УДК 332.3:528.4

Л. В. ДИЧКО

Кафедра кадастру територій Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери 12, Львів,Україна, 79013

УМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ДЕШИФРУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА ДАНИМИ ЦИФРОВОГО АЕРОЗНІМАННЯ

Мета. Метою цього дослідження є аргументоване визначення умов, яким повинен відповідати цифровий знімок для високоякісного розпізнавання об'єктів залізничного транспорту з метою створення плану в масштабі 1:500, а також експериментальне дослідження якості дешифрування об'єктів залізничного транспорту на цифрових арозображеннях. **Методика і результати робіт.** Під час інвентаризації земель та об'єктів залізничного транспорту на базі використання даних цифрового аерознімання необхідно забезпечити отримання кількісних та якісних характеристик цих об'єктів відповідно до вимог галузі. В роботі отримано формули для розрахунку основного параметра цифрового аерознімання – коефіцієнта, що характеризує співвідношення масштабів цифрового знімка і топографічного плану. Враховано величину піксела в площині зображення, а також віддалі між сусідніми пікселями (GSD). Проаналізовано можливості кількох найпоширеніших і найвживаніших цифрових аерокамер матричного та сканерного типів. Проведено експериментальні дослідження якості дешифрування біля 50-ти категорій об'єктів залізничного транспорту за цифровими зображеннями, отриманими камерою UltraCam у масштабі 1:3000. Встановлено, що якість дешифрування відповідає вимогам створення плану залізниці у масштабі 1:500. **Наукова новизна.** Обґрунтовано доцільність створення високоточної картографічної компоненти земель та об'єктів залізниці, яка забезпечує виконання завдань з реконструкції, будівництва, експлуатації та інвентаризації, тобто основних напрямків функціонування і розвитку залізниці. Обґрунтовано основні параметри цифрового аерознімання для високоточного картографування об'єктів залізниці. Визначено умови, які забезпечують якісне дешифрування на цифрових знімках об'єктів залізничного транспорту. **Практична значущість.** Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що для комплексного інвентаризаційного картографування залізниці запропоновано використовувати високоточне цифрове аерознімання, що дає змогу уникнути дубляжу в таких роботах та забезпечує вирішення стратегічних задач розвитку галузі. Усі елементи запропонованого підходу і технологій доведено до логічного завершення і апробовано на реальному матеріалі. Тому їх можна рекомендувати до використання залізничними підрозділами в Україні.

Ключові слова: залізниця, інвентаризація об'єктів; цифрова аерокамера; дешифрування зображення; висота знімання; роздільна здатність зображення; просторовий піксел.

Вступ

Залізничний транспорт є однією з базових галузей економіки держави, покликаний задовольнити потреби суспільного виробництва та населення в перевезеннях. Зростання економіки в країні, зростаючі вимоги до якісного обслуговування пасажирських потоків вимагають суттєвих змін у функціонуванні залізниці. В сукупності це повинно забезпечувати на належному рівні обороноздатність та національну безпеку держави, впливати на підвищення рівня життя населення.

Проблема реформування залізничної галузі назріла вже давно, проте різнобічні погляди на способи вирішення стримували реалізацію таких змін. Вважається, що поряд з правовими та економічними питаннями, які покладено в основу реформування галузі, одним з важливих кроків є питання технічного скерування, до яких належить впровадження геоінформаційної системи для управління земельно-майновим фондом Укрзалізниці. Для успішного функціонування такої системи потрібно мати актуальні та об'єктивні дані, а одним з таких джерел даних повинні бути дистанційні методи, зокрема цифрове аерознімання.

1. Висвітлені в цій публікації питання скеровані на ефективне вирішення завдань із реформування залізничної галузі України, передусім інвентаризації земельно-майнового фонду. Таке реформування передбачено загальнодержавними та урядовими документами, зокрема [Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту. Розпоряд-

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

ження КМУ від 27 грудня 2006 р. № 651-р.; Закон України "Про транспорт"; Земельний кодекс України, 2001 р.; Закон України "Про залізничний транспорт"; ВРУ "Проект Закону України про особливості утворення державного акціонерного товариства залізничного транспорту загального користування". 23.02.2012 р.; ВРУ "Проект Закону України про внесення змін до Закону України "Про залізничний транспорт". 23.02.2012 р.; Закон України № 4442-VI "Про особливості утворення публічного акціонерного товариства залізничного транспорту загального користування". 15.03.2012 р.; Закон України № 4443-VI "Про внесення змін до Закону України "Про залізничний транспорт" 15.03.2012 р.].

Міжнародний досвід у галузі картографування земель та об'єктів залізничного транспорту вказує на те, що технологічна реалізація використання матеріалів аерознімання є ефективним засобом створення картографічної компоненти.

Розпізнавання об'єктів на цифровому знімку, вимоги до його якісних характеристик визначається не тільки масштабом зображення, але і радіометричними характеристиками (контраст, оптична щільність, колір тощо). Тому важливим питанням є встановлення оптимальних параметрів аерознімання для дешифрування об'єктів досліджуваної території [Kurczynsky Zd., 2006; Paszotta Z., Szumilo M., 2007].

Для дешифрування зображень важливе значення має роздільна здатність знімальної системи та її радіометрія. Здебільшого глибина кольору становить 8–14 біт на кожний з каналів RGB, NIR. Для камер з кольоровим сенсором [Дорожинський О. Л., Тукай Р., 2008; Butowtt J., Kaczynski, 2003] (т. зв. баєрівська матриця) встановлено, що кольорове зображення отримують за допомогою спеціальної інтерполяції застосування алгоритмів-фільтрів підвищення якості зображення [Дорожинський О. Л., Тукай Р., 2008].

Проте проблематика інтерпретаційних можливостей цифрових знімків для великомасштабного картографування (йдеться передусім про масштаб 1:500 для вирішення завдань залізниці) потребує подальшого дослідження та вироблення рекомендацій для практичного використання.

Мета

Метою цього дослідження є аргументоване визначення умов, яким повинен відповідати цифровий знімок для високоякісного розпізнавання об'єктів залізничного транспорту з метою створення плану в масштабі 1:500, а також експериментальне дослідження якості дешифрування об'єктів залізничного транспорту на цифрових арозображеннях.

Методика і результати робіт

Під час картографування об'єктів залізничного транспорту використовують архівні, описові та графічні даних, до яких належать:

– топографічна карта, з актуальним відображенням ситуації, рідше рельєфу;
– дані з результатами оновлення карти;
– перелік і дані натурних вимірювань;
– дані про доповнення і зміни, що стосувались геодезичної основи на об'єкті картографування;
– проектна документація реконструкції залізниці (за наявності);
– карта у векторній (цифровій) формі (за наявності);
– кадастрова карта (план) у цифровій формі з межами, будинками тощо;
– опис геодезичної мережі;
– інші документи.

Усі ці матеріали використовують під час отримання та інформаційного уточнення таких основних нових продуктів фотограмметричного опрацювання:

– цифрова модель об'єкта та її складові:
– цифрова модель рельєфу (ЦМР),
– цифрова модель покриття території (ЦМПТ);
– ортофотокарта в цифровій формі;
– карта (план) з відображеними ситуацією та рельєфом;
– профілі поздовжні по осі залізниці;
– профілі поперечні у вибраних місцях (для проектних робіт).

На підставі дослідних робіт встановлено, що точність відтворення положення контура (точ-

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

ки) на землі залежить від багатьох факторів, і пов'язана з просторовим розміром піксела P так:

$$m_{x,y} = k \cdot P, \quad (1)$$

де k – деякий коефіцієнт, що змінюється в межах 0,5–0,9.

Своєю чергою, розмір просторового піксела P пов'язаний з просторовою роздільною здатністю знімальної системи R з урахуванням коефіцієнта Kell'a [Kurczynsky Zd., 2006]

$$2P \le R \le 2\sqrt{2}P. \quad (2)$$

Величина R під час обмеження смуги пропускання частот лише частотою Найквіста визначається так [Бурштинська Х. В., Станкевич С. А, 2010]:

$$R = 2 \cdot \Delta \cdot m, \quad (3)$$

де Δ – лінійний розмір піксела сенсора знімальної системи, m – знаменник масштабу знімання.

Приймемо, що точність відображення об'єктів на кадастровому плані (масштаб 1:M) становить 0,2 мм, що в натуральному вигляді матиме розмір:

$$\delta = 0{,}2\ мм \cdot M. \quad (4)$$

Тоді коефіцієнт C, що описує співвідношення масштаб аерознімання/масштаб плану, є таким:

$$C = \frac{\delta}{m_{x,y}} = \frac{0{,}2\ мм \cdot M}{k \cdot P}. \quad (5)$$

Оскільки з (2) отримаємо два граничні значення просторового піксела:

$$P_1 = \frac{1}{2}R \quad (6)$$

або

$$P_1 = \frac{1}{2\sqrt{2}}R, \quad (7)$$

то необхідно обчислити два граничні значення коефіцієнта C:

$$C_1 = \frac{0.2мм \cdot M}{k \cdot \frac{1}{2}R} = \frac{0.2мм \cdot M}{k \cdot \frac{1}{2}2 \cdot \Delta \cdot m} = \frac{0.2мм}{k \cdot \Delta \cdot C_1}; \quad (8)$$

$$C_1 = \left(\frac{0.2мм}{k \cdot \Delta}\right)^{1/2}. \quad (9)$$

Аналогічно друге граничне значення є таким:

$$C_2 = \left(\frac{0.28мм}{k \cdot \Delta}\right)^{1/2}. \quad (10)$$

Отже, рівняння (9) і (10) дають змогу обчислити граничні значення співвідношення знаменників масштабів знімок/план за загальних параметрів: граничній точності 0,2 мм, емпіричного коефіцієнта k та розміру піксела в ПЗЗ – Δ.

У табл. 1 представлено розраховані величини цих співвідношень для реальних ситуацій.

Деякі теоретичні та практичні роботи показують, що реальний розмір піксела може бути іншим, аніж вказано в (2). Тоді за такий розмір беруть віддаль між сусідніми пікселами GSD (Ground Sampling Distance). Якщо частота прийому сигналів (променів) лінійного ПЗЗ є такою, що перекриває розмір піксела, то піксел накладається на сусідній, і тому просторова роздільна здатність збільшується. Може виникнути інша ситуація – розрив між пікселами – і тоді роздільна здатність зменшується. Практика показала, що здебільшого GSD є вдвічі кращою від величини *P*.

Таблиця 1

Граничні співвідношення масштабів знімок/план для різних варіантів цифрового аерознімка
The limit value of scales ratio image/plan for different variants of digital aerial images

Співвідношення C	Розмір піксела, мм	Емпіричний коефіцієнт якості				
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
C_1	0,007	7,5	6,9	6,4	6,0	5,6
C_2		8,9	8,2	7,5	7,1	6,6
C_1	0,010	6,3	5,8	5,3	5,0	4,7
C_2		7,5	6,8	6,3	5,9	5,6
C_1	0,015	5,2	4,7	4,4	4,1	3,8
C_2		6,1	5,6	5,2	4,8	4,5
C_1	0,020	4,5	4,1	3,8	3,5	3,3
C_2		5,3	4,8	4,5	4,2	3,9

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Таблиця 2

Граничні співвідношення масштабів знімок/план з урахуванням GSD
The limit value of scales ratio image/plan considering GSD

Співвідношення С	Розмір піксела, мм	Емпіричний коефіцієнт якості				
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
C_1 C_2	0,007	10,8 12,8	9,9 11,8	9,2 10,8	8,6 10,2	8,1 9,5
C_1 C_2	0,010	9,1 10,8	8,3 9,8	7,6 9,1	7,2 8,5	6,8 8,1
C_1 C_2	0,015	7,5 8,8	6,8 8,1	6,3 7,5	5,9 6,9	5,5 6,5
C_1 C_2	0,020	6,5 7,6	5,9 6,9	5,5 6,5	5,0 6,0	4,7 5,6

Тому

$$C_1 = \left(\frac{2 \cdot 0{,}2\,мм}{k \cdot \Delta}\right)^{1/2}; \qquad (11)$$

$$C_2 = \left(\frac{2 \cdot 0{,}28\,мм}{k \cdot \Delta}\right)^{1/2}. \qquad (12)$$

З урахуванням викладеного підраховано співвідношення знаменників масштабів знімок/план і подано в табл. 2.

Аналіз практичних робіт з великомасштабного картографування територій показує, що для уникнення ризиків, пов'язаних з впливом непередбачуваних умов знімання, коефіцієнт *C* вибирають у межах 6–7.

Тому за масштабу плану 1:500 аерознімання проводять в масштабі 1:3000–1:3500. Розмір просторового піксела становитиме (за величини Δ = 0,015 мм) від 4,5 см до 5,2 см. Це повністю задовольняє вимоги до картографування об'єктів залізничного транспорту. Як приклад на рис. 1 показано аерознімок території (масштаб 1:3000) залізничної колії, на якій проведено серію експериментальних робіт зі створення цифрового ортофотоплану

Певним технологічним фактором, який накладає суттєві вимоги до одномаршрутного аерознімання, є ширина смуги картографування. У межах цієї смуги необхідно створити ЦМР, яку можна використати для аналізу впливу модернізації залізниці на довкілля, аналізу поширення шумових ефектів, забруднення з приводу експлуатації залізниці та ін. У деяких проектах достатньою величиною є смуга завширшки 500 м. Використовуючи формулу [Дорожинський О., 2007]:

$$dy = m \cdot f \cdot tg\beta, \qquad (13)$$

де m – знаменник масштабу знімання; f – фокусна віддаль камери; β – кут поля зору, можна визначити величину m:

$$m = \frac{dy}{f \cdot tg\beta}. \qquad (14)$$

Для цифрової камери ADS40 (α = 62,5°; β = 64°), dy =500 м отримаємо m = 5300. Тоді просторовий піксель матиме розмір $\Delta = 0{,}007$ мм; $\cdot m = 3{,}7$ см.

Доречно порівняти можливість використання аерофотокамери, наприклад RC-30 (розміри кадра 230×230 мм, $f = 150$ мм). Беручи до уваги, що краї знімка мають гіршу якість, зменшимо величину 230 мм (край знімка) до 200 мм. Тоді отримаємо:

$$m = \frac{dy}{200\ мм} \qquad (15)$$

Рис. 1. Фрагмент цифрового аерозображення в масштабі 1:3000
Fig. 1. Fragment of digital aeroimage in scale 1:3000

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Якщо dy = 500 м маємо m = 2500.

Скануючи аерофільм з розміром піксела 0,015 мм, отримаємо значення просторового піксела $\Delta = 0{,}015$ мм; $\cdot m = 3{,}75$ см.

У такий спосіб можна забезпечити проектні вимоги до створення плану в масштабі 1:500.

Повноформатні камери ADS40 та ADS80 (лінійного типу) мають сенсори-лінійки з кількістю 12000 пікселів для панхрому та такі самі лінійки для всіх кольорових каналів. Тому якість зображення дуже висока, і немає потреби в створенні чи опрацюванні комбінованого образу [LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor? International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. XXXIII, pert B1, Amsterdam, 2004].

У камерах матричного типу DMC та UltraCam кольорові сенсори-матриці мають значно менше пікселів порівняно з панхроматичним каналом. За деякими даними для камери DMC такий коефіцієнт становить 22, для UltraCam – 9. Цікаво, що в більшості описів від фірм-виробників подається розмір піксела для панхроматичного образу і немає даних для кольорових зображень. Зрозумілим є той факт, що чорно-біле зображення має кращу якість, аніж кольорове. Для отримання кольорового образу кращої якості окремі RGB-образи суміщають з панхроматичним – це т.зв. операція Pan-Sharpening. Проте встановлено, що якість такого гібридного образу є дещо гіршою порівняно із справжнім кольоровим знімком [http://www.geosage.com/highview/imagefusion.html].

Для дешифрування зображень важливою характеристикою є GSD – просторовий піксел. Якщо GSD більший від об'єкта, то цей об'єкт "не прочитається" на зображенні, тобто оператор не зможе його дешифрувати.

Серед об'єктів залізничного транспорту найменші розміри мають елементи інженерних споруд (люки, стовпи, розмітка полотна тощо), а серед елементів земельних ділянок межові знаки, огорожі тощо. Можна допустити, що натурні розміри таких елементів становлять 10 см і більше, тому GSD = 0,10 м (і більше). За відомої фокусної віддалі знімальної системи можна обчислити допустиму висоту польоту для отримання координат з фотограмметричного опрацювання:

$$H_{(м)} = \frac{f_{мм}}{\Delta_{мм}} \cdot GSD_{(м)}. \qquad (16)$$

У деяких описових матеріалах про цифрові камери подають співвідношення K: роздільної здатності панхроматичного та кольорового зображень:

– для камери DMCII 140, K_1=1:2;
– для камери DMCII 230, K_2=1:2,6;
– для камери DMCII 250, K_3=1:3,2.

Фокусна віддаль камери DMC_{140} в кольоровому діапазоні дорівнює 45 мм. Для камери UltraCamD подано розмір панхроматичної матриці 11500×7500 пікселів, для кольору матриця має 4008×2672 пікселів. Співвідношення кількості пікселів становить K = 8, що співвимірно із вище зазначеними даними.

Фокусні віддалі камери UltraCam Eagle у кольоровому діапазоні є такими:

– варіант 1: f = 70 мм (довгофокусна панхроматична камера f = 210 мм);
– варіант 2: f = 27 мм (короткофокусна панхроматична камера f = 80 мм).

Для розрахунку допустимих висот знімання, за яких забезпечується розмір GSD, введемо в формулу (16) такі уточнення:

Для камери DMCII:

$$H_{(м)} = \frac{f_{\sigma(мм)}}{\Delta_{(мм)} \cdot K_i} \cdot GSD_{(м)}, \qquad (17)$$

де i = 1, f_1 = 92 мм, K_1 = 2, Δ = 7,2 мм;
i = 2, f_2 = 92 мм, K_2 = 2,6, Δ = 5,6 мм;
i = 3, f_3 = 112 мм, K_3 = 3,2, Δ = 5,6 мм.

Для камери UltraCam Eagle:

$$H_{(м)} = \frac{f_{(мм)}}{\Delta_{(мм)} \cdot \sqrt{R}} \cdot GSD_{(м)}, \qquad (18)$$

де f_1 = 70 мм, Δ = 5,2 мкм, R_1 = 8;
f_1 = 27 мм, Δ = 5,2 мкм, R_2 = 9.

Зведені дані для трьох типів повноформатних камер поданО в табл. 3.

Ефективність аерознімання переважно залежить від висоти польоту. Тому на підставі отриманих даних явну перевагу мають камери ADS 40, ADS 80 перед матричними камерами.

На практиці знімання, тобто отримання панхроматичних і RGB, NIR-зображень проводиться одночасно. Тому висоти знімання можна

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

розрахувати за формулою (16) з деякими поправками на можливість використання кольорових зображень, беручи до уваги доведений факт, що операція Pan-Sharpening лише частково покращує дешифрувальні властивості гібридного кольорового образу.

Для виявлення реальних можливостей дешифрування об'єктів залізничного транспорту на цифрових аерознімках [Дичко Л., 2013] проведено експериментальні дослідження. Для цього використано цифрові знімки в масштабі 1:3000, отримані камерою UltraCam. Усього досліджено 59 об'єктів, а в табл. 4 з метою економії місця, кілька таких об'єктів. У експерименті брали участь 5 виконавців з різним рівнем підготовки. Всього до списку входило близько 50 об'єктів, а знімки на екрані монітора зменшувались до масштабу 1:100000. Збільшення проведено лише до масштабу 1:2000, оскільки ще більше збільшення в усіх випадках давало стовідсотковий позитивний результат. Тому зроблено висновок, що співвідношення масштабів знімок – план 1:6 цілком задовольняє створення картографічної компоненти для залізничних об'єктів.

Таблиця 3

Допустимі висоти польотів для забезпечення дешифрування кольорових зображень за заданого просторового піксела GSD
Permissible flight altitudes for interpretation of color images at a given spatial pixel GSD

Камера	фокусна віддаль, мм	розмір піксела, мкм	коефіцієнт K або R	висота польоту (м) при GSD (м)			
				0,1	0,2	0,3	0,5
ADS 40	62,5	6,5	1 (K)	960	1920	2880	4800
ADS 80	62,5	6,5	1 (K)	960	1920	2880	4800
DMCII 140	92	7,2	2 (K)	640	1280	1920	3200
DMCII 230	92	5,6	2,6 (K)	630	1260	1890	3150
DMCII 250	112	5,6	3,2 (K)	620	1240	1860	3100
UltraCam Eagle-1	70	5,2	8 (R)	480	960	1440	2400
UltraCam Eagle-2	27	5,2	9 (R)	170	340	510	850

Таблиця 4

Розпізнавання залізничних об єктів за різних масштабів зображення
Recognition of railway objects at different scales image

Назви об'єктів	1:2 000	1:5 000	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000
одноколійні	+	+	+	+	+	–
двоколійні	+	+	+	+	+	+
вузькоколійні	+	+	+	+	+	+
монорейкові	+	+	+	+	+	–
опорні стовпи	+	+	+	+	–	–
ферми	+	+	+	+	+	+
бремсберги	+	–	–	–	–	–
hоз'їзди	+	+	+	+	+	+
блок-пости	+	+	+	+	+	+
hід'їзні колії	+	+	+	+	+	+
пости біля переїздів	+	+	+	+	+	+
зупики	+	+	+	+	+	+
будки	+	+	+	+	+	–
платформи	+	+	+	+	+	+

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Наукова новизна і практична значущість

Обґрунтовано доцільність створення високоточної картографічної компоненти земель та об'єктів залізниці, яка забезпечує вирішення задач реконструкції, будівництва, експлуатації та інвентаризації, тобто основних напрямків функціонування і розвитку залізниці. Обґрунтовано основні параметри цифрового аерознімання для високоточного картографування об'єктів залізниці. Визначено умови, які забезпечують якісне дешифрування на цифрових знімках об'єктів залізничного транспорту.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що для комплексного інвентаризаційного картографування залізниці запропоновано використовувати високоточне цифрове аерознімання, що дає змогу уникнути дубляжу в таких роботах та забезпечує вирішення стратегічних задач розвитку галузі. Усі елементи запропонованого підходу і технологій доведено до логічного завершення і апробовані на реальному матеріалі. Тому їх можна рекомендувати до використання залізничними підрозділами в Україні.

Результати

Отримано формули для проектування аерознімальних робіт під час картографування об'єктів залізничного транспорту, на основі яких можна вибирати масштаб цифрового аерознімання за умови забезпечення необхідних метричних показників і вимог до картографічного матеріалу. Запропоновано методику, що стосується передусім використання високотехнологічного обладнання, яким є сучасні цифрові аерознімальні системи і комплекси.

Проведено експериментальні дослідження можливостей дешифрування об'єктів залізничного транспорту на цифрових аерозображеннях. Експеримент показав, що для знімків у масштабі 1:3000 і більше забезпечується стовідсотковий позитивний результат дешифрування, що є важливою умовою реалізації фотограмметричної методики під час створення плану в масштабі 1:500.

Висновки

1. Запронована технологія створення картографічної компоненти на базі цифрового аерознімання придатна для вирішення всієї низки завдань на залізниці, враховуючи інвентаризацію об'єктів земельно-майнового фонду.

2. Доведено, що головним джерелом інформації для картографічного забезпечення інвентаризації земельно-майнового фонду є цифровий знімок. З метричних повноформатних камер найпридатнішою для картографування залізниці є камера UltraCamD, а серед камер з лінійним сенсором – камера HRSCA. Оскільки остання серійно не випускається, то поза конкуренцією є камери ADS40 та ADS80.

3. Отримані математичні залежності для проектування цифрового аерознімання під час картографування об'єктів залізничного транспорту показали, що співвідношення масштабів знімок/план можна приймати від 6 до 12 разів. За такого підходу реалізується технологія створення плану в масштабі 1:500 з просторовим пікселем 4,5 см.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту. Розпорядження КМУ від 27 грудня 2006 р. № 651-р.

Закон України "Про транспорт"

Земельний кодекс України. – К.: Атака. 2001. – 96 с.

Закон України "Про залізничний транспорт"

ВРУ "Проект Закону України про особливості утворення державного акціонерного товариства залізничного транспорту загального користування". 23.02.2012 р.

ВРУ "Проект Закону України про внесення змін до Закону України "Про залізничний транспорт". 23.02.2012 р.

Закон України № 4442-VI "Про особливості утворення публічного акціонерного товариства залізничного транспорту загального користування". 15.03.2012 р.

Закон України № 4443-VI "Про внесення змін до Закону України "Про залізничний транспорт" 15.03.2012 р.

Kurczynsky Zd. Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi. cz.1 i cz.2. – Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechmiki Warszawskicj, 2006. – 582 s.

Paszotta Z., Szumilo M. Dokladnosc Numerycznego Modelu Terenu pozyskiwanego metodami fotogrametrycznymi // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2007. – № 68. – С. 205–212.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Дорожинський О. Л., Тукай Р. Фотограмметрія. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2008. – 332 с.

Butowtt J., Kaczynski R. Fotogrametria. – Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna, 2003. – S. 375.

Дорожинський О. Критерії оцінки аерокосмічних зображень для кадастрових робіт / О. Дорожинський. С. Почкін // Український міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів, 2007. – Вип. 68. – С. 172–176.

LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor? International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. XXXIII, pert B1. – Amsterdam, 2004.

Image fusion pan-sharpening: the big picture [Electronic resourse] / Интернет-ресурс. – Режим доступу: www/URL: http://www.geosage.com/highview/imagefusion.html

Дичко Л. Дослідження цифрового аерознімання та фототріангуляції для картографування залізниці/ Л. Дичко // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – 2013. – Вип. (25). – С. 100–103.

Бурштинська Х. В., Станкевич С. А. Аерокосмічні знімальні системи: навч. посіб. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 292 с.

Л. В. ДЫЧКО

Кафедра кадастра территорий, Национальный университет "Львивська политэхника", ул . С. Бандеры 12, Украина, 79013

УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЕШИФРИРОВАНИЯ ОБЬЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ЦИФРОВОЙ АЭРОСЬЕМКИ

Цель. Целью данного исследования является аргументированное определение условий, которым должен удовлетворять цифровой аэроснимок для высококачественного распознавания обьектов железнодорожного транспорта с целью создания плана в масштабе 1:500, а также экспериментальное исследование качества дешифрирования обьектов железнодорожного транспорта на цифровых аэроснимках. **Методика.** При инвентаризации земель и обьектов железнодорожного транспорта на базе использования цифровой аэросьемки необходимо обеспечить получение количественных и качественных характеристик этих обьектов, которые соответствуют требованиям отрасли. В работе получены формулы для расчета основного параметра цифровой аэросьемки – коэффициента, определяющего соотношение масштабов снимок – план. При этом учтен размер пикселя в плоскости изображения, а также расстояние между соседними пикселями (GSD). Выполнен анализ возможностей некоторых ниболее известных и употребляемых цифровых аэрокамер матричного и сканерного типов. Проведены экспериментальные исследования качества дешифрирования около 50-ти категорий обьектов железной дороги на цифровых аэроснимках, полученных камерой UltraCam в масштабе 1:3000. Установлено, что качество дешифрирования отвечает требованиям создания плана железной дороги в масштабе 1:500. **Научная новизна.** Обоснована целесообразность создания высокоточной картографической компоненты для картографирования и инвентаризации земель и обьектов железнодорожного транспорта, которая обеспечивает решение задач реконструкции, строительства, эксплуатации и инвентаризации, т.е. основных направлений функционирования и развития железной дороги. Обоснованы основные параметры цифровой аэросьемки для высокоточного картографирования обьектов железной дороги. Определены условия, которые обеспечивают качественное дешифрирование обьектов железной дороги на цифровых снимках. **Практическая значимость.** Практическая значимость. Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что для комплексного инвентаризационного картографирования предложено использовать высокоточную цифровую аэросьемку, что обеспечивает решение стратегических задач отрасли без дубляжа разномасштабных картографических и инвентаризационных работ. Вся технологическая линия апробирована на реальном материале и доведена до логического завершения. Поэтому такое решение можно рекомендовать для практического использования производственными подразделениями железной дороги в Украине.

Ключевые слова: железная дорога; инвентаризация обьектов; цифровая аэрокамера; дешифрирование зображений; высота аэросьемки; разрешающая способность изображения; пространственный пиксель.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

L. V. DYCHKO

Department of Cadastre Territories, Lviv Polytechnic National University, S. Bandera str., 12, Ukraine, 79013

TERMS QA DECRYPTION RAILWAY TRANSPORT DATA USING DIGITAL AERIAL PHOTOGRAPHY

Objective. The aim of this study is a reasonable definition of the conditions which must be satisfied for digital aerial image for high-quality recognition objects of rail transport with the aim of creating a plan with scale of 1:500, and the experimental study of the quality of rail transport objects interpretation on digital aerial images. **Method and results.** For inventory of land and rail transport objects based on the use of digital aerial survey it is necessary to ensure receiving of quantitative and qualitative characteristics of the objects that meet the requirements of the branch. In this paper there were obtained formulas for calculation of the basic parameter of digital aerial survey - coefficient that determines the ratio of a scale of image to a scale of topographic plan. Here at the size of the pixel in the image plane, and the distance between adjacent pixels (GSD) are taken into account. The analysis of some features of the most known and consumed digital aerial cameras of matrix and scanner types is implemented. Experimental researches of quality of interpretation of about 50 categories of objects related to railroad on digital aerial images obtained with UltraCam camera in scale 1:3000 were done. It is established that quality of interpretation meets requirements for creation a plan of the railway in scale 1:500. **Scientific novelty.** It is substantiated the expediency of creating high-precision components for cartographic mapping and inventory of land and objects of railway transport, which provides a solution to problems of reconstruction, construction, maintenance and inventory , i.e. main areas of functioning and development of the railway. The basic parameters for digital aerial survey for precision mapping of railroad objects are substantiated. The conditions, which provide qualitative interpretation of objects of the railway on digital images are determined. **The practical significance.** The practical significance of the results is that for comprehensive inventory railroad mapping it is suggested to use precision digital aerial survey, which allow avoiding dubbing in such works and provides the strategic tasks of the branch development. All elements of the proposed approach and technology are developed to logical conclusion and tested on a real material. Therefore, they can be recommended for the use of railway units in Ukraine.

Key words: Railway; Inventory of objects; Digital aerial camera; image interpretation; height of survey; image resolution; spatial pixel.

REFERENCES

Kontseptsiya Derzhavnoyi prohramy reformuvannya zaliznychnoho transportu. [Kontseptsiya Derzhavnoyi prohramy reformuvannya zaliznychnoho transportu] Rozporyadzhennya KMU [Resolution Cabinet of Ministers of Ukraine] 2006, No 651.

Zakon Ukrayiny “Pro transport № 232/94-ВР vid 10.11.1994. [Transportation Act Ukraine]. Redaktsiya [Version] off.

Zemelnyy kodeks Ukrayiny, K. Ataka, [The Land Code of Ukraine]. Kyiv, 2001, 96 p.

Zakon Ukrayiny “Pro zaliznychnyy transport”. [On Railway Transport Act of Ukraine] of 04.07.1996, № 273/96-ВР, Redaktsiya [Version] of 17.08.2012.

VRU “Proekt Zakonu Ukrayiny pro osoblyvosti utvorennya derzhavnoho aktsionernoho tovarystva zaliznychnoho transportu zahal’noho korystuvannya”. [Parliament of Ukraine “Draft Law of Ukraine on the peculiarities of the state corporation rail public transport”], no. 4442-VI of. 23.02.2012.

VRU “Proekt Zakonu Ukrayiny pro vnesennya zmin do Zakonu Ukrayiny “Pro zaliznychnyy transport”. [Draft Law of Ukraine on amending the Law of Ukraine “On Railway Transport”], 4443-VI of 23.02.2012.

Zakon Ukrayiny № 4442-VI “Pro osoblyvosti utvorennya publichnoho aktsionernoho tovarystva zaliznychnoho transportu zahal’noho korystuvannya”. [“On the peculiarities of the formation of a public company rail public transport”], 15.03.2012.

Zakon Ukrayiny № 4443-VI “Pro vnesennya zmin do Zakonu Ukrayiny “Pro zaliznychnyy transport”.[Draft Law of Ukraine on amending the Law of Ukraine “On Railway Transport”] of 15.03.2012.

Dorozhynskyy O. L., Tukay R. Fotohrammetriya. Vydavnytstvo L’vivs’koyi politekhniky. [Photogrammetry. Publishing House of Lviv Polytechnic National University], 2008, 332 p.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Dorozhynskyy O. Kryteriyi otsinky aerokosmichnykh zobrazhen dlya kadastrovykh robit. O. Dorozhynskyy. S. Pochkin. Ukrayinskyy mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. [The criteria for evaluation of aerospace images for cadastral]. [Ukrainian interdepartmental scientific and technical collection]. Lviv, 2007, Issue 68, pp. 172–176.

Burshtynska Kh.V., Stankevych S.A. Aerokosmichni znimal'ni systemy. Navchalnyy posibnyk. Vydavnytstvo Lvivskoyi politekhniky. [Aerospace shooting system. Manual. Publishing House of Lviv Polytechnic National University], 2010, Issue 292, 13 p.

Kurczynsky Zd. Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi. cz.1 i cz.2. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechmiki Warszawskicj, 2006, 582 p.

Butowtt J., Kaczynski R. Fotogrametria. Warszawa, Wojskowa Akademia Techniczna, 2003, 375 p.

Paszotta Z., Szumilo M. Dokladnosc Numerycznego Modelu Terenu pozyskiwanego metodami fotogrametrycznymi". Geodesy, cartography and aerial photography". Lviv, Publishing House of Lviv Polytechnic, 2007, No 68, pp. 205–212

LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor? International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. XXXIII, pert B1, Amsterdam, 2004.

Image fusion pan-sharpening: the big picture. Available at: http://www.geosage.com/highview/imagefusion.html.

Надійшла 03.03.2014 р.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua