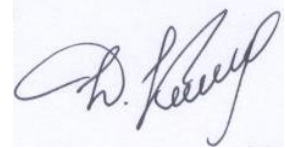


Міністерство освіти і науки України
Національний університет “Львівська політехніка”

Кухтар Денис Васильович



УДК 528.48

**ГЕОДЕЗИЧНИЙ КОНТРОЛЬ
НАДЗЕМНИХ ПЕРЕХОДІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕЛЕКТРОННИХ ТАХЕОМЕТРІВ У
БЕЗРЕФЛЕКТОРНОМУ РЕЖИМІ ВИМІРЮВАНЬ**

05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Ільків Євген Юрійович,
доцент кафедри землевпорядкування та кадастру
Івано-Франківського національного технічного
університету нафти і газу, м. Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Войтенко Степан Петрович,
завідувач кафедри інженерної геодезії
Київського національного університету будівництва
і архітектури, м. Київ;

кандидат технічних наук, доцент
Перій Сергій Сергійович,
завідувач кафедри геодезії
Національного університету “Львівська політехніка”,
м. Львів.

Захист відбудеться «26» травня 2016 р. о 12³⁰ годині, на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.12 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. С. Бандери 12, ауд. 502 П навч. корпусу.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «13» квітня 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



Паляниця Б. Б.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з найважливіших науково-технічних проблем ХХІ століття є проблема оцінки технічного стану і продовження ресурсу безпечної експлуатації потенційно небезпечних об'єктів. До їхнього числа відносять магістральні газопроводи, основна частина яких відпрацювала 50-75% проектного ресурсу. Утримання системи магістральних газопроводів у справному, надійному та безпечному стані – складна задача, враховуючи велику кількість факторів. Серед них варто зазначити: значну протяжність, віддаленість від великих населених пунктів, експлуатацію в складних геокліматичних умовах, великі діаметри і робочі тиски.

Фізико-географічні умови Карпатського регіону, у межах якого розташована густа мережа магістральних газопроводів, довжиною понад 1500 км, зумовили необхідність будівництва великої кількості надземних переходів через яри, водотоки та інші перешкоди. На сьогоднішній день одне тільки УМГ “Прикарпаттрансгаз” експлуатує понад 352 надземних переходи, загальною протяжністю 34 км. Від надійної роботи газопроводу на ділянках надземних переходів залежить ефективна експлуатація лінійної частини трубопровідних магістралей.

Згідно з “Правилами технічної експлуатації магістральних газопроводів”, до комплексу обстежень надземних переходів входять геодезичні роботи, які передбачають визначення просторового положення трубопроводу. При цьому, основними приладами, які до цього часу використовують для виконання геодезичних робіт, є оптико-механічні прилади, нівелірні рейки, прилади для побудови створів, електронні тахеометри і цифрові нівеліри. Застосування цих приладів вимагає переміщення працівників вздовж трубопроводу, що часто є дуже небезпечним. Тому розроблення нових методів вимірювань, з використанням сучасних геодезичних приладів для технічного діагностування надземних трубопроводів, є технологічно виправданим, оскільки це надасть змогу скоротити обсяги робіт, автоматизувати процес збору даних та підвищити рівень безпеки працівників.

Вагомий внесок до питання надійної експлуатації трубопроводів у складних умовах зробили: Молдованов О. І., Олійник А. П., Перун Й. В., Субботін І. Е., Тихонова І. А., Хігер М. Ш., Швердін П. Г., Шлапак Л. С. та інші.

Проблемі геодезичного забезпечення моніторингу та оцінки технічного стану складних інженерних об'єктів присвячені роботи таких вчених: Барана П. І., Брайта П. І., Бурака К. О., Відуєва М. Г., Войтенка С. П., Ганьшина В. Н., Жукова Б. Н., Ключина Є. Б., Міхелева В. Д., Перовича Л. М., Піскунова М. Е., Староверова С. В., Самойленка О. М., Третяка К. Р., Чибірякова В. К., Черняги П. Г., Шульца Р. В., а також закордонних вчених: Gassner G., Nematollah H., Alba M., Ruland R.

Дослідженнями безрефлекторного режиму електронних тахеометрів займалися такі вітчизняні та закордонні вчені: Ламбін В. М., Назаров І. О., Тарасенко М. І., Ashraf A. Beshr, Gairns C.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках державних, галузевих і науково-дослідних програм на підставі таких документів: “Оновлена енергетична стратегія України на період до 2030 р.”; Закон України “Про трубопровідний транспорт” N192/96-ВР від 15.05.2006 р.; Постанова НАК “Нафтогаз України” “Про посилення контролю за роботою газопроводів і споруджень, розташованих на них”, № 45 від 23.05.2010 р. Роботи автора відповідають науковому напрямку держбюджетної тематики кафедри землевпорядкування та кадастру Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу: “Науково-організаційні засади нарощування видобутку вітчизняної нафти і газу, їх транспортування та диверсифікації постачання для підвищення енергетичної безпеки України” (№ 0115U007099). Основні положення дисертаційної роботи були використані для виконання госпдоговірної науково-дослідної роботи: “Комплекс робіт з інженерно-геодезичних вишукувань надземних переходів магістральних газопроводів через водні перешкоди по філії УМГ “Прикарпаттрансгаз” у Долинському ЛВУМГ”, договір №123/2015 від 16.09.2015 р.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є науково-технологічне обґрунтування геодезичного контролю надземних переходів магістральних газопроводів з використанням електронних тахеометрів у безрефлекторному режимі вимірювань для забезпечення їхньої експлуатаційної надійності.

Задачі досліджень:

- виконати аналіз існуючих методів і засобів геодезичного контролю за станом надземних переходів магістральних газопроводів;
- розробити технологію геодезичного контролю, для забезпечення експлуатаційної надійності надземних переходів, з використанням електронних тахеометрів у безрефлекторному режимі вимірювань;
- обґрунтувати точність спостережень за зміщеннями надземних переходів газопроводів;
- дослідити вплив теплових факторів на зміщення надземних переходів трубопроводів;
- розробити засоби для підвищення точності геодезичних спостережень під час обстеження надземних переходів трубопроводів.

Об'єктом дослідження є надземні переходи магістральних газопроводів.

Предметом дослідження є геодезичний контроль просторових переміщень надземних переходів газопроводів та їхніх опор.

Методи дослідження, використані у дисертації, забезпечують вирішення основних задач досліджень. Для обґрунтування точності геодезичних спостережень за зміщеннями надземних трубопроводів та їхніх опор використано методи розрахунку граничного стану міцності матеріалу трубопроводу; методи математичної статистики, зокрема: метод кореляційного аналізу та метод послідовних різниць (критерій Аббе) – для аналізу температурних переміщень трубопроводу; метод найменших квадратів – для моделювання параметрів аналітичної моделі, створеної за результатами дослідження точності безрефлекторного режиму електронного тахеометра.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше розроблено технологію застосування електронних тахеометрів у безрефлекторному режимі для контролю положення надземних переходів газопроводів.

2. Обґрунтована точність спостережень за осіданням опор у залежності від фактичного положення осі трубопроводу.

3. Змодельовані короткоперіодичні зміщення надземних газопроводів та встановлено величину впливу добових температурних переміщень на точність геодезичних вимірів.

4. Підтверджена ефективність застосування візирної марки у формі бісектора, для забезпечення високої точності наведення візирного променя до її поверхні під гострим кутом.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблена методика підвищення точності та безпеки виконання геодезичних робіт під час визначення геометричних параметрів надземних переходів трубопроводів, в залежності від їхньої конструкції та умов експлуатації;
- підвищена точність наведення візирного променя на поверхню трубопроводу під гострим кутом за рахунок використання запропонованої візирної марки;
- розроблені рекомендації щодо проведення геодезичного контролю, які допоможуть уникнути впливу короткоперіодичних зміщень труби, викликаних факторами термічного впливу.

Результати розробок, отримані в дисертаційній роботі, рекомендовані для застосування на практиці лінійно-експлуатаційним службам підприємств, які обслуговують магістральні газопроводи, та були успішно використані фахівцями філії УМГ “Харківтрансгаз” ПАТ “Укртрансгаз” під час проведення контролю технічного стану надземних переходів газопроводів.

Особистий внесок здобувача. Результати досліджень, які викладені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: розроблення методики дослідження безрефлекторного режиму вимірювань електронним тахеометром [3, 10]; обґрунтування точності геодезичних робіт для визначення осідань опор надземних трубопроводів [1, 6]; запропонована форма деформаційної марки [5]; розроблення методики дослідження добових температурних зміщень надземних трубопроводів, аналіз отриманих даних [4, 8].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались і обговорювались на Всеукраїнській науково-практичній конференції “Безпека об’єктів нафтогазового комплексу” (м. Івано-Франківськ, 2011 р.), Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми та перспективи транспортування нафти і газу” (м. Івано-Франківськ, 2012 р.), Міжнародному науково-технічному симпозіумі “Геоінформаційний моніторинг. GPS і ГІС технології” (АР Крим, м. Алушта, 2012 р.), Міжнародній науково-практичній конференції “Геофорум” (м. Львів, 2013 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 друкованих праць, у тому числі 6 статей у фахових наукових виданнях, визнаних ВАК України, 2 статті у

наукових періодичних виданнях інших держав (Росія, м. Москва) і 4 – у збірниках матеріалів конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків і списку використаних джерел. Обсяг роботи становить 137 сторінок, у тому числі – 35 рисунків, 22 таблиці, 1 додаток. Список використаних джерел займає 16 сторінок (152 найменування).

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.

У розділі 1 **“Аналіз сучасного стану геодезичного контролю надземних переходів магістральних газопроводів”** проаналізовано сучасний стан геодезичного забезпечення контролю за надземними переходами магістральних газопроводів. Наведено основні причини порушень ефективної і безпечної роботи надземних трубопроводів балкового типу, які експлуатують в Західно-Українському регіоні. Розглянуто існуючі способи і засоби контролю геометричних параметрів надземних газопроводів.

Моніторинг стану надземних газопроводів є складною проблемою. Це зумовлено різноманітністю конструктивних рішень прокладання трубопроводів та значною протяжністю споруд, яка в окремих випадках може досягати 1500 м. Саме тому вибір методу спостережень залежить від вимог до точності, особливостей об'єкту та умов місцевості. Огляд чинної нормативної літератури, яку використовують підприємства, що експлуатують магістральні газопроводи, показав відсутність будь-яких вітчизняних нормативних документів, які б регламентували склад, порядок і точність геодезичних робіт під час планових обстежень надземних переходів трубопроводів. Недосконалість існуючих методів та засобів для проведення геодезичних обстежень зумовлена наступним:

- застосування оптичних приладів (нівеліри, теодоліти) та мірних стрічок вимагає значних затрат часу на виконання робіт;
- підготовчі роботи перед початком вимірювань постійно вимагають пересування обслуговуючого персоналу на трубопроводі, що часто не відповідає вимогам з охорони праці;
- класичні методи лінійно-кутових вимірів дозволяють визначати лише одну складову зміщень конструкцій трубопроводу (поздовжню або поперечну);
- використання підвісних рейок ускладнено на переходах через річки з високими опорами.

При цьому відомі методики спостережень є громіздкими та складними для реалізації в умовах пересіченого рельєфу.

Враховуючи високі вимоги для геодезичних робіт, які зростають з року в рік, постає необхідність розроблення нових підходів щодо геодезичного забезпечення контролю надземних газопроводів. Для цього виконано огляд сучасних геодезичних приладів та систем для моніторингу трубопроводів. При сучасному підході щодо вирішення поставленої задачі, перспективним вважається

застосування електронних тахеометрів у безрефлекторному режимі вимірювань. Основною їхньою перевагою є можливість виконувати безконтактні виміри, а також визначати геометричні параметри переходів з високою точністю та в найкоротші терміни.

У розділі 2 **“Обґрунтування точності спостережень за зміщеннями надземних переходів газопроводів”** представлено алгоритм обґрунтування точності геодезичних робіт під час спостережень за осіданнями надземних трубопроводів. Наведено результати досліджень температурних переміщень надземних переходів газопроводів та визначено величину їхнього впливу на результати геодезичних спостережень.

Згідно з проведеними розрахунками встановлено, що точність спостережень за осіданнями надземних трубопроводів слід визначати на основі величини допустимого вертикального зміщення опор, враховуючи перевірку трубопроводу на міцність. Точність спостережень m_{Δ} і гранично допустиме вертикальне зміщення опор $\Delta_{\text{дон}}$ пов'язані між собою виразом: $\Delta_{\text{дон}} = 0,1 \cdot m_{\Delta}$.

Допустимий рівень напружено-деформованого стану надземних трубопроводів залежить від таких параметрів: віддалі між опорами, робочий тиск, діаметр та товщина стінки труби, границя плинності матеріалу трубопроводу. Окрім того, вісь трубопроводу може змінювати своє положення у процесі експлуатації. Стріли прогину, які при цьому виникають, будуть концентраторами додаткових напружень. Тому точність геодезичних спостережень за осіданнями трубопроводів пропонуємо розглядати як детерміновану величину. Точність спостережень змінюватиметься в залежності від ступеня наближення величини осідання до його допустимого значення – чим ближче допустиме значення, тим точніший контроль.

На основі виконаних розрахунків, отримано формулу для визначення точності геодезичних спостережень за осіданнями опор у будь-який момент часу τ :

$$m_{\Delta}(\tau) = 0,1 \left[\Delta_{\text{дон}}(\tau_0) - 0,4553 |f| \right], \quad (1)$$

де 0,1 – коефіцієнт переходу від величини допустимого осідання до середньої квадратичної похибки; f – стріла прогину трубопроводу, яка виникла у процесі експлуатації, мм; $\Delta_{\text{дон}}(\tau_0)$ – величина допустимого осідання опори на момент часу τ_0 , який відповідає періоду закінчення будівництва (вісь трубопроводу прямолінійна):

$$\Delta_{\text{дон}}(\tau_0) = \frac{2l^2}{aED} \left[R_2 - \frac{p}{2} \left(\frac{D}{2\delta} - 1 \right) - \frac{\eta l^2}{W} \right], \quad (2)$$

де l – довжина прогону між опорами; a – коефіцієнт ($a=4,3924$); E – модуль пружності металу труби; D – зовнішній діаметр трубопроводу; R_2 – розрахунковий опір трубопроводу, p – внутрішній тиск; δ – товщина стінки труби; η – навантажувальний коефіцієнт; W – момент опору труби.

Таким чином, наявність у формулі (2) параметрів надземних трубопроводів, які характеризують їхній матеріал і конструкцію, вимагає диференційного підходу щодо встановлення точності для кожного надземного трубопроводу.

У табл. 1 наведено результати розрахунку величин допустимого осідання опор та середні квадратичні похибки спостережень за їхніми осіданнями. Обчислення проведено для кількох марок трубопровідних сталей та для різних довжин прогонів за умови, що осі трубопроводів – прямолінійні.

Таблиця 1

**Розрахунок точності спостережень за осіданням опор трубопроводів,
осі яких прямолінійні**

Робочий тиск, МПа	Зовнішній діаметр труби, мм	Товщина стінки, мм	Границя плинності матеріалу, Н/мм ²	Величина допустимого осідання опор, мм			СКП спостережень за осіданням опор, мм		
				Довжини прогонів між опорами, м					
				20	30	40	20	30	40
7,4	1420	16,2	470	113	207	249	11	21	25
7,4	1420	15,7	460	104	187	210	10	19	21
9,8	1420	23,9	510	147	295	433	15	30	43
9,8	1420	25,8	481	140	281	412	14	28	41
7,4	1420	18,7	461	124	235	311	12	24	31

Якщо в процесі експлуатації трубопроводу з'являються стріли прогину, тоді точність спостережень за осіданнями необхідно підвищувати. Виконані за формулою (1) розрахунки (табл.2), показують як змінюється точність спостережень в залежності від величини стріли прогину.

Таблиця 2

Залежність середніх квадратичних похибок вимірювання осідань опор від допустимої величини стріли прогину

Стріла прогину f , мм	СКП спостережень за осіданнями $m_{\Delta}(\tau)$, мм		
	Довжина прогонів між опорами, м		
	20	30	40
0	11	21	25
50	9	18	23
100	7	16	20
150	4	14	18
200	-	12	16
250	-	9	14
300	-	7	11
350	-	5	9
400	-	-	7
450	-	-	4
500	-	-	2

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що обґрунтування точності спостережень за осіданнями опор доцільно виконувати за принципом детермінованості з врахуванням просторової конфігурації осі трубопроводу.

У нормативних документах відсутні будь-які вимоги щодо призначення точності спостережень не лише за висотними, але і за плановими зміщеннями надземних трубопроводів. Тому лінійно-експлуатаційні служби вимагають визначати планові положення осей трубопроводів з максимально високою точністю.

Встановлено, що зміна температури повітря протягом доби спричиняє циклічні температурні переміщення трубопроводів, величини яких можуть

перевищувати значення очікуваної точності геодезичних спостережень. Це необхідно враховувати під час призначення точності спостережень за плановими зміщеннями осей трубопроводів.

Проведені автором експериментальні дослідження циклічних температурних переміщень на діючих газопроводах "Союз" та "Уренгой – Помари – Ужгород", підтверджують вплив температури навколишнього середовища на положення трубопроводу. Програма вимірів складалась із 41-го циклу спостережень за положенням п'яти марок на поверхні трубопроводу та двох марок на його опорах синхронно з вимірюванням температури повітря. Крок дискретизації спостережень – 20 хвилин. Схему розташування марок на трубопроводі представлено на рис. 1.

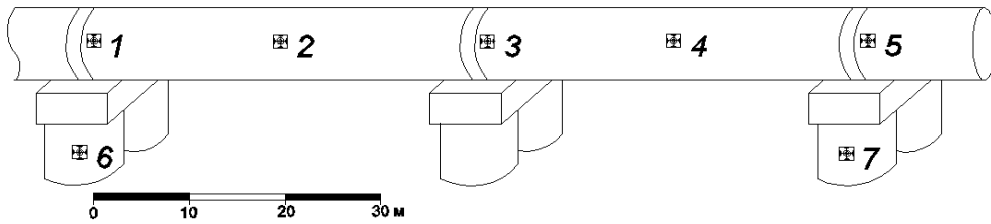


Рис. 1. Схема розташування деформаційних марок на трубопроводі

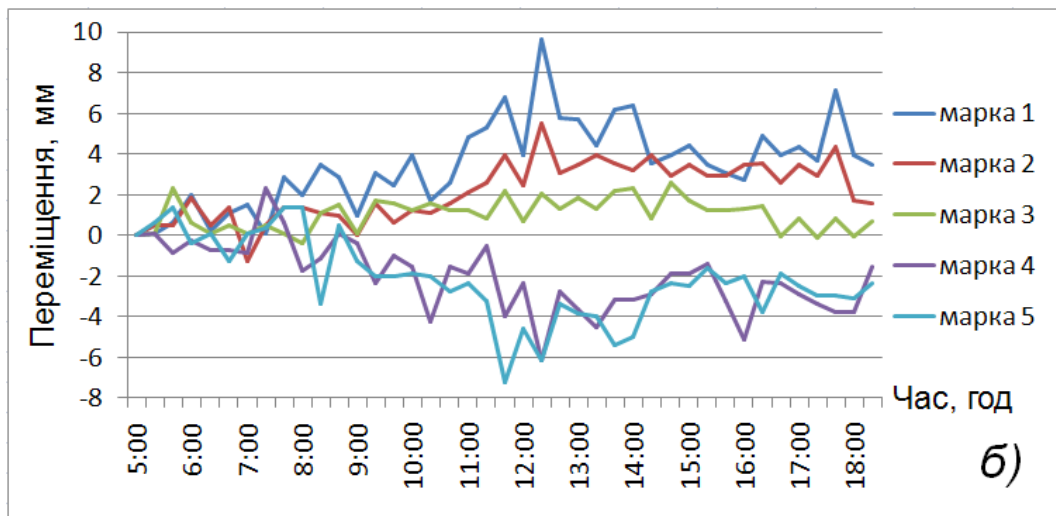
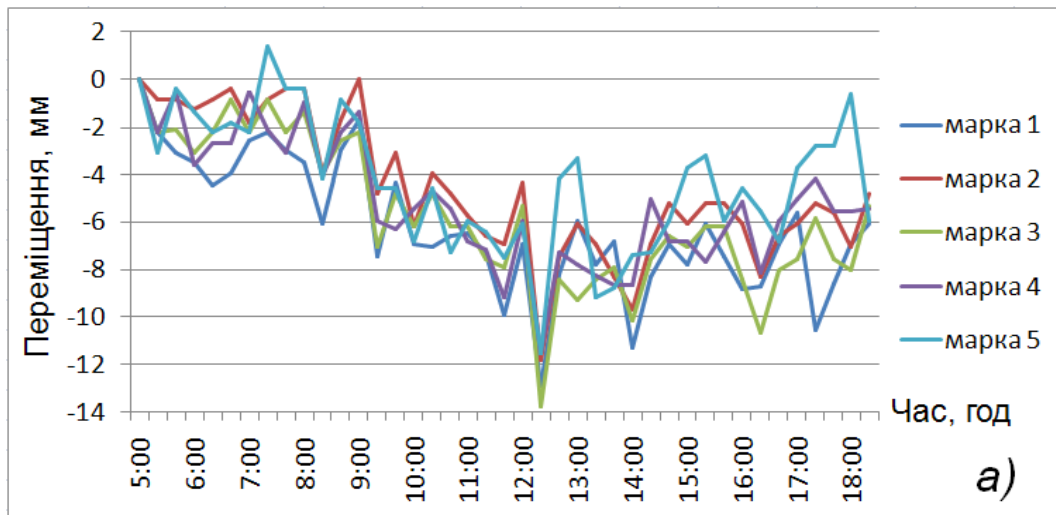


Рис. 2. Графіки добових переміщень газопроводу у поздовжньому(а) і поперечному (б) напрямках

Отримані графічні результати (рис.2) дозволяють чітко простежити закономірність зміщення трубопроводу впродовж періоду спостережень. Найбільша величина температурних зміщень осі трубопроводу відповідає періоду максимального підвищення температури повітря, що підтверджує відсутність інерційної затримки реакції споруди. Вперше встановлено, що амплітуда зміщень осі надземного трубопроводу впродовж доби може досягати 10 мм у поперечному напрямку і 14 мм – у поздовжньому. Впродовж періоду спостережень не зафіксовано змін висотного положення трубопроводу та деформаційних марок 6 і 7 на його опорах. Це свідчить про їхню стабільність під дією факторів термічного впливу.

З метою встановлення величини впливу випадкових теплових факторів (температура повітря, односторонній нагрів труби сонячними променями) на планові зміщення трубопроводу, проведено багатфакторний кореляційний аналіз. Вихідними даними для проведення аналізу були результати спостережень: температура повітря t , різниця температур труби з сонячного і тіньового боків ΔT у межах перерізу та планові зміщення S опорного перерізу, визначені геодезичними методами. На підставі отриманих даних встановлено, що поперечні зміщення трубопроводу на 62% залежать від температурних факторів.

Як показали дослідження, процес зміни температури повітря і планові переміщення трубопроводу мають гармонічний характер. При цьому характерними є високочастотні добові коливання та основна гармоніка, яким притаманний циклічний характер. На нашу думку, найбільший вплив на точність результатів спостережень буде створювати дисперсія високочастотних коливань, які можуть перевищувати похибки безпосередніх вимірів.

Вважаємо, що правильним методичним прийомом, під час проведення геодезичного контролю за положенням осі трубопроводу, є виконання спостережень в однакові періоди доби. При цьому високочастотні коливання будуть фіксуватися на одному рівні їхньої амплітуди або в одній із кульмінацій (період максимального охолодження або нагрівання труби). Однак, можна вибрати методику довільного вибору моментів спостережень відносно високочастотних коливань. Для цього необхідно забезпечити виконання умови:

$$m_{xy} \geq m_{xy0}, \quad (3)$$

де m_{xy} – середні квадратичні похибки геодезичних спостережень за плановим положенням трубопроводу; m_{xy0} – середня квадратична похибка, яка характеризує діапазон можливих високочастотних коливань.

Задачу з визначення співвідношення між вхідними факторами (фактори температурного впливу) та вихідною реакцією конструкції (планові високочастотні коливання трубопроводу) можна розв'язати за допомогою апарату частотних характеристик динамічних систем, використаного Ю.П. Гуляєвим. Математичні моделі динамічних систем відображають природні властивості перетворення вхідних даних у реакцію системи.

Введемо позначення цих процесів: S_k – планові переміщення трубопроводу; t_k – температура повітря; ΔT_k – градієнт температури поверхні труби між сонячною і тіньовою сторонами; k – номер циклу спостережень.

Відомо, що у випадках, коли інерційна затримка реакції споруди не перевищує 1/4 основної гармоніки, для моделювання досліджуваного процесу доцільно використовувати диференціальне рівняння 1-го порядку. З врахуванням позначень і факту відсутності інерційної затримки, запишемо модель процесу планових зміщень трубопроводу S_k в рекурентній формі на основі рівняння 1-го порядку:

$$S_k = \varphi S_{k-1} + \beta_1 t_k + \beta_2 \Delta T_k, \quad (4)$$

де φ - коефіцієнт динаміки, β_1, β_2 – коефіцієнти, які відображають ступінь впливу вхідних факторів на переміщення трубопроводу.

Побудову моделі почнемо з оцінки параметрів $\varphi, \beta_1, \beta_2$ на основі результатів спостережень за входом $t_k, \Delta T_k$ і виходом S_k . Розв'язавши систему рівнянь, і підставивши невідомі параметри у вираз (4), отримаємо модель короткоперіодичного характеру розвитку процесу планових зміщень трубопроводу:

$$S_k = 0,04S_{k-1} + 0,38t_k + 0,15\Delta T_k. \quad (5)$$

Виконавши оцінку точності обчислених параметрів, отримано наступні значення: $m_\varphi = 0,01; m_{\beta_1} = 0,01; m_{\beta_2} = 0,02$.

На основі апарату частотних характеристик динамічної системи, отримано рівняння, яке встановлює зв'язок між середніми квадратичними похибками входу і виходу для динамічної системи. Рівняння зв'язку для двох вхідних параметрів має вигляд:

$$m_{xy0} = \sqrt{\frac{\beta_1^2 m_t^2 + \beta_2^2 m_{\Delta T}^2}{1 + 2\varphi \cos \omega\tau + \varphi^2}}, \quad (6)$$

де: $\varphi, \beta_1, \beta_2$ – параметри, отримані за результатами моделювання в формулі (5); $m_t, m_{\Delta T}$ – СКП зміни амплітуди температури повітря і градієнта температури поверхні труби; $\omega\tau = \frac{\pi}{12} \cdot 0,3 = 4,5^\circ$ (для прогнозу використана половина гармоніки високочастотних коливань (12 годин) з кроком дискретизації 20 хвилин).

Похибки $m_t, m_{\Delta T}$ обчислюємо за формулами

$$m_t = \sqrt{\sigma_t^2 + m_{t_{вим}}^2}, \quad m_{\Delta T} = \sqrt{\sigma_{\Delta T}^2 + m_{\Delta T_{вим}}^2}, \quad (7)$$

де $\sigma_t^2, \sigma_{\Delta T}^2$ – дисперсії коливань температури, $m_{t_{вим}} = \pm 1^\circ\text{C}$ – похибка вимірювання температури повітря, $m_{\Delta T_{вим}} = \pm 0,1^\circ\text{C}$ – похибка вимірювання температури поверхні труби.

На основі параметрів динамічної моделі та обчислених похибок m_t і $m_{\Delta T}$ розраховано значення $m_{xy0} = 2,4$ мм, яке характеризує діапазон можливих високочастотних коливань. Отриманий результат вказує на те, що планові зміщення осі трубопроводу, величини яких визначають у процесі геодезичного контролю, піддаються відчутним температурним коливанням.

Для досягнення максимально високої точності геодезичних спостережень за плановими зміщеннями осі трубопроводу m_{xy} , необхідно враховувати дисперсію високочастотних температурних коливань, шляхом виконання умови $m_{xy} > m_{xy0} = 2,4$ мм.

У розділі 3 “Розроблення методики геодезичного контролю за станом надземних переходів газопроводів” розроблено методику геодезичних спостережень за планово-висотними зміщеннями надземних трубопроводів, креном їхніх опор та прогинами осей.

Для забезпечення експлуатаційної надійності надземних переходів магістральних газопроводів, комплекс геодезичних робіт передбачає створення двох видів геодезичної основи: опорна геодезична мережа і мережа пунктів робочої основи.

У роботі обґрунтовано необхідність створення опорних планово-висотних мереж у вигляді геодезичних чотирикутників (по два пункти на кожному березі). Проектування додаткових пунктів вздовж переходів через широкі перешкоди забезпечить підвищення точності мережі. Доцільність проектування геодезичної основи у вигляді лінійно-кутової мережі, при відсутності видимості уздовж берегів, підтверджено аналізом топографічних умов місцевості. Контроль за стійкістю пунктів опорної геодезичної мережі необхідно виконувати на основі даних ГНСС-спостережень, або високоточних лінійно-кутових вимірювань, або ж їх комбінацією.

Координати пунктів робочої основи доцільно визначати електронними тахеометрами методом “вільної станції” відносно пунктів опорної мережі. При цьому немає необхідності закріплювати пункти постійними знаками.

Для визначення оптимального положення станції електронного тахеометра, відносно осі трубопроводу, під час роботи у безрефлекторному режимі, досліджено величину граничного кута падіння променя далекоміра до поверхні трубопроводу (тахеометр Sokkia SET 530RK, оснащений далекоміром RED-tech II). Під терміном “граничний” розуміється кут, при якому відбита електромагнітна хвиля перестає реєструватися приймачем віддалемірного пристрою тахеометра. Встановлено, що величина граничного кута залежить від: кольору, текстури та віддалі до трубопроводу. З метою врахування вказаних факторів, дослідження проведено в умовах діючого газопроводу на різних віддалях від його осі. Схему досліджень представлено на рис. 3.

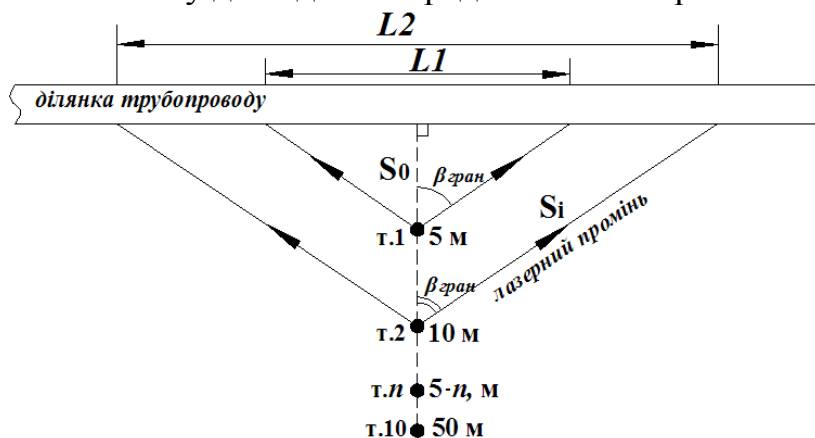


Рис. 3. Схема дослідження граничного кута під час роботи тахеометром у безрефлекторному режимі вимірювань: $1, 2, \dots, n, \dots, 10$ – точки встановлення тахеометра; L_i – довжина ділянки труби, доступна для спостережень з n -ої станції.

Результати досліджень наведено у табл. 3. Довжину ділянки трубопроводу L обчислено з прямокутного трикутника за значеннями віддалі від тахеометра до осі трубопроводу S_0 і граничним кутом $\beta_{\text{гран}}$.

Таблиця 3

**Значення граничних кутів під час роботи тахеометром
у безрефлекторному режимі вимірювань**

№ станції	Віддаль до газопроводу, S_0 , м	Граничний кут, $\beta_{\text{гран}}$	Довжина візирного променя, S_i , м	Довжина ділянки трубопроводу, L , м
1	5	81°30'	33,73	66,72
2	10	74°11'	36,64	70,51
3	15	70°30'	44,90	84,65
4	20	68°13'	53,90	100,10
5	25	64°49'	58,74	106,31
6	30	62°12'	64,29	113,73
7	35	59°16'	68,42	117,62
8	40	55°43'	70,97	117,28
9	45	54°19'	77,09	125,24
10	50	49°43'	79,96	121,99

Проаналізувавши отримані результати, оптимальним вважаємо положення станції тахеометра на віддалі 45 м від осі трубопроводу. При такому положенні приладу, довжина ділянки труби, координати якої можна визначати у безрефлекторному режимі вимірювань, є найбільшою і становить 125 м.

Отже, під час проектування пунктів робочої основи, слід дотримуватися таких умов: віддаль від осі трубопроводу – 45 м; віддаль між пунктами (станціями тахеометра) – не більше 125 м. Такі схеми розташування доцільно застосовувати для визначення геометричних параметрів надземних трубопроводів у недоступних місцях над водними перешкодами. За необхідності, можемо використовувати дані табл. 3 для побудови схем розташування станцій тахеометра. При цьому, рекомендуємо проектувати візирні лінії, довжиною не більше 100 м. Це дасть змогу знизити вплив рефракції на результати спостережень.

У роботі наведено результати досліджень залежності між точністю визначення координат у безрефлекторному режимі вимірювань та кутом падіння променя до поверхні трубопроводу. Дослідження проведено електронним тахеометром з похибкою кутових вимірів $m_\beta=5''$ і похибкою лінійних вимірів $m_D=\pm(3+2ppm \cdot D)$ мм.

Результати обчислених середніх квадратичних похибок планових і висотних координат точок на поверхні трубопроводу наведено в табл. 4. Для порівняння, в табл. 4 представлено середні квадратичні похибки визначення координат, отримані за результатами апріорної оцінки точності для відповідних віддалей та кутів падіння променя.

**Середні квадратичні похибки визначення
планових і висотних координат точок на трубопроводі**

№ точки	Кут падіння променя, β	m_{xy} , мм	$m_{xy}^{анп.}$, мм	m_h , мм	$m_h^{анп.}$, мм
1	0°	2,0	3,2	0,7	1,1
2	10°	2,0	3,2	0,7	1,1
3	20°	2,3	3,2	0,8	1,2
4	30°	2,8	3,3	1,1	1,3
5	40°	3,6	3,3	1,8	1,4
6	50°	4,8	3,4	2,5	1,7
7	53°	5,8	3,5	2,5	1,8

Виконаний аналіз похибок показує, що точність планових і висотних координат, для кутів падіння променя більше 37° і 33° відповідно, перевищує апіорне значення. Величину максимальної та мінімальної похибки планових координат та їхні напрямки визначають еліпси похибок, зображені на рис. 4.

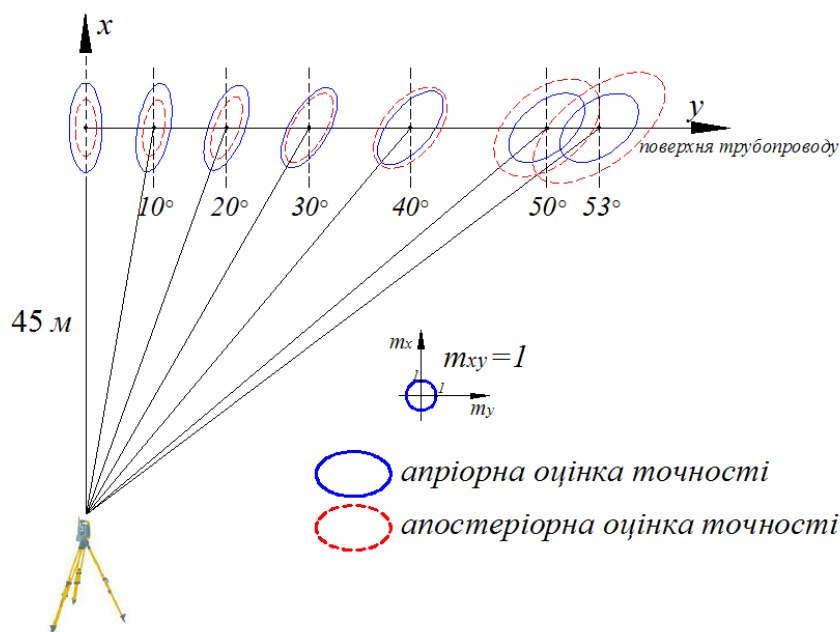


Рис. 4. Еліпси похибок для точок на поверхні трубопроводу

На основі проведеного аналізу встановлено, що зростання похибки координат зумовлене в основному збільшенням похибки вимірювання віддалі m_D . Також досліджено залежність між точністю вимірювання віддалі у безрефлекторному режимі вимірювань і кутом падіння променя. Результати емпіричної середньої квадратичної похибки вимірювання віддалі m_D описано аналітичною моделлю. В основі моделі лежить лінійне рівняння регресії $m_D = \pm(a + b \cdot D)$, яке має широке застосування. У розгорнутому вигляді формула для визначення точності вимірювання віддалі фазовим методом має вигляд:

$$m_D = \sqrt{\left(\frac{v}{pf}\right)^2 m_\varphi^2 + m_d^2 + m_l^2 + D^2 \left[\left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 \right]}, \quad (8)$$

де m_ϕ – середня квадратична похибка реєстрації фази, m_d – середня квадратична похибка фази опорної напруги, m_l – середня квадратична похибка постійної поправки далекоміра, m_f – середня квадратична похибка масштабної частоти, m_v – середня квадратична похибка робочої швидкості поширення електромагнітних хвиль, v – швидкість поширення електромагнітних хвиль, D – вимірювана віддаль, f – частота модуляції.

На основі результатів досліджень, записано лінійні рівняння регресії виду $m_D = \pm(a + b \cdot D)$ для різних кутів візування. Значення параметрів a і b отримано за методом найменших квадратів, використовуючи виміряні величини m_D . Для цього складали рівняння поправок:

$$a + b \cdot D_i + l_i = v_i, \quad (9)$$

де $a = f(m_\phi; m_d; m_l)$; $b = f(m_f; m_v)$; $l_i = -|m_D|$. Перехід від рівнянь поправок (9) до нормальних рівнянь і їхній розв'язок виконано з врахуванням вагової діагональної матриці \mathbf{P} . Результати розрахунку коефіцієнтів a і b наведено у табл. 5.

Таблиця 5

Коефіцієнти лінійних рівнянь регресії

Кут падіння променя, β	a , мм	$b \cdot D \cdot 10^{-5}$, мм
0°	0,6	1
10°	0,7	2
20°	0,5	4
30°	0,4	5
40°	0,9	4
50°	1,2	5
60°	1,6	6
70°	1,7	9
80°	1,8	13

Аналіз отриманих результатів підтверджує наявність функціонального зв'язку між величиною кута падіння променя та значеннями коефіцієнтів a (похибки, які не залежать від довжини вимірюваної віддалі) і b (похибки, які пропорційні довжині вимірюваної віддалі).

Для правильного вибору моделі, яка описуватиме зміну точності вимірювання віддалі, проаналізовано особливості природи похибок (складові коефіцієнтів a і b) та причинно-наслідкові зв'язки їхнього виникнення. Встановлено, що на величину коефіцієнта a впливають: похибка постійної поправки далекоміра m_l ; похибка фіксації фази m_ϕ ; похибка фази опорної напруги m_d . Постійна поправка далекоміра не залежить від довжини вимірюваної віддалі і не буде змінюватись при зміні кута падіння променя на відбиваючу поверхню. Похибка фіксації фази і опорної напруги залежать від рівня світлового потоку, який приймається далекоміром з дистанції. У нашому випадку, за законом Ламберта, збільшення кута падіння променя веде до зниження інтенсивності світлового потоку та збільшення його відносних флуктуацій. Таким чином, похибка реєстрації фази і опорної напруги збільшується із наближенням кута до

граничного значення. Аналогічно, на відносну похибку масштабної частоти $\frac{m_f}{f}$ (входить в значення коефіцієнта b) впливає зниження інтенсивності відбитого променя.

За методом найменших квадратів обчислено коефіцієнти рівнянь регресії для параметрів a і b , апроксимуючи параметр a лінійною регресією, а параметр b – експоненціальною. У результаті отримано рівняння регресії, яке описує точність вимірювання віддалі у безрефлекторному режимі для різних віддалей та кутів візування до поверхні трубопроводу:

$$m_D = 0,6 + 0,6\beta + e^{2,1\beta} \cdot D \cdot 10^{-5} \text{ мм}, \quad (10)$$

де D – довжина вимірюваної віддалі, мм; β – кут падіння променя, рад. У даній регресії коефіцієнт 0,6 є похибкою постійної поправки далекоміра; $0,6\beta$ – сума похибки реєстрації фази та похибки опорної напруги, які пропорційні куту падіння променя на відбиваючу поверхню; $e^{2,1\beta}$ – параметр, який враховує зміну відносної похибки масштабної частоти.

Для оцінки якості отриманої залежності, виконано апіорну оцінку точності визначення планових координат із застосуванням формули (10). Еліпси похибок, представлені на рис. 5, зображують співвідношення похибок визначення координат для апіорної і апостеріорної оцінок точності.

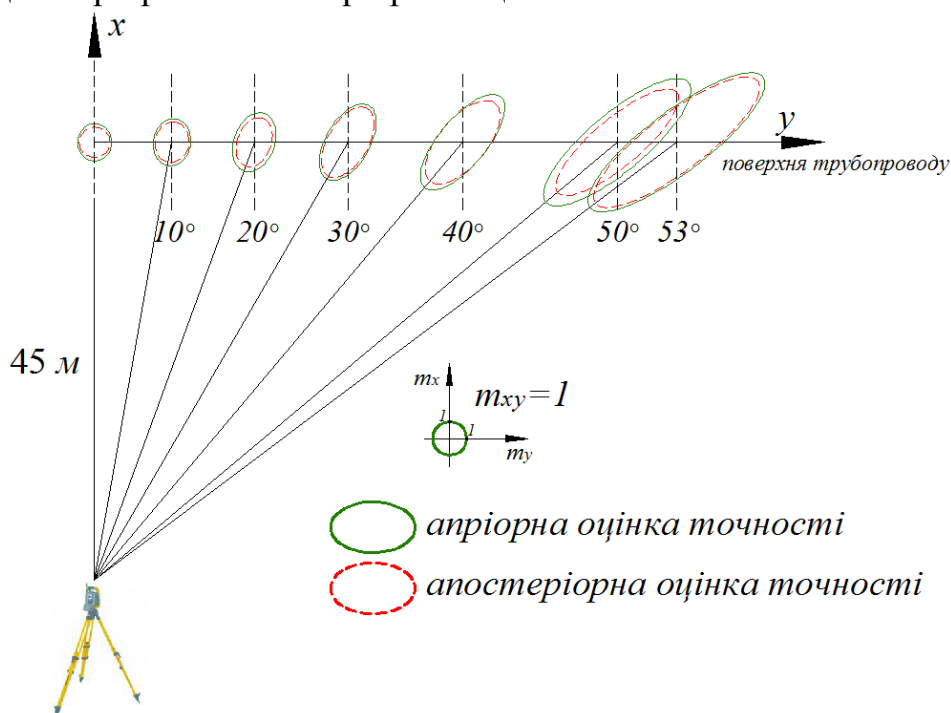


Рис. 5. Співвідношення еліпсів похибок для апіорної і апостеріорної оцінок точності

З рис. 5 бачимо, що застосування формули (10) дозволяє отримати достовірну величину похибки планових координат при виконанні апіорної оцінки точності.

У ході проведених досліджень автором встановлено, що відсутність відбитого сигналу, під час роботи тахеометром у безрефлекторному режимі, пояснюється наведенням променя на перехрестя візирної марки чорного кольору,

яка має погані відбиваючі властивості. Окрім того, втрата сигналу і неможливість визначення віддалі виникає навіть при малому відхиленні візирного променя від нормалі до поверхні марки. Експериментально підтверджено, що для запобігання втрати сигналу доцільно застосовувати деформаційні марки, центри яких не зафарбовані. Вважаємо, що найефективнішим для даного виду робіт є використання марок у формі бісектора (рис. 6).

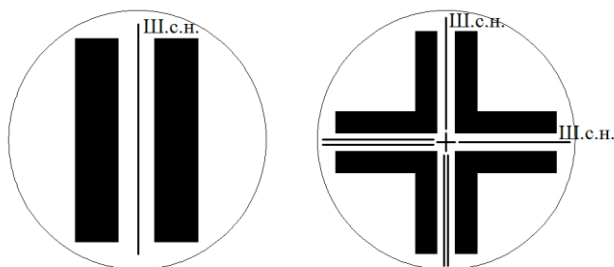


Рис. 6. Форми марок з бісектором

Відомо, що суміщення штриха сітки ниток із зображенням лінії у 6 разів точніше, ніж суміщення із зображенням точки. Така властивість називається ноніальною гостротою зору людини. Завдяки цьому забезпечується висока точність наведення на марки у формі бісектора.

Наведення на деформаційні марки під гострим кутом до поверхні трубопроводу створює певні труднощі не лише для геодезичних приладів, а й для виконавця спостережень. Складність полягає у необхідності чіткого візування центру сітки ниток з центром марки. Для цього рекомендуємо застосовувати марки, розмір яких відповідає довжині візирного променя.

Розміри бісектора для деформаційних марок визначаються пропорційно величині a – віддаль від штриха сітки ниток до штриха бісектора (рис. 7). Найвища точність візування досягається під час наведення на бісектор з розміром $a=5''$.

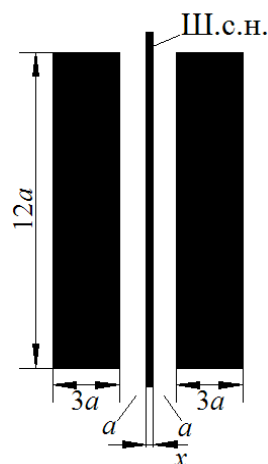


Рис. 7. Розміри бісектора

Згідно з наведеними рекомендаціями, розраховано дійсні розміри марок для різних віддалей візування. При оптимальному положенні станції електронного тахеометра на віддалі 45 м від трубопроводу, довжина візирних променів до марок змінюється від 45 до 75 м. У табл. 6 наведені результати розрахунку розмірів бісекторів для семи деформаційних марок.

Таблиця 6

Розміри бісектора для наведення на різних віддальях

Показники	Номери марок						
	1	2	3	4	5	6	7
Довжина візирного променя S , м	45	46	48	52	59	70	75
Віддаль від штриха сітки до штриха бісектора a , мм	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,7	1,8
Ширина зображення сітки ниток x на віддалі S , мм	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
Віддаль між штрихами бісектора $a+a+x$, мм	2,8	2,9	3,0	3,3	3,7	4,4	4,7

Збільшення довжини візирної лінії до кожної наступної марки супроводжується зміною значення кута, під яким візирний промінь падає на поверхню марки. У результаті повороту площини марки відбуваються спотворення віддалі між бісекторами, що приводить до збільшення похибки візування. Для компенсування впливу повороту площини марки, рекомендуємо збільшувати віддаль між штрихами бісектора пропорційно зміні кута візування. У табл. 7 наведено результати розрахунку розмірів семи деформаційних марок з врахуванням поправки за їхній поворот.

Таблиця 7

**Розміри бісектора для наведення на різних віддальх
та для різних кутів візування**

Показники	Номери марок						
	1	2	3	4	5	6	7
Довжина візирного променя S , м	45	46	48	52	59	70	75
Віддаль між штрихами бісектора $a+a+x$, мм	2,8	2,9	3,0	3,3	3,7	4,4	4,7
Кут візування β , град.	0	10	20	30	40	50	53
Поправка в ширину бісектора δ	1,0	1,02	1,06	1,15	1,30	1,55	1,66
Віддаль між штрихами бісектора $A(\beta)$, мм	2,8	3,0	3,2	3,8	4,8	6,8	7,8

Теоретичні розрахунки було підтверджено результатами експериментальних досліджень. Виконано оцінку точності візування для 7-ми марок, параметри яких наведено у табл. 7. Середня квадратична похибка візування на деформаційну марку порівнювалась з похибками візування на стандартну марку, яка розрахована для віддалі 50 м і кута візування 0° (марка 0). Результати досліджень наведено в табл. 8.

Таблиця 8

**Порівняння значень середніх квадратичних похибок
візування на деформаційні марки**

Параметри наведення	Номери марок	Віддаль між штрихами бісектора $A(\beta)$, мм	СКП візування, секунди
$S=45$ м / $\beta=0^\circ$	1	2,8	1,0
	0	3,3	1,2
$S=46$ м / $\beta=10^\circ$	2	3	1,1
	0	3,3	1,2
$S=48$ м / $\beta=20^\circ$	3	3,2	1,0
	0	3,3	1,3
$S=52$ м / $\beta=30^\circ$	4	3,8	1,1
	0	3,3	1,9
$S=59$ м / $\beta=40^\circ$	5	4,8	0,9
	0	3,3	1,3
$S=70$ м / $\beta=50^\circ$	6	6,8	1,1
	0	3,3	1,9
$S=75$ м / $\beta=53^\circ$	7	7,8	0,9
	0	3,3	1,5

Аналіз результатів показує, що пропорційне збільшення ширини бісектора марки при зміні кута візування, забезпечує вищу точність наведення, ніж застосування стандартної марки. Проведена статистична оцінка підтверджує ефективність застосування модифікованої марки з бісектором для наведення під кутом більшим ніж 30° .

Перспективним також вважається застосування в якості деформаційних марок самоклеючих плівкових відбивачів. За результатами проведених досліджень встановлено, що оптимальне положення станції електронного тахеометра, для наведення на плівкові відбивачі, знаходиться на віддалі 70 м від осі трубопроводу. Це дає змогу контролювати з однієї станції положення ділянки трубопроводу довжиною 140 м. Експериментально доведено, що точність визначення віддалі до плівкового відбивача не перевищує теоретично розрахованих значень для різних кутів візування та візирних променів до 100 м.

ВИСНОВКИ

1. Проведено детальний аналіз геодезичних методів та засобів для контролю геометричних параметрів надземних переходів магістральних газопроводів. Встановлено ряд їхніх недоліків (неефективне використання людського та матеріального ресурсів; невідповідність нормам техніки безпеки; складність застосування в гірських умовах). Запропоновано застосування сучасних геодезичних приладів з можливістю проведення безконтактних вимірів.

2. Запропоновано формулу для розрахунку середньої квадратичної похибки спостережень за осіданням опор в будь-який момент експлуатації трубопроводу із врахуванням його просторової конфігурації.

3. Рекомендовано встановлювати точність спостереження за плановими зміщеннями надземних трубопроводів не вище 2,4 мм, з метою зниження впливу високочастотних коливань, викликаних температурними деформаціями.

4. Запропоновано оптимальне положення станції тахеометра відносно осі трубопроводу за визначеними граничними кутами падіння променя далекоміра до поверхні трубопроводу. З метою отримання достовірної величини апріорної оцінки точності, розроблено аналітичну модель похибок визначення віддалі у безрефлекторному режимі вимірювань.

5. Теоретично обґрунтовано і практично доведено ефективність застосування візирної марки у формі бісектора для наведення візирного променя під гострим кутом до її поверхні. Це дозволило виконувати наведення без втрати точності, не обмежуючи діапазон дії безрефлекторного режиму тахеометра.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

1. *Кухтар Д. В.* Точность геодезических работ для определения вертикальных смещений опор деформированных участков надземных трубопроводов / И.С. Тревого, Е.Ю. Илькив, Д.В. Кухтар // Геодезия и картография. – 2013. – №7. – С. 5–7.

2. *Кухтар Д. В.* Геодезический мониторинг надземных магистральных газопроводов в карпатском регионе / И. С. Тревого, Е. Ю. Илькив, Д. В. Кухтар // Геоопфи. – 2013. – № 2. – С. 46 – 48.

Статті у фахових наукових виданнях

3. *Кухтар Д.* Особливості визначення просторового положення надземних переходів магістральних газопроводів з використанням електронного тахеометра у безрефлекторному режимі / І. Тревого, Є. Ільків, Д. Кухтар // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – №2 (22). – С. 124 – 128.

4. *Кухтар Д. В.* Методика контролю температурних деформацій надземних переходів магістральних газопроводів / І. С. Тревого, Є. Ю. Ільків, Д. В. Кухтар // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – № 6. – С. 6 – 9.

5. *Кухтар Д. В.* Особливості виду контрольних марок для спостереження за зміщеннями надземних переходів магістральних газопроводів / І. С. Тревого, Є. Ю. Ільків, Д. В. Кухтар // Вісник геодезії та картографії. – 2012. – № 1. – С. 5 – 8.

6. *Кухтар Д.* Обґрунтування точності геодезичних робіт для визначення вертикальних зміщень опор надземних трубопроводів / Є. Ільків, Д. Кухтар, О. Ванчура // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2013. – №1 (25). – С. 55 – 57.

7. *Кухтар Д. В.* Оптимізація використання плівкових відбивачів для спостереження за деформаціями інженерних споруд / І. С. Тревого, Є. Ю. Ільків, Д. В. Кухтар // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – Вип. 78. – С. 146 – 148.

8. *Кухтар Д. В.* Дослідження температурних деформацій надземних трубопроводів методом кореляційного аналізу / І. С. Тревого, Є. Ю. Ільків, Д. В. Кухтар // Вісник геодезії та картографії. – 2013. – №2. – С. 12 – 15.

Тези доповідей, матеріали наукових конференцій

9. *Кухтар Д. В.* Використання електронного тахеометра при роботі у безрефлекторному режимі для спостережень за переміщеннями надземних переходів магістральних газопроводів / Є. Ю. Ільків, Д. В. Кухтар // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – європейський досвід, VII міжнар. наук.-практ. конф. – Чернігів, 2011. – С. 59 – 64.

10. *Кухтар Д. В.* Дослідження точності геодезичного контролю балкових переходів магістральних газопроводів при роботі електронним тахеометром у безрефлекторному режимі / Є. Ю. Ільків, Д. В. Кухтар // Безпека об'єктів нафтогазового комплексу, Всеукр. наук.-практ. конф., 5-7 жовтня 2011р. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011.

11. *Кухтар Д. В.* Оперативний контроль геометричних параметрів надземних переходів магістральних газопроводів фотограмметричним методом / Є. Ю. Ільків, Д. В. Кухтар // Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу, міжнар. наук.-практ. конф., 15-18 травня 2012 р. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012.

12. *Кухтар Д.* Допустима точність електронного тахеометра для визначення вертикальних зміщень опор надземних трубопроводів / І. Тревого, Є. Ільків, Д. Кухтар // Тези доповідей міжнародної наук.-практ. конф. «Геоінформаційний моніторинг. GPS і ГІС технології». – Алушта, 2012. – С. 143 – 146.

АНОТАЦІЯ

Кухтар Д. В. Геодезичний контроль надземних переходів магістральних газопроводів із застосуванням електронних тахеометрів у безрефлекторному режимі вимірювань. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія. Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2016.

Дисертаційна робота присвячена розробці науково-технологічного обґрунтування геодезичного контролю для забезпечення експлуатаційної надійності надземних переходів магістральних газопроводів з використанням електронних тахеометрів у безрефлекторному режимі вимірювань.

Удосконалено принцип обґрунтування точності спостережень за осіданнями опор надземного трубопроводу, який розглядає її як змінну величину, що залежить від ступеня наближення величини осідання до його допустимого значення.

Експериментально отримано величини добових температурних переміщень ділянок надземних газопроводів, що дозволило змодельовати їхні короткоперіодичні зміщення та визначити вплив на результати спостережень.

Отримано аналітичну модель, яка показує залежність похибки вимірювання віддалі до поверхні трубопроводу у безрефлекторному режимі від кута падіння променя та довжини вимірюваної лінії.

Розроблено методику визначення планово-висотних зміщень осі трубопроводу, осідання і крену опор, а також прогину трубопроводу із застосуванням електронних тахеометрів у безрефлекторному режимі вимірювань.

Розроблено теоретичне обґрунтування та практично підтверджено ефективність застосування візирної марки у формі бісектора для наведення під гострим кутом до її поверхні.

Ключові слова: *надземний перехід трубопроводу, напружено-деформований стан, температурні переміщення, електронний тахеометр, безрефлекторний режим.*

АННОТАЦИЯ

Кухтар Д. В. Геодезический контроль надземных переходов магистральных газопроводов с применением электронных тахеометров в безотражательном режиме измерений. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 – Геодезия, фотограмметрия и картография. – Национальный университет «Львовская политехника», Львов, 2016.

Диссертационная работа посвящена разработке научно-технологического обоснования геодезического контроля для обеспечения эксплуатационной надежности надземных переходов магистральных газопроводов с использованием электронных тахеометров в безотражательном режиме измерений.

Обзор нормативной и научной литературы подтвердил отсутствие отечественных документов, регламентирующих порядок, состав и точность

геодезических работ для контроля состояния надземных переходов газопроводов. Критический анализ существующих методов указывает на ряд недостатков. Главным среди них считаем необходимость передвижения обслуживающего персонала на трубопроводе, что не соответствует требованиям техники безопасности. Считаем целесообразным применение современных электронных тахеометров с возможностью проведения бесконтактных измерений, что позволит сократить объемы работ, автоматизировать процесс сбора данных и повысить уровень безопасности работников.

Предложено устанавливать точность наблюдения за осадкой опор надземных трубопроводов на основе допустимого значения вертикального смещения опоры. В свою очередь допустимое смещение опоры определяют исходя из проверки трубопровода на прочность. Установлено, что допустимое вертикальное смещение опор надземных трубопроводов зависит от ряда факторов: расстояния между опорами, рабочего давления, толщины стенки трубы, предела текучести материала трубопровода. Учет этих факторов требует дифференцированного подхода к назначению точности геодезических наблюдений для каждого надземного трубопровода. В работе усовершенствованный принцип обоснования точности наблюдений за осадками опор надземного трубопровода, который рассматривает ее как переменную величину, зависящую от степени приближения величины осадки к его допустимому значению. Предложена формула для расчета средней квадратичной погрешности наблюдений за осадкой опор в любой момент эксплуатации трубопровода с учетом его пространственной конфигурации.

Проведенные автором экспериментальные исследования циклических температурных перемещений на действующих газопроводах "Союз" и "Уренгой - Помары - Ужгород", подтверждают влияние температуры окружающей среды на положение трубопровода. Установлено, что амплитуда смещения оси трубопровода в течение суток может достигать 10 мм в поперечном направлении и 14 мм – в продольном. Отсутствие изменения высотного положения трубопровода и его опор в период наблюдений свидетельствует об их устойчивости при воздействии термических факторов. На основании проведенного многофакторного корреляционного анализа установлено, что поперечное смещение трубопровода на 62% зависят от температурных факторов. Эти результаты помогли смоделировать короткопериодические перемещения трубопровода, вызванные температурными факторами, и определить степень их влияния на результаты наблюдений. С целью снижения влияния высокочастотных колебаний, вызванных температурными деформациями, целесообразно назначать точность наблюдения за плановыми смещениями надземных трубопроводов не выше 2,4 мм.

Разработана методика определения планово-высотных смещений оси трубопровода, осадки и крена опор, а также прогиба трубопровода с применением безотражательных электронных тахеометров. Подтверждено, что координаты пунктов рабочей основы целесообразно определять электронными тахеометрами методом "свободной станции" относительно пунктов опорной сети. При этом нет необходимости закреплять пункты постоянными знаками. На основе результатов

исследования предельных углов падения луча дальномера к поверхности трубопровода, установлено математически обоснованное оптимальное положение станции тахеометра относительно оси трубопровода. Оптимальным считаем положение станции тахеометра на расстоянии 45 м от оси трубопровода при работе в безотражательном режиме измерений, и 70 м – при использовании пленочных отражателей в качестве деформационных марок.

По результатам исследования безотражательного режима тахеометра, получена аналитическая модель, которая показывает зависимость погрешности измерения расстояния до поверхности трубопровода от угла падения луча и длины измеряемой линии. Применение данной модели позволяет получить достоверное значение погрешности определения плановых координат точек на трубопроводе при выполнении априорной оценки точности.

Разработано теоретическое обоснование и практически доказана эффективность применения визирной марки в форме биссектора для наведения под острым углом к ее поверхности. Применение такой визирной марки позволяет выполнять наведение без потери точности, не ограничивая диапазон действия безотражательного режима тахеометра.

Ключевые слова: надземный переход трубопровода, напряженно-деформированное состояние, температурные смещения, электронный тахеометр, безотражательный режим.

SUMMARY

Kukhtar D.V. Geodetic control for aerial gas pipeline crossing using total stations in DR mode. – On the rights of manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a specialty 05.24.01 – Geodesy, Photogrammetry and Cartography. – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2016.

The thesis is devoted to the development of scientific evidence geodetic control for aerial pipeline crossing using total stations in DR mode.

Improved accuracy principle justification for monitoring the settlement of pipe pillars. It sees it as a variable, depending on the degree of approximation parameters deformation controlling their maximum permissible values.

Experimentally obtained values of daily temperature displacement areas aboveground pipelines, which allowed to model their short-shift and the impact on the results of observations.

An analytical model shows the dependence of the distance error in DR mode with the angle of incidence beam and the length of the measured line.

The method of determining the planned altitude displacement axis of the pipeline, precipitation and heel pillars, deflection of the pipeline using total stations in DR mode.

The theoretical justification and practical application of proven effectiveness sighting mark in the form bisektora for guidance at an acute angle to it surface.

Keywords: aerial pipeline crossing, mode of deformation, thermal deformation, total station, DR mode.