

528.78
Б61

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Білоус Микола Васильович

УДК 528.48 (043)

Б61

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ
ЗА ПЕРЕМІЩЕННЯМИ ТУНЕЛІВ
МЕТРОПОЛІТЕНУ НА СТАДІЇ БУДІВНИЦТВА**

05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія

АВТОРЕФЕРАТ

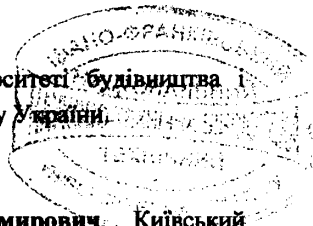
дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ - 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Київському національному університеті будівництва і архітектури, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України.



Науковий керівник:

кандидат технічних наук **Шульц Роман Володимирович**, Київський національний університет будівництва і архітектури, доцент кафедри геоінформатики і фотограмметрії.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Шоломицький Андрій Аркадійович**, Донецький національний технічний університет, професор кафедри геоінформатики і геодезії;

кандидат технічних наук **Кучер Олег Васильович**, Науково-дослідний інститут геодезії і картографії, перший заступник директора з наукової роботи.

Захист відбудеться "3" березня 2011р. о 10 год., на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.056.09 в Київському національному університеті будівництва і архітектури, за адресою: 03680, Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03680, Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розісланий "2" лютого 2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент

О.П. Ісаєв

Актуальність теми. Дослідження просторових переміщень тунелів метрополітену є складною і актуальною проблемою сучасної інженерної геодезії. Будівництво метро відбувається в містах, які найчастіше мають складну та хаотичну забудову, різні геологічні умови, значну кількість інженерних комунікацій діючих та недіючих, тому задача спостереження за осіданнями та деформаціями тунелів метрополітену виникає одразу з початку будівництва і є вкрай важливою. Традиційні методи визначення деформацій тунелів базувалися на визначенні окремо планового зміщення осі тунелю, висотного зміщення та деформації обробки тунелю з невисокою точністю. При цьому основними приладами, що використовувались були металеві стрічки, оптичні теодоліти та нівеліри і системи лазерного візування. Таким чином, визначення геометричних параметрів тунелю та його деформації представляло досить складну з методичної та технологічної точки зору задачу. Розроблення сучасної методики та технології спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва ускладнюється відсутністю відповідної нормативної документації, яка б регламентувала методику та точність спостережень. З появою нового геодезичного устаткування та розвитком нових технологій постає актуальна проблема розроблення більш коректної та адекватної методики визначення просторових переміщень тунелів метрополітену на стадії будівництва. Проблему розроблення методики спостереження за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва можна розділити на три складові.

Призначення необхідної точності спостережень є першочерговою задачею будь-якого виду геодезичних робіт і найскладніше вирішується при призначенні точності спостережень за осіданнями і переміщеннями інженерних споруд. Призначення точності спостережень при будівництві тунелів метрополітену вимагає врахування великої кількості різних факторів. Серед багатьох вчених, що займалися даною проблемою, слід відмітити роботи вітчизняних вчених: Б.Д. Бачишина, В.В. Буша, М.Г. Відуєва, В.Н. Ганьшина, Ю.П. Гуляєва, О.І. Єгорова, Г.П. Левчука, В.С. Старовєрова, П.Г. Черняги, В.К. Чибірякова, А.Ф. Шестопапа, Х.К. Ямбаєва та закордонних вчених: Х.Ф. Пура, Y.Q. Chen, A. Chrzanowski, J.M. Secord.

Друга складова – це розроблення методики спостережень під час будівництва тунелів метрополітену. Найбільшого розповсюдження набули праці наступних вчених: А.П. Карпіка, М.М. Лебедева, М.Е. Піскунова, К.Р. Третьяка, А. Корасік, Р. Куґинович, А. Ностінова, М. Зриньскі, М. Дзаро.

Математична обробка отриманих результатів спостережень є завершальним етапом спостережень за переміщеннями. Тут слід відмітити праці В.Д. Большакова, С.ІІ. Войтенка, Ю.О. Карпінського, Ю.І. Маркузе, С.Г. Могильного, С.В. Тюріна, R. Lindenberg, N. Pfeifer, T. Rabbani.

Окремо необхідно відмітити роль вчених, які займалися проблемою геодезично-маркшейдерського забезпечення будівництва транспортних тунелів і метрополітену зокрема, це роботи А.Н. Баранова, М.С. Черемісіна, В.Г. Афанасьєва, А.І. Полікашечкіна та ін.

НТБ
ІФНТУНГ



Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Обраний напрям дослідження пов'язаний із реалізацією таких державних програм: виконання Державної програми будівництва та розвитку мережі метрополітенів на 2006-2010 рр., затверджена Постановою Кабінету Міністрів України № 257 від 7 березня 2006 р., Державної науково-технічної програми розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2003-2010 рр., що затверджена Постановою Кабінету Міністрів України №37 від 16 січня 2003 р.

Базовими для дисертації є проектні роботи, що виконувались в ДП «ПІ Укрметротонельпроект».

Дисертаційна робота виконана згідно з планом наукової роботи кафедри інженерної геодезії Київського національного університету будівництва та архітектури.

Мета і задачі дослідження. *Метою* роботи є вирішення науково-прикладної задачі розроблення методики спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва.

Задачі досліджень:

- аналіз існуючих методів і засобів спостереження за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва;
- аналіз методик розрахунку точності спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва;
- розроблення теорії розрахунку точності спостережень за переміщеннями оболонки тунелів метрополітену з використанням моделі деформації обробки тунелю;
- розроблення методики розрахунку точності спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену з урахуванням габариту наближення будови;
- розроблення методики виконання спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва з використанням сучасного геодезичного обладнання;
- розроблення методики математичного оброблення результатів спостереження за переміщеннями тунелів метрополітену.

Об'єктом дослідження є переміщення тунелів метрополітену на стадії будівництва.

Предметом дослідження є геодезичні методи, засоби і точність спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва.

Методи дослідження дозволяють повністю вирішити поставлені задачі. Для розроблення математичної моделі розрахунку точності спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену використано методи будівельної механіки, зокрема методи загальної теорії оболонок та методи теорії похибок. Статистичні методи, а саме метод аналізу числових рядів за допомогою аналізу сингулярного спектра та метод найменших квадратів

використано для моделювання результатів спостережень за переміщеннями тунелів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробленні загального методичного підходу до вирішення проблеми визначення просторових переміщень тунелів метрополітену та їх геометричних характеристик. Отримані результати дозволяють сформулювати наступні наукові положення:

- розроблено та теоретично обґрунтовано математичну модель розрахунку точності спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену, що дозволяє обґрунтовано призначити необхідну точність та обрати відповідну методику спостережень;
- запропонована та теоретично обґрунтована методика спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва, що враховує сучасний стан розвитку геодезичного обладнання і дозволяє визначити деформацію поверхні тунелю і загальне переміщення всього тунелю;
- вдосконалено методику оброблення спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену, яка дозволяє виконати детальний аналіз складових переміщення і встановити величину деформації поверхні тунелю та загальне переміщення тунелю.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробленні технології визначення просторових переміщень тунелів метрополітену на стадії будівництва. Отримані наукові результати, можуть бути використані для:

- вдосконалення технології спостереження за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва, за станціями метрополітену та «стіною в ґрунті», яка використовується під час будівництва тунелів та станцій метрополітену;
- розроблення алгоритмів аналізу просторових переміщень тунелів метрополітену на стадії будівництва, які дозволять оперативно визначити просторове положення тунелю та його відхилення від проектної геометрії внаслідок можливих переміщень;
- вдосконалення існуючої нормативної документації у розділі спостереження за осіданнями і деформаціями тунелів метрополітену та інших підземних споруд.

Результати дисертаційної роботи використано при розробленні Державних будівельних норм України в розділі, який присвячений геодезичному забезпеченню будівництва метрополітенів. Запропонована технологія спостережень є універсальною і відповідає вимогам щодо точності виконання спостережень. Результати розробок рекомендовані до застосування в практиці будівництва та експлуатації не тільки ліній метрополітену, а й інших типів підземних споруд.

Особистий внесок здобувача. Результати досліджень, які викладені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто, що підтверджується одноосібними публікаціями з ключових аспектів задачі, а саме: розроблення

математичної моделі розрахунку точності спостережень; вдосконалення методики оброблення спостережень; розроблення та обґрунтування технології спостережень за переміщеннями тунелів з використанням сучасного геодезичного обладнання.

У працях, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: технологія виконання спостережень за переміщеннями тунелів [1; 6; 9]; експериментальне моделювання результатів спостережень [2; 3; 7]; методика виконання спостережень [5; 10].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались і обговорювались на науково-практичній конференції Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ, 2008 р.), Міжнародній науково-практичній конференції "Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – європейський досвід" (м. Чернігів, 2009 р.), Міжнародних науково-практичних конференціях "ГЕОФОРУМ" (м. Львів, 2008, 2009 рр.), XIV Міжнародному науково-технічному симпозиумі "Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS – технології" (АР Крим, м. Алушта, 2009 р.), Міжнародних науково-практичних конференціях "Геометричне і комп'ютерне моделювання – енергозбереження, екологія, дизайн" (АР Крим, м. Сімферополь, 2008, 2010 рр.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 10 друкованих праць, у тому числі 8 праць у фахових наукових виданнях визнаних ВАК України і 2 – у матеріалах конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури і додатка. Обсяг роботи становить 143 сторінки, у тому числі – 30 сторінок рисунків, 14 сторінок таблиць. Список використаних джерел займає 11 сторінок (105 найменувань).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та методи її досягнення, визначено наукову новизну та практичне значення досліджень, коротко розкрито основний зміст роботи.

В розділі I «Сучасний стан геодезичного забезпечення будівництва метрополітенів» виконано огляд проблемної сфери та наведено загальні відомості про технологію і сучасні засоби вимірювання переміщень тунелів метрополітену. Обґрунтовано необхідність розроблення методики спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва.

На всіх стадіях будівництва метрополітену висуваються відповідні вимоги до геодезичного забезпечення і особливо до спостереження за переміщеннями тунелів. В результаті аналізу встановлено, що ці вимоги висуваються на основі застарілих нормативних документів.

При розгляді проблеми спостереження за переміщеннями тунелів метрополітену можна виділити три окремі, але взаємопов'язані етапи:

- спостереження за осіданнями і деформаціями об'єктів на денній поверхні на стадії будівництва;
- спостереження за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва;
- спостереження за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії експлуатації.

Виконані в роботі дослідження відносяться до етапу спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва.

У діючій нормативній документації наводяться допустимі відхилення до розмірів та положення збірних обробок тунелів. Наведені відхилення є базовими для призначення точності спостережень. Походження цих величин не зовсім зрозуміле і вимагає уточнення для правильного призначення точності спостережень.

Особливостями спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва є:

- 1) стиснені і несприятливі для геодезичних спостережень умови;
- 2) виникнення переміщень, які стрімко розвиваються в часі;
- 3) відсутність можливості встановлення стаціонарних автоматичних систем спостереження;
- 4) відсутність стабільної геодезичної основи для спостережень.

На основі аналізу проблеми спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену визначено головні недоліки в обраному напрямку досліджень, які полягають у відсутності:

- теоретично обґрунтованої методики розрахунку точності спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену;
- сучасної методики та технології спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва;
- досконалої методики оброблення спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену;
- рекомендацій для покращення існуючої нормативної документації у розділі спостереження за осіданнями і деформаціями тунелів метрополітену.

У розділі сформовано основні задачі, вирішення яких дозволить отримати комплексне рішення проблеми визначення просторових переміщень тунелів метрополітену з дотриманням вимог до габариту наближення обладнання і плавності колії. Отримані в роботі результати включатимуть технологію спостереження за переміщеннями, методику математичного оброблення результатів спостережень, пропозиції щодо інтерпретації отриманих результатів та рекомендації по вдосконаленню існуючої нормативно-технічної документації.

В розділі 2 «**Розрахунок точності спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену**» вирішено проблему призначення точності спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену. Запропоновано методику розрахунку точності спостережень за деформацією поверхні тунелю та загальним переміщенням тунелю.

Визначено основні похибки, що впливають на планову точність вимірювання переміщень у будь-якій точці тунелю: $m_{ГД}$ - СКП геодезичної мережі на денній поверхні; $m_{ПК}$ - СКП передачі координат в шахту; $m_{ПН}$ - СКП передачі напрямку в шахту; $m_{ПГ}$ - СКП підземної геодезичної основи; $m_{ДО}$ - СКП деформації пунктів підземної геодезичної основи; $m_{ПР}$ - СКП прив'язки приладу до підземної геодезичної основи; $m_{ВП}$ - СКП вимірювання переміщень в тунелі.

Загальна похибка визначення переміщення тунелю в плані буде:

$$m_{П} = \sqrt{m_{ГД}^2 + m_{ПК}^2 + m_{ПН}^2 + m_{ПГ}^2 + m_{ДО}^2 + m_{ПР}^2 + m_{ВП}^2}. \quad (1)$$

Для визначення $m_{П}$ використовуємо величину допустимого переміщення тунелю ξ . Для виразу (1) прийємо принцип рівного впливу і отримаємо остаточно СКП кожної складової:

$$m_i = 0.38m_{П} = 0.05\delta. \quad (2)$$

Визначено основні похибки, що впливають на висотну точність вимірювання переміщень у будь-якій точці тунелю: $m_{ГД_h}$ - СКП висотної геодезичної мережі на денній поверхні; $m_{ПК_h}$ - СКП передачі висоти в шахту; $m_{ПН_h}$ - СКП підземної висотної геодезичної основи; $m_{ДО_h}$ - СКП деформації пунктів підземної геодезичної основи; $m_{ПР_h}$ - СКП прив'язки приладу до підземної геодезичної основи; $m_{ВП_h}$ - СКП вимірювання переміщень в тунелі.

Отже, загальна похибка визначення переміщень тунелю по висоті складе:

$$m_{П_h} = \sqrt{m_{ГД_h}^2 + m_{ПК_h}^2 + m_{ПН_h}^2 + m_{ДО_h}^2 + m_{ПР_h}^2 + m_{ВП_h}^2}. \quad (3)$$

Для виразу (3) прийємо принцип рівного впливу і отримаємо остаточно СКП кожної складової:

$$m_i = 0.41m_{П_h} = 0.03\delta. \quad (4)$$

Для обчислення точності спостережень за переміщеннями поверхні тунелю необхідно знати величину допустимих переміщень ξ . Згідно з діючими нормативними документами допустимі відхилення положення кільця тунелю в плані, профілі і діаметрів приймають $\delta = \pm 50$ мм. Точність геодезичних спостережень приймають:

$$m_{Г} : 0.2\xi. \quad (5)$$

Внаслідок порушення технології будівництва, неякісного монтажу обробки тунелю і не врахування окремих видів навантажень можуть виникнути додаткові деформації кільця тунелю, які з часом можуть перевищити допустимі значення. В нормативній літературі не регламентується необхідна точність спостережень при виникненні критичних

навантажень. В такому випадку запропоновано для призначення точності спостережень обчислити величину власного переміщення споруди з припущенням максимально можливого переміщення споруди.

Прийемо, що найбільше зусилля N та згинальний момент M , які може сприйняти дана оболонка тунелю при статичному навантаженні, будуть M^{\max} і N^{\max} . При розрахунку оболонки нормативні навантаження множаться на коефіцієнт умов роботи, який дорівнює 1,2, тоді максимальні надлишкові навантаження викличуть зміну зусилля та згинального моменту:

$$\Delta M^{\max} = 0,2M ; \Delta N^{\max} = 0,2N .$$

На основі цього підходу розраховано величини нормальних Δ_1 та дотичних Δ_2 переміщень, використовуючи які призначають точність геодезичних вимірювань. При розрахунку зроблено припущення, що на оболонку в ґрунті, на достатньо великій глибині діє гірничий тиск, а оскільки ґрунт на такій глибині достатньо однорідний по довжині оболонки, то можна вважати, що напружено-деформований стан оболонки не залежить від позовжньої координати по осі тунелю.

Приймаємо, що в перерізі спостережень розташовано n марок, де n – парне, для яких знаки Δ_1 і Δ_2 чергуються. Оскільки крива переміщень гладка, то її апроксимовано косинусоїдою.

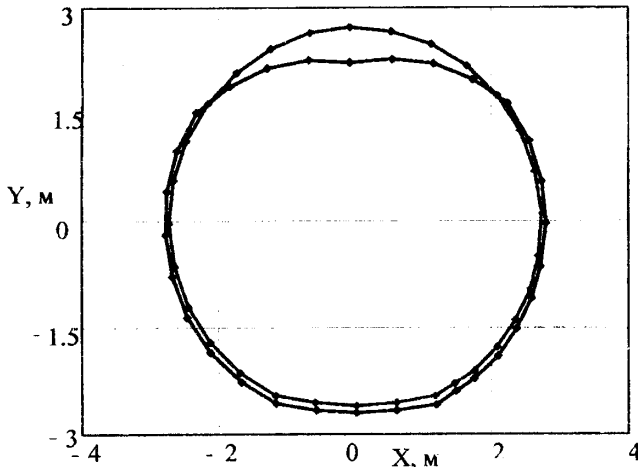
Виходячи із закону зміни переміщень, знайдено характеристики напружено-деформованого стану і максимальні переміщення Δ_1 і Δ_2 за виразами:

$$\Delta_1 = \frac{\Delta M^{\max}}{\frac{D}{R^2} \left(-\left(\frac{n}{2}\right)^2 + 1 \right)} ; \quad \Delta_2 = \frac{\Delta N^{\max} - \frac{H}{R} \left(1 - \frac{h^2}{12R^2} \left(\frac{n}{2}\right)^2 \right) \Delta_1}{\frac{H n}{R 2}} , \quad (6)$$

де D – циліндрична жорсткість на згин; H – циліндрична жорсткість на розтягування-стискання; R – радіус обробки. За виразами (6) для стандартних умов отримано наступні значення переміщень: $\Delta_1 = -0,014$ м, $\Delta_2 = 0,007$ м. В результаті необхідна точність спостережень за виразом (5) буде $m_r : 2,7$ мм.

Якщо відомі умови проектування, тоді розрахунок точності рекомендовано виконувати методом прямого розрахунку. Вихідними даними для цих розрахунків є: геометричні характеристики обробки, вертикальні навантаження; горизонтальне навантаження; коефіцієнт пружного відпору породи. Розрахунок виконано для перегінного тунелю «Луканівська»-«Дорогожичі». За даними розрахунків побудовано графік деформації оболонки, який наведено на рис. 1.

Отримані таким чином розрахункові значення переміщень дозволяють встановити необхідну точність спостережень. За розрахунками максимальне переміщення $\delta = -25,5$ мм, отже, точність геодезичних спостережень m_r за деформацією повинна знаходитись на рівні ± 5 мм.



--- Проектний контур обробки — Розрахунковий контур обробки

Рис. 1. Проектне та розрахункове положення обробки

Призначення необхідної точності при спостереженнях за загальним зміщенням тунелю рекомендується виконувати за умови, що максимальне переміщення тунелю не призведе до порушення габариту будови (рис. 2).

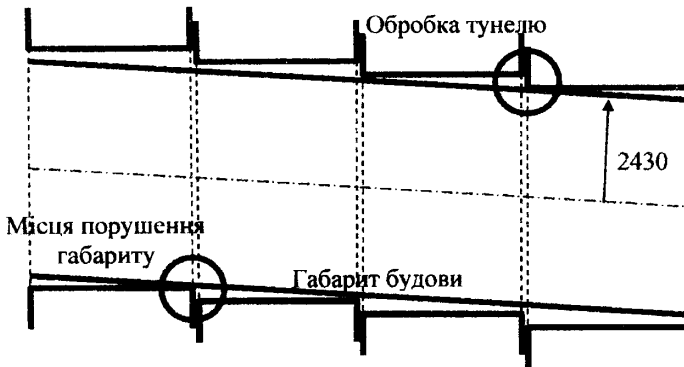


Рис. 2. Порушення габариту при деформації тунелю

Для визначення величини зазору Δ між габаритом наближення будови та обробкою виконано суміщення габаритів. Отримаємо СКП кожної складової визначення планового переміщення:

$$m_i = 0.38m_{II} = 0.04\Delta. \quad (7)$$

Для висотної складової отримаємо СКП кожної складової:

$$m_i = 0.41m_{II} = 0.04\Delta. \quad (8)$$

Отримані вирази враховують розділення величини габариту на висотну і планову складові.

В розділі 3 «Розроблення методики геодезичних спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва» запропоновано варіанти схем спостережень за «стіною в ґрунті». Для кожної з схем виконано аналіз та наведено рекомендації щодо умови реалізації кожної з схем в залежності від умов будівництва. В будь-якому з варіантів для спостережень використовують електронні тахеометри, що працюють в режимі без відбивача. Головна ідея спостережень за «стіною в ґрунті» полягає у безпосередньому визначенні переміщень марок за вимірними в кожному циклі кутами та відстанями. При зрівнюванні кутових та лінійних вимірів розв'язують рівняння деформацій, що відповідають вимірним величинам. Для кожної деформаційної марки в другому та наступних циклах спостережень складають три рівняння деформацій:

$$\left. \begin{aligned} a_{p1} \delta X_1 + b_{p1} \delta Y_1 + c_{p1} \delta Z_1 + l_{\beta 1} &= v_{\beta 1} \\ d_{p1} \delta X_1 + e_{p1} \delta Y_1 + f_{p1} \delta Z_1 + l_{z1} &= v_{z1} \\ g_{p1} \delta X_1 + h_{p1} \delta Y_1 + k_{p1} \delta Z_1 + l_{R1} &= v_{R1} \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

де $a_{p1}, b_{p1}, c_{p1}, d_{p1}, e_{p1}, f_{p1}, g_{p1}, h_{p1}, k_{p1}$ - часткові похідні; $l_{\beta 1} = \beta'_1 - \beta''_1$; $l_{z1} = z_1 - z''_1$; $l_{R1} = R'_1 - R''_1$ - вільні члени; $\delta X_1, \delta Y_1, \delta Z_1$ - шукані деформації.

Кількість векторів зміщень дорівнює $3n$, де n - кількість деформаційних марок. Вектор просторових переміщень отримують з рішення за методом найменших квадратів.

Для спостережень за тунелями розроблено методику, яка дозволяє одночасно визначати деформацію поверхні тунелю і його просторове зміщення. Запропоновану схему спостережень наведено на рис. 3.

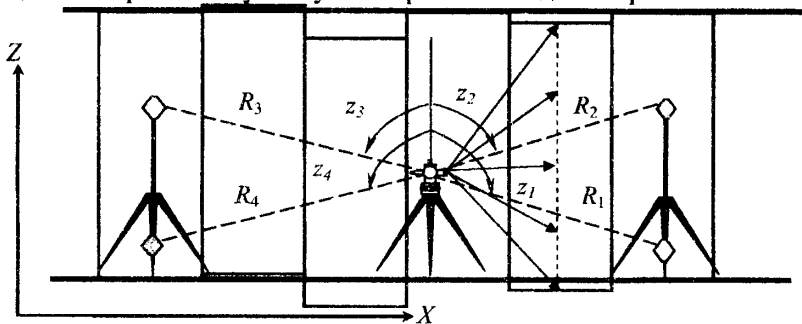


Рис. 3. Схема спостережень

На пунктах підземної полігонометрії встановлюють відбивачі. Між пунктами підземної полігонометрії розташовують електронний тахеометр. Положення тахеометра визначають, вимірюючи нахилені відстані R_1, R_2, R_3, R_4 , зенітні відстані z_1, z_2, z_3, z_4 та напрямки M . В результаті обчислюють просторове положення тахеометра і виконують вимірювання по перерізам тунелю.

Послідовність виконання спостережень наведено на рис. 4.

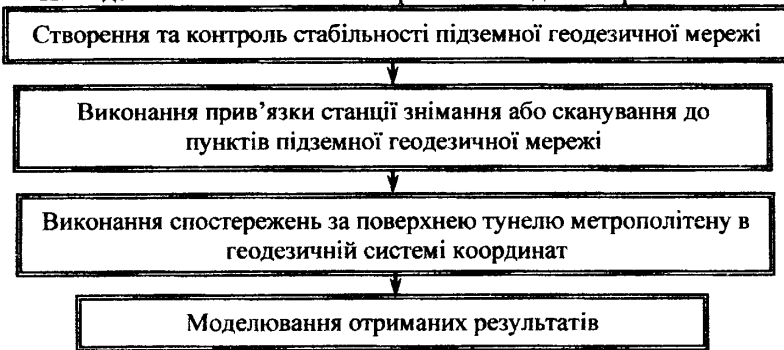


Рис. 4. Технологічна схема виконання спостережень за переміщеннями тунелю метрополітену

Спостереження виконують в кожному перерізі для довільної кількості точок. Збільшення кількості точок покращує точність оцінки положення кільця та точність визначення перемішень.

У розділі запропоновано методику для дослідження стабільності пунктів просторової геодезичної основи. Розроблений спосіб дозволяє визначити стабільність пункту за трьома координатними осями, що є особливо важливим при створенні спеціальних інженерно-геодезичних мереж, пункти яких використовуються для спостережень за переміщеннями.

В розділі 4 «Математичне моделювання перемішень тунелів метрополітену за результатами геодезичних спостережень» подано результати моделювання спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену. Ця задача вирішується для досягнення плавності обробки перед бетонуванням колії з обов'язковим врахуванням габариту наближення обладнання. Після виконання спостережень за методикою, що наведена в розділі 3, необхідно виконати оброблення результатів спостережень. Для оцінки фактичного положення кільця результати спостережень апроксимують колом. За вихідне для кожного кільця приймають рівняння:

$$(Z_i - Z_s)^2 + (Y_i - Y_s)^2 = r^2, \quad (10)$$

де Z_s, Y_s – координати центра кола; r – радіус. В результаті апроксимації отримують координати центра перерізу та оцінку радіуса (рис. 5).

Отримані після оцінки значення порівнюють з проектними та визначають деформацію кільця та повне зміщення кільця відносно проектного положення. Для кожної вимірної точки визначають відхилення, які вказують на деформацію обробки тунелю.

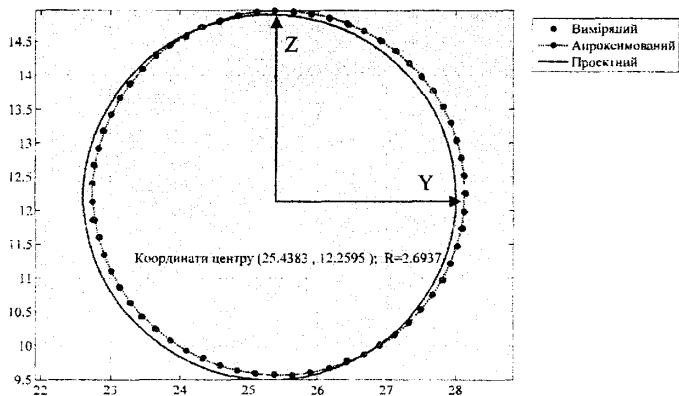


Рис. 5. Апроксимація перерізу колом

Для визначення положення просторової осі тунелю виконують апроксимацію просторової осі тунелю за координатами центрів окремих кілець. Для оцінки просторового положення осі тунелю запропоновано використовувати рівняння просторової прямої в параметричній формі:

$$X_s = X_1 - lt; \quad Y_s = Y_1 - mt; \quad Z_s = Z_1 - nt, \quad (11)$$

де X_s, Y_s, Z_s – координати центрів кіл, отримані з апроксимації; X_1, Y_1, Z_1 – координати точки на прямій; l, m, n – напрямні косинуси прямої; t – параметр.

Для отримання рівняння просторової криволінійної осі тунелю запропоновано використовувати сплайн третьої степені з обмеженнями. Порядок моделювання для розглянутих методик оброблення результатів спостережень представлено на рис. 6.

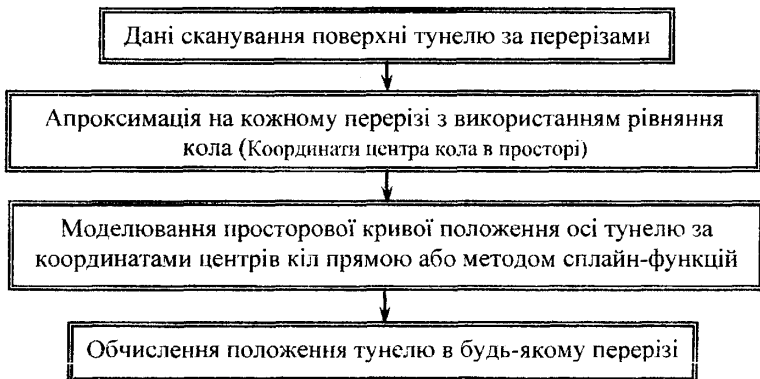


Рис. 6. Моделювання поверхні тунелю

При дослідженні переміщень прямолінійних тунелів запропоновано оцінку переміщень виконувати за допомогою апроксимації точок поверхнею циліндра. В такому випадку приймають умову, що якщо i -та точка знаходиться на поверхні циліндра, то виконується векторне рівняння:

$$\|(\mathbf{p} - \mathbf{c}) \times \mathbf{a}\| - r = 0. \quad (12)$$

Позначення в рівнянні (12) зрозумілі з рисунку 7.

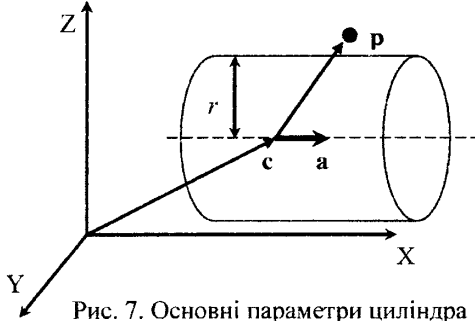


Рис. 7. Основні параметри циліндра

Якщо умова (12) не виконується маємо рівняння $\|(\mathbf{p} - \mathbf{c}) \times \mathbf{a}\| - r = \Delta$, які вирішують за умови $V^T P V = \min$. До рівнянь додають обмеження (13).

$$\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = 1; \quad a_x c_x + a_y c_y + a_z c_z = 0. \quad (13)$$

Перший з виразів (13) встановлює, що вектор \mathbf{a} має одиничну довжину, другий вираз встановлює, що точка \mathbf{c} знаходиться на одній осі з вектором \mathbf{a} .

Для прямолінійного тунелю «Либідська» - «Деміївська» виконано оброблення результатів спостережень в 18 перерізах, в кожному з яких виміряно 64 точки. В результаті оцінки встановлено переміщення в зоні станції «Либідська», які перевищують 120 мм, середні переміщення дорівнюють 40 мм.

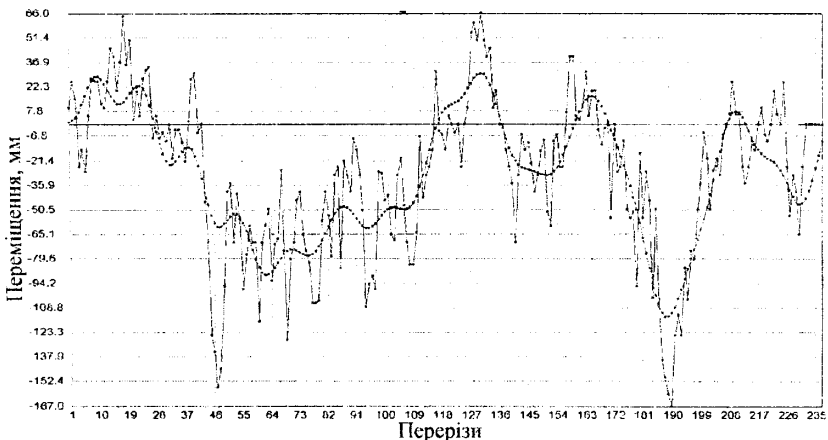


Рис. 8. Реконструкція осі тунелю в площині XZ.

При будівництві метрополітенів найбільший інтерес представляють періодичні складові. Оскільки ряд спостережень при нерівномірних

переміщеннях є композицією декількох складових, то для розділення ряду на складові пропонується використати метод SSA (Singular Spectrum Analysis).

Для апробації запропонованої методики використаємо результати спостережень за перегінним тунелем метро «Позняки» - «Харківська». Виконаємо розкладання ряду даних на власні значення. З точки зору теорії похибок слід залишити компоненти, вклад яких у відсотках перевищує 5%. За таких умов в ряді спостережень значення мають п'ять компонент: 1 (35.649%); 2 (15.924%); 3 (11.198%); 4 (6.824%); 5 (5.440%). Використовуючи ці компоненти виконаємо згладжування вимірювань (рис.8). Запропонований для оброблення результатів метод SSA дозволяє без виконання процедури апроксимації визначити положення осі тунелю і встановити величини можливих періодичних переміщень тунелю.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Білоус М.В. Визначення деформацій підпірних стінок при будівництві метрополітену / М.В. Білоус, Р.В. Шульц, Т.Т. Чмчян // Містобудування та територіальне планування – К., 2008. – Вип. 31 – С. 462-469.
2. Білоус М.В. Методи і алгоритми математичного моделювання просторових переміщень тунелів метрополітену / М.В. Білоус, Р.В. Шульц // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К., 2008. – Вип. 80. – С. 532-536.
3. Білоус М.В. Тенденції використання багатомірного розподілу при аналізі результатів геодезичних вимірювань / М.В. Білоус, С.П. Войтенко // Інженерна геодезія, вип. 54, Київ, 2008 – С. 27-32.
4. Білоус М.В. Визначення стабільності пунктів геодезичної мережі / М.В. Білоус // Містобудування та територіальне планування – К., 2009. – Вип. 34 – С. 462-469.
5. Білоус М. Застосування нової гіроскопічної насадки GYROMAX АК-2М фірми GMT для виконання орієнтування в підземних умовах/ М. Білоус, В. Ковтун, С. Марчук, О. Рошин, І. Тревого // Сучасні досягнення геодезичної науки і техніки (І), Львів, 2009 р. – С. 141-143.
6. Білоус М.В. Сучасні методи визначення просторових переміщень тунелів метрополітену / М.В. Білоус, Р.В. Шульц // Вісник геодезії і картографії. – 2009. – № 5. – С. 13-16.
7. Білоус М.В. Моделювання поверхні тунелю метрополітену за даними наземного лазерного сканування / М.В. Білоус, Р.В. Шульц // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К., 2010. – Вип. 84. – С. 532-536.
8. Білоус М.В. Спостереження за деформаціями тунелів метрополітену / М.В. Білоус // Інженерна геодезія, вип. 55, Київ, 2010 – С. 242-249.
9. Белоус Н. Лазерное 3D - сканирование в дальних и варяжских пещерах Свято-Успенской Киево-Печерской Лавры / Н. Белоус, А. Горб, В. Ковтун, Р. Шульц // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – європейський досвід" (м. Чернігів, 2009 р.) – С. 139-144.

10. Білоус М.В. Сучасні методи визначення просторових переміщень тунелів метрополітену / М.В. Білоус, Р.В. Шульц // Тези доповідей міжнародної наук.-практ. конф. «Геоінформаційний моніторинг. GPS і ГІС технології, Алушта, 2009 р. – С. 46-48.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті проведеного детального аналізу встановлено, що досягнення необхідного рівня точності при спостереженнях за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва є складною, комплексною задачею, яка вимагає використання найсучаснішого геодезичного устаткування та методик оброблення результатів спостережень. Вказано, що підлягають корегуванню нормативні документи в частині методів створення та розвитку геодезичних мереж для будівництва метрополітенів.

2. Виконано аналіз основних джерел похибок при виконанні спостережень за осіданнями та переміщеннями тунелів метрополітену та запропоновано методику попереднього розрахунку точності спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену. Для обчислення точності спостережень за переміщеннями тунелю рекомендується використовувати допустимі переміщення тунелю.

3. В результаті дослідження запропоновано методику розрахунку точності спостережень за деформаціями поверхні окремої частини обробки тунелю метрополітену та методику розрахунку основних деформаційних характеристик. В роботі отримано вирази для попереднього розрахунку точності геодезичних спостережень за деформаціями окремої частини тунелю метрополітену.

4. Розроблено методику попереднього розрахунку точності спостережень за повними осіданнями та переміщеннями тунелю метрополітену. Для обчислення точності спостережень використано величину запасу між обробкою тунелів і габариту наближення споруд.

5. Розроблено методики виконання спостережень за повними осіданнями та переміщеннями тунелів метрополітену. Запропонована методика базується на використанні можливостей сучасних геодезичних приладів, електронних тахеометрів та лазерних сканерів. Доведено, що за допомогою методів наземного лазерного сканування та електронної тахеометрії можливе визначення не тільки деформацій окремих ділянок тунелю, а й усієї споруди загалом.

6. Запропоновано методику та математичний алгоритм опрацювання результатів спостережень за просторовими переміщеннями тунелю метрополітену. Використовуючи запропонований алгоритм, можна побудувати оптимальну поверхню тунелю за результатами спостереження за деформаціями тунелю. Для досягнення плавності траси запропоновано виконувати оброблення результатів методом аналізу сингулярного спектру, який дозволяє без виконання процедури апроксимації оцінити положення осі

тунелю за результатами вимірювань і встановити величини можливих переміщень тунелю.

7. Результати, отримані в дисертаційній роботі, дозволяють в подальшому продовжити дослідження, що присвячені обраному напрямку. Зокрема отримані результати дозволяють дослідити деформації тунелів метрополітену на стадії експлуатації, а також вдосконалити методику спостереженнями за деформаціями денної поверхні в зоні будівництва та експлуатації метрополітену.

АНОТАЦІЯ

Білоус М.В. Розроблення методики спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія. – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2011.

У дисертаційній роботі розроблено методику виконання спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва.

У роботі запропоновано методику попереднього розрахунку точності спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену. Отримано вирази для попереднього розрахунку точності геодезичних спостережень за деформаціями окремої частини тунелю метрополітену.

Розроблено методику попереднього розрахунку точності спостережень за повними осіданнями та переміщеннями тунелю метрополітену. Для обчислення точності спостережень використано величину запасу між габаритом наближення споруди і обробкою тунелю.

Запропоновано методику виконання спостережень за повними переміщеннями тунелів метрополітену. Для визначення деформації всієї споруди рекомендується використовувати наземне лазерне сканування або електронний тахеометр.

Розроблено методику та математичний алгоритм моделювання поверхні тунелю метрополітену.

Ключові слова: напружено-деформований стан, переміщення, тунель метрополітену, точність визначення деформацій, габарит наближення споруд, апроксимація.

АННОТАЦИЯ

Белоус Н.В. Разработка методики наблюдений за перемещениями туннелей метрополитена на стадии строительства. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 – Геодезия, фотограмметрия и картография. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, 2011.

В диссертационной работе разработана методика выполнения наблюдений за перемещениями туннелей метрополитена на стадии строительства.

В результате анализа основных погрешностей при выполнении наблюдений предложена методика предварительного расчета точности

наблюдений за перемещениями туннелей метрополитена на стадии строительства.

Для наблюдений за отдельными частями туннеля метрополитена предложена методика расчета точности наблюдений. В работе получены выражения для предварительного расчета точности наблюдений.

Для расчета точности за наблюдением полного перемещения туннеля метрополитена предложена методика, которая основывается на соблюдении габарита приближения строения.

Разработана методика выполнения наблюдений за полным перемещением туннеля метрополитена на стадии строительства. Доказано, что с помощью методов наземного лазерного сканирования и электронных тахеометров возможно определение локальных перемещений туннеля и полного смещения сооружения.

Предложены методика и математический алгоритм обработки результатов наблюдений за пространственными перемещениями туннеля метрополитена. Разработаны методика и математический алгоритм моделирования поверхности туннеля метрополитена для определения деформаций туннеля на стадии строительства.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, перемещение, туннель метрополитена, точность определения деформаций, габарит оборудования, аппроксимация.

SUMMARY

Bilous M.V. Development of method for observation on moving of underground tunnels on the stage of building. – Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.24.01 – Geodesy, Photogrammetry and Cartography. – Kiev national university of construction and architecture, Kiev, 2011.

In this thesis the method for observation on moving of underground tunnels on the stage of building is developed.

In work the method of preliminary accuracy calculation of observation is on underground tunnels displacement is offered. Expressions are got for the preliminary accuracy calculation of geodetic observations after deformations of separate part of underground tunnel.

The method of preliminary accuracy calculation of observations after the complete sinking and displacement of underground tunnel is developed. For the accuracy calculation for observations the size of supply between obstruction clearance and liner is used.

The method of observation implementation after the complete displacement of underground tunnel is offered. For determination of deformation of all building it is recommended to use the terrestrial laser scanners or electronic tachometry.

The method and mathematical algorithm for modeling of underground tunnel surface is developed.

Keywords: mode of deformation, displacement, underground tunnel, accuracy of deformations determination, obstruction clearance, approximation.