УДК 528.52

МОНІТОРИНГ ПОЛОЖЕННЯ ОСІ ТРУБОПРОВОДУ

Ю.Й. Стрілецький

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська 15, м. Івано-Франківськ, 76019, тел. (803422)4-60-77

Описано пристрій і методику визначення взаємного просторового положення осі трубопроводу. Представлена методика дозволяє проводити оперативні вимірювання положення осі підземного трубопроводу і представляти їх в тривимірних координатах.

Описано устройство и методику определения взаимного пространственного положения оси трубопровода. Представленная методика позволяет проводить оперативные измерения положения оси подземного трубопровода и представлять их в трёхмерных координатах.

There is described device and method determination of spatial orientation axis of underground pipeline. The presented method was allow fastest measuring of spatial orientation axis of underground pipeline and represent it in 3D.

Безаварійна експлуатація трубопровідного транспорту є важливою частиною економіки нашої держави. Аварії на магістральних газопроводах в останні роки спричинили значні економічні збитки. Тому важливо постійно проводити технічну діагностику наявних трубопровідних мереж. Тільки комплексний підхід до технічної діагностики дозволить знайти дефект металу підземного трубопроводу і знизити ймовірність його появи. Технічна діагностика потрібна підприємству не тільки як обов'язкове мероприємство, а саме як необхідний в системі технічного обслуговування процес, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати за рахунок попередження аварій.

Більшість трубопроводів знаходиться в грунті. Грунти знаходяться в постійному русі, що призводить до зміщень відносно планового положення трубопроводу. Відхилення осі трубопроводу від проектного положення приводять до небезпечного напружено-деформованого стану. Тому важливо його контролювати. Для цього проводять візуальне та аеровізуальне обслідування, а також прямі вимірювання напружено-деформованого стану трубопроводу різними методами.

Для виявлення ділянок, де трубопровід змінює своє положення з часом, проводять моніторинг геометричного положення осі трубопроводу. З цією метою будують просторову лінію, що проходить по осі трубопроводу. В геодезичній практиці використовується трилатерація, тобто вимірювання на місцевості трьох сторін трикутника, вершинами якого є точки, що їх треба описати.

При контролі положення трубопроводу за допомогою геодезичних методів необхідно вирішити наступні завдання: пошук труби, визначення точного висотного положення труби та вимірювання координат досліджуваних точок. Фактичне положення труби часто може суттєво відрізнятися від проектного. Тому виявлення труби в заданому коридорі проводиться найперше. Пошук осі трубопроводу у випадку, якщо по його стінках може протікати електричний струм, здійснюється трасошукачем. Визначення глибини прокладання трубопроводу, особливо в тому випадку, коли декілька труб розташовані поряд, а на поворотах вони можуть схрещуватися і проходити одна під другим, використовують спеціальні прилади. Глибина розташування труби може змінюватися в процесі укладання чи з часом. Наприклад, при переході через водойму труба може замулюватися чи відкриватися. Операцію із пошуку осі труби і вимірювання глибини її залягання можна об'єднати і проводити одночасно[1].

Вимірювання взаємного розташування точок на поверхні землі вздовж осі трубопроводу здійснюється за допомогою

геодезичних приладів [2]. Враховуючи глибину залягання трубопроводу і координати точок на поверхні землі, визначають координати точок безпосередньо на осі трубопроводу.

Для визначення положення осі трубопроводу проводять вимірювання положення реперних точок, вибраних на трубопроводі. Така методика передбачає вибір ділянки із підвищеною небезпекою зсувів, шурфування із встановленням штирів від поверхні труби до поверхні грунту (для позначення глибини залягання осі трубопроводу). Подальші вимірювання проводять за допомогою далекоміра і нівеліра. Зважаючи на велику довжину трубопровідної мережі, визначення положення осі трубопроводу на місцевості має проводитися оперативними методами.

Для визначення просторового положення осі трубопроводу в грунті використовується вимірювальна станція, яка визначає положення підземного металевого трубопроводу по відношенню до точки, що знаходиться на вершині цієї станції (рис.1).

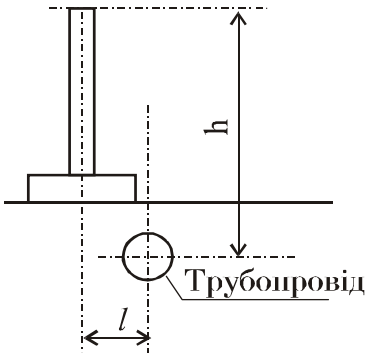


Рисунок 1 – Спосіб встановлення вимірювальної станції по відношенню до трубопроводу

Використовуючи паралаксний метод визначення глибини залягання, зменшується похибка вимірювання і збільшується оперативність проведення вимірювання, оскільки нема необхідності точного позиціонування станції відносно трубопроводу.

Вимірювання віддалі між станціями проводять за допомогою скануючого лазерного променя. Пристрій, що розгортає промінь, встановлюється на вершині станції а оптичні приймачі вмонтовано у станцію (рис.2). За характером розподілу світлової плями, утвореної променем, визначається віддаль.

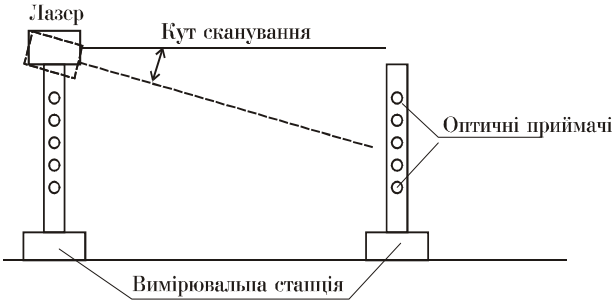


Рисунок 2 – Спосіб визначення віддалі між вимірювальними станціями

Таким чином, вимірювальна станція, визначивши координати осі трубопроводу в грунті і віддаль між станціями, визначає віддаль d між точками на осі трубопроводу (рис.3).

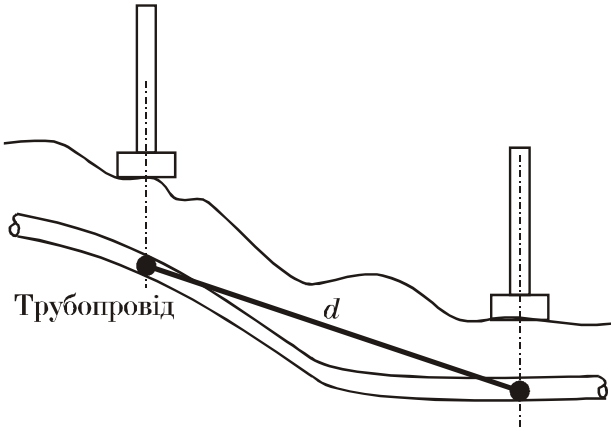


Рисунок 3 – Вимірювання віддалі між точками на трубопроводі

На відміну від трилатерації, яка проводиться в горизонтальній площині, для опису точок на осі трубопроводу необхідно вимірювати додатково четверту віддаль. Таким чином визначаються розміри тетраедра, вершини якого знаходяться на осі трубопроводу.

Довжини трьох ребер тетраедра, вершинами якого є точки на осі трубопроводу з 1 по 4, вимірюються із однієї точки (рис. 4, *а*). Так отримують віддалі між вершинами 1-2, 1-3, 1-4. Для усунення варіації в трактуванні результатів вимірювання (рис. 4, *б*), віддалі записують починаючи із самої лівої точки і за годинниковою стрілкою. За характером розподілу світлової плями лазерного променя аналізується вище чи нижче знаходиться точка 4 по відношенню до площини, в якій лежать точки з 1 по 3.

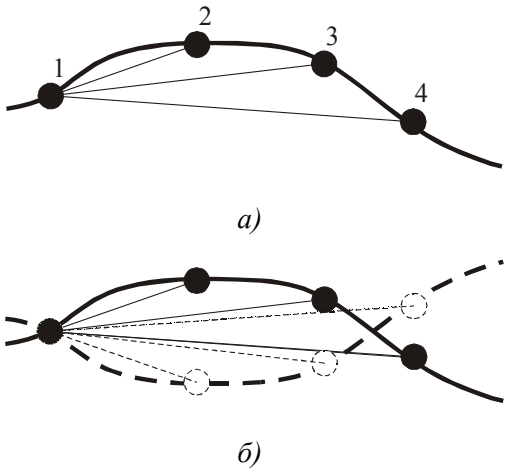


Рисунок 4 – Порядок вимірювань для чотирьох точок і варіанти трактування результатів

Далі переміщуються в наступну точку і повторюють вимірювання, отримуючи наступні віддалі 2-3, та 2-4 і 2-5, що буде використано в наступному тетраедрі (рис.5).

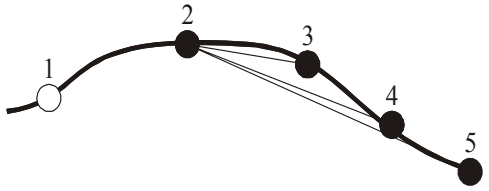


Рисунок 5 – Подальші вимірювання віддалей

Перемістивши вимірювання в точку 3, можна отримати віддаль 3-4, необхідну для опису тетраедра з вершинами 1-2-3-4, а також віддалі для наступного тетраедра із вершинами 2-3-4-5.

Отримані в польових умовах віддалі представляють у виді трьох ортогональних координат після певної обробки. Для цього необхідно знайти координати вершин тетраедра за довжинами його сторін. На рис.6 представлено перший тетраедр, у якого суцільними лініями позначено лінійну апроксимацію осі трубопроводу, а штриховою лінією позначено допоміжні віддалі.

Приймемо, що точка 1 знаходиться в початку координат з координатами (0, 0, 0). Точка 2 знаходиться на осі y і має координати (0, d_1, 0), а точка 3 лежить в площині, заданій осями x, y. Точка 4 знаходиться десь у просторі.

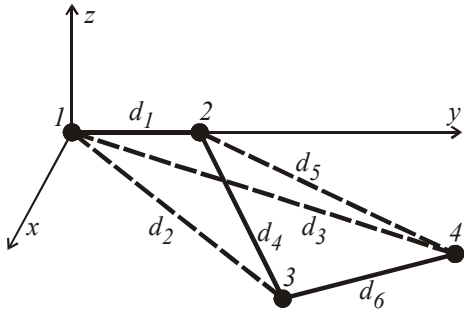


Рисунок 6 – Визначення координат точок тетраедра

Спершу знайдемо координати точки 3, яка разом із точками 1 і 2 лежить в площині, заданій осями x та y (рис. 7), за допомогою залежностей:

$$y_3 = \frac{d_2^{\,2} + d_1^{\,2} - d_4^{\,2}}{2 \cdot d_1}, \qquad (1)$$

$$x_3 = \pm\sqrt{d_2^{\,2} - y_3^{\,2}}\,. \qquad (2)$$

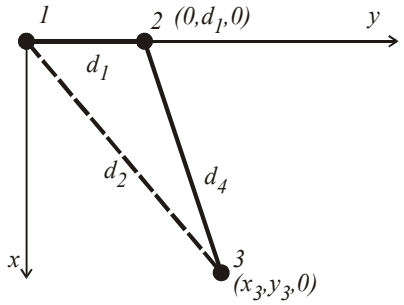


Рисунок 7 – Визначення координат точки 3

Знак в (2) вибирається в залежності від черговості знімання значень на місцевості. Якщо точка 2 знаходиться лівіше, то x_3 додатнє, а інакше – від'ємне.

Маючи координати трьох точок тетраедра, шукаємо четверту.

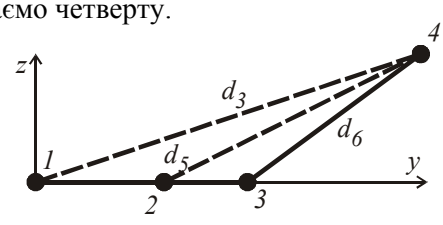


Рисунок 8 – Визначення координат четвертої точки

Для цього складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} x_4^2 + y_4^2 + z_4^2 = d_3^2, \\ x_4^2 + (d_1 - y_4)^2 + z_4^2 = d_5^2, \\ (x_3 - x_4)^2 + (y_3 - y_4)^2 + z_4^2 = d_5^2. \end{cases} \quad (3)$$

Розв'язком системи (3) будуть залежності:

$$y_4 = \frac{d_1^2 + d_3^2 - d_5^2}{2d_1}, \quad (4)$$

$$x_4 = \frac{1}{2}\frac{x_3^2 - d_6^2 + y_3^2 - 2y_3y_4 + d_3^2}{x_3}, \quad (5)$$

$$z_4 = \pm\sqrt{d_3^2 - y_4^2 - x_4^2}. \quad (6)$$

Далі знаходимо координати вершин наступного тетраедра, утвореного вершинами 2-3-4-5. Для цього зміщуємо початок координат в точку 2 шляхом віднімання від знайдених координат по осі y відстань d_1. Потім суміщуємо ребро між вершинами 2 та 3 із віссю y шляхом повороту навколо вершини 2 всіх знайдених координат. Після цього повертаємо знайдені координати так, щоб вершина 4 опинилася в площині, заданій осями *x*, *y*. Таким чином, модифікувавши знайдені координати, ми отримаємо тетраедр із вершинами 2-3-4-5, який орієнтований у нашій системі координат так, як раніше був орієнтований тетраедр із вершинами 1-2-3-4. Тому для визначення координат вершини 5 можна скористатися залежностями, отриманими для визначення координат вершини 4 тетраедра 1-2-3-4. Координати наступних точок шукають аналогічно.

Результати опису геометричного положення осі трубопроводу будуть інваріантні у просторі, оскільки вони будуть прив'язані до останніх вимірів, які знаходяться в початку координат нашої системи координат (рис.9).

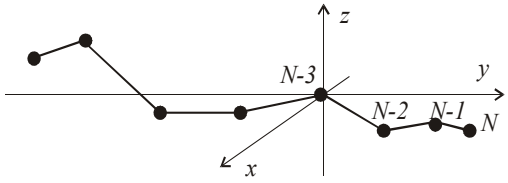


Рисунок 9 – Положення координатної осі після обробки результатів вимірювання і лінійної апроксимації осі трубопроводу

При аналізі відносних переміщень осі трубопроводу на локальній ділянці абсолютні координати, які прив'язані до геодезичної мережі, не є обов'язкові, оскільки досліджується відносне переміщення трубопроводу і проводиться зіставлення результатів вимірювань, проведених через певний проміжок часу на одній ділянці. Тому знайдені координати трансформуються таким чином, щоб перша і остання точка ділянки знаходилася на осі y, а друга точка лежала в площині, заданій осями *x*, *y* (рис.10). Положення точок наступних досліджень можуть і не співпадати. Початок і кінець досліджуваної ділянки трубопроводу вибирають так, щоб вони знаходилися в нерухомих грунтах для прив'язки до довжини досліджуваної ділянки.

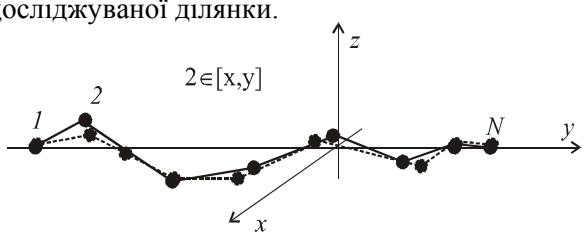


Рисунок 10 – Представлення результатів вимірювань, проведених через певний час для співставлення

Після того, як будуть знайдені координати всіх точок на осі трубопроводу, можна скористатися апроксимацією сплайнами для знаходження множини точок між знайденими вузлами. Апроксимацію лінії в тримірному просторі проводять по двох взаємно перпендикулярних площинах, заданих осями x, y та z, y.

ВИСНОВОК

Отримані результати можна використати для моделі, що описує напружено-деформований стан трубопроводу, або співставити із результатами наступних вимірювань для виявлення небезпечних переміщень трубопроводу в грунті.

Література

1. Стрілецький Ю.Й. Аналіз розподілу напруженості магнітного поля в результаті протікання струму в стінках підземних трубопроводів// Методи та прилади контролю якості. – 2007. – № 18. – С.36-40.

2. Инженерная геодезия. Учебник для вузов ж.-д. трансп./ А.А. Визгин, В.Н. Ганьшин, В.А. Коугия и др. Под ред. проф. Л.С. Хренова. – 2-е изд., перераб.и доп. – М.: Высш.шк., 1985. – 352с.

Рекомендована до друку Оргкомітетом 5-ої Міжнародної н/т конференції „Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазо-промислового обладнання", яка відбулася в ІФНТУНГ 02–05.12.2008р.