

УДК 528.48

д.т.н., професор Чибіряков В. К.,
к.т.н., проф. Староверов В. С., Нікітенко К. О.
Київський національний університет будівництва і архітектури

ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗСУВНИХ ДІЛЯНОК МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Розглянуто і проаналізовано існуючі методи Впливу геологічних процесів на магістральні трубопроводи та методи розрахунку точності геодезичних робіт при проведенні моніторингу лінійних споруд. Запропоновано рекомендації щодо підвищення точності виконання геодезичних робіт в небезпечних геологічних умовах.

Ключові слова : магістральний трубопровід (МТ), деформація трубопроводу, геодезичний моніторинг, зсув.

Постановка проблеми. При експлуатації магістральних трубопроводів встановлено, що аварії концентруються в межах певних ділянок трубопроводів і звичайно повторюються в одних і тих же місцях.

Магістральні трубопроводи від місця видобутку газу до споживача перетинають значну кількість схилових ділянок з нестійкими ґрунтами. При активізації зсувного масиву в межах газового коридору вплив ґрунтових мас на підземні трубопроводи неминучий, обумовлений зсувними та ерозійними процесами, що призводять до зміни напружено-деформованого стану, як наслідок порушення міцності трубопроводу, і в кінцевому підсумку, виникненню аварійних ситуацій.

Тому створення єдиної методики з обстеження та діагностики робочого стану магістральних трубопроводів на ділянках з зсувними явищами та розробка інженерних заходів, що забезпечують безпечну експлуатацію трубопроводу, є актуальним завданням.

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз існуючих геодезичних методів спостереження за деформаціями магістральних трубопроводів, що підвищать надійність роботи трубопровідної системи, яка тривалий час перебуває в експлуатації, в результаті обліку навантажень, пов'язаних з впливом ґрунтових мас.

Виклад основного матеріалу. Відмінною рисою магістральних трубопроводів є масштабність і відмінність природно-геологічних умов експлуатації. Трубопроводи випробовують на собі різні механічні та теплові навантаження як з боку протікаючих через них середовищ, так і від самих трубопровідних пристроїв які повинні витримувати ці навантаження без небезпечних деформацій і руйнувань протягом всього терміну своєї роботи.

Трубопровід, що знаходиться в зсувному масиві, піддається силовому впливу ґрунту і сам пересувається разом з ним. При певних умовах можливі руйнування труб на ділянках зсуву.

Однак далеко не кожна небезпечна ділянка може стати причиною аварії. Відомі випадки багаторічної нормальної експлуатації небезпечних ділянок трубопроводів. Це говорить про те, що забезпечити нормальну роботу трубопроводів неможливо без детальних досліджень напружено-деформованого стану на небезпечних ділянках і об'єктивних методів контролю, за їх станом і динамікою. Отже, визначення параметрів фактичного стану магістральних трубопроводів в період експлуатації, точний аналіз результатів для створення достовірної моделі в реальних умовах і прийняття правильного рішення є дуже актуальними питаннями, що мають важливе значення.

Досвід експлуатації підземних трубопроводів показує, що в будь-яких кліматичних умовах деформація трубопроводу може бути викликана недостатньо великим радіусом природного вигину на криволінійних ділянках.

Надійність роботи трубопровідних систем в значній мірі залежить від рівномірного прилягання трубопроводів до ґрунтової основи. Аналіз відмов у роботі трубопроводів свідчить, що аварійний стан виникає у багатьох випадках на тих ділянках, де не виконуються необхідні вимоги. Наявність пустот під трубопроводами призводить до перерозподілу діючих на нього сил, втрати міцності і зламів.

Після аналізу причин пошкоджень трубопроводу, викликаних змінами його положення, для збільшення експлуатаційної надійності трубопроводу рекомендуються наступні заходи: використання оптимальних радіусів вигину на криволінійних ділянках; суворе дотримання проектних відміток заглиблення, розрахунок оптимального висотного положення трубопроводу великого діаметра при сполученні з рельєфом за рахунок природної гнучкості конструкції і з використанням кутових поворотів у вертикальній площині; правильний вибір створу переходу з застосуванням аерометодів; систематичні геодезичні спостереження за складними ділянками трас трубопроводів у процесі будівництва та експлуатації; визначення геодезичними методами деформації трубопроводів великого діаметру при різних схемах прокладки, температурних умовах і режимах експлуатації.

Постановка геодезичних спостережень за деформаціями трубопроводів вимагає певної геодезичної основи на трасі на період його експлуатації. Практично на діючих трубопроводах немає такої опорної геодезичної мережі, яка за місцем розташування і своєї точності дозволила б вести зазначені спостереження.

Відповідно до інструкції з інженерних вишукувань для лінійного будівництва (СН 234-62, табл. 1), на 1 км висотного ходу при вишукуваннях траси трубопроводу гранична похибка перевищення може становити 30 см, тобто $300\sqrt{L}$, мм [1].

Планове положення траси магістрального трубопроводу визнається шляхом нанесення її на аркуші карти масштабу 1:25000 або 1:50000 за вимірними кутами і довжинами ліній від найближчих топознаків.

На підставі інструкції СН 234-62 геодезичні ходи вишукань трас трубопроводів у плановому і висотному відношенні прив'язуються до опорних пунктів державної або відомчої мережі, як правило, при розташуванні їх в смузі інструментальної зйомки уздовж траси, тобто в смузі шириною 500-700 м.

Для забезпечення систематичних геодезичних спостережень за деформацією трубопроводу створюється планово-висотна геодезична основа і забезпечується необхідна точність геодезичних робіт при інженерних вишукуваннях трас трубопроводів, а замовник забезпечує збереження геодезичних знаків після будівництва.

Постановка натурних геодезичних спостережень за деформаціями трубопроводу за розрахунками складає 0,2% вартості будівництва та проектування споруди і буде сприятиме підвищенню надійності роботи трубопровідної системи.

Для забезпечення надійності магістральних трубопроводів, особливо великих діаметрів і підвищеного тиску (7,5-12 МПа), на складних ділянках місцевості (переходах через водні перешкоди, зсувних і заболочених ділянках, в районах підробки гірничими виробками та інше) рекомендується для виконання спостережень за деформаціями створювати планово-висотну локальну геодезичну мережу. Схема і точність геодезичної мережі і методика спостережень визначаються розміром досліджуваної ділянки, протяжністю небезпечної ділянки в деформаційному відношенні. При дослідженні деформацій трубопроводів використовується планова геодезична основа, створена при виконанні топографо-маркшейдерської зйомки [2].

Висотною геодезичною основою служить нівелірний хід III класа, прокладений по пунктах планової геодезичної основи. Геодезична прив'язка трубопроводу до пунктів планово-висотної основи проводиться традиційними методами.

Особливу увагу при спостереженні за деформаціями магістральних трубопроводів приділяється зсувним ділянкам. Основні сейсмічні небезпеки, які здійснюють безпосередній вплив на трубопровід, пов'язані або з впливом сейсмічних хвиль, або зі зсувами ґрунту. Зсуви ґрунту можуть бути наслідком розломів або зсувних явищ і надавати більш істотний вплив на трубопроводи,

ніж сейсмічні хвилі. При проектуванні трубопровідних систем мають бути враховані всі можливі сейсмічні небезпеки. Деформація трубопроводу не повинна перевищувати допустимих значень, що визначаються за формулою [3]:

$$\varepsilon_{\text{сейсм}} + \varepsilon_{\text{експ}} \leq \varepsilon_{\text{допуст}}, \quad (1)$$

де $\varepsilon_{\text{допуст}}$ - допустима деформація трубопроводу, %;

$\varepsilon_{\text{сейсм}}$ - деформація трубопроводу через сейсмічної небезпеки, %;

$\varepsilon_{\text{експ}}$ - експлуатаційна деформація трубопроводу (%), що дорівнює $E_p + E_t + E_{\text{нав}}$ (де E_p - деформація трубопроводу, викликана внутрішнім тиском, %; E_t - деформація трубопроводу, через температурні зміни, %; $E_{\text{нав}}$ - деформація трубопроводу від зовнішніх навантажень, %).

Основна мета спостережень полягає у своєчасному виявленні активізації зсувних явищ - ще на стадії підготовки зсуву шляхом фіксації мікропереміщень і деформацій поверхні схилу. Прийняття протизсувних заходів допомагає запобігти зсув і пов'язані з цим наслідки.

Наглядова система на станції повинна включати опорні знаки для спостережень за динамікою зсувних процесів, а також марки для визначення переміщень трубопроводу, які найчастіше є залізобетонними паліями, що незначно виступають над поверхнею землі.

Дослідження динаміки зсувних процесів в загальному випадку встановлюється на підставі визначеної за результатами динамічного прогнозування швидкості деформації v за формулою [4]:

$$t = \frac{10\sigma}{v}, \quad (2)$$

де t - інтервал часу між спостереженнями; σ - стандарт визначення деформації; v - швидкість руху зсуву, що визначається :

$$V = \frac{\gamma_{\text{цільність}}}{2\eta} H^2 (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi), \quad (3)$$

де φ - кут внутрішнього тертя зсуву ґрунту; η - коефіцієнт зчеплення ґрунту (динамічна в'язкість); H - глибина зсуву; α - кут нахилу схилу.

Аналіз формули (3) дає можливість диференційовано підходити до визначення деформації зміни напруги в трубопроводі. Отже, по впливу зсувних мас ґрунту на трубопровід, можна визначити мінімальну довжину в зсувному масиві, при якій можлива поява критичних напружень.

Врахування напружено-деформованого стану ґрунтового масиву дає можливість більш детально визначити навантаження на трубопровід. Тому, одним з найважливіших питань в теорії напруженого стану ґрунтів є схематизація міцнісних та деформаційних властивостей ґрунту таким чином, щоб можна було досить чітко скласти розрахункову модель ґрунту.

Існують розрахункові моделі ґрунту різної складності, основною з яких є оцінка несучої здатності (міцності і стійкості) ґрунтів. Враховуючи факт деформування ґрунтів, завдання розрахунку НДС трубопроводу вирішується за допомогою моделювання спільної системи «трубопровід - масив ґрунту». Тобто необхідно розглянути по-перше, чисельне моделювання опору масиву ґрунту при переміщенні трубопроводу, по-друге, аналіз реакції масиву при використанні різних фізичних моделей ґрунту, по-третє, порівняти результати чисельного моделювання з інженерними методами оцінки взаємодії трубопроводу та масиву ґрунту.

Програму спостережень встановлюють у кожному конкретному випадку, виходячи з характеру завдання, часу на її, рішення та швидкості деформації.

Результати таких спостережень дозволяють оцінити динаміку зсувних явищ, визначити стадію руху масиву, розподілення в ньому областей розтягувань і стиснень.

При дослідженні динаміки переміщень трубопроводу в першу чергу необхідно визначити збільшення стрілки прогину трубопроводу на ділянці. Визначити викликане деформацією зміни напруги в трубопроводі можна за формулою [5]:

$$m_{\sigma} = \frac{\pi^2 E f m_f}{2l^2}, \quad (4)$$

де E - модуль пружності, рівний $2,1 \cdot 10^5$ МПа.; f - прогин трубопроводу; l – довжина ділянки зсуву; $m_f = t \cdot v$ (t - частота спостережень; v - швидкість руху зсуву).

Аналіз формули (4) дає можливість виділити ділянку або хоча б профільну лінію, спостереження на яких повинні проводитися з максимально можливою точністю і частотою.

При розміщенні геодезичних знаків доцільно застосовувати типову схему, яка дозволяє використовувати єдину методику спостереження на різних ділянках траси. При цьому спрощуються організація, виробництво та обробка спостережень. Однак типова схема повинна бути досить гнучкою і оптимізувати комплекс робіт на конкретній ділянці.

Характерна схема мережі на зсувній ділянці траси, як правило, включає марки, встановлені на трубопроводі, і кілька оползневих знаків, які закладаються в характерних напрямках по лініях падіння зсувного схилу. Окрім можливості найбільш повного вивчення закономірності зсувних процесів, закладка знаків на профільних лініях спрощує знаходження старих, що важливо, оскільки забезпечити збереження зовнішнього оформлення знаків в районі виробництва ремонтних і протизсувних робіт неможливо.

Висновок. В даний час актуальним завданням є розробка методики виконання геодезичного контролю технічного стану магістральних трубопроводів, яка заснована на визначенні напружено-деформованого стану трубопроводів в зсувному масиві. Геодезичний контроль дозволяє визначити місця максимально допустимих напружень, а також для кожної ділянки трубопроводу визначити можливі характеристики деформацій. Отримані в результаті такого рішення дані дозволяють обґрунтовано вибрати місця розташування контрольних марок та визначити необхідну точність вимірювань і судити про стан будівельної конструкції і споруди в цілому на момент вимірювань.

Література

1. СНиП 2.05.06-85*. Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы.
2. Субботин И. Е. Инженерно-геодезические работы при проектировании, строительстве и эксплуатации магистральных нефте-газопроводов. – Москва. 1986. - 136с.
3. Рудаченко А. В. Исследование напряженно-деформированного состояния трубопроводов. - Томск: Из-во Томского политехнического университета, 2011. - 136с.
4. Бородавкин П. П., Березин В. Л. Сооружение магистральных трубопроводов. Москва, "НЕДРА".1977. - 401с.
5. Буряк К.Е. Рабочие формулы фотограмметрического метода измерения смещений реперов профильных линий. //Геодезия, картография и аэросъёмка, вып. 30. – К.: 1979. - с. 171-179.

Анотация

Рассмотрены и проанализированы существующие методы влияния геологических процессов на магистральные трубопроводы и методы расчета точности геодезических работ при проведении мониторинга линейных сооружений. Предложены рекомендации относительно повышения точности выполнения геодезических работ в опасных геологических условиях.

Annotation

Reviewed and analysed the existing methods of geological processes impact on the pipelines and methods of calculation precision of geodetic work during the monitoring of linear structures. Proposed recommendations for improving the accuracy of geodetic work in hazardous geological conditions.