

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СПОСОБУ НІВЕЛЮВАННЯ ВЕРХНЬОЇ ТВІРНОЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЇХ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ

Г. Г. Мельниченко, Ю. Г. Мельниченко

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (342) 72-71-38; e-mail: gmelnychenko@nung.edu.ua,
ymelnychenko@nung.edu.ua*

Описано аварійну зміну просторового положення магістрального газопроводу, яка відбулась після його звільнення від ґрунту. Проведено аналіз досліджень, присвячених проблемі зміни просторового положення ділянки магістрального газопроводу під час капітального ремонту без зупинки транспортування продукту. Приведено математичну модель напружено-деформованого стану та вказано на метод її розв'язання. Отримано параметри напружено-деформованого стану трубопроводу внаслідок зміни умов його залягання. Обґрунтовано необхідність геодезичного знімання просторового положення магістрального газопроводу.

Ключові слова: *магістральний газопровід, нівелювання, напружено-деформований стан, зміна просторового положення.*

Вступ. У 2008 році на ділянці МГ «Союз», на якій проводились ремонтні роботи із заміною ізоляційного покриття без зупинки транспортування продукту після розкриття приблизно 150 м трубопроводу сталося рівномірне підняття трубопроводу над траншеєю внаслідок наявності залишкових напружень у стінці труби та температурного розширення трубопроводу (роботи проводились у теплу пору року). Ділянка проходила у пересіченій місцевості. На ділянці було місце суміщення горизонтального (біля 10^0) та вертикального кутів повороту траси, після якого траса спускалась позовжнім схилом із нахилом приблизно 0,001.

Для визначення ступеня небезпеки такого підняття ділянки під час ремонту було проведено геодезичне знімання просторового положення верхньої твірної трубопроводу а також проведено вимірювання рівня напружень у стінці труби у найнебезпечніших січеннях ділянки. Напруження у стінці труби розподілилось приблизно рівномірно по усій довжині ділянки незважаючи на різне просторове положення трубопроводу у контрольованих точках. Однак геодезичне знімання практично не могло відобразити деформований стан трубопроводу через відсутність інформації про положення трубопроводу до розкриття.

Під час підготовчо-технологічного періоду капітального ремонту магістральних газонафтопроводів на місцевості повинна бути закріплена вісь трубопроводу та зафіксована глибина залягання на контрольованих точках за допомогою трасошукачів або шурфуванням [1]. Однак ні у вітчизняних ні у іноземних нормативних документах не конкретизовано випадки застосування того чи іншого методу.

Розглядаючи детально вищенаведений випадок варто відзначити факт відсутності аналізу напружено-деформованого стану трубопроводів під час виконання ремонтних робіт так, як цього вимагають нормативні документи [1] у розділі, присвяченому змісту проекту виконання робіт. Напружений стан можна розрахувати відомими методами [3] як у нормальних умовах проходження траси, так і в умовах пересіченої місцевості [4], однак в усіх випадках необхідно встановити початкове положення трубопроводу та рівень залишкових напружень у трубопроводі в умовах його залягання.

Сучасними трасошукачами глибина залягання трубопроводу визначається із похибкою до 50 мм [2] в той час, як використання електронного тахеометра дає можливість забезпечити точність вимірювання висотного положення трубопроводу у межах кількох міліметрів. Проаналізуємо допустимість такої похибки у порівнянні із похибкою трасошукачів.

Розглянемо напружений стан трубопроводу, укладеного на дні траншеї та не загорненого ґрунтом, під час виникнення у ньому поздовжнього зусилля. Згідно нормативної методики допустима стріла прогину (зміщення у місці максимального підняття) для прямолінійної ділянки трубопроводу діаметром 1220 мм із товщиною стінки 12 мм в результаті дії на неї поздовжнього стискального зусилля рівного 17,1 МН складає 3,8 м [5]. Тут же, що для такої ж ділянки трубопроводу із горизонтальним кутом повороту природного згину із радіусом згину рівним 1200 м критичне поздовжнє зусилля менше приблизно у 2 рази. Хоча за наведеним джерелом неможливо розрахувати допустиму стрілу прогину на криволінійних ділянках трубопроводу, вона вочевидь буде значно меншою ніж така для прямолінійних ділянок.

Під час укладання трубопроводу на стадії складання його проекту бажаним є співпадіння горизонтального та вертикального кутів повороту траси [6]. В такому разі переміщення трубопроводу відбуватиметься не у вертикальній площині, а у площині, яка розміщена під певним кутом до горизонту. У такому випадку інтенсивність деформації трубопроводу без геодезичного знімання виміряти стане неможливо.

Під час капітального ремонту трубопроводу без зміни його положення порушується постіль внаслідок розробки ґрунту з-під трубопроводу. Як свідчить досвід, назва способу є умовною, оскільки відразу після розробки ґрунту з-під трубопроводу відбувається просідання трубопроводу на певну величину, тому існує тенденція загального збільшення

глибини його залягання. На інтенсивність просідання ґрунту впливає склад ґрунту підсипання, вага трубопроводу а також режим його експлуатації, зокрема рівень вібрації трубопроводу. Останній параметр є особливо важливим для трубопроводів, які перебувають близько від компресорної станції. При цьому у нормативному документі, який регламентує дані види робіт, наголошено на необхідності геодезичного контролю за положенням трубопроводу під час виконання робіт, однак не конкретизовано у якому обсязі і з якою метою. Тому геодезичним контролем за положенням трубопроводу при цьому виді капітального ремонту зазвичай нехтують і його взагалі не виконують.

Формулювання задачі дослідження. З огляду на наведений аналіз, метою дослідження стало обґрунтування здійснення геодезичного контролю методом нівелювання верхньої твірної трубопроводу з метою контролю його висотного положення до та після виконання його капітального ремонту для недопущення виникнення у стінці труби напружень, які перевищують їх допустимі значення.

Виклад отриманих результатів. Для поставленої мети пропонується здійснити моделювання поведінки трубопроводу під час виконання на ньому капітального ремонту відомими методами. Методи капітального ремонту магістральних нафтопроводів класифікуються наступним чином [1]:

1. Капітальний ремонт із заміною труб полягає в повній заміні дефектної ділянки трубопроводу новим. Ремонт із заміною труб виконується наступними способами:

- шляхом укладання в суміщену траншею нової ділянки трубопроводу поруч з замінюваним з подальшим демонтажем останнього;
- шляхом укладання в окрему траншею в межах існуючого технічного коридору комунікацій нової ділянки трубопроводу з подальшим розкриттям і демонтажем замінюваного (технічний коридор комунікацій – це земельна ділянка, в межах якого проходить система паралельно прокладених трубопроводів і комунікацій, обмежена з обох сторін охоронними зонами);
- шляхом демонтажу замінюваного трубопроводу і укладання нового трубопроводу в колишнє проектне положення замінюваного.

2. Капітальний ремонт з заміною ізоляційного покриття полягає в повній заміні ізоляційного покриття з відновленням (при необхідності) несучої здатності стінки трубопроводу. Ремонт ізоляційного покриття виконується наступними способами:

- з підйомом трубопроводу в траншеї;
- з підйомом і укладанням трубопроводу на лежачки в траншеї або на бермі траншеї;
- без підйому із збереженням положення трубопроводу.

3. Вибірковий ремонт – це ремонт ділянок трубопроводів з небезпечними і потенційно-небезпечними дефектами стінки, виявленими під

час проведення обстеженні внутрітрубними інспекційними снарядами (ВІС), а також ремонт складних ділянок (місць перетинів з наземними і підземними комунікаціями і ділянок, прилеглих до вузлів лінійної арматури). Вибірковий ремонт включає:

- ремонт ділянок, прилеглих до вузлів лінійної арматури;
- ремонт ділянок довжиною до $20 \cdot D$, де D – номінальний діаметр трубопроводу, м;
- ремонт протяжних ділянок методом послідовних захоплень або з використанням ґрунтових опор;
- ремонт ділянок без зупинки транспортування із застосуванням врізання під тиском;
- ремонт ділянок із заміною «котушки», труби, вузлів лінійної арматури.

Об'єктом детального вивчення є другий метод капітального ремонту, оскільки під час його виконання трубопровід піддається наступним навантаженням:

- від внутрішнього тиску, оскільки усі способи виконання ремонту даним методом, які передбачають ремонт трубопроводу у траншеї проєктуються без випорожнення магістрального газопроводу;
- поздовжні напруження, оскільки під час виконання капітального ремонту суцільність нитки не порушується й усі поздовжні навантаження зберігаються;
- вага ремонтних машин та механізмів, оскільки практично усі ремонтні машини насаджуються й утримуються на верхній частині труби;
- порушення суцільності ґрунту, стосується третього способу капітального ремонту.

Для визначення напружено-деформованого стану трубопроводу необхідно розв'язати наступну систему рівнянь [7]:

$$E \cdot I \cdot \frac{d^4 y(x)}{dx^4} + P(x) \cdot \frac{d^2 y(x)}{dx^2} = q(x), \quad (1)$$

$$M_z(x) = E \cdot I \cdot \frac{d^2 y(x)}{dx^2} = q(x), \quad (2)$$

де E – модуль Юнга; I – момент інерції поперечного перерізу труби; x – довжина; $M_z(x)$ – згинний момент; $P(x)$ – поздовжня сила на ділянці dx ; $y(x)$ – зміщення трубопроводу по вертикалі відносно його початкового положення; $q(x)$ – поперечне навантаження на одиницю довжини ділянки

$$q(x) = \frac{-q_{mp}(x) \cdot dx + q_{ep}(y(x)) \cdot dx + \sum Q_i \cdot \cos \alpha}{dx}, \quad (3)$$

де $q_{mp}(x)$ – сумарна вага одиниці довжини, разом з вагою труби, продукту, ізоляційного покриття, баластування та футировування, та вага

грунту над одиницею довжини трубопроводу; $\sum Q_i$ – сума поперечних зосереджених сил; $q_{zp}(y(x))$ – реакція опори ґрунту на одиницю довжини трубопроводу; α – кут нахилу трубопроводу до горизонту. Вважаємо, що в непорушному стані реакція опори ґрунту рівна сумарній вазі трубопроводу, тому реакція опори є функцією від вертикального зміщення трубопроводу

$$q_{zp}(y(x)) = C \cdot y(x), \quad (4)$$

де C – коефіцієнт постелі ґрунту.

Система рівнянь розв'язана числовим методом сіток за методикою, наведеною в [7] для ділянки магістрального газопроводу діаметром 1420 мм, товщиною стінки 14 мм, загальний вигляд якої наведено на рис. 1.

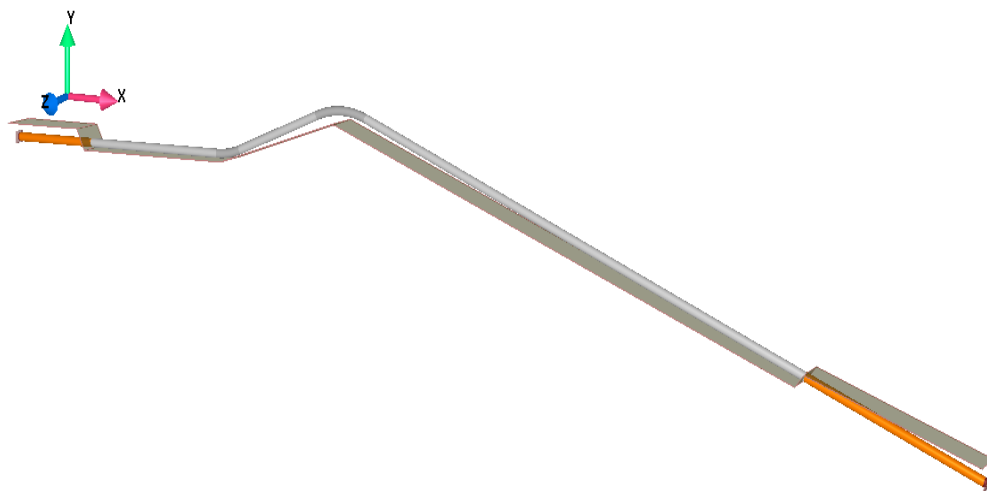


Рис. 1. Загальний вигляд трьохмірної моделі ділянки магістрального газопроводу

Довжина аналізованої ділянки складає 400 м. Ділянка, яка розраховується, проходить у пересіченій місцевості із максимальною різницею висот 30 м.

Результуючі переміщення, розраховані за методикою [7], зведені до табл. 1 і проілюстровані на рис. 2.

Як видно з результатів аналізу напружень у стінці труби при зміні температури трубопроводу та звільнення його ділянки від ґрунту у стінці труби можуть виникати напруження, які наближаються до розрахункового опору сталі так, як це отримано для вузла 4. При цьому, вертикальне переміщення трубопроводу в цій точці складає всього близько 2,5 м. Без інструментального контролю геодезичної групи ступінь небезпеки такого переміщення трубопроводу оцінити вкрай складно.

Таблиця 1. Переміщення за результатами розрахунку напружено-деформованого стану ділянки трубопроводу

Номер вузла згідно рисунок 2	Переміщення точок осі трубопроводу, (см)	
	в поздовжньому напрямку	в поперечному вертикальному напрямку
1	0	0
2	7	1
3	12.6	-14.9
4	-8.8	243.2
5	0	0
7	-0.1	0
8	-0.1	0
9	6.5	1

Таблиця 2. Напруження за результатами розрахунку напружено-деформованого стану ділянки трубопроводу

Номер вузла згідно рисунок 2	Згинні напру- ження (Па)	Розрахунковий опір сталі труби згідно сортаменту, (Па)	
		R1	R2
1	-1.38e+008	1.92e+008	2.35e+008
2	-1.13e+008		
3	-1.48e+008		
4	-2.18e+008		
5	-1.55e+008		
7	-1.55e+008		
8	-1.55e+008		
9	-1.13e+008		

Таким чином, на нашу думку, наведені аргументи підтверджують необхідність саме геодезичного контролю у шурфах за положенням трубопроводів, особливо перед розкриттям ділянок без зупинки транспортування продукту у пересіченій місцевості. При цьому інтервали розробки шурфів достатньо призначати згідно вимог нормативного документу [1]. Під час же капітального ремонту без зміни положення трубопроводу супровідний геодезичний контроль необхідно регламентувати спираючись на теоретичне дослідження можливих граничних станів трубопроводу внаслідок його згину із радіусом згину меншим критичного[5].



Рис. 2. Переміщення трубопроводу внаслідок його розкриття

Література

1. Магістральні газопроводи. Лінійна частина. Капітальний ремонт: ВБН В.3.1-00013741-08:2008 – [чинний від 2008-09-25]. – Київ: Мінпаливенерго України, 2008. – 168 с. (Відомчі будівельні норми).
2. Instruments and Accessories for Construction and Surveying. Catalogue 2005/2006. Leica Geosystems. [Електронний ресурс]. Режим доступу - ftp://v020028.home.net.pl/Catalogue_2005_en.pdf
3. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов [Текст]: учебное пособие / [Л.И. Быков, Ф.М. Мустафин, С.К. Рафиков и др.]. – Санкт-Петербург: Недра, 2006. – 824 с. – ISBN 5-94920-038-1.
4. Мельниченко Ю.Г. Методика розрахунку вертикальних зміщень трубопроводу під час переізоляції в гірській місцевості / Ю.Г. Мельниченко // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2012. – №2(32). – С. 201-204.
5. Бородавкин П.П. Сооружение магистральных трубопроводов [Текст]: учебник для вузов / П.П. Бородавкин, В.Л. Березин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 471 с.
6. Справочник по проектированию магистральных трубопроводов / Под ред. А. К. Дерцакяна. – Л.: Недра, 1977. – 519 с.
7. Мельниченко Ю.Г. Методика розрахунку вертикальних зміщень трубопроводу під час переізоляції в гірській місцевості / Ю.Г. Мельниченко // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2012. – №2(32). – С. 201-204.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 26.12.2014 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Грудзом В.Я.,
к.т.н. Костівим В.В. (м. Івано-Франківськ)*

**GROUND OF CHOICE OF METHOD OF LEVELING
OF OVERHEAD FORMATIVE OF MAIN GAS PIPELINES DURING
CONDUCTING OF THEIR MAJOR REPAIRS****G. G. Melnichenco, Y. G. Melnichenco**

*Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivs'k, Carpathians str., 15;
ph. +380 (342) 72-71-38; e-mail: gmelnychenko@nung.edu.ua,
ymelnychenko@nung.edu.ua*

The emergency change of dimensional position of main gas pipeline during its trenching was described. Analysis of researches devoted to the problem of changing the dimensional position of main gas pipeline during its overhaul was provided. The mathematical model of pipeline stress-strained state description and the method of its calculation were proposed. The results were got and its analysis was provided. The necessity of leveling procedure was grounded.

Key words: *main gas pipeline, leveling procedure, stress-strained state, changing of the dimensional position*