



МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ НАДЗЕМНИХ ПЕРЕХОДІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

Описывается методика исследования влияния температуры окружающей среды на перемещение надземного перехода магистрального газопровода. Проиллюстрированы результаты наблюдения за перемещениями газопровода и изменениями температуры воздуха в течение периода наблюдений.

In the article it is described the methodology of studying influence of ambient temperature on the movement of an air passage of a gas pipeline. The data of monitoring of the pipeline movement and changes of air temperature during the period of observation are given.

Постановка проблеми. Щоб досягти необхідної точності визначення переміщень надземних переходів магістральних газопроводів, регламентованої відповідними нормативними документами, необхідно враховувати дію кількох факторів. Одним із них є температура поверхні труби, яка є змінною по довжині та в часі величиною. Її визначають в основному температура газу, що транспортується, і температура навколишнього середовища [4].

Зміна температури повітря протягом доби спричинює циклічні температурні деформації, які слід враховувати при визначенні точності спостережень за такими видами деформацій переходів газопроводів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, дотичних до вирішення проблеми. Належна експлуатація багатьох інженерних споруд вимагає врахування фактора температурних деформацій, величина яких неоднакова в різних температурних режимах. Визначення зміщення або осідання конструктивних елементів таких споруд може характеризуватись значними похибками.

Експериментально встановлено, що при зміні температури на 20 °С деформація марок осідання шлюзу гідровузла становить 4,8 мм [2].

Проект геодезичного моніторингу залізничного мостового переходу через р. Юрібей (півострів Ямал, Росія), розроблений спільно НДЦ "Геодинамика" (Москва) та Берлінським університетом прикладних наук, передбачав контроль добових деформацій несних конструкцій (див. працю [3]). Аналіз графіків, наведених у цій праці, вказує на наявність деформацій двох основних прогонів у поперечному та поздовжньому напрямках відповідно на 10 і 5 мм.

У дослідженні [7] описується випробувальна установка для вимірювання температурних деформацій в елементах металокопункцій. Методика роботи з цією установкою забезпечує дослідження впливу температури на деформації металевих конструкцій з урахуванням додаткових факторів впливу: кольору та фактури поверхні.

Оскільки температура будь-яких споруд, а тим більше металевих, якими є наземні трубопроводи, упродовж дня змінюється залежно від інтенсивності сонячної радіації та кута її падіння, то це не-

обхідно враховувати в результатах контрольних геодезичних вимірювань. Явище температурної деформації висотних споруд та відкритих стрижневих конструкцій зі складним температурним режимом описано в праці [1]. Метою даної статті є виокремлення температурної складової від сумарного значення деформації споруди.

Комп'ютерне моделювання температурного впливу на деформацію лінійної ділянки надземного переходу газопроводу завдовжки 54 м (див. працю [5]) вказує на його видовження до 50 мм при зміні температури на 50 °С. Характер зміщень у поперечнику при наявності компенсаторів автори статті не аналізують.

Невирішені частини загальної проблеми. Надземні переходи газопроводів зазнають дії багатьох факторів силового впливу. Одним із них є тепловий фактор. Він має нестабільний і випадковий характер дії. Теплові процеси, викликані впливом сонячної радіації і температурою навколишнього середовища на трубу, не піддаються теоретичному обґрунтуванню на достатньо надійному рівні точності. Для цього необхідно виконати експериментальні дослідження залежності між температурою атмосферного повітря та деформаціями трубопроводу.

Постановка завдання: розробити методику контролю температурних деформацій надземних переходів газопроводів балкового типу із застосуванням електронного тахеометра, а також визначити величини їх добових температурних деформацій з метою врахування цих даних при обґрунтуванні точності проведення контрольних спостережень за деформаціями конкретної ділянки газогону.

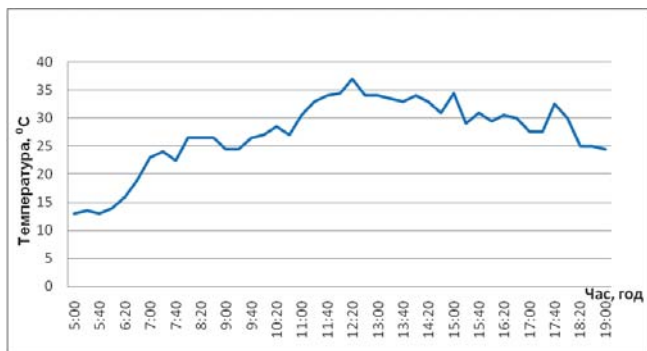
Виклад основного матеріалу дослідження. Програма експериментальних досліджень передбачала проведення кількох циклів спостережень за положенням трубопроводу та його опор синхронно з вимірюванням температури атмосферного повітря. Спостереження проводились у червні з 5:00 до 19:00 з проміжком у 20 хвилин. Цей період доби охоплював широкий діапазон зміни температури повітря, що й передає графік (див. мал.1).

Методика контролю добових деформацій надземних переходів газопроводів передбачала комплекс польових і камеральних робіт.

Польові роботи. Дослідження проводилися на діючому газопроводі (надземний балковий перехід магістрального газопроводу "Уренгой – Помари –

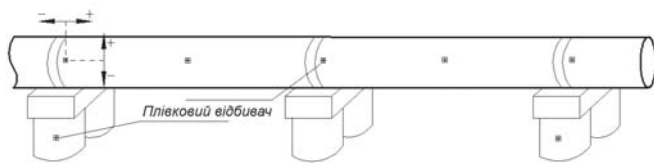


Ужгород" ($D=1420$ мм) через річку Бистриця Солотвинська). Для вимірювань було використано електронний тахеометр Sokkia SET 530RK (серійний номер 148942).



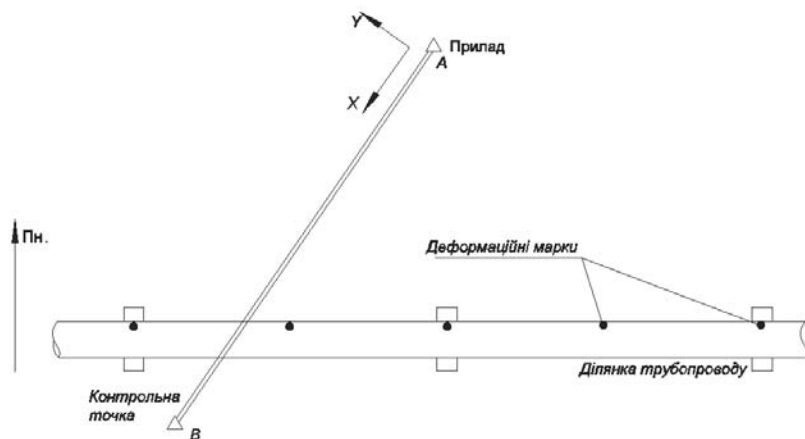
Мал. 1. Графік зміни температури повітря

Об'єктом дослідження була ділянка газопроводу завдовжки 80 м, що розташована в межах трьох опор. Положення труби визначалося в координатному режимі електронного тахеометра наведенням на п'ять відбивних плівок, закріплених на поверхні досліджуваної ділянки (мал. 2).



Мал. 2. Схема розташування деформаційних марок на поверхні газопроводу

Для контролю положення електронного тахеометра впродовж спостережень і виключення систематичних похибок додатково виконувалося наведення на контрольну точку, що являла собою відбивач, встановлений на штативі. Схему розташування приладу (точка A) і контрольної точки (B) показано на мал. 3.



Мал. 3. Схема розташування електронного тахеометра і контрольної точки

Нуль лімба електронного тахеометра був зорієнтований на контрольну точку. Таким чином, напрямок осі абсцис збігався з напрямком на контрольну точку. Це давало змогу легко контролювати стійкість положення приладу впродовж усього часу спостережень.

Кожен цикл спостережень передбачав визначення координат восьми точок: координат контрольної точки, координат п'яти плівкових відбивачів і координат точок на двох опорах.

Для встановлення точності визначення координат кожної деформаційної марки виконувалося по 30 прийомів визначення координат.

Камеральне опрацювання даних. За значеннями всіх 30-ти прийомів визначення координат за формулою Бесселя було обчислено СКП встановлення положення деформаційних марок. Для оцінювання якісної характеристики наявності добових деформацій трубопроводу виконано порівняння СКП визначення положення деформаційних марок і СКП координат, отриманих за період спостережень. Дані зведено в таблицю (у ній: СКП визначення координат – чисельник; СКП добових координат – знаменник).

СКП визначення координат деформаційних марок

Контрольна точка	Марка					Опора	
	5	4	3	2	1	1	2
1,1	1,4	1,3	0,9	1,2	1,5	2,2	2,1
1,2	3,5	3,8	3,3	3,4	3,6	2,3	2,2

З таблиці видно, що СКП визначення положення контрольної точки і СКП координат, отриманих у ході спостережень, приблизно однакова, що свідчить про її сталість. Попереднє припущення про зміщення осі трубопроводу впродовж доби можна висувати на основі даних про СКП визначення координат за весь період спостережень, значення яких у середньому втричі перевищують похибку визначення координат контрольної точки. Приблизна рівність вищевказаних похибок для опор трубопроводу свідчить про їх сталість упродовж періоду спостережень.

Як уже зазначалося, при спостереженнях координатні осі були розташовані так, що вісь абсцис спрямовувалась уздовж напрямку на контрольну точку, тобто під певним кутом до осі трубопроводу. Для спрощення процесу опрацювання даних та кращої наочності графічно відображених результатів було прийнято рішення змінити положення координатних осей. Їх встановили так, щоб абсциса була паралельна осі трубопроводу. Для цього використали матрицю повороту в тривимірному просторі навколо осі OZ.

$$M_Z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



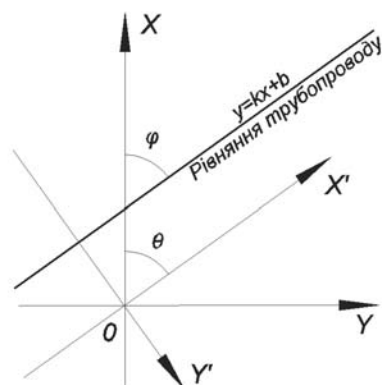
Поворот здійснювався множенням матриці повороту на вектор, що описує точку [6]:

$$\vec{p}' = M_z(\theta) \cdot \vec{p}. \quad (2)$$

У даному випадку вектор, який описує точку, – це координати, отримані при спостереженнях:

$$\vec{p} = (X; Y; H). \quad (3)$$

Потрібний кут повороту координатних осей θ легко одержати з рівняння трубопроводу (див. мал. 4).



Мал. 4. Схема повороту координатних осей

Для запису канонічного рівняння прямої (рівняння трубопроводу) використано координати (їх отримано у першому циклі спостережень) плівкових відбивачів 1 і 5, що розташовані на одній твірній. Переходячи від канонічного рівняння до рівняння типу лінійної функції, рівняння трубопроводу запишемо так:

$$\begin{aligned} y &= k \cdot x + b; \\ y &= 1,7661 \cdot x - 178,8039. \end{aligned} \quad (4)$$

Коефіцієнт k є кутовою величиною, що визначає нахил прямої до осі OX :

$$k = \operatorname{tg} \varphi.$$

З мал. 4 видно, що кут φ відповідає потрібному куту повороту координатних осей:

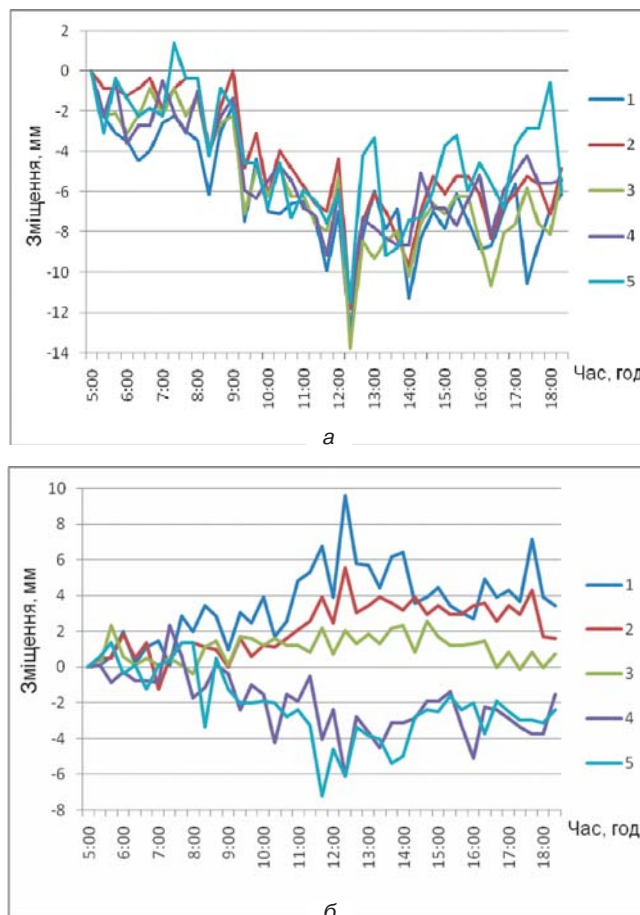
$$k = \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \theta.$$

Тому легко встановлюємо, що кут $\theta = 60,48^\circ$.

Після повороту координатних осей температурні зміщення надземного переходу газопроводу визначалися за різницею відповідної координати в i -му і першому циклах. Різниця координат X показувала поздовжні зміщення газопроводу, різниця координат Y – поперечні зміщення, різниця координат Z – зміщення по висоті.

Графічне відтворення результатів. Зміщення трубопроводу по висоті за період спостережень не перевищувало 2 мм, що вказує на стійкість конструкції у висотному положенні. Зміщення на 2 мм в основному викликане похибками визначення координат деформаційних марок.

На мал. 5 відображено графіки поздовжніх і поперечних зміщень газопроводу, визначені при наведенні на відбивні плівки (марки 1-5).



Мал. 5. Графіки температурних деформацій газопроводу в поздовжньому (а) і поперечному (б) напрямках

Отримані графічні результати підтверджують закономірність зміщення трубопроводу зі зміною температури. Максимальні значення температурних деформацій припадають на період найвищої температури повітря – $37,5^\circ\text{C}$. З графіків випливає, що амплітуда добових зміщень газопроводу в поперечному напрямку не перевищує 10 мм, у поздовжньому – 14 мм.

Висновки. Результати виконаних робіт і їх точність свідчать про можливість застосування даної методики для вирішення поставленої задачі. На підставі проведеного експерименту робимо такі висновки:

1. Підтверджено вплив температури навколишнього середовища на зміщення положення надземного переходу газопроводу.

2. Застосування відбивних плівок для контролю положення газопроводу забезпечує точність визначення координат з СКП до 1,5 мм.

3. Результати спостережень за контрольною точкою вказують на стабільність положення приладу впродовж періоду досліджень.

4. Амплітуда зміщення досліджуваної ділянки трубопроводу впродовж доби становить 10 мм у



поперечному напрямку і 14 мм – у поздовжньому.

5. Значення зміни висотного положення трубопроводу та його опор не перевищували СКП визначення цих величин, що свідчить про їх стабільність упродовж усього періоду спостережень.

6. Необхідно враховувати фактор температурних деформацій для отримання об'єктивних результатів при проведенні контрольних обстежень надземних переходів газопроводів у різні пори року та при різних температурних режимах.

Література

1. Баран, П.І. Врахування температурної деформації при вимірюванні горизонтальних і вертикальних зміщень інженерних споруд [Текст] / П.І. Баран // Вісн. геодез. та картогр. – 2007. – № 4. – С. 14-20.

2. Ганьшин, В.Н. Измерение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов [Текст] / В.Н. Ганьшин, А.Ф. Стороженко, А.Г. Ильин [и др.]. – М.: Недра, 1981. – 215 с.

3. Герасимов, В. Концепция геодезического монито-

ринга деформационных процессов в условиях Заполярья [Текст] / В. Герасимов, В. Лобазов, Б. Резник // Геопрофи. – 2010. – № 1. – С.17-21.

4. Заміховський, Л.М. Математичний апарат для контролю напружено-деформованого стану трубопроводів при зміні їх просторового положення [Текст] / Л. Заміховський, А. Олійник. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2008. – 306 с.

5. Кичма, А.О. Комп'ютерне моделювання та розрахунок довгомірних надземних переходів магістральних газопроводів [Текст] / А. О. Кичма, В. М. Гелетій, Я. М. Новіцький // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка": зб. наук. пр. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2010. – № 678. – С. 55-60.

6. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1968. – 720 с.

7. Семко, О. Методика експериментальних досліджень впливу температури атмосферного повітря на елементи відкритих металевих конструкцій [Текст] / О. Семко, В. Пашинський // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 2009. – Вып. 90: Сер.: Архитектура и технические науки. – 164 с.

Надійшла 30.09.11

* * *

УДК 528.48

П. І. Баран, М. П. Марущак

МЕТОДИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКІВ

Предложена методика аналитического проектирования поверхности строительных площадок из соблюдением баланса земляных масс. Аналитические зависимости получены на основе методов наименьших квадратов и квадратического программирования. Описан пример вертикального проектирования строительной площадки.

The technique of analytical design of surfaces of building sites with maintance of earth masses balance is proposed in the paper. The analytical dependences have been obtained by the methods of least squares and quadratic programming. The example of vertical planning of a building site is described.

При зведенні будівель і споруд виконується комплекс земляних робіт, до якого, як правило, входить вертикальне планування майданчика. Таке планування виконують з умовою додержання балансу земляних мас, тобто, коли ґрунт перерозподіляється на території майданчика без його завезення чи вивезення [2].

Проекти вертикального планування майданчиків розробляють за нерегулярною або регулярною сіткою точок земної поверхні, заданих просторовими координатами. Таку систему точок можна визначити методами наземного чи стереофотограмметричного знімання, тобто з використанням топографічних планів з горизонталями, або нівелюванням рельєфу по квадратах.

Нерегулярна сітка трикутників лежить в основі побудови цифрової моделі рельєфу (ЦМР), яка

складається за матеріалами топографічного знімання місцевості, зокрема для проектування будівництва. Останнім часом у комп'ютерній технології застосовують переважно триангуляційну мережу Делоне (TIN) – продукт топографічної моделі зображення рельєфу в стереофотограмметрії і топографії.

У будівельній практиці для оперативної реалізації проектів вертикального планування територій використовують переважно регулярну сітку квадратів, вершини яких закріплюють на місцевості тимчасовими знаками (кілками), а їх висотні позначки визначають технічним нівелюванням. Початок системи координат може обиратись у центрі ваги сітки (точка 12) або в точці θ (мал.1).

У задачі проектування похилої площини для заданої ділянки земної поверхні у кожній її точці з просторовими координатами має витримуватися умова:

© П. І. Баран, М. П. Марущак, 2011