

Т.2: пер. с англ./ под. ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина, С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 526 с.

11. Simon D. Kalman Filtering / D. Simon // Embedded Systems Programming, University of Pennsylvania, Philadelphia, 2001. P. 72-79.

Надійшла до редакції

12.02.2013

УДК 528.4

**Р.В. Шульц,
М.В. Білоус**

УТОЧНЕННЯ МЕТОДИКИ ПРИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОЧНОСТІ ПОБУДОВИ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА ПІДЗЕМНИХ СПОРУД

Виконано аналіз існуючих підходів до призначення необхідної точності створення геодезичної основи для забезпечення збіжки зустрічних забоїв. Розроблено удосконалену методику призначення точності створення геодезичної мережі, яка позбавлена теоретичних та термінологічних неоднозначностей.

Ключові слова: геодезична основа, допуск, допустиме відхилення, габарит, збіжка.

Постановка проблеми. Призначення точності створення геодезичної основи під час будівництва підземних споруд є одним з найвідповідальніших етапів геодезично-маркшейдерського забезпечення будівництва. Вихідною величиною, за допомогою якої виконують всі розрахунки, є величина допустимої збіжки зустрічних забоїв. Від часу появи першої фундаментальної роботи з геодезично-маркшейдерського забезпечення будівництва підземних споруд [1] в 1952 р. здійснено декілька спроб сформуванню загальний підхід до призначення точності геодезичних робіт під час підземного будівництва підземних споруд. Відомий на теперішній час підхід, який остаточно сформувався в 70-х рр. ХХ ст., викладено в роботі [2]. Цей приклад без змін наведено у більшості підручників і монографій, у яких висвітлено геодезично-маркшейдерське забезпечення підземного будівництва [3-5]. Всі розрахунки базуються на використанні величини допустимої збіжки. Проте у визначенні збіжки можна зауважити значні термінологічні розбіжності, що призводить до неправильного призначення її величини. Таким чином, постає завдання з правильного визначення величини збіжки, отже, й удосконалення методики подальших розрахунків.

Постановка завдання. Метою роботи є виконання аналізу підходів до призначення необхідної точності створення геодезичної основи для забезпечення допустимої збіжки зустрічних забоїв та удосконалення методики призначення точності створення геодезичної мережі.

© Р.В. Шульц, М.В. Білоус, 2014

Виклад основного матеріалу. Протягом багатьох років загальний підхід до розрахунку точності геодезичних робіт для забезпечення збіжки двох забоїв залишався незмінним. Перш за все треба чітко уявити, що являє собою величина збіжки та в який спосіб її визначають.

Літературні джерела містять чимало різних визначень збіжки та її величини, зокрема в роботах [2;4] величина збіжки трактується як допуск $Q = 100$ мм, який вважають за СКП, що, звісно, є некоректним. У роботі [6] вказано, що значення величини збіжки характеризується СКП, дорівнює 50 мм, але незрозуміло, чому автори вирішують подвоїти цю величину, і позначивши як $\Delta = 2m$, саме її використати в подальших розрахунках. У роботі [7] зазначено величину збіжки, рівною 200 мм, яка має назву допустимого відхилення.

Суцільна термінологічна плутанина з визначенням збіжки та її величини спостерігається у нормативній літературі [9-11], де її вважають рівною 50 мм, проте наводять такі визначення, як «помилка збіжки», «допустима помилка», «допустиме значення відхилення». У правилах Співки маркшейдерів Росії [9] читаємо: «При создании основных сетей, обеспечивающих строительство тоннелей, для которых предельная погрешность сбойки определяется допуском ± 50 мм», одночасно фігурують різні за змістом поняття: «допустима похибка» і «допуск». Виявити природу виникнення цих величин досить складно.

Немає потреби зайвий раз наголошувати, що всі ці визначення мають різний зміст і під ними розуміють різні величини. То що ж насправді являє собою величина збіжки?

Насамперед внесемо ясність у питання термінів та позначень, якими послуговуються в інженерній геодезії. Загальновизнаними є такі: m – СКП; $\delta = tm$ – допустиме відхилення, де t – коефіцієнт Лапласа (2; 2,5; 3); $\Delta = 2\delta$ – допуск.

У геодезичній літературі до величини δ застосовують також такі визначення: «допустима похибка», «допустима величина», проте в будь-якому випадку ототожнювати її з допуском не можна.

Під час будівництва тунелів метрополітену зустрічними забоями, найчастіше – від монтажно-щитової до демонтажної камер (а це 1 – 2 км), співвідношення між наведеними величинами графічно можна подати так (рис. 1):

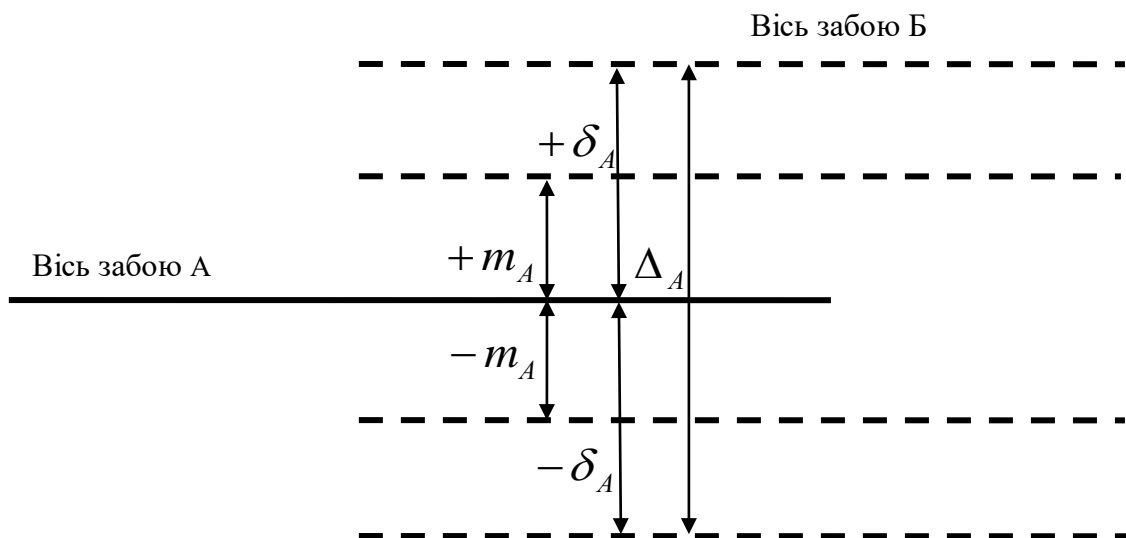


Рис. 1. Основні співвідношення між СКП, допустимим відхиленням та допуском для двох зустрічних забоїв

Наведемо чітке визначення збійки, що відповідає технології будівництва підземних споруд та відображає місце геодезичних робіт в цій технології. На нашу думку, найбільш правильним є таке визначення: збійка – вектор Q у просторі між положеннями осей двох зустрічних забоїв. Згідно з цим визначенням величину збійки можна подати як на рис. 2. Величину збійки найчастіше подають у вигляді її проєкцій на осі системи координат: Q_x , Q_y , Q_z , або в проєкціях на проектну вісь тунелю: Q_t – повздовжня збійка, Q_u – поперечна збійка, Q_h – збійка по висоті.

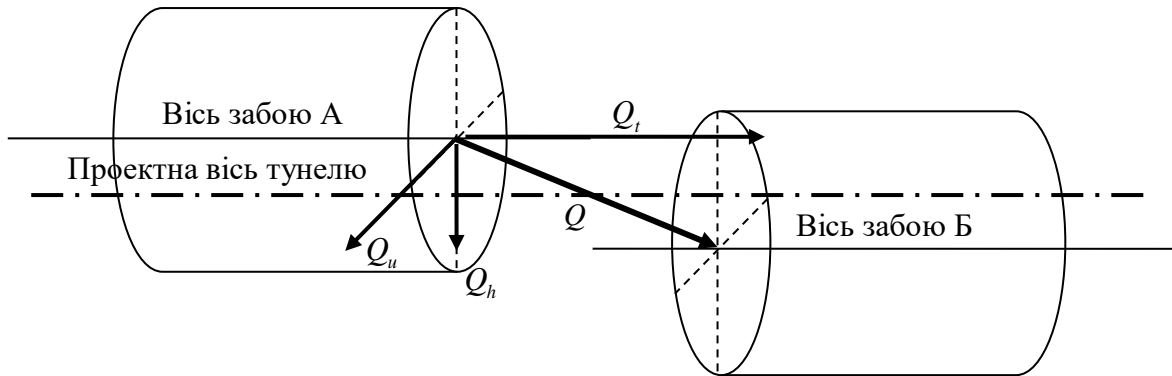


Рис. 2. Збійка як величина розходження осей зустрічних забоїв

З рис. 1 і 2 випливає чітке співвідношення: $Q = \Delta$.

Безумовно, під час будівництва тунелів закритим способом, найвідповідальнішим завданням є забезпечення збійки в межах допуску з обов'язковим дотриманням габариту наближення споруди. Пояснимо ідею встановлення цього габариту на прикладі габариту наближення споруд тунелів метрополітену з круговою оправою (рис. 3) [11].

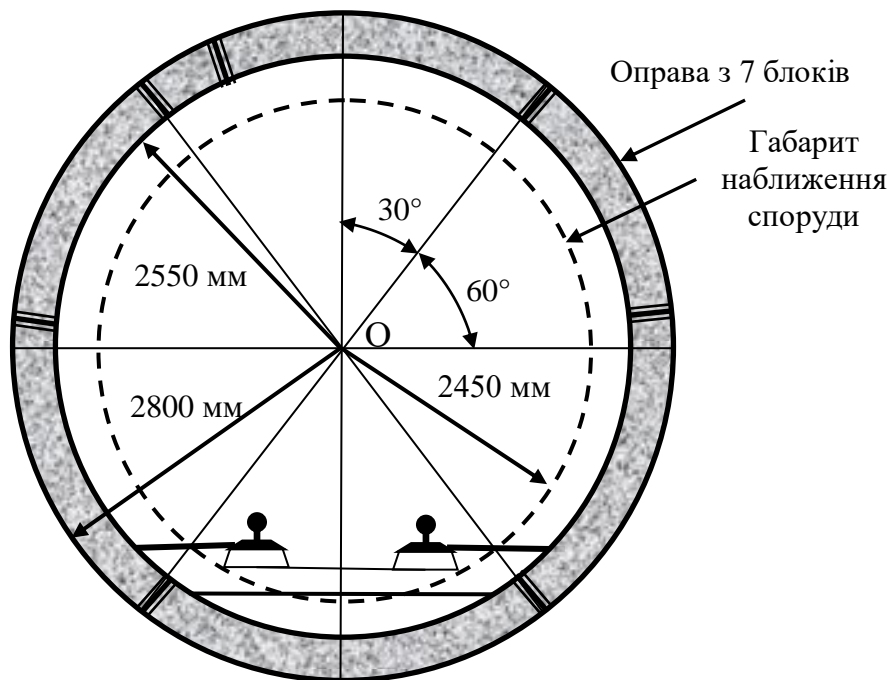


Рис. 3. Співвідношення між внутрішнім радіусом оправи тунелю та радіусом габариту споруди

Згідно з цим рисунком величина запасу габариту становить 100 мм. Цілком логічно використати саме цю величину для подальших розрахунків. Для порівняння наведемо схему утворення габариту споруди для тунелів прямокутного перерізу з суцільно-секційною оправою (ССО) (рис. 4). Згідно з рис. 4 величина запасу габариту дорівнює 25 мм. Зрозуміло, що дотримання такого габариту є надзвичайно складним завданням. Проте слід пам'ятати, що оправу прямокутного перерізу застосовують під час будівництва відкритим способом тунелів мілкового закладання, що спрощує технологію геодезичних робіт за дотримання такого габариту. Отже, розрахунок доцільно виконати насамперед для тунелів глибокого закладання з круговою оправою, які будують закритим способом.

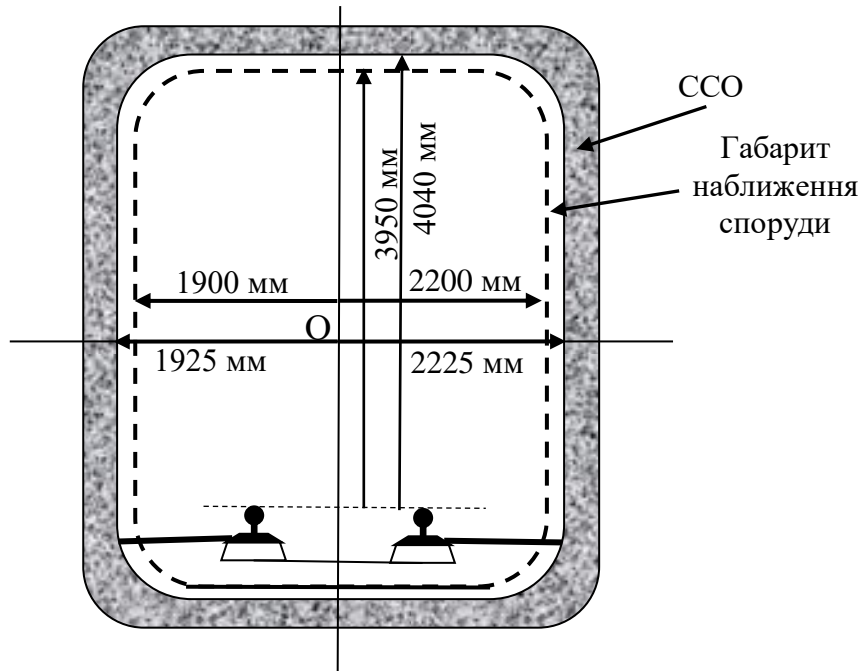


Рис. 4. Співвідношення між розміром ССО та габаритом наближення споруди

Важливо з'ясувати, що саме являє собою величина габариту.

Вважають, що загальна величина збійки забоїв по оправі складається з такого [2-4]:

- 1) похибок планової геодезичної основи δ_1 ;
- 2) похибок висотної геодезичної основи δ_2 ;
- 3) похибок монтажу оправы відносно розмічувальної осі δ_3 ;
- 4) похибок виготовлення оправы (порушення геометрії оправы) δ_4 ;
- 5) деформації оправы під впливом гірничого тиску δ_5 .

Звернімо увагу, що в цьому випадку йдеться про збійку забоїв по оправі, тобто таке визначення суперечить прийнятому раніше визначенню збійки як розходженню осей зустрічних забоїв. Отже, щоб перейти до вже визначеної величини збійки, слід вважати, що для похибок $\delta_3, \delta_4, \delta_5$ їх величину встановлюють за проектними розрахунками до 50 мм, тому можна вважати, що на величину збійки впливають тільки похибки геодезичних робіт.

У всіх дотепер відомих методиках розрахунку величини δ_1, δ_2 беруть як СКП, в такому випадку інші величини також відносять до СКП, тоді загальний вплив всіх похибок на величину збійки становитиме:

$$m_Q = \sqrt{m_1^2 + \frac{m_1^2}{4} + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2} = 100 \text{ мм},$$

але в такому випадку допуск Δ на збійку Q дорівнюватиме 400 мм. Отже, йдеться про допустимі відхилення δ_i . До речі, саме таке визначення вжито для величини δ_3 в нормативній літературі [12], тобто

$$\delta Q = \sqrt{\delta_1^2 + \frac{\delta_1^2}{4} + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2} = 100 \text{ мм}.$$

Отже, допуск на величину збійки $\Delta_Q = 2\delta = 200$ мм. Допустиме відхилення збійки $\delta_Q = 100$ мм, а СКП збійки $m_Q = 50$ мм.

До геодезичних складових, що впливають на величину збійки, належать величини δ_1 і δ_2 , для яких взято значення:

$$\delta_{\text{геод}} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} = 50 \text{ мм}.$$

Оскільки на забезпечення збійки у плані припадає значно більше робіт і вимог, то рекомендується встановлювати вагові коефіцієнти, за якими:

$$\delta_{\text{геод}} = \sqrt{\delta_1^2 + 0,25 \delta_1^2} \Rightarrow \delta_1 = 45 \text{ мм}, \delta_2 = 22,5 \text{ мм}.$$

Таким чином, для забезпечення збійки в плані потрібно встановити таку точність геодезичних робіт, щоб загальна величина допустимого відхилення не перевищувала $\delta_1 = \delta_{\text{пл}} = 45$ мм, а СКП $m_{\text{пл}} = \frac{\delta_{\text{пл}}}{2} = 22,5$ мм. СКП $m_{\text{пл}}$ утворюється внаслідок впливу таких складових:

- 1) похибка геодезичної основи на денній поверхні m_1 ;
- 2) похибка орієнтування в забої А m_2 ;
- 3) похибка орієнтування в забої Б m_3 ;
- 4) похибка в кінці ходу підземної полігонометрії в забої А до місця збійки m_4 ;
- 5) похибка в кінці ходу підземної полігонометрії в забої Б до місця збійки m_5 .

З незрозумілих причин у роботах [2-4] замість СКП $m_1 \dots m_5$ взято допустимі відхилення $\delta_1 \dots \delta_5$, що не пояснюється ніяким чином. Загальна СКП в такому випадку становить:

$$m_{\text{пл}} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2},$$

тоді згідно з принципом однакового впливу матимемо:

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 \Rightarrow m_{\text{пл}} = m_i \sqrt{5} \Rightarrow m_i = \frac{m_{\text{пл}}}{\sqrt{5}}$$

звідки на кожне джерело припадає $m_i = 0,45 m_{\text{пл}} = 10$ мм.

Досягти такої точності є надто складним завданням, а іноді практично неможливим.

У роботі [6] читаємо: «При будівництві тунелів допускається розходження осей в межах ± 100 мм. Цю величину приймаємо за граничну $2\Delta = 100$ мм », в іншому місці: «При підході до збійки ці похибки враховуються і тому допуск на розходження осей при збійці, що дорівнює $2\Delta = 100$ мм, може бути цілком прийнятий для розрахунку точності вимірювань в мережах геодезично-маркшейдерської розмічувальної основи». У цій цитаті під похибками, які враховують, розуміють похибки ведення щита, виготовлення елементів оправи, еліптичність оправи, деформація оправи.

Справді, похибки деформації оправи вказують у проекті організації будівництва. Під час будівництва вимірюють положення щита, еліптичність кілець та деформації оправи відносно тих самих пунктів підземної геодезичної основи. В результаті виникає можливість врахувати вплив цих похибок під час побудови геодезичної основи. Таким чином, відповідно до всіх попередніх міркувань порядок розрахунку потрібної точності геодезичних робіт матиме такий вигляд.

За аналогією з викладеним на похибку збійки впливають величини:

δ_3 до 50 мм – похибка монтажу оправи відносно розмічувальної осі за використання автоматизованих щитових комплексів може бути зведена до мінімуму;

δ_4 до 50 мм – враховують під час виготовлення оправи та її монтажу;

δ_5 до 50 мм – розраховують проектні організації і визначають за результатами вимірювань;

$\delta_1 = ?$ – результат похибок вимірювань;

$\delta_2 = ?$ – результат похибок вимірювань.

За заданого допуску на збійку $\Delta_Q = 200$ мм отримаємо допустиме відхилення збійки $\delta_Q = 100$ мм, зважаючи на попередні міркування, маємо:

$$\delta_Q = \delta_{\text{геод}} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} = 100 \text{ мм},$$

або як прийнято раніше:

$$\delta_{\text{геод}} = \sqrt{\delta_1^2 + 0,25 \delta_1^2} = 100 \text{ мм},$$

звідки $\delta_1 = 93,5$ мм $\delta_2 = 35,5$ мм.

Виконуючи перехід до СКП, матимемо:

$$m_{\text{пл}} = m_1 = 46,8 \text{ мм}; m_2 = 17,8 \text{ мм} = m_B.$$

Отримані значення відрізняються від наведених у літературі [2 – 5] на незначну величину ($m_{\text{пл}} = m_1 = 46,8$ мм = 45 мм; $m_2 = 17,8$ мм $m_B = 22,5$ мм). Проте основним є формування правильного підходу до методики виконання розрахунку.

Висновки. Отже, на підставі аналізу класичних робіт [2 – 5] виявлено, що через плутанину в термінах, а в деяких випадках через нерозуміння природи виникнення тих чи інших похибок допущено неточності у призначенні величин СКП геодезичних робіт, а головне – значний методичний прорахунок, в результаті якого досить важко встановити послідовність виконання розрахунків точності геодезичних робіт. Наведені

в роботі термінологія та порядок розрахунку позбавлені теоретичних і термінологічних неоднозначностей і не суперечать сучасному стану технологій будівництва підземних споруд. Запропонований у роботі підхід рекомендується використовувати для виконання попередніх розрахунків точності геодезичних робіт під час будівництва різних класів підземних споруд.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Геодезия в тоннелестроении.* /А.Н. Баранов, К.И. Егупов, Е.И. Зельцер и др. Ч. I и II. – М.: Геодезиздат, 1952, 503 с., 1953, 492 с.
2. *Лебедев Н.Н.* Практикум по курсу прикладной геодезии. / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, Н.Н.Лебедев; под. ред. Н.Н. Лебедева. – М.: Недра, 1977 – 400 с.
3. *Дейнека Ю.П.* Геодезичні роботи в тунелебудуванні. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 1999. – 220 с.
4. *Левчук Г.П.* Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, Н.Н. Лебедев; под. ред. Г.П. Левчука. – М.: Недра, 1983. – 400 с.
5. *Шевурдин П.Г.* Геодезия при подземном строительстве. – К.: Изд-во Будивэльных, 1976. – 96 с.
6. *Черемисин М. С.* Геодезическо-маркшейдерская разбивочная основа при строительстве подземных сооружений / М.С. Черемисин, А.В. Воробьев. – М.: Недра, 1982. – 262 с.
7. *Поликашечкин А.И.* Геодезическо-маркшейдерское обеспечение строительства подземных сооружений в городах. – М.: Недра, 1990. – 288 с.
8. *Метрополитены* СНиП 32-02-2003. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу Госстрой России Москва 2004.
9. *Методические указания по проведению работ на земной поверхности (создание планово-высотных опорных геодезических сетей, съемочных сетей, разбивочные работы) по проведению подземных работ (создание подземных планово-высотных опорных сетей, съемочных сетей и пр., разбивочные работы)* – М.: «СОЮЗ МАРКШЕЙДЕРОВ РОССИИ», 2012. – 66 с.
10. *ВСН160-69* Инструкция по геодезическим и маркшейдерским работам при строительстве транспортных тоннелей Минтрансстрой. Дата введения 1970-04-01.
11. *Метрополитены.* Габариты приближения строений, оборудования и подвижного состава ГОСТ 23961-80.
12. *ДБН В.2.3-7-2010* Споруди транспорту. Метрополітени. Держбуд України. – К., 2010.