

УДК 528.48

ОБҐРУНТУВАННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ЗМІЩЕНЬ ОПОР НАДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Є. Ільків, Д. Кухтар

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

О. Ванчура

Національний університет "Львівська політехніка"

Ключові слова: вертикальні зміщення, опір, трубопровід.

Постановка проблеми

З метою розрахунку напружено-деформованого стану і оцінки несучої здатності трубопроводу визначають фактичний профіль осі балкового переходу. Знімання профілю осі переходу виконують геодезичними методами. Для вибору оптимальної методики контролю висотного положення опор трубопроводу, а також приладів для проведення цих робіт необхідно виконати розрахунок апріорної точності геодезичних робіт. Точність встановлюють на основі величини допустимого вертикального зміщення опори. Своєю чергою, допустиме зміщення опори визначають на підставі перевірки трубопроводу на міцність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Чинні нормативні документи [4, 2] не розкривають вимог до точності геодезичних робіт для контролю положення елементів надземних трубопроводів, зокрема їх опор. В більшості літературних джерел розрахунок точності визначення деформацій інженерних споруд проводиться через відсутність значення апріорної точності у відповідних нормативних документах [9, 10], необхідність врахування повного навантаження на конструкцію [8]. Особливо актуальним є питання оцінки точності параметрів деформацій, які визначаються сучасними геодезичними приладами за оновленою методикою [7].

Невирішені частини загальної проблеми

Розрахунковий опір надземного трубопроводу залежить від таких параметрів, як діаметр труби, товщина стінки, довжина прогону між опорами. Необхідно встановити, як змінюється величина допустимого осідання опори та відповідно точність геодезичних робіт у разі зміни вказаних параметрів. Сьогодні для визначення вертикальних деформацій опор надземних трубопроводів застосовують метод геометричного нівелювання. Визначення допустимих величин осідань опор дасть змогу говорити про можливість застосування електронних тахеометрів для цих робіт за методикою, описаною у [5]. Режим наведення електронного тахеометра (на плівкові відбивачі, або безрефлекторний режим) визначатиметься залежно від довжини надземного переходу трубопроводу. Наведення на призму не береться до уваги, оскільки неможливо застосувати призми як стаціонарні марки.

Постановка завдання

Виконати розрахунок точності визначення вертикальних зміщень опор трубопроводів. Розрахувати

точність електронного тахеометра для дослідження деформацій лінійно-кутовими вимірюваннями.

Викладення основного матеріалу проблеми

Необхідна точність геодезичних робіт для моніторингу положення опор трубопроводу пов'язана з допустимим рівнем напружено-деформованого стану. Розрахунок трубопроводу за граничним станом (границею плинності матеріалу) виконується з умови [3]:

$$\sigma_{noz.p} + \sigma_{зз.} + \sigma_{\rho} + \sigma_{\Delta} \leq R_2, \quad (1)$$

де $\sigma_{noz.p}$ – поздовжні напруження (кгс/см²) від дії внутрішнього тиску:

$$\sigma_{noz.p} = \frac{p}{2} \left(\frac{D_{зов}}{2\delta} - 1 \right), \quad (2)$$

де p – розрахунковий внутрішній тиск, кгс/см²; $D_{зов}$ – зовнішній діаметр трубопроводу, см; δ – товщина стінки труби, см.

$\sigma_{зз.}$ – напруження згину від вертикальних навантажень:

$$\sigma_{зз.} = \frac{\eta l^2}{W}, \quad (3)$$

де W – момент опору труби, см³; l – довжина прогону між опорами, см; η – навантажувальний коефіцієнт $\eta = 0,0833q$, де q – повне розрахункове рівномірно розподілене вертикальне навантаження. Під час розрахунку трубопроводів сукупність навантажень приймають у найнесприятливіших комбінаціях. Для надземних трубопроводів до них належать навантаження від власної ваги трубопроводу, ваги продукту, що транспортується, снігове та льодове навантаження, вітрове навантаження.

$$q = q_{тр} + q_{пр} + q_c + q_{льод} + q_v, \quad (4)$$

σ_{ρ} – напруження від попереднього пружного згину труби у вертикальній площині:

$$\sigma_{\rho} = \frac{ED_{зов}}{2\rho}, \quad (5)$$

де ρ – радіус кривизни осі труби в місці згину, см; E – модуль пружності металу труб, кгс/см².

σ_{Δ} – напруження від осідання / випучування опори (визначаються як в нерозрізній багатопрогінній балці):

$$\sigma_{\Delta} = \frac{aEI\Delta}{Wl^2} = \frac{aED_{зов}\Delta}{2l^2}, \quad (6)$$

де I – момент інерції перерізу труби, см⁴; Δ – величина осідання опори, см; a – коефіцієнт (для опорного перерізу $a = 4,3924$, для перерізу в середині прогону від зміщення опори $a = 1,0192$).

R_2 – розрахунковий опір трубопроводу:

$$R_2 = \frac{R_2^m}{K_2 K_n}, \quad (7)$$

де m – коефіцієнт умов роботи трубопроводу ($m = 0,6-0,9$ залежно від категорії); K_n – коефіцієнт надійності за призначенням трубопроводу; K_2 – коефіцієнт надійності за матеріалом; R_2^H – нормативний опір металу труби, що дорівнює мінімальному значенню границі плинності.

Підставляючи в формулу (1) відповідні значення σ , отримуємо:

$$\frac{p}{2} \left(\frac{D_{306}}{2\delta} - 1 \right) + \frac{\eta l^2}{W} + \frac{ED_{306}}{2\rho} + \frac{aED_{306}\Delta}{2l^2} \leq \frac{R_2^H m}{K_2 K_n}, \quad (8)$$

Прокладаючи трубопроводи надземно, окремі ділянки роблять прямими, а необхідні повороти виконують за допомогою вставки вигнутих труб. Тому напруження від попереднього пружного згину труби у вертикальній площині вилучаємо з розрахунків. Звідси допустима величина осідання опори визначається за формулою:

$$\Delta = \frac{l^2}{aED_{306}} \left[\frac{2R_2^H m}{K_2 K_n} - p \left(\frac{D_{306}}{2\delta} - 1 \right) - \frac{2\eta l^2}{W} \right], \quad (9)$$

Точність геодезичних вимірювань встановлюється такою, що дорівнює одній десятій частині допустимих величин деформації опори [1]. У табл. 1 наведено відомості розрахунку допустимої величини осідання опори для кількох марок трубопровідних сталей за різних довжин прогонів. Також наведено розраховану точність геодезичних вимірів.

Таблиця 1

Розрахунок точності визначення вертикальних зміщень опор трубопроводів

Робочий тиск, Мпа	Зовнішній діаметр труби, мм	Товщина стінки, мм	Границя плинності матеріалу, Н/мм ²	Допустиме вертикальне зміщення опори, мм			СКП визначення зміщення опори, мм		
				Довжини прогонів між опорами, м					
				20	30	40	20	30	40
7,4	1420	16,2	470	113	207	249	11	20	24
7,4	1420	15,7	460	104	187	210	10	18	21
9,8	1420	23,9	510	147	295	433	14	29	43
9,8	1420	25,8	481	140	281	412	14	28	41
7,4	1420	18,7	461	124	235	311	12	23	31

З таблиці видно, що мінімальна СКП визначення вертикального зміщення опори становить 10 мм.

Визначимо необхідну лінійно-кутову точність електронного тахеометра для дослідження осідань опор з вказаною точністю. Розрахунки виконуватимемо з врахуванням того, що вимірювання тахеометром проводиться з однієї станції, а візування виконують на плівковій відбивачі, закріплені на опорах, одним прийомом. Точність вимірювання висотного положення марки, розташованої на опорі, обчислюють за формулою [6]:

$$m_h = \sqrt{S^2 \cdot \cos^2 \nu \cdot \frac{m_\beta^2}{\rho^2} + \sin^2 \nu \cdot m_S^2}, \quad (10)$$

де S – виміряна похила відстань; ν – вимірний вертикальний кут; m_β – СКП вимірювання горизонтального та вертикального кута; m_S – СКП вимірювання відстані.

Для електронного тахеометра марки Sokkia точність вимірювання відстані на плівковій відбивач визначається за формулою: $m_S = \pm 3 \text{ мм} + 2 \text{ мм} \cdot D \cdot 10^{-6}$

Методика спостережень електронним тахеометром за осіданнями опор трубопроводів не потребує візування на марки під великими вертикальними кутами, тому $\nu \rightarrow 0^\circ$. Розрахуємо точність визначення висоти марки для тахеометрів з кутовою точністю 2", 3", 5" за формулою (10). Дані розрахунків наведемо в табл. 2.

Таблиця 2

СКП визначення висотного положення марки електронним тахеометром

Відстані до марки S , м	СКП вимірювання відстані m_S , мм	СКП визначення висотного положення марки m_h , мм		
		Кутова точність електронного тахеометра m_β		
		2"	3"	5"
50	3,1	0,4	0,7	1,2
100	3,2	0,9	1,4	2,4
200	3,4	1,9	2,9	4,8
300	3,6	2,9	4,3	7,2
400	3,8	3,8	5,8	9,6
500	4,0	4,8	7,2	12,1

Аналізуючи значення табл. 2 бачимо, що СКП визначення висотного положення опор надземних трубопроводів у декілька разів менші від допустимих значень. Досягнення необхідної точності визначення висотного положення контрольних марок забезпечується вибором кутової точності електронного тахеометра залежно від довжин візорних променів.

Висновки

1. Проаналізувавши алгоритм розрахунків, бачимо, що допустимі величини вертикальних зміщень опор залежать від таких параметрів надземного трубопроводу: віддалі між опорами, робочого тиску, товщини стінки труби, границі плинності матеріалу трубопроводу. Це вимагає диференційованого підходу до встановлення точності геодезичних робіт для кожного надземного трубопроводу.

2. Розрахована точність визначення висотного положення марки електронним тахеометром не перевищує відповідної допустимої величини. Це свідчить про можливість його застосування для цих видів робіт.

3. Використання електронних тахеометрів для визначення вертикальних зміщень опор дасть змогу виконувати спостереження з однієї станції, зменшивши обсяг робіт, та проводити контрольні виміри під час паводку, без необхідності прокладання нівельних ходів вздовж трубопроводу.

4. Наведений в статті алгоритм розрахунку не враховує відхилень трубопроводу від проектного положення. За наявності стріли прогину допустиме значення деформацій зменшується з урахуванням напружень від пружного згину труби. Подальші дослідження будуть спрямовані на врахування цього фактора.

Література

1. Левчук Г.П. Прикладная геодезия [Текст] / Г. Левчук, В. Новак. – М.: Недра, 1981. – 437 с.
2. Методика оценки работоспособности балочных переходов магистральным газопроводом через малые реки, ручьи и другие препятствия: ВРД 39-1.10-016-2000. – [Чинний від 2000-12-01]. – М.: Информационно-рекламный центр газовой промышленности, 2000.
3. Петров И.П. Надземная прокладка трубопроводов [Текст] / И.П. Петров, В. Спиридонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1973. – 477 с.
4. Положение по техническому обследованию и контролю за состоянием надземных переходов магистральных газопроводов: ВСН 39-1.10-003-2000. – [Чинний від 2000-12-01]. – М.: Информационно-рекламный центр газовой промышленности, 2000.
5. Тревого І.С. Особливості визначення просторового положення надземних переходів магистральних газопроводів з використанням електронного тахеометра у безрефлекторному режимі [Текст] / І. Тревого, Є. Ільків, Д. Кухтар // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – № 2 (22). – С. 124–128.
6. Третяк К.Р. Моніторинг напружень напірного трубопроводу Теребля-Рікської ГЕС геодезичними методами [Текст] / К. Третяк, Т. Грицюк // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2008. – № 1 (15). – С. 146–156.
7. Третяк К.Р. Оцінка точності параметрів деформацій напірних трубопроводів [Текст] / К. Третяк, К. Смолій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2012. – № 1 (23). – С. 115–119.
8. Чибіряков В.К. Визначення точності геодезичних робіт при будівництві та експлуатації опор мостових переходів [Текст] / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, О.В. Адаменко // Інженерна геодезія. – 2008. – Вип. № 54. – С. 238–248.
9. Чибіряков В.К. Визначення точності геодезичних робіт при будівництві та експлуатації прогінних конструкцій мостових переходів [Текст] / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, О.В. Адаменко // Містобудування та територіальне планування. – 2008. – Вип. № 31. – С. 20–24.
10. Шульц Р.А. Технологія визначення геометричних параметрів ліфтових шахт з використанням електронних тахеометрів [Текст] / Р.В. Шульц, Р.А. Дем'яненко // Інженерна геодезія. – 2008. – Вип. № 54. – С. 321–326.

Обґрунтування точності геодезичних робіт для визначення вертикальних зміщень опор надземних трубопроводів

Є. Ільків, Д. Кухтар, О. Ванчура

Наведено методику розрахунку точності геодезичних робіт для визначення висотного положення опор надземних трубопроводів. Допустима величина вертикальних переміщень опор визначається на основі перевірки трубопроводу на міцність. Визначено необхідну лінійно-кутову точність електронного тахеометра для досліджень осідань опор з вказаною точністю.

Обоснование точности геодезических работ для определения вертикальных смещений опор надземных трубопроводов

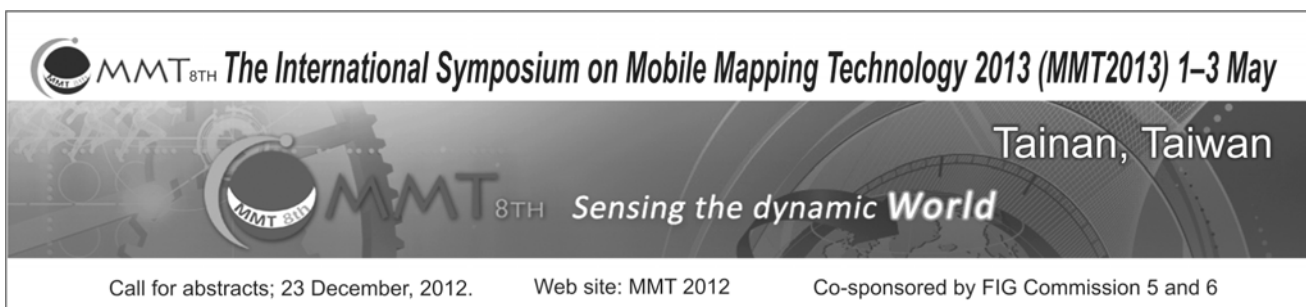
Е. Ильков, Д. Кухтар, Е. Ванчура

Приведена методика расчета точности геодезических работ для определения высотного положения опор надземных трубопроводов. Допустимая величина вертикальных перемещений опор определяется на основе проверки трубопровода на прочность. Определена необходимая линейно-угловая точность электронного тахеометра для исследований осадок опор с указанной точностью.

Justification precision geodetic survey to determine the vertical displacements of supports aboveground pipelines

Ye. Ilkiv, D. Kukhtar, E. Vanchura

The article shows the method of calculation precision geodetic survey to determine the position of high-rise towers above-ground pipelines. Valid values of vertical displacements of supports is based on checking the pipeline for strength. The necessary linear-angular precision total stations for research subsidence towers with the specified accuracy.



MMT^{8TH} The International Symposium on Mobile Mapping Technology 2013 (MMT2013) 1–3 May
Tainan, Taiwan
Sensing the dynamic World

Call for abstracts; 23 December, 2012. Web site: MMT 2012 Co-sponsored by FIG Commission 5 and 6