



Таблиця 4. Порівняльний аналіз точності вимірювань за різницями координат та допустимими значеннями, мм

Показник	m_{xy}	m_H
Різниця	13,0	30,0
Допуск	12,0	6,6

Отримані результати підтверджують зроблені на початку статті припущення щодо можливостей супутникових методів вимірювань при геодезичному забезпеченні будівництва підземних споруд. У найскладніших умовах спостережень підтверджено, що планова точність супутникових вимірювань задовольняє вимоги до точності геодезичного забезпечення. Одержані різниці координат свідчать про наявність певного систематичного зсуву в координатах, що, можливо, пов'язано з визначенням параметрів переходу між різними системами координат і що потребує додаткового дослідження.

Висновки. Результати дослідження свідчать про достатню точність супутникового методу визначення місцеположення для геодезичного забезпечення будівництва метрополітену в плані. Розглянуте в статті питання потребує подальшого дослідження. Особливу увагу необхідно звернути на можливість підвищення точності визначення висотної складової супутниковими методами, оскільки інструментальна точність визначення перевищень при цьому в кілька разів вища від отриманої експериментальним шляхом.

Література

1. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Т. 1 [Текст] / К.М. Антонович: науч. изд.-е. – М.: Картоцентр; Новоси-

бирск: Наука. – 2005. – 334 с.

2. Білоус, М.В. Розроблення методики спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01 / М.В. Білоус. – Київ, КНУБА, 2011. – 16 с.

3. ВСН 160-69. Инструкция по геодезическим и маркшейдерским работам при строительстве транспортных тоннелей (Минтрансстрой) [Текст] (Дата введ.: 1970-04-01).

4. Геодезия в тоннелестроении. – В 2 ч. [Текст] / А.Н. Баранов, К.И. Егупов, Е.И. Зельдер [и др.]. – М.: Геодезиздат; 1952. – Ч. 1. – 503 с.; 1953. – Ч. 2. – 492 с.

5. Глобальна система визначення місцеположення. Теорія і практика [Текст] / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз; пер. з англ.; під ред. Я. С. Яцківа. – К.: Наук. думка, 1995. – 380 с.

6. ДБН В.2.3-7-2003. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – К.: Держбуд України, 2003. – 195 с. (Чинні з 01.07.2003).

7. Дейнека, Ю.П. Геодезичні роботи в тунелюбудуванні [Текст] / Ю.П. Дейнека. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 1999. – 220 с.

8. Жуков, Б.Н. Геодезический контроль инженерных объектов промышленных предприятий и гражданских комплексов [Текст] / Б.Н. Жуков, А.П. Карпик. – Новосибирск: СГГА, 2006. – 118 с.

9. Левчук, Г.П. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений [Текст] / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, Н.Н. Лебедев; под. ред. Г.П. Левчука. – М.: Недра, 1983. – 400 с.

10. Поликашечкин, А.И. Геодезическо-маркшейдерское обеспечение строительства подземных сооружений в городах [Текст] / А.И. Поликашечкин. – М.: Недра, 1990. – 288 с.

11. Chrzanowski, A. Optimization of the Breakthrough Accuracy in Tunneling Surveys [Text] / A. Chrzanowski // The Canadian Surveyor. – 1981. – Vol. 35. – № 1. – P. 5-16.

Надійшла 16.11.11

* * *

УДК 528.48

Р. В. Шульц

МОБІЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ

Представлен обзор современных мобильных систем лазерного сканирования железнодорожных путей. Предложены формулы для выполнения предварительного расчета точности мобильного лазерного сканирования. В процессе экспериментальных исследований точности мобильного лазерного сканирования обнаружены факторы, которые снижают фактическую точность такого метода сканирования, что необходимо обязательно учитывать при выполнении работ.

A review of the modern mobile systems of railway tracks laser scanning is presented. The formulas for preliminary calculation of mobile laser scanning accuracy are given. In the process of the experimental research some factors reducing the actual accuracy of laser scanning have been discovered; these factors must be taken into account during execution of the works.

Постановка проблеми. У будь-якій державі система залізниць є однією з найважливіших транс-

портних інфраструктур. До цієї системи, окрім безпосередньо залізничної колії, входить цілий комплекс інженерних споруд. Експлуатація залізниць передбачає виконання постійного контролю

© Р. В. Шульц, 2012



за її станом. Усі об'єкти на залізниці пов'язані між собою системою геометричних параметрів, порушення яких впливає на безпеку її експлуатації. До найважливіших геометричних параметрів відносять:

- рівень* – підвищення між рейками;
- рихтування* – відхилення рейкової нитки від прямої лінії в горизонтальній площині на фіксованій довжині;
- просідання* – відхилення рейкової нитки від прямої лінії у вертикальній площині на фіксованій довжині;
- шаблон* – відстань між нитками рейок однієї колії;
- профіль* – положення колії у вертикальній площині;
- план* – положення колії в горизонтальній площині;
- габарити наближення* – відстані від осі колії до найближчих споруд, сусідніх колій тощо;
- криві* – характеристики кривих, радіус, тангенс, бісектриса, перехідна крива та ін.

З метою контролю дотримання геометричних параметрів застосовують або геодезичні методи, або вимірювальні методи і засоби колійних служб.

Методи і засоби колійних служб дозволяють визначати необхідні геометричні характеристики залізничної колії. Недоліком цих технологій є їх низька продуктивність та необхідність визначення основних параметрів опосередковано з використанням стрілок прогину на ділянках з фіксованою довжиною. Водночас такий підхід не дозволяє створити єдину інформаційну систему для моніторингу стану залізниці, оскільки вимірювання виконуються в умовних системах координат, які часто навіть не мають зв'язку між собою. Відсутність єдиного підходу до визначення геометричних характеристик залізниць ускладнює вирішення суміжних геодезичних задач, які виникають в ході їх експлуатації. З-поміж цих задач слід виділити такі:

- створення та оновлення топографічних планів станцій і дільниць;
- спостереження за зсувами уздовж колії;
- створення геодезичних систем для контролю за станом інженерних споруд на залізниці.

Комплексне вирішення перелічених задач можливе лише за умови використання спеціальних вимірювальних комплексів які, окрім традиційних вимірювальних засобів колійних служб, включають електронний тахеометр або GPS-приймач та лазерний сканер. Дослідження таких систем є актуальним завданням.

Огляд попередніх публікацій. Інженери-геодезисти досі не так часто звертались до вирішення питання вдосконалення методів визначення геометричних параметрів залізниць. Протягом тривалого часу при виконанні робіт домінували традиційні геодезичні методи й засоби, які базувалися на використанні мірних стрічок та оптичних приладів [8,9] або суто механічних вимірювальних засобів, таких як рівні, лінійки тощо [2].

Поява нових сучасних геодезичних технологій

змусила не тільки геодезистів, а й технічний персонал залізниці переглянути існуючі підходи до визначення геометричних параметрів залізниць. Оскільки основним технічним засобом залізничних служб є вимірювальний візок, то саме на його вдосконалення й спрямовані зусилля більшості фірм-виробників геодезичного обладнання.

Завдяки сучасним методам створення геодезичних мереж їх було вдосконалено та встановлено однозначний зв'язок з державною системою координат [4,5,10]. Надійна геодезична мережа, яку побудовано вздовж залізниці, дозволяє виконувати прив'язку вимірювального візка з використанням електронних тахеометрів або GPS-вимірювань [6].

Поєднання геодезичних технологій і технологій служб експлуатації залізниць дало змогу створити автоматизовані вимірювальні комплекси, за допомогою яких можна визначати геометричні характеристики колії. Детальний опис таких комплексів подано в працях [1,3]. Однак ці комплекси не дають можливості визначати габарити наближення споруди, які є вкрай важливими характеристиками експлуатації залізниць. Не вирішують ці комплекси і суміжних геодезичних задач. Для подолання цих проблем вимірювальний візок було доповнено лазерним сканером [11,13,14]. Так було створено достатньо складні за конструкцією мобільні вимірювальні комплекси лазерного сканування, теоретичні дослідження точності яких на сьогоднішній день не виконувались. У публікації [13] описано експериментальне дослідження одного з відомих мобільних комплексів лазерного сканування, проте отримані її автором результати дають підстави для висновку про неврахування дослідником деяких факторів, зокрема рівнянь для виконання коректного розрахунку точності вимірювань. Тому оцінити якість отриманих результатів неможливо.

Постановка завдання. Мета пропонованого дослідження – отримання формул для виконання попереднього розрахунку точності мобільного лазерного сканування колій.

Основний зміст роботи. Сьогодні маємо багато різних автоматизованих вимірювальних комплексів геометричних параметрів залізниць [6,7,15-18]. Усі вони включають чотири компоненти: вимірювальний візок, сканер, комп'ютер та блок геодезичної прив'язки. Вимірювальний візок має пристрій для вимірювання відстані між рейками, одометр для вимірювання пройденої візком відстані, датчик для вимірювання нахилу візка в поперечному (підвищення рейки) та повздовжньому напрямках. Найвідоміші комплекси: АПК "Профіль" (Росія), Tachy Rail фірми "GEO-METRIK AG" (Німеччина), Swiss trolley фірми "Terra vermessungen ag" (Швейцарія) (мал. 1, б), GRP System FX фірми "Amberg Technologies" (Швейцарія), TS2 фірми "Spacetec" (Німеччина) (мал. 1, а).

Наземний вид лазерного сканера входить до комплексу пристроїв Swiss trolley, GRP System FX і TS2. Тому всі отримані в нашому досліджен-



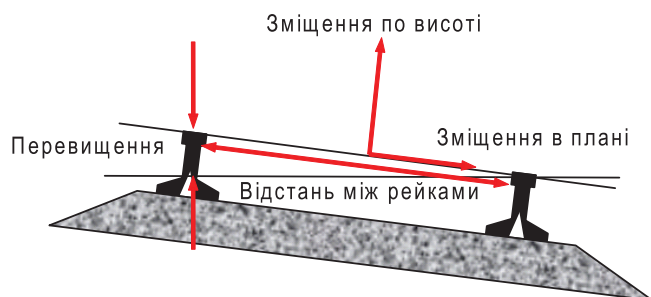
Мал. 1. Вимірювальні комплекси: TS2 (а) і Swiss trolley (б)

ні результати характерні передусім для цих вимірювальних комплексів. Найчастіше у них використовують моделі лазерних сканерів, наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Моделі лазерних сканерів для сканування залізниць

Характеристика	Модель			
	Amberg Profiler 5002/3	FARO®Focus 3D	Leica HDS 6200	Z+F Imager 5006h
Тип вимірювання відстані	Фазовий	Фазовий	Фазовий	Фазовий
Відстань вимірювання, макс/мін, м	79/1	120/0,6	79/1	79/1
Точність вимірювання відстані, мм/м	1,2/10; 3/25	1,2/10; 2,2/25	1,2/10; 3/25	1,2/10; 3/25
Горизонтальний кут поля зору	310°	305°	310°	310°
Вертикальний кут поля зору	360°	360°	360°	360°

Вимірювальний візок дозволяє безпосередньо визначати основні характеристики колії: відстань між рейками; перевищення між рейками; зміщення осі колії від проектного положення в плані; зміщення осі колії по висоті (мал. 2).



Мал. 2. Геометричні параметри колії

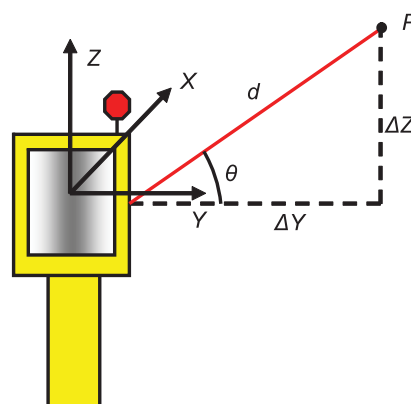
Головна відмінність вимірювальних візків від вимірювальних комплексів на базі вагонів потягів полягає у можливості використання їх при прокладанні залізничних колій на етапах до і після трамбування основи. Крім того, використання лазерного сканера дозволяє додатково вирішувати задачу визначення фактичного габариту колії.

Інша відмінність між ними – різна маса обладнання, що дозволяє комплексам визначати фактичну геометрію колії при реальному навантаженні. Проте недоліками таких систем є велика вартість, а також необхідність перекриття руху при вимірюваннях. Вимірювальні візки мають перевагу при вимірюваннях на коротких відстанях, а ще в точності геодезичної прив'язки через меншу швидкість руху.

Геодезична прив'язка виконується двома різними способами: за допомогою електронного тахеометра або GPS. При використанні тахеометра необхідно мати мінімум дві опорні точки. Звичайно, більша кількість точок покращує результати. При цьому вимірювання нагадують полігонометричний хід, побудований за багатостативною системою. При використанні GPS антена встановлюється безпосередньо на візок. Точність вимірювань залежить насамперед від створеної вздовж залізниці GPS-мережі, оскільки вимірювання виконуються в режимі RTK.

Розглянемо методику визначення координат точки при використанні профільного лазерного сканера. Координати точок отримують у локальній системі координат сканера. В цій системі вісь X

збігається з напрямком руху і вона перпендикулярна площині сканування. При скануванні вимірюють відстань d до точки P та кут нахилу θ . Схему сканування зображено на мал. 3.



Мал. 3. Визначення координат точки профільним лазерним сканером

Координати точки в системі координат сканера обчислюють за таким виразом:

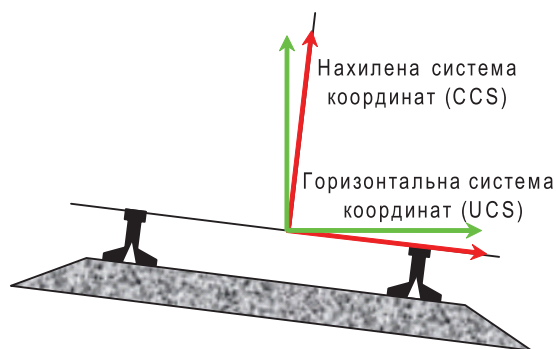
$$p = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ d \cos \theta \\ d \sin \theta \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Позначення у виразі (1) зрозумілі з мал. 3. Для представлення положення точки P у прийнятій глобальній системі координат необхідно виконати додаткові перетворення. Зазвичай це 6-параметричне перетворення за Гельмертом. При виконанні геодезичної прив'язки відомі координати тільки однієї



точки, призми на сканері або GPS-антени. Для визначення кутів орієнтування вимірювального візка використовують датчик поперечного нахилу (крен), а поздовжнього (тангажу) – траєкторію руху призми або GPS-антени.

Знаючи внутрішню геометрію вимірювального візка і його частин, координати точок у системі координат сканера можна перетворити в систему, яку називають нахилоною системою координат (мал. 4). Використовуючи показання датчика нахилу, координати точки перетворюють в горизонтальну систему координат. При виконанні вимірювань без геодезичної прив'язки координати точки вказують у горизонтальній системі координат з відстанню по одометру. При виконанні геодезичної прив'язки траєкторія руху призми задає орієнтацію осі X. Положення візка визначається тахеометром з робочою частотою вимірювання. В залежності від швидкості руху положення точок на осі визначається з певним інтервалом між ними, проміжні точки визначають за допомогою інтерполяції сплайн-функціями.



Мал. 4. Системи координат вимірювального візка

Для перетворення із системи координат сканера в нахилену систему CCS необхідно перемістити початок системи координат сканера в центр візка і виконати поворот для переходу в горизонтальну систему координат UCS. Координати точки P в горизонтальній системі координат будуть:

$$P^{UCS} = T_C^{UCS} + R_{CCS}^{UCS} P^C, \quad (2)$$

$$\text{де } R_{CCS}^{UCS} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} - \text{матриця повороту з}$$

нахилої в горизонтальну систему координат; T_C^{UCS} – вектор приростів координат між центром системи координат сканера і системою координат вимірювального візка.

Для переходу від системи координат UCS до глобальної системи координат необхідно виконати кілька додаткових перетворень:

$$P^{\Gamma} = T_{TS}^{\Gamma} + T_{TS/Призма}^{\Gamma} + T_{Призма/UCS}^{\Gamma} + R_{UCS}^{\Gamma} P^{UCS}, \quad (3)$$

де P^{Γ} – місцеположення точки в глобальній системі координат; T_{TS}^{Γ} – вектор приростів координат місцеположення електронного тахеометра відносно глобальної системи координат; $T_{TS/Призма}^{\Gamma}$ – век-

тор приростів координат призми на лазерному сканері відносно електронного тахеометра в глобальній системі координат; $T_{Призма/UCS}^{\Gamma}$ – вектор приростів координат призми відносно початку системи UCS вимірювального візка; R_{UCS}^{Γ} – матриця повороту між UCS вимірювального візка і глобальною системою координат.

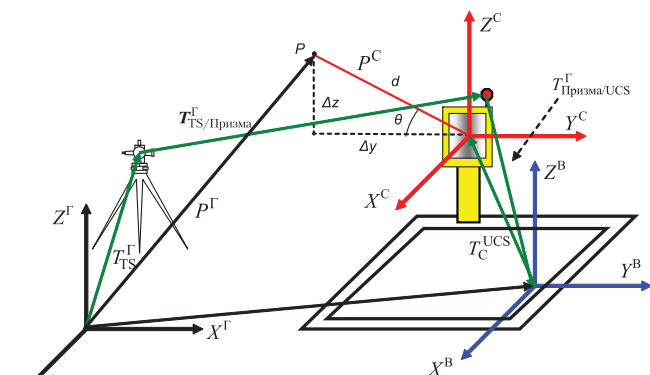
Підставляючи рівняння (2) у вираз (3), отримаємо: або

$$P^{\Gamma} = T_{TS}^{\Gamma} + T_{TS/Призма}^{\Gamma} + T_{Призма/UCS}^{\Gamma} + R_{UCS}^{\Gamma} T_C^{UCS} + R_{UCS}^{\Gamma} R_{CCS}^{UCS} P^C \quad (4)$$

де $R_{CCS}^{\Gamma} = R_{UCS}^{\Gamma} R_{CCS}^{UCS}$.

$$P^{\Gamma} = T_{TS}^{\Gamma} + T_{TS/Призма}^{\Gamma} + T_{Призма/UCS}^{\Gamma} + R_{UCS}^{\Gamma} T_C^{UCS} + R_{CCS}^{\Gamma} P^C, \quad (5)$$

Для наочного представлення виразів (4) і (5) відтворимо просторові геометричні зв'язки між різними вимірювальними засобами та їх системами координат (мал. 5).



Мал. 5. Просторові геометричні зв'язки автоматизованого комплексу

На мал. 5 прийнято такі позначення: $X^{\Gamma}, Y^{\Gamma}, Z^{\Gamma}$ – координати в глобальній системі координат; X^C, Y^C, Z^C – координати в системі координат сканера; X^B, Y^B, Z^B – координати в системі координат вимірювального візка.

У виразах (4-5) при використанні GPS вектори T_{TS}^{Γ} , $T_{TS/Призма}^{\Gamma}$ необхідно замінити на T_{GPS}^{Γ} , а $T_{Призма/UCS}^{\Gamma}$ – на $T_{GPS/UCS}^{\Gamma}$.

Для дослідження точності мобільних комплексів лазерного сканування залізниць скористаємось експериментальними результатами, описаними в праці [11]. Довжина експериментальної ділянки становить 200 м. Уздовж маршруту були розклеєні чорно-білі прямокутні марки, які добре розпізнавались лазерним сканером. Координати точок 102-112 визначались електронним тахеометром з пунктів опорної геодезичної мережі 1001-1004. Координати виміряних тахеометром точок та їх середні квадратичні похибки (СКП) наведено в табл. 2.



Таблиця 2. Координати точок експериментального полігона та СКП їх визначення [11]

№ точки	X, м	Y, м	Z, м	m_x , м	m_y , м	m_z , м
1001	1000,000	1000,000	10,000	0,000	0,000	0,000
1002	1011,523	1009,668	10,108	0,000	0,000	0,001
1003	1063,788	1000,000	9,941	0,000	0,000	0,000
1004	1109,858	1005,775	10,142	0,001	0,001	0,001
102	1074,115	1019,846	12,290	0,001	0,002	0,003
103	1023,123	1009,172	11,661	0,001	0,001	0,003
104	1035,423	1008,564	12,056	0,001	0,001	0,002
105	1030,845	997,292	11,444	0,001	0,002	0,003
106	1048,319	998,427	10,684	0,001	0,001	0,003
107	1047,454	1008,037	11,981	0,001	0,001	0,003
108	1058,494	999,880	12,149	0,002	0,001	0,003
109	1078,761	998,108	12,116	0,001	0,002	0,003
110	1068,641	1006,367	11,427	0,001	0,002	0,003
112	1083,430	1008,376	10,471	0,001	0,002	0,003

З табл. 2 видно, що точність визначення координат марок є високою і вона не впливатиме на результати досліджень точності мобільної сканерної системи. Дослідження точності було проведено для системи GRP 5000 фірми "Amberg Technologies" (Швейцарія). Упродовж експерименту вимірювальний візок, на якому було встановлено профільний сканер з призмою, безперервно переміщали вздовж полігона. Геодезичну прив'язку візка виконували методом полярних координат за допомогою двох роботизованих тахеометрів Leica серії TS з точок 1001-1004. Потім на отриманій за допомогою лазерного сканера хмарі точок було визначено координати марок, які порівнювалися з еталонними значеннями, вказаними в табл. 2. Різниці координат марок зазначено у табл. 3.

Таблиця 3. Різниці координат контрольних марок [11]

№ точки	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔZ , мм
102	58	-2	-4
103	14	-3	3
104	6	-3	10
105	4	2	-3
106	-1	2	1
107	8	-5	5
108	10	-3	0
109	5	-5	4
110	30	-4	2
112	2	-10	-1

Безумовно, відхилення, отримане в точці 102, вказує на наявність грубої помилки, тому при оцінюванні точності роботи системи воно не береться до уваги. Зрештою отримуємо такі значення СКП: $m_x = 9,1$ мм, $m_y = 3,5$ мм, $m_z = 4,1$ мм. Загальна СКП визначення положення точки в просторі $m_p = 10,6$ мм. Для того щоб встановити, чи відповідають отримані результати реальній точності системи, необхідно виконати попередній розрахунок точності вимірювань. Рівняння для такого розрахунку одержимо шляхом переходу до СКП від виразу (4). Опускаючи процес перетворення [12], наведемо кінцеве рівняння для обчислення матриці похибок точки P :

$$M_P^T = M_{TS}^T + M_{TS/Призма}^T + M_{Призма/UCS}^T + \\ + dR_{UCS}^T M_\alpha (dR_{UCS}^T)^T + R_{UTC}^T M_C^{UCS} (R_{UCS}^T)^T + \\ + dR_{UCS}^{(T)} M_\omega (dR_{UCS}^{(T)})^T + R_{UCS}^T dR_{CCS}^{UCS} M_\kappa (dR_{CCS}^{UCS})^T (R_{UCS}^T)^T + \\ + R_{CCS}^T M^C (R_{CCS}^T)^T, \quad (6)$$

де M_P^T – матриця СКП визначення координат точки P в глобальній системі координат; M_{TS}^T – матриця СКП координат точок опорної геодезичної мережі; $M_{TS/Призма}^T$ – матриця СКП визначення координат призми на сканері вимірювального візка; $M_{Призма/UCS}^T$ – матриця СКП визначення положення призми відносно центра вимірювального візка (калібрування); dR_{UCS}^T – матриця часткових похідних від виразу $R_{UCS}^T C^{UCS}$; $dR_{UCS}^{(T)}$ – матриця часткових похідних від виразу $R_{UCS}^T R_{CCS}^{UCS} P^C$; dR_{CCS}^{UCS} –

матриця часткових похідних від виразу $R_{CCS}^{UCS} P^C$; M_α – матриця СКП визначення кутів розвороту між системою UCS та глобальною системою координат; M_C^{UCS} – матриця СКП визначення зміщення між системою UCS та системою координат лазерного сканера; M_ω – матриця СКП визначення кутів розвороту між системою UCS та глобальною системою координат; M_κ – матриця СКП визначення кутів розвороту між системою UCS та нахиленою системою координат; M^C – матриця СКП визначення координат лазерним сканером.

Для виконання попереднього розрахунку приймемо, що СКП в матрицях мають однакові значення. Тоді матимемо: СКП координат точок опорної геодезичної мережі – 1,5 мм; СКП визначення координат призми на сканері вимірювального візка – 1,4 мм; СКП визначення положення призми відносно центра вимірювального візка (калібрування) – 1 мм; СКП визначення кутів розвороту між системою UCS та глобальною системою координат – 5"; СКП визначення зміщення між системою UCS та системою координат лазерного сканера – 1 мм; СКП визначення кутів розвороту між системою UCS та глобальною системою координат – 5"; СКП визначення кутів розвороту між системами UCS та CCS – 5"; СКП визначення координат лазерним сканером – 1,7 мм. Підставивши ці значення, отримаємо коваріаційну матрицю похибок точки $P - M_P^T$. Діагональні елементи цієї матриці – це квадрати СКП.

У результаті попереднього розрахунку отримано такі значення СКП: $m_x = 2,8$ мм, $m_y = 4,0$ мм, $m_z = 2,8$ мм. Аналізуючи результати попереднього розрахунку, дійдемо висновку, що тільки у випадку похибки вздовж осі Y експериментальні значення збігаються з теоретичними. Фактично за умови дотримання технології виконання робіт досягають похибки визначення положення точки в просторі $m_p = 5,6$ мм. Якщо ретельніше проаналізувати дані табл. 3, то виявимо значний систематичний зсув у координатах по осі X . Аналогічний висновок можна зробити стосовно наявності додаткового зсуву у висотній складовій.



Таким чином, отримані вирази для попереднього розрахунку точності дозволяють визначити очікувану точність мобільного лазерного сканування і виявити невраховані джерела похибок, що спотворюють результати вимірювань.

Висновки, рекомендації, перспективи дослідження. У статті розглянуто можливості сучасних мобільних комплексів лазерного сканування залізниць. Використовуючи формули для обчислення координат точок мобільним комплексом, отримано вирази для виконання попереднього розрахунку точності мобільного лазерного сканування. Порівнюючи величини СКП, одержаних з експериментальних вимірювань, з теоретичними значеннями, встановлено наявність додаткових джерел похибок, які при можливості необхідно виключати з результатів вимірювань.

Мобільні комплекси лазерного сканування знаходять своє застосування також при зніманні інших лінійних споруд, таких як автодороги, тунелі, ЛЕП тощо. До складу цих комплексів входить складне устаткування, а отже, і модель похибок є складнішою. Отримані вирази в подальшому можуть бути використані для дослідження точності складних за будовою мобільних комплексів лазерного сканування.

Література

1. Жидов, В.М. Разработка и исследование системы геодезического контроля пространственного положения железнодорожных путей [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук: спец. 25.00.32 "Геодезия" / В.М. Жидов. – Новосибирск, Сибир. гос. геодез. акад. – 2010. – 23 с.
2. Каменский, В.Б. Содержание железнодорожного пути в кривых [Текст] / В.Б. Каменский, Э.Я. Шац. – М.: Транспорт, 1987. – 189 с.
3. Ковалева, О.В. Автоматизированный координатный способ определения пространственного положения и геометрических параметров рельсовой колеи [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук: спец. 25.00.32 "Геодезия" / О.В. Ковалева. – Новосибирск, Сибир. гос. геодез. акад. – 2007. – 25 с.
4. Корженевич, И.П. Специальная реперная система для контроля положения пути в плане [Текст] / И.П. Корженевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вып. 25. – С. 69-71.
5. Корженевич, И.П. План железнодорожного пути, проблемы его съемки, расчетов и реализации / И.П. Корженевич, О.А. Суслов, Б.И. Торопов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вып. 32. – С. 193-197.
6. Самратов, У.Д. О точности определения геометрических параметров железнодорожного пути с помощью АПК [Текст] / У.Д. Самратов, Л.А. Сакович, Д.Г. Кривдин // Геопрофи. – 2007. – № 6. – С. 28-32.
7. Скоростные магистрали требуют высокоточных измерений // Геопрофиль. – 2010. – Вып. 6. – С. 21-27.
8. Штомпель, А.М. Анализ точности геодезических измерений при оценке stanu безстыковой коліі [Текст] / А.М. Штомпель, П.І. Лоцман // Инж. геодез. – 2007. – Вып. 53. – С. 225-231.
9. Штомпель, А.М. Застосування геодезических методов контролю поперечных перемещений рейковых плит безстыковой коліі [Текст] / А.М. Штомпель, П.І. Лоцман // Инж. геодез. – 2008. – Вып. 54. – С. 303-310.
10. Щербаков, В.В. Геодезические методы контроля рельсовой колеи по геометрическим параметрам / В.В. Щербаков, О.В. Ковалева, В.М. Круглов // Матер. Междунар. науч.-практ. конф. "GEOFORM+ геопространственные технологии и сферы их применения". – 2006. – С. 60-61.
11. Engstrand, A. Railway Surveying – A Case Study of the GRP 5000. Masters of Science Thesis [Text] / A. Engstrand. – Stockholm, Sweden, March 2011. – 54 p.
12. Grejner-Brzezinska, D.A. Direct exterior orientation of airborne imagery with GPS/INS system: performance analysis [Text] / D.A. Grejner-Brzezinska // Navigation. – Vol. 46, No. 4. – 1999. – P. 261-270.
13. Longstreet, B. New Tech for Old Tasks: Tunnel Surveyors use the latest technology on New Yorks Subway Extension [Text] / B. Longstreet // TMB: Tunnel Business, August, 2010. – № 7. – P. 25-26.
14. Precise RailTrack Surveying // GPS World, May, 2004. – P. 12-18.

Інтернет-джерела

15. The mobile scanner solution for infrastructure analyses. Amberg Technologies. Brochure_GRP_5000_en.pdf. – <http://www.amberg.ch>
16. SPACETEC TS2: The adaptable two-channel scanner. – <http://www.spacetec.de>
17. Geodesy/Survey. Engineering Survey Tachy Rail. "GEO-METRIK AG". – <http://www.geo-metric.de>
18. Precise Rail Track Surveying. Swiss Trolley. swiss_trolley.pdf. – <http://www.terra.ch>

Надійшла 16.11.11