

УДК 681.518:55:622

С.В. ЗАЙЧЕНКО (д-р техн. наук, доц.)

О.А. ВОБК (д-р техн. наук, проф.)

В.В. ВАПНІЧНА (канд. техн. наук, доц.)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, м. Київ

ОСОБЛИВОСТІ ГЕОМЕХАНІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВНУТРІШНЬОГО КОНТУРУ ВИРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОМЕХАТРОНОГО КОМПЛЕКСУ

Розроблено алгоритм процесу моніторингу внутрішнього контуру виробки, що дозволяє визначити геометрію виробки з врахування особливостей геомеханічного моніторингу. В основі алгоритму побудови профілю лежать залежності перетворення координат точки в просторі при переході від різних систем координат, які дозволяють врахувати відхилення геомехатронного комплексу контуру від прямолінійного руху в просторі. Відхилення геомехатронного комплексу від прямолінійного руху в просторі представлено у вигляді кутів крену φ , тангажу θ і рискання ψ , а також переміщень вектори яких колінеарні осям початкової системи координат.

Ключові слова: профілометр, стан кріплення, координати профілю, геомехатронні системи

Сучасний етап розвитку засобів визначення властивостей і діагностування стану 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 геоінформатику (геоінформаційні системи), телеметрію свердловин, внутрішньотрубну дефектоскопію та ін. Данні 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]. В загальному випадку данні системи можливо класифікувати, як мехатронні, з причини наявності всіх характерних ознак: ІТ-технології, електронні системи, системи керування, різні типи датчиків, механічних, оптичних та інших систем збору інформації [2]. Особливий інтерес с точки зору автоматизації вимірювання деформацій на поверхні гірничих виробок з метою створення автоматизованих систем геомеханічного моніторингу [3] викликає створення вітчизняного профілометра підземних виробок на основі багатоцільового геомехатронного комплексу. Подібні роботизовані геоінформаційні комплекси успішно зарекомендували себе в дослідженнях, при яких присутність людини ускладнена: розвідування вулканів, свердловин, пустель, морського дна, нафтогазосховищ та ін [4].

Принцип дії профілометра підземних виробок подібний засобам діагностування нафтопроводів – внутрішньотрубним профілометрам, які, як правило, містять одометр, спайдер, блок живлення, датчик повороту труби і ущільнюючі манжети. Пряме застосування принципу дії даної системи 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 [5]. Для переміщення діагностичного комплексу поздовж осі підземної споруди використано пневмоколісний привід візка, на якому розташовано комплекс датчиків з реєструючим обладнанням, що призводить до зміни положення відносно початкової системи координат і спотворенню даних. Для отримання дійсних даних відносно геометрії профіля виробки необхідне перетворення даних з врахуванням дійсного положення датчиків відносно початкової системи відліку. Для проведення перетворень, які б согласовували вільний просторовий рух діагностичного комплексу з початковою системою відліку потрібно на основі існуючих закономірностей позиціонування елементів мехатронних систем розробити послідовність перетворень, що дозволяє визначити дійсний профіль внутрішнього контуру виробки з врахування особливостей геомеханічного моніторингу.

Метою проведених досліджень є визначення алгоритму дії і створення промислово-експериментального зразка геомехатронного комплексу для встановлення дійсного профілю підземної виробки, що дозволить провести аналіз стану кріплення або обробки.

При русі геомехатронного комплексу поздовж виробки положення датчика постійно змінюється в наслідок нерівності поверхні підшови виробки. В загальному випадку площадка з розташованими датчиками відстані, гіроскопом і акселерометром рухаючись зі швидкістю V зміщується відносно початкового положення і повертається на кути навколо осей початкової системи координат OX , OY , OZ (рис. 1), що призводить до спотворення отриманих даних про профіль виробки. Після зупинки комплексу датчики відстані і кута повороту датчика відстані формують первинний масив $[\alpha', R']$ даних який описує в полярних координатах контур виробки відносно нового положення:

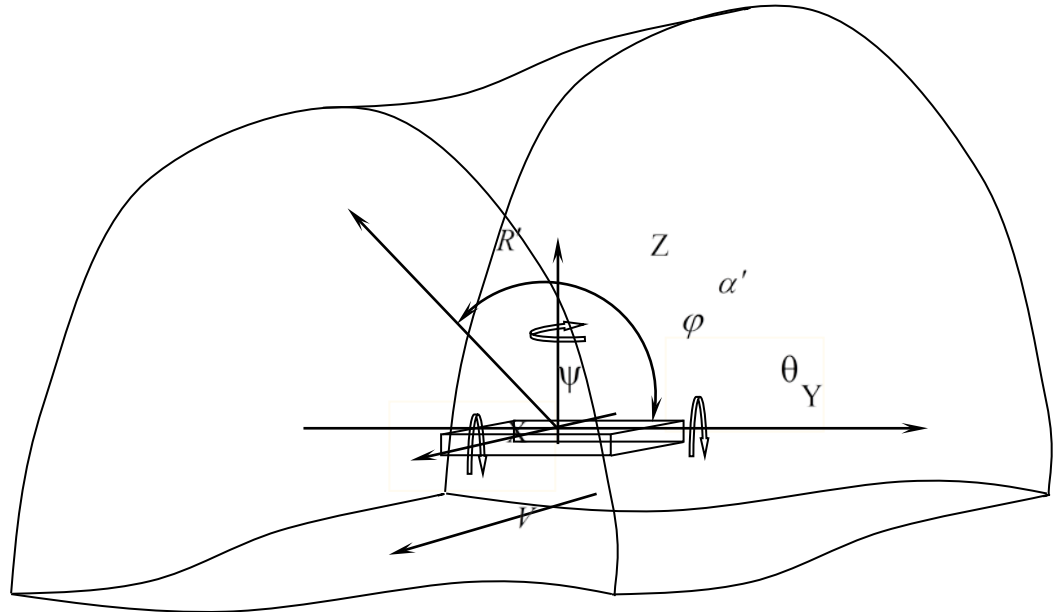


Рис. 1. Схема руху і збору даних геомехатронного комплексу

Для отримання координат профілю відносно початкових координат отримані данні перетворюють в декартові координати, перераховують з врахуванням нового положення площадки після чого можливе перетворення в полярні координати

$$[\alpha', R'] \rightarrow [X', Y', Z'] \rightarrow [X_0, Y_0, Z_0] \rightarrow [\alpha, R].$$

Для опису положення площадки комплексу в тривимірному просторі відносно початкової системи координат $OX_0Y_0Z_0$ необхідно 6 параметрів. В якості параметрів які описують положення площадки обрано переміщення Δx , Δy , Δz і кути Єйлера $\Delta\phi$, $\Delta\psi$, $\Delta\theta$ (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 . Данні напрями обертання носять назву кутів крену ϕ , тангажу θ і рискання ψ . Превага даній системи полягає у розповсюдженні її використання сучасними мікроелектронними системами при контролі руху апаратів [6, 7].

Внаслідок того, що датчик відстані R' знаходиться в точці O' і обертається навколо своєї осі, яка паралельна осі $O'X'$ всі значення лежать в площині $O'YZ'$:

$$x' = 0. \quad (1)$$

Перехід з полярної системи координат в декартову $[\alpha', R'] \rightarrow [X', Y', Z']$ з

врахуванням (1):

$$\begin{cases} x' = 0; \\ y' = R' \cos \alpha'; \\ z' = R' \sin \alpha', \end{cases} \quad (2)$$

де R' - відстань від осі обертання датчика до внутрішнього контуру; α' - кут повороту датчика.

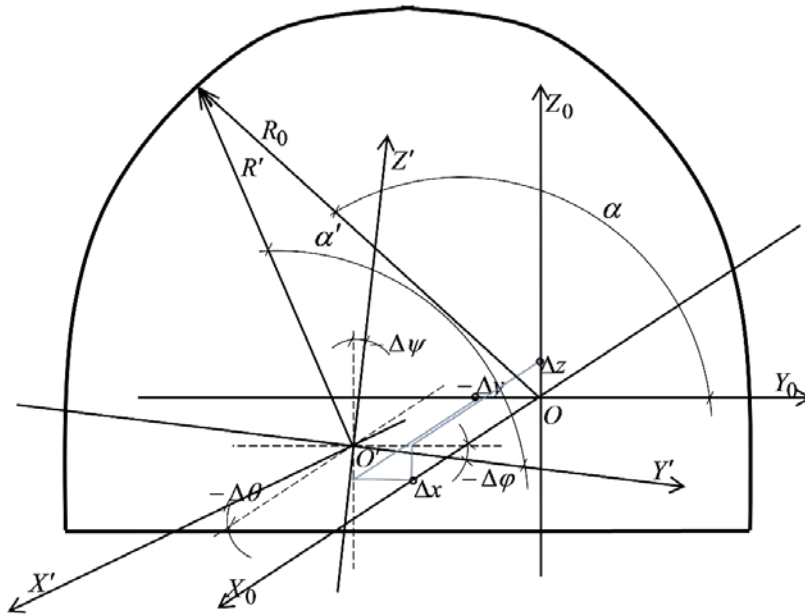


Рис. 2. Схема перетворення координат $[X', Y', Z'] \rightarrow [X, Y, Z]$

Перехід між системами координат $[X', Y', Z'] \rightarrow [X, Y, Z]$ можливо здійснити за допомогою системи залежності, яка враховує поступове переміщення і обертання [7]:

$$\begin{cases} x_0 = (\cos \Delta \varphi \cos \Delta \theta) x' + (\cos \Delta \varphi \sin \Delta \psi \sin \Delta \theta - \sin \Delta \varphi \cos \Delta \psi) y' + \\ + (\cos \Delta \varphi \sin \Delta \theta \cos \Delta \psi - \sin \Delta \varphi \sin \Delta \psi) z' + \Delta x; \\ y_0 = (\sin \Delta \varphi \cos \Delta \theta) x' + (\sin \Delta \varphi \sin \Delta \psi \sin \Delta \theta + \cos \Delta \varphi \cos \Delta \psi) y' + \\ + (\sin \Delta \varphi \sin \Delta \theta \cos \Delta \psi - \cos \Delta \varphi \sin \Delta \psi) z' + \Delta y; \\ z_0 = -\sin \Delta \theta x' + (\cos \Delta \theta \sin \Delta \psi) y' + \\ + (\cos \Delta \theta \cos \Delta \psi) z' + \Delta z. \end{cases} \quad (3)$$

Враховуючи систему (2) система (3) набуває :

$$\begin{cases} x_0 = (\cos \Delta \varphi \sin \Delta \psi \sin \Delta \theta - \sin \Delta \varphi \cos \Delta \psi) R' \cos \alpha' + \\ + (\cos \Delta \varphi \sin \Delta \theta \cos \Delta \psi - \sin \Delta \varphi \sin \Delta \psi) R' \sin \alpha' + \Delta x; \\ y_0 = (\sin \Delta \varphi \sin \Delta \psi \sin \Delta \theta + \cos \Delta \varphi \cos \Delta \psi) R' \cos \alpha' + \\ + (\sin \Delta \varphi \sin \Delta \theta \cos \Delta \psi - \cos \Delta \varphi \sin \Delta \psi) R' \sin \alpha' + \Delta y; \\ z_0 = (\cos \Delta \theta \sin \Delta \psi) R' \cos \alpha' + (\cos \Delta \theta \cos \Delta \psi) R' \sin \alpha' + \Delta z. \end{cases}$$

де Δx - переміщення вздовж виробки, Δy - зміщення у горизонтальній площині, Δz - зміщення в вертикальній площині.

При необхідності для окремого профілю координатою поздовж виробки x_0 можливо перехід в полярну систему $[X_0, Y_0, Z_0] \rightarrow [\alpha, R]$

$$\begin{cases} \alpha = \arccos \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + z_0^2}}; \\ R = \sqrt{x_0^2 + z_0^2}. \end{cases}$$

Особливу складність викликає визначення положення центра системи відліку $O'X'Y'Z'$ (Δx , Δy , Δz) за показниками акселерометра шляхом подвійного інтегрування отриманих значень прискорень за часом [8-10] в наслідок шумів і спотворень даних пов'язаних з вібрацією, зміною положення і таруванням датчика, що призводить до значної похибки вимірювань (до 20 м). Тому для визначення положення $O'(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ запропоновано використати данні гіроскопа і довжини шляху(траекторії) L (рис. 3)

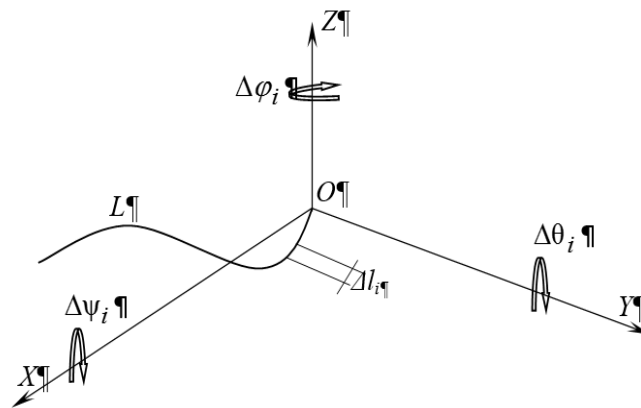


Рис. 3. Схема визначення положення системи відліку

Координати центра системи відліку $O'X'Y'Z'$ (Δx , Δy , Δz) з певною точністю можливо представити, як суму проєкції елементарних переміщень Δl на осі OX , OY , OZ :

$$\begin{cases} \Delta x = \sum_{i=1}^n \Delta l_i \cos \Delta \theta_i \cos \Delta \varphi_i, \\ \Delta y = \sum_{i=1}^n \Delta l_i \cos \Delta \varphi_i \cos \Delta \psi_i, \\ \Delta z = \sum_{i=1}^n \Delta l_i \cos \Delta \theta_i \cos \Delta \psi_i, \end{cases}$$

Дані для побудови профілю підземної виробки представляють собою масив даних, який містить відстані від внутрішнього контуру виробки до осі повороту і кут повороту датчика, нахил датчика відносно початкового положення та шлях, який пройшов комплекс. Отримані дані накопичуються в пам'яті пристрою і проходять подальший аналіз шляхом перерахунку відстані від датчика до периферії виробки з корекцією його положення і моделюванням просторової моделі виробки.

Висновок Розроблений профілометр підземних виробок на основі багатоцільового гео-мехатронного комплексу дозволить значно зменшити трудомісткість, матеріаломісткість з одночасним збільшенням повноти і якості процесу збору даних поведінки поверхні гірничих виробок.

Библиографический список

1. Кошкарев А.В. Геоинформатика. Толкование основных терминов / А.В. Кошкарев, В. Н. Бурков // М.: ГИС-Ассоциация, 1998. – 213 с.
2. Мехатроника: Пер с япон. / Исии Х., Иноуэ Х., Симояма И. и др. — М.: Мир, 1988. - 318 с.
3. D. Ferguson, A. Morris, D. Hahnel, C. Baker, Z. Omohundro, C. Reverte, S. Thayer, W. Whittaker, W. Whittaker, W. Burgard, and S. Thrun. An autonomous robotic system for mapping abandoned mines. In S. Thrun, L. Saul, and B. Schölkopf, editors, Proceedings of Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS). MIT Press, 2003.
4. R. Siegwart, I. Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots, MIT Press, April 2004.
5. Градецкий В. Г., Князьков М. М., Кравчук Л. Н. Методы движения миниатюрных управляемых внутритрубных роботов // Нано- и микросистемная техника. — 2005. — № 9. — С. 37—43.
6. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора.-М.: Наука, 1976.-104 с.
7. Градецкий В.Г., Вешников В.Б., Калиниченко С.В., Кравчук Л.Н. Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям. М.: Наука, 2001. 360 с.
8. Jiayang Liu, Lin Zhong, Jehan Wickramasuriya, and Venu Vasudevan, "uWave: Accelerometer-based personalized gesture recognition and its applications," in Pervasive and Mobile Computing, vol. 5, issue 6, pp. 657-675, December 2009.
9. Jiayang Liu, Lin Zhong, Jehan Wickramasuriya, and Venu Vasudevan, "User evaluation of lightweight user authentication with a single tri-axis accelerometer," in Proc. ACM Int. Conf. Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI), September 2009.
10. I. J. Jang and W. B. Park, "Signal processing of the accelerometer for gesture awareness on handheld devices," in Proc. IEEE Int. Wkshp. Robot and Human Interactive Communication, W. B. Park, Ed., 2003.

Надійшла до редакції 05.02.2017

S. Zaichenko, O. Vovk, V. Vapnychnaia

National technical university of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", Ukraine, Kyiv

PECULIARITIES OF GEOMECHANICAL MONITORING OF MINE WORKING INTERNAL CONTOUR USING GEOMECHATRONIC COMPLEX

The algorithm of monitoring of internal working contour to determine the geometry of working taking into account features of geomechanical monitoring were developed. At the core of the algorithm of the profile building are dependences of point coordinates transformation in space during the transition from different coordinate systems that allow to consider the deviations of the geomechatronic complex contour of rectilinear motion in space. Deviations of the geomechatronic complex rectilinear motion in space could be represented as a roll angles φ , θ pitch and yaw ψ , and displacement, vectors of which are collinear to primary axes of the coordinate system.

Key words: roughness, fastening condition, profile location, geomechatronic system

С.В. Зайченко, О.А. Вовк, В.В. Вапничная

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Украина, г. Киев

ОСОБЕННОСТИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВНУТРЕННЕГО КОНТУРА ВЫРАБОТКИ С ПОМОЩЬЮ ГЕОМЕХАТРОННОГО КОМПЛЕКСА

Разработан алгоритм процесса мониторинга внутреннего контура выработки, который разрешает определить геометрию выработки с учётом особенностей геомехатронного мониторинга. В основе алгоритма построения профиля лежат закономерности преобразования координат точки в пространстве при переходе от разных систем координат, которые позволяют учитывать отклонения геомехатронного комплекса контура от прямолинейного движения в пространстве. Отклонение геомехатронного комплекса от прямолинейного движения в пространстве представлено в виде углов крена φ , тангажа θ и рыскания ψ , а также перемещения, векторы которых коллинеарны осям начальной системы координат.

Ключевые слова: профилометр, состояние крепления, координаты профиля, геомехатронные системы