

МЕХАТРОННИЙ КОМПЛЕКС ДІАГНОСТУВАННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

С.П. Шевчук, С.В. Зайченко, О.О Вовк, В.В. Вапнічна

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна

Abstract. To diagnose pipeline stresses, it is proposed to use a mobile mechatronic complex. An analysis of techniques for the positioning of mechatronic systems revealed that in order to determine position of the complex using the microelectronic systems, it is necessary to employ six components: three displacements Δx , Δy , Δz and three Euler angles $\Delta \varphi$, $\Delta \psi$, $\Delta \theta$. These parameters allowed us to establish a change in the position of the complex and pipeline.

1. Вступ. Сучасний етап розвитку засобів визначення властивостей і діагностування геотехнічних об'єктів характеризується застосуванням останніх досягнень механіки, інформаційних технологій, електротехніки і теорії керування. Застосування таких напрямів розвитку науки і техніки в поєднанні з географією і геологією дозволило створити якісно нові напрями технічного прогресу: геоінформатику (геоінформаційні системи), телеметрію свердловин, внутрішньотрубну дефектоскопію та ін. Дані системи представляють собою інтегровані комп'ютерні системи, що знаходяться під управлінням спеціалістів-аналітиків, які здійснюють збір, зберігання, маніпулювання, аналіз, моделювання та відображення просторово-співвіднесених даних [1]. З причини наявності характерних ознак, таких як ІТ-технології, електронні системи, системи керування, різні типи датчиків, механічних, оптичних та інших систем збору інформації, дані системи можливо класифікувати як мехатронні [2]. З метою створення автоматизованих систем діагностування трубопроводів виникає необхідність створення вітчизняного мехатронного внутрішньотрубного комплексу багатопільового призначення. Основним призначенням даного комплексу є встановлення дійсного положення трубопроводів (трасування). Встановлення дійсного положення трубопроводу дозволяє встановити дефекти, пов'язані із зміною проектного положення трубопроводу, його деформації і напруження. Подібні роботизовані геоінформаційні комплекси успішно зарекомендували себе в дослідженнях, при яких присутність людини ускладнена: розвідування вулканів, свердловин, пустель, морського дна, нафто-газосховищ та інші [3–7].

Принцип дії мехатронного комплексу для діагностування трубопроводів подібний засобам діагностування нафтопроводів – внутрішньотрубним профілометрам, які містять одометр, спайдер, блок живлення, датчик повороту труби і ущільнюючі манжети. Пряме застосування внутрішньотрубного профілометра при діагностуванні газопроводів неможливе з ряду причин. Переміщення діагностичних комплексів в більшості випадків відбувається за рахунок енергії потоку продукту, що транспортується. Позиціонування датчиків відносно осі трубопроводу відбувається шляхом безпосереднього контакту конічних ущільнюючих манжет з внутрішньою периферією контуру [8]. Також застосування внутрішньотрубних профілометрів даної конструкції накладає певні вимоги до трубопровідної арматури і радіусів повороту. Для переміщення діагностичного комплексу уздовж осі підземної споруди пропонується колісний привід візка, на якому розташовано комплекс датчиків з реєструючим обладнанням, що дозволить пересуватись комплексу самостійно. При русі уздовж трубопроводу відбувається реєстрація його положення. Для отримання дійсних даних відносно геометрії трубопроводу необхідне перетворення даних з врахуванням дійсного положення датчиків відносно початкової системи відліку. Для проведення перетворень, які б узгоджували вільний просторовий рух діагностичного комплексу з початковою системою відліку, необхідно розробити послідовність перетворень. Вони здійснюються на основі існуючих закономірностей позиціонування елементів мехатронних систем. Це дозволить визначати дійсний профіль внутрішнього контуру виробки з врахуванням особливостей геотехнічного моніторингу гірничої виробки. Тому створення алгоритму роботи

мехатронного комплексу для діагностування трубопроводу на основі аналітичних залежностей, які враховують зміну положення системи відносно початкової системи координат являється актуальною науковою задачею.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Одним з головних показників, які визначають належну надійність трубопроводів, являється дійсне положення трубопроводу. Встановлення різниці між проектним початковим станом трубопроводу і оперативними даними дозволяє контролювати, діагностувати і прогнозувати напружено-деформований стан споруди [9, 10]. В залежності від задач, що вирішуються, для знаходження дійсного положення використовується два види обладнання – наземне і внутрішньотрубне [11]. Використання наземних методів діагностування трубопроводів часто обмежено наявністю перешкод у вигляді наземних об'єктів [12]. В свою чергу внутрішньотрубне діагностичне обладнання розділяється за заповненням профілю трубопроводів на повнопрофільні і неповнопрофільні. Використання повнопрофільних діагностичних комплексів супроводжується застосуванням складної системи приводу, що зменшує можливість використання для складних ділянок і значно збільшує вагу [13, 14]. Для проходження складних ділянок трубопроводів використовують мобільні неповнопрофільні діагностичні комплекси [15]. Останні мають ряд переваг, які полягають у мобільності комплексів за рахунок малих габаритів і маси. Проте головним призначенням даних малогабаритних комплексів є телеінспекція і пошук дефектів, пов'язаних з несучільністю елементів конструкції трубопроводів.

Для отримання даних уздовж конструкцій використовують мобільні роботи з лазерними датчиками відстані, що дозволяють отримувати дані з високою швидкістю [3]. Для переміщення комплексу апаратури уздовж виробки серед можливих різних варіантів (гусеничної і пневмоколісної платформи), найбільшого призначення знайшли чотирьохколісні і шестиколісні [16]. Застосування пневмоколісних платформ дозволяє мінімізувати енергетичні витрати при переміщенні обладнання. Для визначення складнонапруженого стану прилеглих до контуру масивів необхідно визначити геометричні параметри системи. Для цього можливо використати 3-D карти [17]. Створення 2-D і 3-D карт здійснюється шляхом використання метода попарної реєстрації [18]. Це дозволить визначити положення, порівнюючи дані з декількох датчиків, в умовах, де неможливо використати систему глобальної навігації. Використання даних систем потребує використання апаратурної надмірності і застосування складних математичних перетворень для середовищ, які містять циклічні структури.

Особливу складність при визначенні положення мехатронних систем викликає визначення положення центра системи відліку (Δx , Δy , Δz) за показниками акселерометра шляхом подвійного інтегрування отриманих значень прискорень за часом [19-21]. В наслідок шумів і спотворень даних пов'язаних з вібрацією, зміною положення і таруванням датчика, що призводить до значної похибки вимірювань (до 20 м).

Спрощення системи збору і переробки інформації з підвищенням точності отриманих даних здійснюється шляхом використання сучасних мікроелектронних систем (можливо використавши залежності перетворювання координат точки в просторі при переході від різних систем координат: початкової і поточної).

3. Мета та задачі дослідження. Метою роботи є визначення алгоритму дії і створення промислово-експериментального зразка мехатронного комплексу діагностування магістральних трубопроводів для встановлення дійсного профілю підземної споруди, що дозволяє провести аналіз його напруженого стану у випадку зміни проектного положення.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні завдання:

- аналіз існуючих методів визначення геометричних параметрів трубопроводів;
- аналіз способів позиціонування елементів мехатронних систем;
- розробити основи функціонування мехатронного комплексу, що дозволять визначити задачі і область використання пристроїв даного класу;

4. Розробка головних підходів і алгоритму роботи геомехатронного комплексу для моніторингу внутрішньої поверхні підземної виробки. При русі діагностичного

комплексу уздовж трубопроводу виробки положення датчиків постійно змінюється внаслідок нерівності поверхні контакту колес. Площадка з розташованими датчиками відстані і гіроскопом, рухаючись зі швидкістю V , зміщується відносно початкового положення і повертається на кути навколо осей початкової системи координат OX , OY , OZ (рис. 1).

Для опису положення площадки комплексу в тривимірному просторі необхідно 6 параметрів. В якості параметрів, які описують положення площадки, обрано переміщення Δx , Δy , Δz і кути Ейлера $\Delta\phi$, $\Delta\psi$, $\Delta\theta$ (рис. 2).

Серед різноманітних систем кутів Ейлера, які описують орієнтацію тіла відносно початкової системи координат, обрано систему, вектори обертання якої колінеарні осям OX_0 , OY_0 , OZ_0 . Дані напрями обертання носять назву кутів крену ϕ , тангажу θ і ристання ψ . Перевага даної системи полягає у застосуванні сучасних мікроелектронних систем при контролі руху апаратів

Для усунення похибок, пов'язаних з використанням акселерометрів для визначення положення діагностичного (Δx , Δy , Δz), запропоновано використати дані гіроскопа і довжини шляху (траєкторії) L (рис. 2).

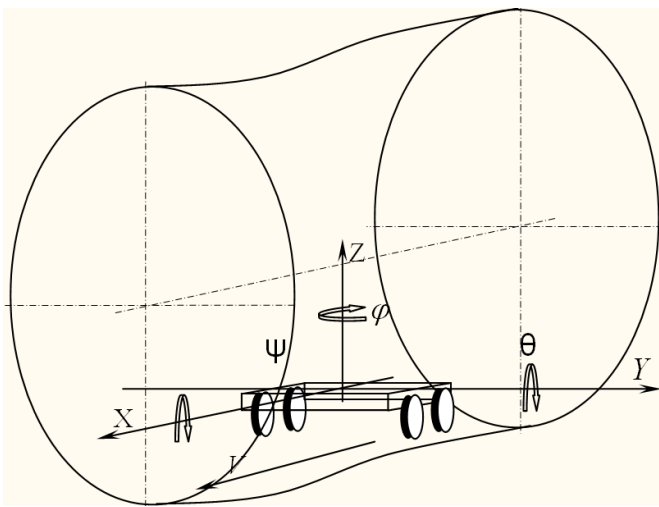


Рис. 1. Схема руху мехатронного комплексу

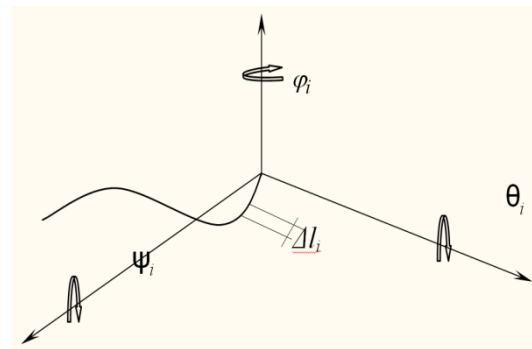


Рис. 2. Схема визначення положення мехатронного комплексу

Координати центра системи відліку Δx_n , Δy_n , Δz_n з певною точністю можливо представити як суму проекції елементарних переміщень Δl на осях OX , OY , OZ :

$$\begin{cases} \Delta x_n = \sum_{i=1}^n \Delta l \cos \Delta \theta_i \cos \Delta \phi_i, \\ \Delta y_n = \sum_{i=1}^n \Delta l \cos \Delta \phi_i \cos \Delta \psi_i, \\ \Delta z_n = \sum_{i=1}^n \Delta l \cos \Delta \theta_i \cos \Delta \psi_i, \end{cases}$$

де n – кількість кроків.

Отриманий масив даних представляє собою траєкторію руху діагностичного комплексу, яка у випадку забезпечення нижнього положення з врахуванням радіального зміщення буде відповідати трьохвимірній трасі трубопроводу.

Література

1. Koshkarev, A., Burkov, V. (1998). Neoynformatyka. Tolkovanye osnovnykh terminov. M.: NYS-Assotsyatsiya, 213s.
2. Ysyu, Kh., Ynouэ, Kh., Symoiama Y. (1988). Mekhatronyka. M.: Myr, 318 s.
3. Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2011). Introduction to autonomous mobile robots. MIT press.

4. Bares, J. E., & Wettergreen, D. S. (1999). Dante II: Technical description, results, and lessons learned. *The International Journal of Robotics Research*, 18(7), 621-649.
5. Durrant-Whyte, H., Majumder, S., Thrun, S., De Battista, M., & Scheding, S. (2003). A bayesian algorithm for simultaneous localisation and map building. In *Robotics Research* (pp. 49-60). Springer Berlin Heidelberg.
6. Parcheta, C. E., Pavlov, C. A., Wiltsie, N., Carpenter, K. C., Nash, J., Parness, A., & Mitchell, K. L. (2016). A robotic approach to mapping post-eruptive volcanic fissure conduits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 320, 19-28.
7. Zaichenko S. Development of a geomechatronic complex for the geotechnical monitoring of the contour of a mine working, S Zaichenko, V Shalenko, N Shevchuk, V Vapnichna - *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017
9. Filatov, AA, Nikonenko, AD, Veliyulin, II, Polyakov, VA, Alexandrov, DV, & Veliulin, EI (2015). Formation of the strained-deformed state of the pipeline underwater transition of MG at the repair stages by the method of "replanting". *The gas industry*, (S), 6-9.
10. Марущак, П. О., & Коноваленко, И. В. (2010). Измерение деформации материалов путем анализа цифровых изображений поверхности. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, 76(6), 55-61.
11. ВРД 39-1.10-026-2001. Методика оценки фактического положения и состояния подземных трубопроводов. – М.: ОАО “Газпром”, ООО “ВНИИГАЗ”, 2001. – 106 с.
12. Mitrokhin, M. Yu., Spirin, VA, & Alexandrov, VA (2008). In-line diagnostics of hard-to-reach parts of the linear part of the MG. *The gas industry*, (6), 72-74.
13. Егоров, И. Н., & Кадхим, Д. А. (2011). Применение мобильных роботов при внутритрубной диагностике трубопроводов с переменным поперечным сечением. *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело*, (3), 73-85.
14. Голубкин, И. А., & Щербатов, И. А. (2014). Система управления мобильным колесным роботом для внутритрубной инспекции газопроводов. *Информатика и системы управления*, (4), 129-140.
15. Voronchikhin, S. Yu., Samokrutov, AA, & Sedelev, Yu. A. (2016). Assessment of the technical condition of the technological pipelines of compressor stations of PJSC Gazprom using robotic scanners. *Scientific and technical collection of the News of Gas Science*, (3), 120-130.
16. Schmuck, P., Scherer, S. A., & Zell, A. (2016). Hybrid Metric-Topological 3D Occupancy Grid Maps for Large-scale Mapping. *IFAC-PapersOnLine*, 49(15), 230-235.
17. Yamanaka, S., & Morioka, K. (2012). Mobile robot navigation using hybrid simplified map with relationships between places and grid maps. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(22), 616-621.
18. Hradetskyi V., Veshnykov V., Kalynychenko S., Kravchuk L. (2001). *Upravliaemoe dvyzhenye mobylnykh robotov po proyzvolno oryentirovannym v prostranstve poverkhnostiam*. М.: Nauka, 360 s.
19. Liu, J., Zhong, L., Wickramasuriya, J., & Vasudevan, V. (2009). uWave: Accelerometer-based personalized gesture recognition and its applications. *Pervasive and Mobile Computing*, 5(6), 657-675.
20. Jang, I. J., & Park, W. B. (2003, October). Signal processing of the accelerometer for gesture awareness on handheld devices. In *Robot and Human Interactive Communication, 2003. Proceedings. ROMAN 2003. The 12th IEEE International Workshop on* (pp. 139-144). IEEE.
21. Kozlov A.V. , I. Y. Sazonov, N.B. Vavilova, N.A. Parusnikov. Calibration of an Inertial Measurement Unit on a Low-grade Turntable with Consideration of Spatial Offsets of Accelerometer Proof Masses / 20th St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, St. Petersburg, CSRI Elektropribor, 2013, pp.126-129.