

УДК 528.48

О. ЗАЯЦЬ¹, М. НАВОДИЧ², С. ПЕТРОВ¹, К. ТРЕТЯК³

1. Кафедра інженерної геодезії, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013, ел. пошта: petrovsl06@gmail.com

2. Навчально-наукова лабораторія “Опрацювання супутникових вимірів”, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013

3. Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013

ВИСОКОТОЧНІ НАХИЛОМІРНІ ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЇ ШАХТНИХ ПОЛІВ РУДНИКА № 2 СТЕБНИЦЬКОГО КАЛІЙНОГО РОДОВИЩА

<https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.025>

Мета. Мета проведених досліджень – здійснення моніторингу можливих деформаційних процесів на території в межах гірничого відводу шахтних полів рудника № 2 Стебницького калійного родовища шляхом високоточних нахиломірних вимірювань. **Методика.** Моніторинг території полягає у знаходженні величини та азимуту максимального кута нахилу території. Величина та азимут обчислюються за даними вимірів інклінометрів Nivel 210 i_x та i_y , по відповідних осях X та Y, які встановлені на досліджуваній території. **Результати.** З 31.12.2017 року ми одержували щосекундні виміри кутів нахилу нахиломірних станцій “Модричі” та “Візит”, які встановлені в підвальних приміщеннях будівель у селі Модричі та на околиці м. Трускавець. Ці дані щодесять хвилин автоматично записуються у відповідні файли спостережень. Для автоматизованого збирання та опрацювання інформації з високоточних цифрових інклінометрів розроблено спеціальне програмне забезпечення Nivel Data Collector. У результаті опрацювання одержані добові величини зміни максимального кута нахилу нахиломірних станцій “Модричі” та “Візит”. За цими даними обчислено зміну середньої швидкості максимального кута нахилу, його величину та азимут. **Наукова новизна.** Наукова новизна полягає в дослідженні просторової кінематики в реальному часі техногенно небезпечних територій за результатами нахиломірних спостережень. **Практична значущість.** Отримані результати нахилів території рудника № 2 Стебницького калійного родовища за даними нахиломірних спостережень надалі дають змогу прогнозувати можливі руйнування об’єктів інфраструктури.

Ключові слова: техногенна безпека, високоточні цифрові інклінометри, автоматичний збір інформації, зміна кута нахилу, відстежування в режимі реального часу.

Вступ

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини є невід’ємною умовою сталого економічного та соціального розвитку суспільства. У рудник № 2 “Стебницького гірничо-хімічне підприємство “Полімінерал” з 1978 року потрапляють агресивні розсоли, які до 2001 активно збирали та відкачували, а з 2001 р. відбувається затоплення шахти. У зоні утворення водоносного горизонту в долині річки Вишніці виникла серія провалів і утворилося озеро. На території шахтних полів західного флангу рудника № 2 відбуваються деформаційні процеси, які визнано такими, що активізувалися і ця ситуація загрожує виникненню провалів земної поверхні та можливою руйнацією автодороги Львів-Трускавець, водогону Гірне-Дрогобич (водогін розташований в межах впливу гірничих робіт на шахтному полі рудника № 2), лінії електропередач [Гайдин А., 2008].

30 вересня 2017 року відбувся обвал шахтних полів на території рудника № 2 (рис. 1). Це

призвело до загрози руйнування об’єктів інфраструктури а також до можливості провалля території найближчих населених пунктів внаслідок деформації земної поверхні [5 канал, 2017; zaxid.net, 2017].



Рис. 1. Провалля на території рудника № 2, яке виникло 30.09.2017 року

Fig. 1. The landfall in the territory of mine № 2, which arose on September 30, 2017

Своєчасне реагування на виникнення подібних техногенних руйнувань земної поверхні потребує періодичного ведення її моніторингу, а саме визначення деформацій та осідань [Egol S., 2008; Марфенко С., 2004]. Під моніторингом зазвичай розуміють спостереження за навколишнім середовищем, що становить динамічну систему, тобто систему, яка постійно змінюється з метою її контролю, вивчення і прогнозу. Моніторинг деформацій земної поверхні та споруд є однією з областей застосування високоточних геодезичних методів і засобів вимірювань [Кабалин Е., 2012; Гуляев Ю., 2008]. Причиною виникнення провалів земної поверхні на території рудника є підземні обвали, які виникли внаслідок підтоплення ґрунтовими водами підземних гірничих полів рудника. Для здійснення моніторингових досліджень у режимі реального часу таких підземних обвалів запропоновано використати високоточні цифрові інклінометри.

Аналіз останніх досліджень

Принцип роботи інклінометра – оптико-електронна реєстрація сигналу всередині приладу що змінюються пропорційно куту нахилу. До переваг саме оптико-електронного принципу слід зарахувати той факт, що він забезпечує безперервну реєстрацію кутів нахилу у двох площинах з точністю 0,005 мрад. Сьогодні високоточні цифрові інклінометри широко використовують у практиці інженерно-геодезичних робіт під час проведення моніторингу висотних та прецизійних цивільних та промислових об’єктів [Roberts G. W., 2004; Rohrmann R. G., 2010; Хиллер Б., 2015]. За допомогою інклінометрів також можна контролювати положення об’єктів гідроенергетики, [Gikas V., 2008]. Крім того, високоточні цифрові інклінометри використовують для дослідження сейсмічних та вулканічних територій [Arnos J., 2012; Sherman C., 2011], а також під час моніторингу районів видобутку корисних копалин [Álvarez-Vigil A. E., 2010; Хиллер Б., 2010]. Необхідно зазначити, що для автоматизованого збору інформації з високоточних цифрових інклінометрів потрібне створення спеціальних нахиломірних станцій з доступом до мережі Інтернет [Хомоненко А., 2013]. Такі станції складаються з інклінометра, під’єданого до комп’ютера зі спеціалізованим програмним забезпеченням.

Постановка завдання

Метою проведення досліджень є моніторинг у межах гірничого відводу шахтних полів рудника № 2 Стебницького калійного родовища шляхом встановлення нахиломірних станцій Nivel 210.

Методика досліджень

Дослідження нахилів території здійснюється за спеціальною методикою, яка полягає в наступ-

ному. Цифровий інклінометр вимірює кути нахилу в двох взаємоперпендикулярних площинах i_x та i_y . У точці 1 (рис. 1) встановлено цифровий інклінометр, який зафіксували зміну кутів нахилу по осям X та Y відповідно i_{x1} та i_{y1} .

Величину максимального кута нахилу α відносно однієї з осей (для зручності це вісь X) знаходимо за формулою (1)

$$a = \arctan\left(\frac{i_x}{i_y}\right), \quad (1)$$

де i_x та i_y зміна величини кута нахилу по відповідним осям

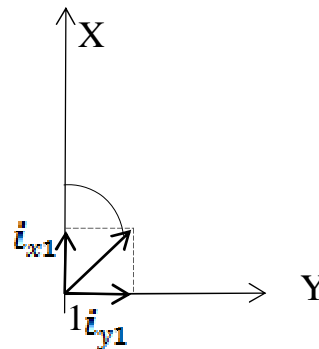


Рис. 2. Пояснення до методики дослідження нахилів території

Fig. 2. Explanation to the studying methodology of the territory tilts

Крім того, для дослідження нахилів за цією методикою необхідне орієнтування інклінометра відносно однієї з координатних осей (X чи Y) для обчислення азимуту максимального кута нахилу.

Експериментальна частина

Інклінометри Leica серії NIVEL 210 встановлені в підвальних приміщеннях школи в селі Модричі та готелі “Візит”, який розташований на околиці міста Трускавець (рис. 2) та проведено їх взаємне орієнтування.

Таблиця 1

Координати місць встановлення нахиломірних станцій

Table 1

Coordinates of inclinometers

Назва станції	Координати	
	B (широта)	L (довгота)
Модричі	49°18'48.94586"	23°29'25.10248"
Візит	49°17'51.31276"	23°30'32.52168"

До місць встановлення інклінометрів прокладено мережу живлення 220 V та лінію Інтернет. Після чого інклінометри були під’єдані

до комп'ютерів з програмним забезпеченням для одержання та опрацювання результатів вимірів у реальному часі (рис. 4, 5). Для автоматизованого збору інформації з високоточних цифрових інклінометрів Nivel 210 розроблено спеціальне програмне забезпечення NivelDataCollector. Програмне забезпечення розроблено мовою програмування FreePascal у середовищі візуального програмування Lazaus (OpenSource середовище).



Рис. 3. Місця встановлення інклінометрів

Fig. 3. Inclinometer installation sites



Рис. 4. Нахиломірна станція Nivel 210 встановлена в школі с. Модричі

Fig. 4. Tilt station Nivel 210 installed at Modrychi school

Автоматизований збір даних з інклінометрів виконується щосекунди і щодесять хвилин результати вимірювань записуються у відповідні файли. За цими даними обчислюються зміни кутів нахилу по осях “X” та “Y”. На рис. 6 наведено графіки зміни кутів нахилу за одну добу (13.01.2018 р.). За величиною зміни кутів нахилу обчислюють максимальний кут нахилу, зафіксований нахиломірними станціями. На рис. 7

наведено графіки зміни максимального кута нахилу нахиломірних станцій “Модричі” та “Візит” на цю ж дату.



Рис. 5. Нахиломірна станція Nivel 210 встановлена в готелі “Візит”

Fig. 5. Tilt station Nivel 210 installed at “Vizyt” hotel

Як видно з приведеного графіку існує лінійна залежність зміни максимального кута нахилу. Незначні стрибки, які фіксуються нахиломірними станціями, ймовірно пов'язані з деформаційними процесами шахтних полів західного флангу рудника № 2. Це пояснюється і більшою амплітудою таких стрибків на станції “Візит”, яка розташована у безпосередній близькості до досліджуваної території (приблизно 100 метрів).

Аналіз отриманих результатів

За одержаними результатами зміни максимального кута нахилу обчислено середньодобову швидкість максимального кута нахилу та його величину, а також азимут максимального кута нахилу по станціях “Візит” та “Модричі” (рис. 8–13).

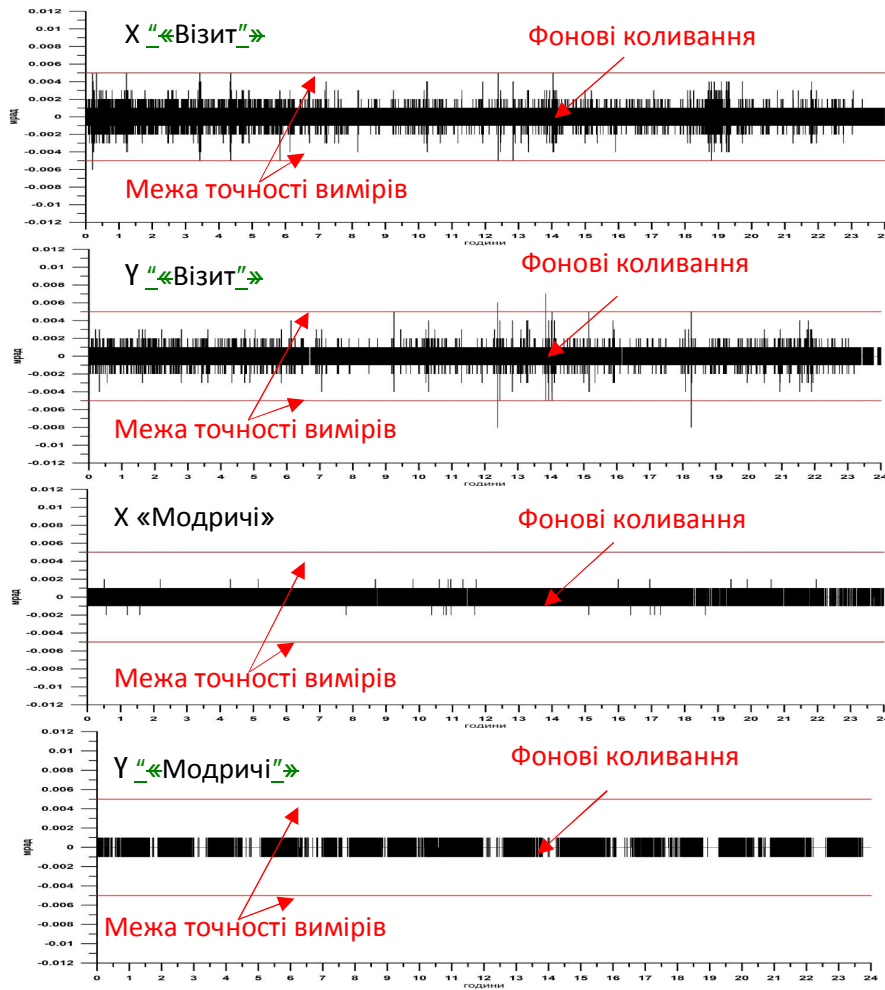


Рис. 6. Зміна кутів нахилу по осях “X” та “Y” нахиломірних станцій “Візит” та “Модричі” за 13.01.2018 р.

Fig. 6. Changes in the inclination angle along “X” and “Y” axis at tilting stations “Vizyt” and “Modrychi” on January, 13, 2018

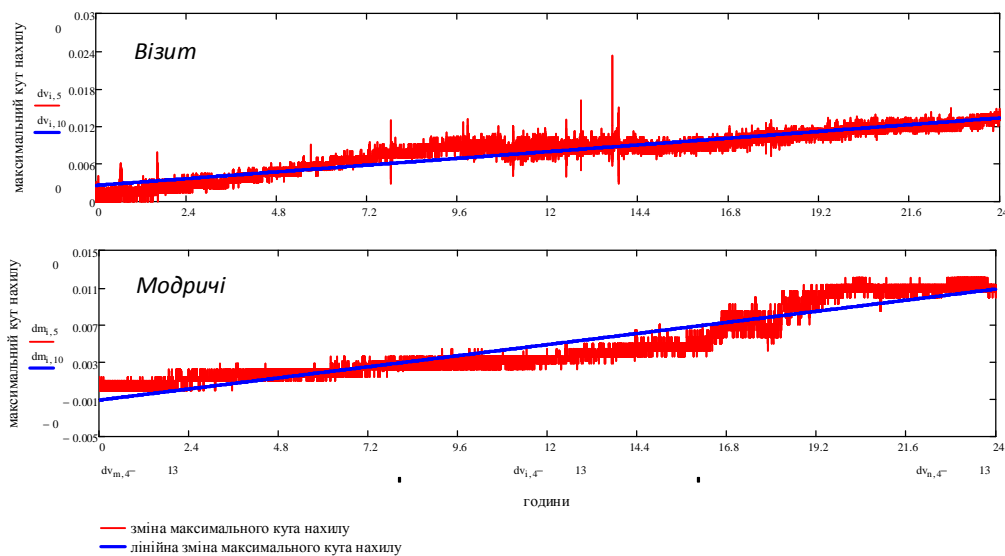


Рис. 7. Зміна максимального кута нахилу нахиломірних станцій 13.01.2018 року

Fig. 7. Changes in the maximum inclination angle on tilting stations on January, 13, 2018

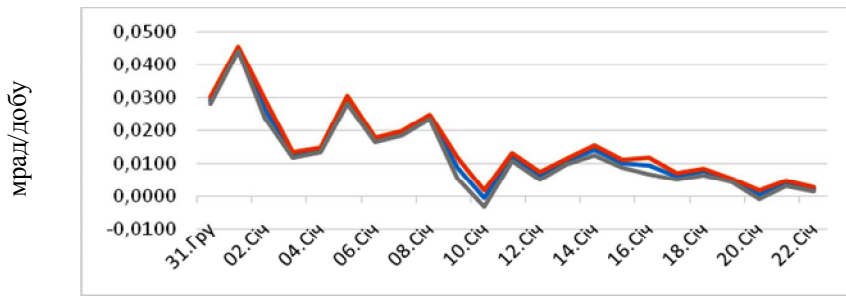


Рис. 8. Зміна середньодобової швидкості максимального кута нахилу на станції “Візит” та точність його визначення

Fig. 8. Changes in the average daily speed of maximum inclination angle at “Vizyt” station and its accuracy

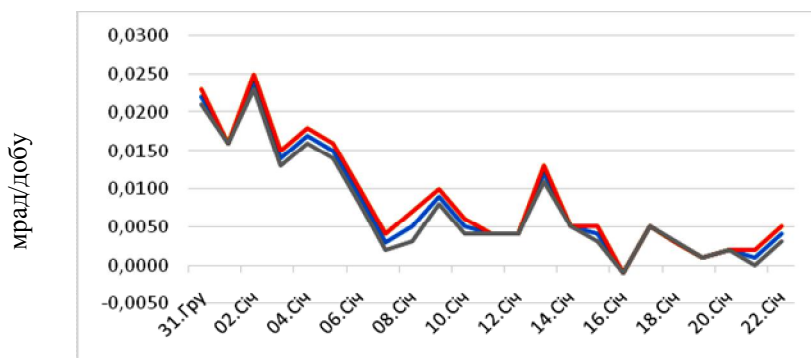


Рис. 9. Зміна середньодобової швидкості максимального кута нахилу на станції “Модричі” та точність його визначення

Fig. 9. Changes in the average daily speed of maximum inclination angle at “Modrychi” station and its accuracy

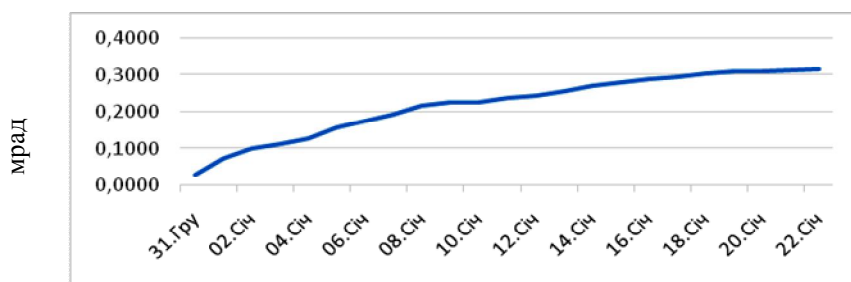


Рис. 10. Зміна величини кута нахилу на станції “Візит”

Fig. 10. Changes in the tilt angle at “Vizyt” station

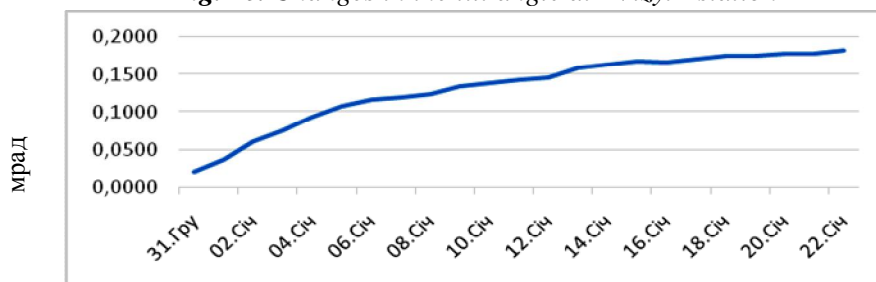


Рис. 11. Зміна величини кута нахилу на станції “Модричі”

Fig. 11. Changes in the tilt angle at “Modrychi” station

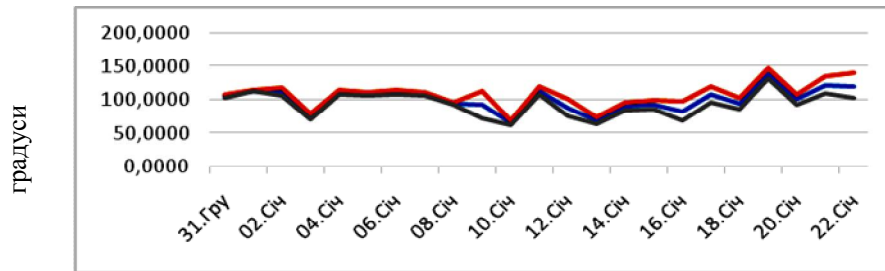


Рис. 12. Зміна азимуту максимального кута нахилу на станції “Візит” та точність його визначення

Fig. 12. Changes in the azimuth of maximum inclination angle at “Vizyt” station and its accuracy

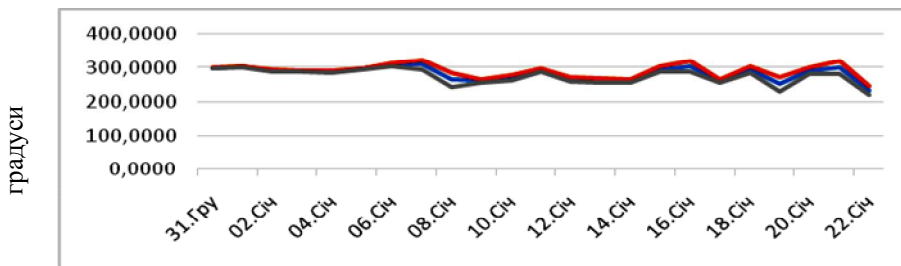


Рис. 13. Зміна азимуту максимального кута нахилу на станції “Модричі” та точність його визначення

Fig. 13. Changes in the azimuth of maximum inclination angle at “Modrychi” station and its accuracy

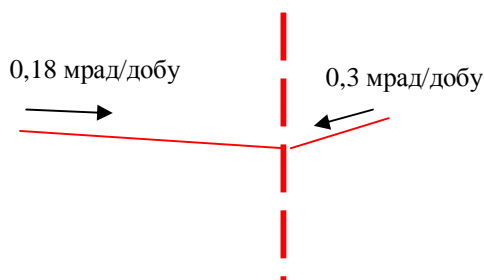
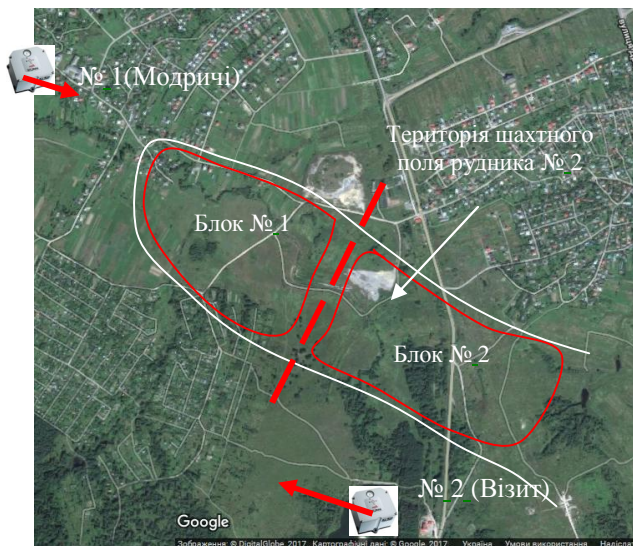


Рис. 14. Середні напрямки максимального кута нахилу зафіксовані нахиломірними станціями “Візит” і “Модричі” та імовірна лінія поділу території на блоки

Fig. 14. The average directions of the maximum inclination are established at tilting stations “Vizyt” and “Modrychi” with the probable line separating the territory into blocks

Середня швидкість максимального кута нахилу станції “Візит” до 10.01 змінювалася в межах 0,045–0,010 мрад/добу, а станції “Модричі” у межах 0,025–0,005 мрад/добу. Починаючи з 10.01.2018 р. швидкість зменшилася і становить 0,010 та 0,005 мрад/добу відповідно для нахиломірних станцій “Візит” та “Модричі”, що свідчить про завершення періоду стабілізації нахиломірних станцій. Величина кута нахилу після періоду стабілізації для станції “Візит” становить 0,3 мрад, а для станції “Модричі” – 0,18 мрад за добу. Азимут максимального кута нахилу по станції “Модричі” становить близько 300°, а по станції “Візит” – 100°. Точність визначення азимуту максимального кута нахилу становить 5–10° для станції “Візит” та 2–5° для станції “Модричі”. На основі одержаних результатів ми провели умовне районування території шахтного поля на два блоки з різним напрямком нахилу, які утворюють прогин території західного флангу рудника № 2 (рис. 14). Межа поділу території на блоки збігається з місцем провалля в руслі річки Вишняця, яке утворилося 2.11.2017 р.

Наукова новизна і практичне значення

У результаті проведених робіт встановлено систему для відстежування в режимі реального часу деформаційних процесів на території рудника № 2, яка складається з двох нахиломірних станцій Nivel 210. На основі аналізу одержаних результатів обчислені середньодобові величини і напрямки максимальних кутів нахилу території та проведено умовний поділ території шахтного поля на блоки з різним напрямком та величиною осідання.

Висновки

Аналізуючи результати досліджень можна зробити такі висновки:

- створена система моніторингу території в межах гірничого відводу шахтних полів рудника № 2 Стебницького калійного родовища, яка складається з двох нахиломірних станцій Nivel 210. У режимі реального часу нахиломірні станції надсилають інформацію про величину кутів нахилу на сервер інституту геодезії. Для автоматизованого збору інформації з нахиломірних станцій розроблено спеціальне програмне забезпечення Nivel DataCollector;

- за одержаними даними обчислено зміни середньодобової швидкості максимального кута нахилу, які становлять 0,010 та 0,005 мрад/добу, їхні величини (0,3 та 0,18 мрад) та азимут максимального кута нахилу (100° та 300°) відповідно для нахиломірних станцій “Візит” і “Модричі”;

- проведено умовне районування території шахтного поля на два блоки з різним напрямком

нахилу, які утворюють прогин території західного флангу рудника № 2.

Список літератури

- Гайдин А. М. Влияние техногенной деятельности на соляной карст / А. М. Гайдин // *Екологія і природокористування*. – 2008. – Вип. 11. – С. 42–54.
- Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений : монография / Ю. П. Гуляев. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 256 с.
- Кабалин Е. В. Принципы ведения постоянного мониторинга на геодинамических объектах / Е. В. Кабалин, В. С. Лохов // *Геопрофи*. – 2012. – № 2. – С. 58–61.
- Марфенко С. В. Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений : учеб. пособ. / С. В. Марфенко. – М. : Изд-во МГУГиК, 2004. – С. 35.
- Неподалік Стебника утворилося велетенське провалля: місцеві мешканці налякані [Електронний ресурс] / Марта Шикула, Євген Радіон. – 5 канал. – 2017. – Режим доступу: <https://www.5.ua/.../nepodalik-stebnyka-utvorylosia-veletens>.
- Провалля поблизу Трускавця може збільшитися на 50 метрів [Електронний ресурс] / Юлія Девда – zaxid.net – 2017. – Режим доступу: https://zaxid.net/provallya_poblizu_truskavtsya_m_ozhe_zbil.
- Хиллер, Б. Автоматизированный деформационный мониторинг – инновационные технологии на службу обеспечения безопасности в горнодобывающей, нефтяной и газовой промышленности / Б. Хиллер // *Маркшейдерский вестник*. – 2010. – № 4. – С. 54–58.
- Хиллер, Бернд. О возможности использования цифровой инклинометрии для геодезического мониторинга инженерных сооружений / Бернд Хиллер, С. В. Староверов, Я. В. Мясников // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2015. – Вып. 1. – С. 34–37.
- Хомоненко А. Д. Информационная система геодезического мониторинга деформаций транспортных сооружений / А. Д. Хомоненко, М. Я. Брань, А. А. Никитчин // *Наука и транспорт: Модернизация железнодорожного транспорта*. – 2013. – № 2 (6). – С. 58–60.
- Arnosó, J., Montesinos, F. G., Benavent, M. & Vélez, E. J. (2012). The 2011 volcanic crisis at El Hierro (Canary Islands): monitoring ground deformation through tiltmeter and gravimetry observations. EGU General Assembly 2012, held 22–27 April, 2012 in Vienna, Austria., p. 5373.
- Álvarez-Vigil, A. E., González-Nicieza, C., López Garraye, F. & Álvarez-Fernández, M. I. (2010). Forensic analysis of the evolution of damages to buildings constructed in a mining area. *Engineering Failure Analysis* 17(4), June 2010, pp. 938–960.
- Erol S. Determination of Deformations with GPS and Leveling Measurements. 2008. Ph.D. Thesis,

- Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology: Istanbul, Turkey.
- Gikas V, Sakellariou M. Settlement Analysis of Mornos Earth Dam (Greece): Evidence from Numerical Modelling and Geodetic Monitoring. *Eng Struct.* 2008; 30:3074–3081.
- Rohrmann, R. G., Thöns, S. & Rucker, W., (2010). Integrated monitoring of offshore wind turbines – requirements, concept and experiences. *Structure and Infrastructure Engineering*, 6(5), pp. 575–591.
- Roberts G. W, Meng X., Dodson A. H. Integrating a Global Positioning System and Accelerometers to Monitor the Deflection of Bridges. *J Surv Eng.* 2004; 130:65–72.
- Sherman, C. S., Magliocco, M. & Glaser, S. D., (2011). Developing a Rock Mass Tilt and Seismic Observatory at DUSEL. 45th U. S. Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, June 26–29, 2011, San Francisco, California.

A. ЗАЯЦЬ¹, М. НАВОДИЧ², С. ПЕТРОВ¹, К. ТРЕТЯК³

¹ Кафедра инженерной геодезии, Национальный университет “Львовская политехника”, ул. С. Бандеры, 12, Львов, Украина, 79013, * эл. почта petrovsl06@gmail.com

² Учебно-научная лаборатория “Обработка спутниковых измерений”, Национальный университет “Львовская политехника”, ул. С. Бандеры, 12, Львов, Украина, 79013

³ Кафедра высшей геодезии и астрономии, Национальный университет “Львовская политехника”, ул. С. Бандеры, 12, Львов, Украина, 79013

ВЫСОКОТОЧНЫЕ НАКЛОНОМЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ РУДНИКА № 2 СТЕБНИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Цель. Цель проведенных исследований – осуществление мониторинга возможных деформационных процессов на территории в пределах горного отвода шахтных полей рудника № 2 Стебницкого калийного месторождения путем высокоточных наклономерных измерений. **Методика.** Мониторинг территории заключается в нахождении величины и азимута максимального угла наклона территории. Величина и азимут вычисляются по данным измерений инклинометров Nivel 210, по соответствующим осям X и Y, которые установлены на исследуемой территории. **Результаты.** С 31 декабря 2017 г. мы получаем ежесекундные измерения углов наклона наклономерных станций “Модричи” и “Визит”, которые установлены в подвальных помещениях зданий в селе Модричи и на окраине г. Трускавец. Эти данные каждые десять минут автоматически записываются в соответствующие файлы наблюдений. Для автоматизированного сбора и обработки информации с высокоточных цифровых инклинометров разработано специальное программное обеспечение NivelDataCollector. В результате обработки получены суточные величины изменения максимального угла наклона наклономерных станций “Модричи” и “Визит”. По этим данным вычислено изменение средней скорости максимального угла наклона, его величину и азимут. **Научная новизна.** Научная новизна заключается в возможности исследования пространственной кинематики в реальном времени техногенно опасных территорий по результатам наклономерных наблюдений. **Практическая значимость.** Полученные результаты наклонов территории рудника № 2 Стебницкого калийного месторождения по данным наклономерных наблюдений в дальнейшем позволяют прогнозировать возможные разрушения объектов инфраструктуры.

Ключевые слова: техногенная безопасность, высокоточные цифровые инклинометры, автоматический сбор информации, изменение угла наклона, отслеживание в режиме реального времени.

O. ZAIATS¹, M. NAVODYCH², S. PETROV¹, K. TRETZYAK³

¹ Department of Engineering Geodesy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandera str., Lviv, Ukraine, 79013, e-mail: mail.petrovsl06@gmail.com

² Educational and scientific laboratory “Development of satellite measurements”, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandera str., Lviv, Ukraine, 79013

³ Department of Higher Geodesy and Astronomy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandera str., Lviv, Ukraine, 79013

PRECISE TILT MEASUREMENTS FOR MONITORING OF MINE FIELDS AT STEBANYK POTASSIUM DEPOSIT AREA.

Aim. The purpose of this research is a monitoring of the possible deformation processes in the territory of the mining fields of mine No. 2 in Stebnyks potassium deposit using precise tilt meters. **Method.** Tilt measurements were carried out to find the magnitude and azimuth of the maximum inclination of the territory. The magnitude and azimuth were computed based on measurements i_x and i_y , along corresponding axes X and Y from inclinometers (Nivel 210) were installed in the study area. **Results.** From December 31, 2017,

measurements of the inclination angles were received every second from stations “Modrychi” and “Visyt”, from inclinometers installed in basements of buildings in the Modrychi village, and in the Truskavets outskirts. Every ten minutes those data were automatically written to special observation files. Special software NivelDataCollector has been developed for automated collection and processing of information from high-precision digital inclinometers. The daily values of the maximum inclination angle obtained at the tilting stations “Modrychi” and “Visyt” changed. According to these data, these changes in maximum inclination angle mean velocity and its magnitude and azimuth were computed. **Scientific novelty.** Scientific novelty consists in the possibility of real time study of the spatial kinematics in industrially dangerous territories based on the results of tilting observations. **Practical significance.** Obtained tilt measurements results from mine No. 2 of Stebnitsky potassium deposit area allowed to predict possible threats of infrastructure destruction.

Key words: technogenic safety, high-precision digital inclinometers, automatic information gathering, change of inclination angle, real time monitoring.

REFERENCES

- Haydyn A. M. *Vlyyanye tekhnogennoy deyatel'nosti na solyanoy karst* [Influence of technogenic activity on salt karst]. *Ekolohiya i pryrodokorystuvannya*. 2008, issue 11, pp. 42–54.
- Guljaev Ju. P. *Prognozirovanie deformacii sooruzhenij na osnove rezul'tatov geodezicheskikh nabljudenij* [Forecasting deformation of structures based on the results of geodetic observations]: monografija. Novosibirsk: SGGA, 2008, 256 p.
- Kabalin E. V., Lohov B. C. *Principy vedenija postojannogo monitoringa na geodinamicheskikh obektah* [Principles of ongoing monitoring at geodynamic objects]. *Geoprofi*. 2012, no. 2, pp. 58–61.
- Marfenko S. V. *Geodezicheskie raboty po nabljudeniju za deformacijami sooruzhenij* [Geodetic work to monitor deformations of structures]: *Uchebnoe posobie*. Moscow: Izd-vo MGUGiK. 2004, P. 35.
- Nepodalik Ctebnyka utvorylosia veletenske provallia: mistsevi meshkantsi naliakani*. Marta Shykula, Yevhen Radion 5 kanal. 2017. Available at: <https://www.5.ua/.../nepodalik-stebnyka-utvorylosia-veletens...>
- Provallia poblyzu Truskavtsia mozhe zbilshchytysia na 50 metriv*. Yuliia Devda zaxid.net. 2017. Available at: https://zaxid.net/provallya_poblyzu_truskavtsya_mozhe_zbil.
- Hiller, B. *Avtomatizirovannyj deformacionnyj monitoring – innovacionnye tehnologii na sluzhbu obespechenija bezopasnosti v gornodobyvajushhej, neftjanoy i gazovoj promyshlennosti* [Automated deformation monitoring-innovative technologies for security services in the mining, oil and gas industries]. *Markshejderskij vestnik*. 2010, no. 4, pp. 54–58.
- Hiller Bernd, S. V. Staroverov, Ja. V. Mjasnikov. *O vozmozhnosti ispol'zovanija cifrovoj inklinometrii dlja geodezicheskogo gomonitoringa inzhenernyh sooruzhenij* [On the possibility of using digital inclinometry for geodetic monitoring of engineering structures]. *Izvestija vuzov. Geodezija i ajerofotosjomka*. 2015, issue 1, pp. 34–37.
- Homonenko A. D., M. Ja. Bran', A. A. Nikitchin. *Informacionnaja Sistema geodezicheskogo monitoringa deformacij transportnyh sooruzhenij* [Information system of geodetic monitoring of deformations of transport structures]. *Naukai transport: Modernizacija zheleznodorozhnogo transporta*. 2013, no 2 (6), pp. 58–60.
- Arnosó, J., Montesinos, F. G., Benavent, M. & Vélez, E. J. The 2011 volcanic crisis at El Hierro (Canary Islands): monitoring ground deformation through tilt meter and gravimetric observations. EGU General Assembly 2012, held 22–27 April, 2012 in Vienna, Austria, p. 5373.
- Álvarez-Vigil, A. E., González-Nicieza, C., López Gayarre, F. & Álvarez-Fernández, M. I. Forensic analysis of the evolution of damages to buildings constructed in a mining area. *Engineering Failure Analysis* 17(4), June 2010, pp. 938–960.
- Erol S. Determination of Deformations with GPS and Leveling Measurements. 2008. Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology: Istanbul, Turkey,
- Gikas V, Sakellariou M. Settlement Analysis of Mornos Earth Dam (Greece): Evidence from Numerical Modelling and Geodetic Monitoring. *Eng Struct*. 2008; 30:3074–3081.
- Rohrmann, R. G., Thöns, S. & Rücker, W. Integrated monitoring of offshore wind turbines – requirements, concepts and experiences. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2010, 6(5), pp. 575–591.
- Roberts GW, Meng X, Dodson AH. Integrating a Global Positioning System and Accelerometers to Monitor the Deflection of Bridges. *J Surv Eng*. 2004; 130:65–72.
- Sherman, C. S., Magliocco, M. & Glaser, S. D. Developing a Rock Mass Tilt and Seismic Observatory at DUSEL. 45th U.S. Rock Mechanics. Geomechanics Symposium, June 26–29, 2011, San Francisco, California.

Надійшла 14.09.2017