях. Тому актуальним є завдання переведення всіх даних в одну систему координат методом координатного інтегрування в геоінформаційну систему.

Питанню проведення координатних операцій присвячено стандарт ISO 19111 "Geographic information – Spatial referencing by coordinates" [3]. У цьому стандарті вказано мінімум даних, які потрібні для визначення одно-, дво- і тривимірних просторових референційних систем, доповнених комплексними просторово-часовими референційними системами.

Наведемо зі стандарту [3] діаграму UML-класів, яка охоплює математичні операції з координатами, в ході яких вони трансформуються чи перетворюються в іншу референційну систему координат (мал. 1).

Координатна операція – це зміна координат з дотриманням принципів типу "один-до-одного", "від однієї референційної системи координат до іншої". Операція включає процеси координатного трансформування та координатного перетворення. Координатне перетворення (англ. "coordinate conversion") виконується в тих випадках, коли відомі теоретичні (точні) значення вихідних параметрів. Трансформування координат (англ. "coordinate transformation") виконується, коли теоретичні (точні) значення параметрів перетворення координат невідомі і їх потрібно знайти інтерполюванням або апроксимацією таблично заданих функцій за опорними точками.

**Невирішені частини загальної проблеми.** Сучасні геоінформаційні системи пропонують багато методів перетворення і трансформування координат. Тому особливої актуальності набуває питання свідомого їх

вибору та обґрунтування видів координатних операцій, у т. ч. і перетворення й трансформування координат.

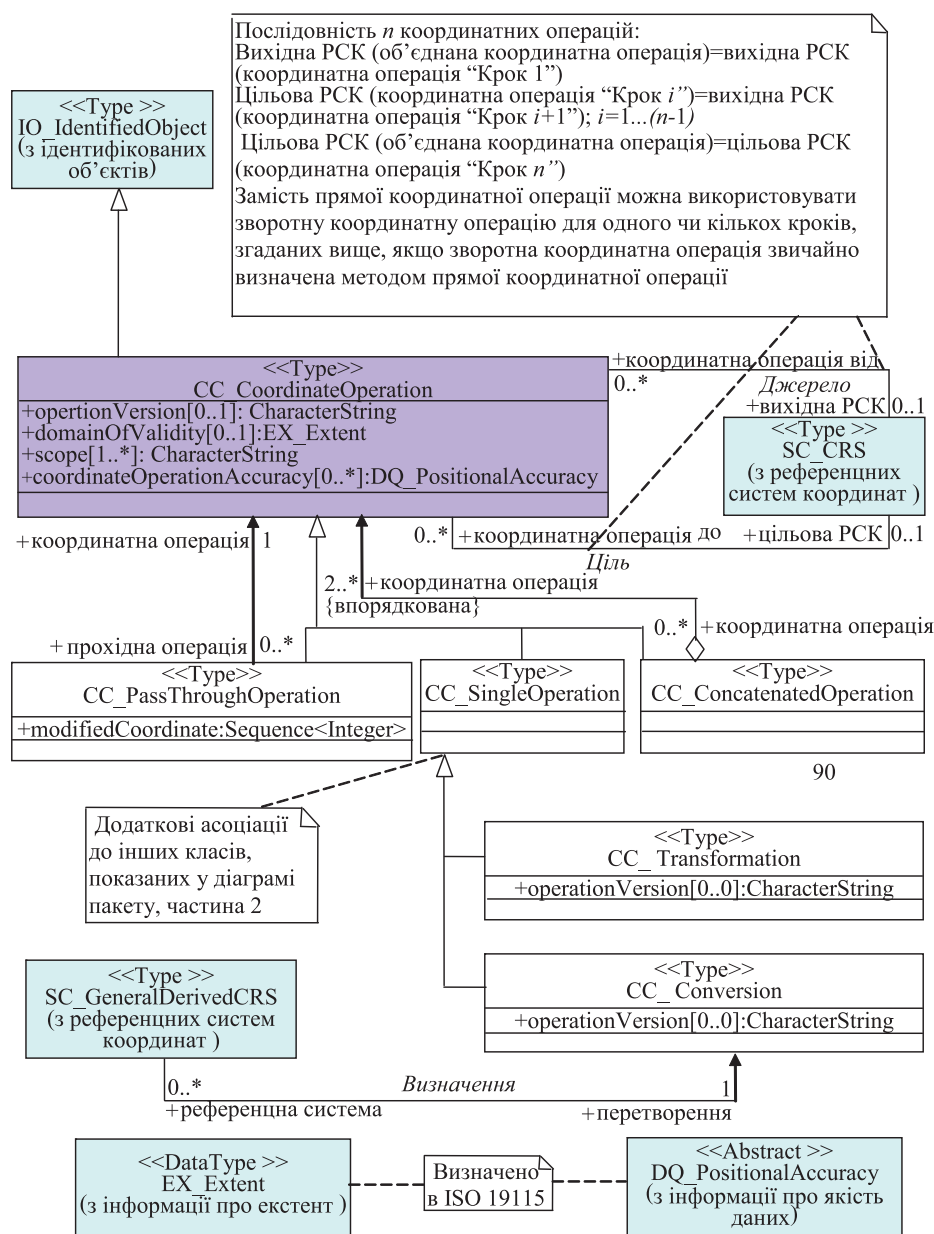
**Мета дослідження:** розробити методику вирішення задачі координатної інтеграції різноманітних картографічних матеріалів на основі міжнародного стандарту ISO 19111 "Geographic information – Spatial referencing by coordinates".

Для досягнення поставленої мети було передбачено виконання таких завдань:

- дослідження сучасного стану з наявністю геопросторових даних про об'єкти делімітації і демаркації державного кордону України;
- пошук необхідних математичних методів та моделей перетворення і трансформування координат.

**Характеристика наявних картографічних матеріалів.** База геопросторових даних про делімітацію та демаркацію кордону включає: векторні дані, растрові моделі картографічних матеріалів, зображення поверхонь, зображення спеціальних об'єктів і текстові документи.

Основним картографічним матеріалом для виконання робіт з делімітації сухопутних ділянок кордону є топографічні карти масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000 та 1:100 000, а для визначення меж морських просторів – 1:500 000, 1:750 000 [6].



Мал. 1. Пакет координатних операцій



Детальну географічну інформацію про місцевість у прикордонній смузі та про суміжні об'єкти отримано із зображень на аеро- та космознімках, ортофотопланах, які мають різні системи координат і проєкції, та із додаткових описових матеріалів. За результатами аналізу картографічних джерел з метою геоінформаційного забезпечення делімітації та демаркації державного кордону України побудовано діаграми (мал. 2, 3). Як видно з мал. 2, серед картографічних матеріалів переважають *текстові*: протоколи-описи проходження лінії кордону, протоколи прикордонних знаків з коротким описом місцезнаходження прикордонного знака, протоколи-описи стикових знаків, каталоги координат прикордонних знаків, таблиці островів (на водних ділянках) з інформацією про їх належність, списки географічних назв, що зустрічаються в Протоколі-описі й лоції Чорного та Азовського морів.

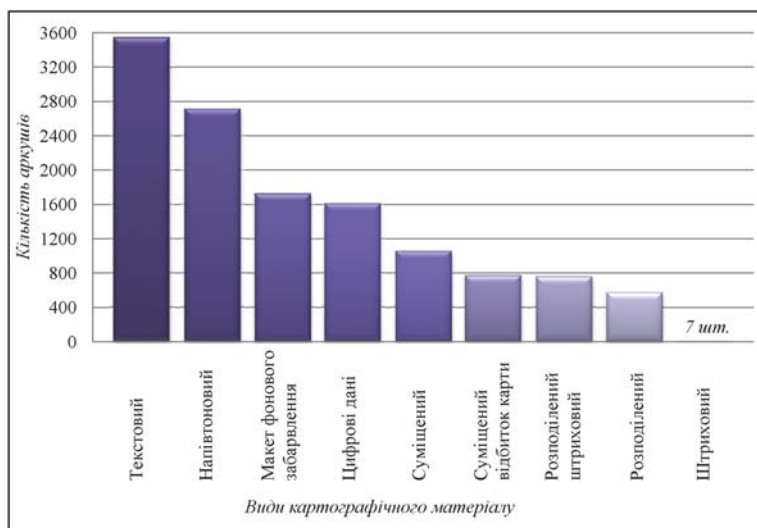
Топографічні карти на територію України в масштабах 1:500 000 та 1:1 000 000, цифрові матеріали аерофотознімання, космічні знімки (Landsat та Radarsat), ортофотоплани масштабу 1:5 000, ортофотокарти масштабу 1:10 000, фотозображення окремих ділянок та прикордонних знаків виконані як *напівтонові матеріали*. Топографічні карти масштабів 1:10 000 та 1:25 000 використано для підготовки *макетів фонових забарвлень*.

*Цифрові дані* посідають четверту позицію за кількістю наявного матеріалу. Це переважно цифрові моделі морських навігаційних карт Азовського і Чорного морів та Керченської протоки в масштабах 1:5 000-1:1 250 000, цифрова топографічна основа масштабів 1:200 000 та 1:500 000.

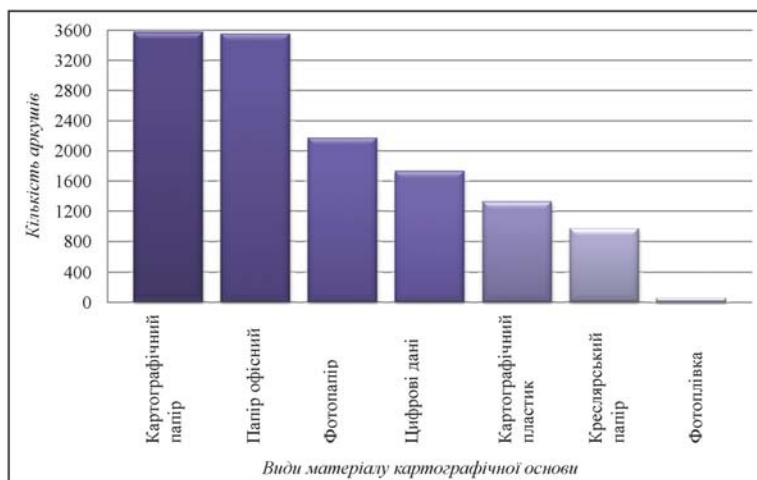
Топографічні карти масштабів 1:10 000 та 1:25 000, морські навігаційні карти масштабів 1:5 000-1:750 000 виконані як *суміщені картографічні матеріали*. Чергова довідкова карта масштабу 1:100 000, схема залізниць України масштабу 1:750 000, схема з нанесеною на неї геодезичною основою і прив'язкою основних прикордонних знаків до геодезичної мережі, матеріали землеустрою та лісоустрою, поздовжні профілі залізниць, плани смуг відведення під залізницю та автодороги, паспорти автодоріг є *суміщеними відбитками карт*.

До матеріалів, які виконано, як *розподілено штрихові*, належать топографічні карти масштабів 1:10 000 та 1:25 000. Топографічні карти масштабів 1:50 000, 1:100 000, 1:500 000 та 1:1 000 000 є *розподіленими* картографічними матеріалами. *Штрихові* картографічні матеріали займають останню позицію за кількістю видів – це топографічні плани масштабів 1:2 000 та 1:5 000.

Далі у таблиці наведено основні характеристики наявного матеріалу картографічної основи.



Мал. 2. Набір видів картографічного матеріалу



Мал. 3. Набір матеріалів для картографічної основи

**Характеристика матеріалу основи**

| Вид основи             | Характер деформації | Величина деформації | Термін використання основи |
|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| Картографічний папір   | Нелінійний          | 2-3 мм/м і більше   | до 50-ти років             |
| Папір офісний          | Нелінійний          | 1 мм/м і більше     | до 50-ти років             |
| Фотопапір              | Нелінійний          | 2 мм/м і більше     | до 10-ти років             |
| Картографічний пластик | Лінійний            | 0,3-0,7 мм/м        | до 50-ти років             |
| Креслярський папір     | Нелінійний          | 1 мм/м і більше     | до 50-ти років             |
| Фотоплівка             | Нелінійний          | 5 мм/м              | до року                    |

На геометричну точність картографічних даних впливають такі фактори:

1. Деформація вихідного картографічного матеріалу.
2. Інструментальні спотворення растрового зображення сканером.
3. Похибки оператора при визначенні опорних точок.



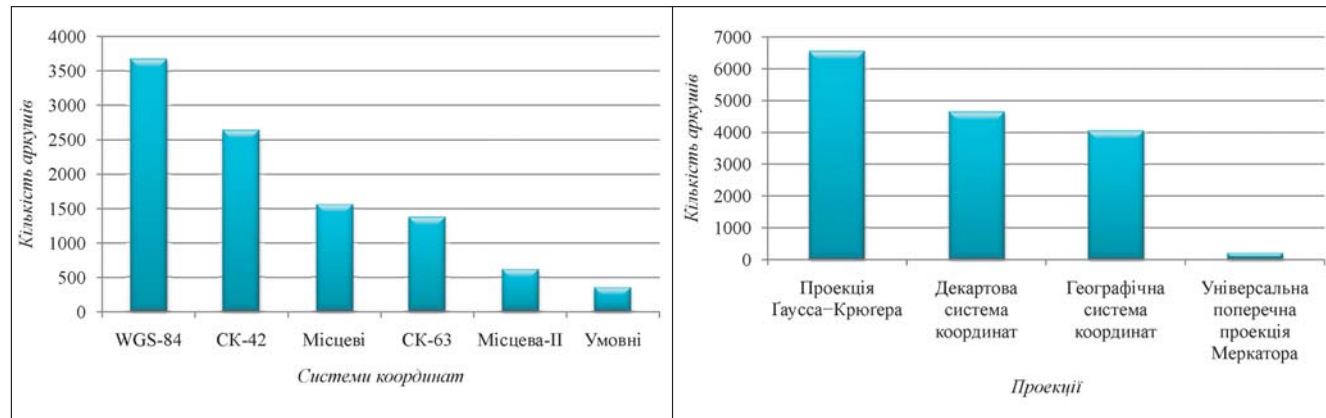
4. Методичні похибки трансформування координат.

Всі ці фактори мають випадковий характер і незалежні один від одного. Середня квадратична похибка (СКП)  $m_r$ , визначення положення точки на картографічних матеріалах відносно вихідних даних становить:

$$m_r = \pm \sqrt{m_d^2 + m_s^2 + m_o^2 + m_m^2}, \quad (1)$$

де  $m_d, m_s, m_o, m_m$  – СКП відповідно деформації вихідного картографічного матеріалу, інструментального спотворення растрової моделі сканера, похибки оператора при визначенні контрольних точок та методичної похибки трансформування координат.

**Координатне інтегрування різномірних картографічних матеріалів у ГІС-Кордон.** Геопросторові дані на об'єкти делімітації та демаркації державного кордону сформовані в різний час і в різних системах координат та проекціях (мал. 4).



Мал. 4. Загальна картина про наявні картографічні матеріали, що склалася на час формування державного кордону України

За математичну основу в Україні наразі прийнято Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000 [1]. Координатне інтегрування різномірних картографічних матеріалів передбачає загалом виконання таких операцій:

- 1) приведення різномірних картографічних матеріалів до однієї геодезичної дати – еліпсоїда Красовського, який є основою УСК-2000 (перехід від WGS-84 до УСК-2000);
- 2) приведення картографічних матеріалів до однієї картографічної проекції – Гаусса-Крюгера;
- 3) трансформування координат по опорних точках;
- 4) геокодування за табличними наборами текстових координатних даних – координат  $X$  та  $Y$ , широт і довгот, файлів просторової БД, у координатах якої буде встановлено точковий об'єкт із заданими атрибутами; формування файлів документації з метаданими на об'єкт.

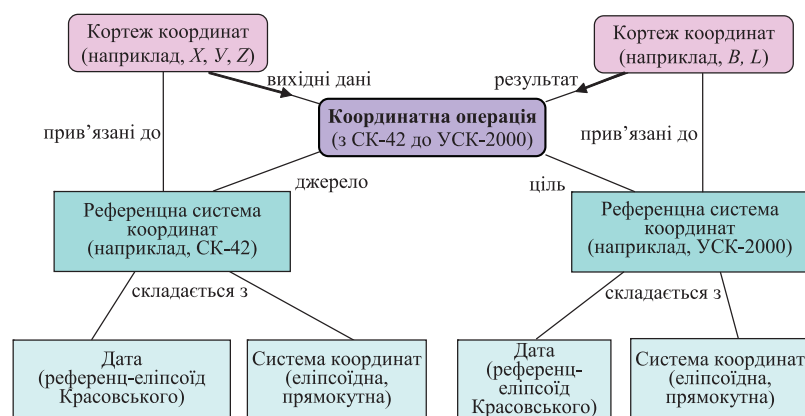
Модель вищого рівня для просторової прив'язки

ки за координатами показано на мал. 5.

Вихідними даними для трансформування є опорні точки, координати яких відомі в системі координат вихідного картографічного матеріалу та в системі координат цільових даних [7]. Такими опорними точками, як правило, є точки математичної основи картографічних матеріалів: вузли географічної або прямокутної сітки, точки геодезичної основи. Складність вирішення проблеми трансформування растрових зображень суттєво залежить від конфігурації вузлів сітки.

Є два підходи до трансформування даних: інтерполяція та апроксимація функцій [4]. У випадку використання глобальної інтерполяції необхідно відновити функцію  $F$  тобто знайти таку інтерполяційну функцію  $\phi$  трансформування координат, яка б наближала  $F$  до її області визначення і щоб її значення у вузлах інтерполяції точно збігалися з заданими значеннями:

$$\phi(XY) = UV. \quad (2)$$



Мал. 5. Концептуальна модель для просторової прив'язки за координатами (за стандартом [3])

Апроксимація забезпечує побудову такої аналітичної функції  $f$  трансформування координат, яка згладжує особливості табличної функції і також наближає  $F$  до її області визначення, але її величини у вузлах інтерполяції не збігаються із заданими:

$$f(XY) \neq UV. \quad (3)$$



При застосуванні будь-яких інтерполяційних методів необхідно і достатньо мати певну кількість опорних точок, які забезпечують однозначне обчислення параметрів трансформування. Разом з тим при використанні апроксимаційних методів потрібно мати надлишкові виміри, до яких застосовується процедура вирівнювання, як правило, за методом найменших квадратів.

У сучасних повнофункціональних геоінформаційних системах можна виділити такі методи трансформування даних:

- конформне трансформування Гельмерта;
- афінне перетворення – поліном 1-го порядку;
- інтерполяційні поліноми 2-го та вищих порядків;
- проективні методи;
- інтерполяція кубічними сплайнами;
- метод скінченних елементів.

*Методом Гельмерта* виконуються поворот растрового зображення, плоскопаралельний зсув растрового зображення уздовж осей  $X$  та  $Y$ , масштабування растрового зображення, при якому масштабні коефіцієнти уздовж осей рівні. Для трансформування інтерполяційним методом необхідно і достатньо визначити параметри за 2-ма опорними точками. Для трансформування апроксимацією опорних точок має бути більше ніж 2, при цьому кількість надлишкових вимірів дорівнюватиме  $2n-4$ . Трансформування цим методом, як правило, виконується у випадку невеликої кількості суміщених точок і не може забезпечити високої точності.

*Методом афінного перетворення* виконуються: поворот даних; плоскопаралельний зсув уздовж осей  $X$  та  $Y$ ; масштабування даних, при якому масштабні коефіцієнти уздовж осей  $X$  та  $Y$  неоднакові; зміна конформності даних. Для трансформування інтерполяційним методом необхідно і достатньо визначити параметри афінного трансформування за 3-ма опорними точками (перетворення 1-го порядку). При трансформуванні апроксимаційним методом афінного перетворення опорних точок має бути більше ніж 3, причому кількість надлишкових вимірів повинна дорівнювати  $2n-6$ . Трансформування методом афінного перетворення, як прийнято, виконується за достатньої кількості суміщених точок [5].

*Методом перетворення поліномом 2 й 3-го порядків* виконується нелінійне перетворення однієї плоскої фігури в іншу. Для побудови інтерполяційного полінома другого порядку необхідно і достатньо визначити параметри проективного трансформування за 6-ма опорними точками. Для побудови апроксимаційного полінома другого порядку опорних точок має бути більше ніж 6, при цьому кількість надлишкових вимірів повинна становити  $2n-12$ .

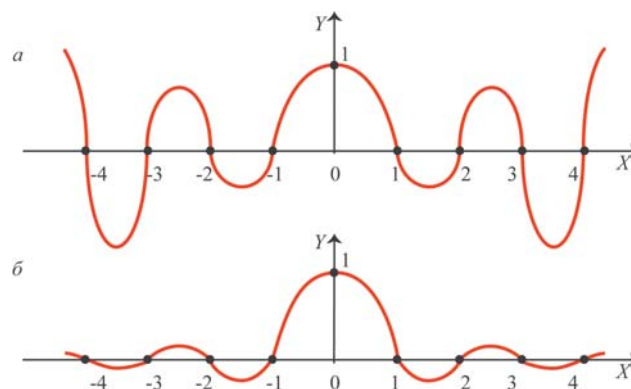
Для побудови інтерполяційного полінома третього порядку необхідно і достатньо визначити параметри проективного трансформування за 10-ма опорними точками. Для побудови апроксимаційного полінома третього порядку опорних точок має бути більше ніж 10, а кількість надлишкових

вимірів –  $2n-20$ .

Трансформування растру методами побудови поліномів другого чи третього ступеня виконуються при наявності значних нелінійних спотворень растрового зображення та великої кількості опорних точок, оскільки побудова інтерполяційного полінома, як правило, не забезпечує достатньої точності трансформованого растрового зображення. Спотворення виправляються найкраще поблизу опорних точок.

*Методом проективного перетворення* виконується трансформування однієї плоскої фігури в іншу. Для проективного трансформування інтерполяційним методом необхідно і достатньо визначити параметри проективного трансформування за 4-ма опорними точками. Для трансформування апроксимаційним методом проективного перетворення опорних точок має бути більше ніж 4, а кількість надлишкових вимірів має становити  $2n-8$ . Трансформування методом проективного перетворення застосовується до растрових зображень, які мають значні спотворення, здебільшого проективного характеру, а також до даних, отриманих з аерофотознімків.

*Метод інтерполяції кубічним сплайном* забезпечує взаємозв'язок між точками і об'єктами за допомогою розтягу, стиснення або зміни напрямку з'єднувальних ліній. Метод оптимізований під локальну, а не під загальну точність. Він ґрунтується на сплайновій функції як кусковий поліном, який характеризується мінімальною кривиною [2]. Сплайн-трансформація точно суміщує першу (вихідну) і останню (кінцеву) опорні точки. Для цього методу необхідно мінімум 10 опорних точок. У кубічного сплайну немає осциляції (нарощування коливань) на краях визначення меж функцій, як у полінома. Це видно з мал. 6, де вихідні значення функції дорівнюють нулю у всіх вузлах, крім центрального, де функція дорівнює одиниці.



Мал. 6. Вигляд інтерполяційного полінома – а та кубічного сплайну – б [2]

За *методом скінченних елементів* вхідне растрове зображення розчленовується на скінченні елементи – трикутники. Вершинами окремих трикутників є опорні точки. Для розчленування всієї області на



трикутні скінченні елементи до опорних точок можна застосувати відомий спосіб триангулювання Делоне. Кожен скінченний елемент трансформується методом афінного перетворення. При цьому, якщо спотворення на вхідному растровому зображенні неоднакові на різних ділянках растру, то метод скінченних елементів забезпечує локалізацію спотворень, не допускаючи впливу спотворень однієї ділянки на інші.

**Висновки.** Враховуючи різноманітність геодезичних дат і картографічних проєкцій, в яких створено картографічні матеріали, що використовуються при делімітації та демаркації державного кордону України, доцільне застосування координатних операцій: перетворення чи трансформування координат. Завданням підготовки картографічних матеріалів до координатних операцій є побудова ізоморфного простору, в якому всі картографічні матеріали зведені до однієї геодезичної дати та однієї картографічної проєкції. Математичною основою координатного інтегрування різноманітних картографічних матеріалів у ГІС-Кордон є Державна геодезична референсна система координат УСК-2000 (мал. 7).



Мал. 7. Фрагмент координатного інтегрування різноманітних картографічних матеріалів у ГІС-Кордон

Розглянувши різні методи трансформування картографічних даних, як векторних, так і растрових, можна зробити висновок, що вибір методу трансформування, скажімо, інтерполюванням координат або апроксимацією, залежить від наявності опорних точок та потрібної точності визначення їх координат. Інтерполяція застосовується в тих випадках, коли відомі теоретичні (точні) значення координат опорних точок картографічних матеріалів (точки географічної або прямокутної сітки). Коли ж теоретичні (точні) значення координат (точки геодезичної основи або характерні точки) невідомі, виконується апроксимація.

#### Література

1. Барановський, В. Д. Топографо-геодезичне та картографічне забезпечення ведення державного земельного кадастру. Системи координат і картографічні проєкції [Текст] / В. Д. Барановський, Ю.О. Карпінський, О.В. Кучер, А.А. Лященко; за заг. ред. Ю.О. Карпінського. – К.: НДІГК, 2009. – 96 с.: іл. – (Сер. "Геодезія, картографія, кадастр").
2. Журкин, И. Г. Методы вычислений в геодезии: учебное пособие [Текст] / И. Г. Журкин, Ю. М. Нейман. – М.: Недра, 1988. – 304 с.
3. ISO 19111:2007(E). Geographic information – Spatial referencing by coordinates [Text]. – Switzerland.
4. Карпінський, Ю.О. Трансформування растрових моделей цифрових карт і планів [Текст] / Ю.О. Карпінський, О.Г. Грачов // Вісн. геодез. та картогр. – 2001. – № 1. – С. 22-25.
5. Карпінський, Ю.О. Афінне трансформування координат методом скінченних елементів [Текст] / Ю.О. Карпінський // Вісн. геодез. та картогр. – 2002. – № 4. – С. 23-27.
6. Кондратюк, О. В. Функціональна модель ГІС-Кордон [Текст] / О. В. Кондратюк // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку; зб. наук. пр.; відп. за вип. А. А. Москалюк. – К.: ДНВП "Картографія", 2010. – Вип. 4. – С. 225-230.
7. Лисицкий, Д. В. Основные принципы цифрового картографирования местности [Текст] / Д. В. Лисицкий. – М.: Недра, 1988. – 261 с.

Надійшла 10.11.10