

Сергій Крячок¹, Вадим Беленок², Валерій Гладілін³

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії картографії та землеустрою
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: geodesist2015@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5633-1501>. ResearcherID: N-3061-2016

²кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою
Національний авіаційний університет (Київ, Україна).

E-mail: belenok.vadim@nau.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5357-7493>. ResearcherID: AAF-1013-2021

³кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії та землеустрою
Білоцерківський національний аграрний університет (Біла Церква, Україна)

E-mail: vgladilin.55@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0492-3510>. ResearcherID: EWG-8288-2022

**ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ
ДЕФОРМАЦІЙ ВІДНОВЛЕНИХ СПОРУД**

Пошкоджені в наслідок обстрілів споруди можуть бути відновлені. Однак, через сторонню дію несуча спроможність основ, стійкість конструкцій таких споруд може бути порушена. Тому по завершенню відновлювальних робіт доцільно вести моніторинг за їх станом.

Аналіз нормативних документів з питань моніторингу технічного стану об'єктів дозволяє визначити особливості проведення геодезичного моніторингу його деформації.

Метою статті є аналіз можливостей відомої універсальної роботизованої системи для її застосування з метою контролю деформацій відновлених об'єктів.

Розглянуто склад, принцип роботи та застосування роботизованої системи, яка може бути застосована для контролю за деформаціями основ, фундаментів відновлених споруд та їх частин, інженерних мереж та об'єктів інфраструктури.

Ключові слова: геодезичний моніторинг, роботизована система, порушені споруди, деформації споруд.

Рис.: 7 Бібл.: 8.

Актуальність теми дослідження. Наразі об'єкти енергетики, промислові споруди, торговельні центри, житлові будинки зазнають повних або часткових руйнувань внаслідок обстрілів. Пошкоджені споруди можуть бути відновлені. Однак, через дію вибухової хвилі, струс від розривів боєприпасів, падіння уламків збитих засобів ураження несуча спроможність основ, стійкість конструкцій таких споруд може бути порушена.

Постановка проблеми. Геодезичне забезпечення супроводжує процес будівництва споруд на стадії проектування та її зведення [1, 2, 3]. У випадку пошкодженої споруди обстеження та оцінки її технічного стану виконуються згідно з [4], а геодезичні роботи під час відновлення споруди виконуються у відповідності з нормативним документом [2]. Після завершення відновлювальних робіт, враховуючи попередню значну сторонню дію на конструкцію споруди та її основу, доцільно вести моніторинг за її станом. Це особливо важливо для висотних споруд, споруд значної протяжності та унікальних споруд, руйнування яких може призвести до людських жертв та значних економічних збитків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моніторинг – нагляд за технічним станом об'єкта, його частин, окремих конструкцій або основ з оцінюванням їх деформацій та несучої здатності, стійкості та придатності до експлуатації [5]. Згідно з нормативним документом [4] моніторинг технічного стану об'єктів та їх конструкцій виконується шляхом періодичного або безперервного спостереження і контролю. За результатами спостережень прогнозується подальший розвиток негативних процесів. Періодичність контролю визначається з урахуванням максимально можливої швидкості зміни контрольованого параметру та співвідношення вартості цих робіт до можливих збитків від несвоєчасного виявлення пошкоджень. Методика та обсяг спостережень, які включають виміри, повинні забезпечити достовірність і повноту отриманої інформації. Це дозволяє підготувати обґрунтовані висновки щодо поточного технічного стану об'єкту спостережень та короткостроковий прогноз щодо його стану.

Важливим елементом моніторингу технічного стану об'єкту є проведення геодезичного моніторингу його деформацій. Геодезичний моніторинг включає в себе елементи вимірювань, фіксацію результатів та аналітичну обробку отриманих даних. Геодезичному моніторингу підлягають: основи, фундаменти, конструкції будівель та споруд або їх частини, інженерні мережі, підземні споруди, об'єкти інфраструктури, що їх оточують [2]. Під час геодезичного моніторингу визначають наступні характеристики деформацій. Для основ: вертикальні деформації та горизонтальні зміщення ґрунту. Для фундаментів: абсолютне осідання, середнє осідання; нерівномірне осідання, відносне нерівномірне осідання. Для наземної частини споруди: відхилення від вертикалі (крен) споруди в цілому, будівельних конструкцій (осей колон, стін, ліфтових шахт тощо); деформації колон та інших бетонних конструкцій; розкриття тріщин та динаміку їх розвитку [2]. Для вимірювання нахилів фундаменту та їх нерівномірного осідання рекомендовано використовувати стаціонарну гідростатичну систему, для відхилення від вертикалі, коливань і кручення верху будівлі (споруди) - систему вимірювання коливань і нахилів споруди або стаціонарну автоматизовану систему на основі давачів кута відхилення від вертикалі [2].

Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми. В наведених нормативних документах визначення деформацій споруд спирається на традиційні методи інженерної геодезії: геометричне (гідростатичне, гідродинамічне) нівелювання, лінійно-кутові вимірювання, створні способи та фотограмметричні методи. Наразі використовуються: GPS-координування – для дослідження деформацій багатоповерхівок, наземне лазерне сканування – для визначення кренів споруд, інклінометри – для контролю горизонтального зміщення споруди, роботизовані тахеометри – для визначення просторових деформацій несучих та огорожувальних конструкцій [6,7]. Недослідженим є застосування автономних роботизованих систем геодезичного моніторингу деформацій, котрі інтегрують сучасні засоби інженерної геодезії, для контролю деформацій відновлених об'єктів.

Мета статті. Головною метою цієї статті є аналіз можливостей відомої універсальної роботизованої системи для її застосування з метою контролю деформацій відновлених об'єктів.

Виклад основного матеріалу. В джерелі [8] наведено системи моніторингу зсувів та деформацій 3DeMoN. Система моніторингу 3DeMoN - автономна і автоматична платформа моніторингу, що складається з ряду станцій моніторингу, розподілених на об'єктах моніторингу (наприклад, зсув ґрунту, міст або будівля) і підключених до одного або декількох цифрових (наприклад, GPS-приймачів або лазерних віддалемірів), або аналогових давачів (наприклад, інклінометрів, тензодатчиків і т.д.) і центральної серверної станції. Центральний сервер забезпечує збір, зберігання даних, управління конфігурацією станцій моніторингу, автоматичну обробку даних та контроль за коректною роботою мережі.

Архітектура Центру управління 3DeMoN базується на сучасному об'єктно- та компонентно-орієнтованому дизайні і реалізована за допомогою мови програмування Java™, що відповідає стандартам Java™ 2 Enterprise Edition (J2EE). Базова структура програми може бути розширена, відповідно до вимог кожного конкретного проекту моніторингу, програмними компонентами, що підключаються, специфічними для певного комунікаційного пристрою.

Перший вимірювальний пристрій, який був інтегрований в платформу 3DeMoN - це одно частотний L1 GPS-приймач. Він має точність визначення координат: абсциси та ординати ± 2 мм, аплікати ± 4 мм. Можна встановлювати на об'єкті моніторингу одну або декілька автономних вимірювальних станцій GPS-роверів (рис. 1.), а також одну або декілька опорних GPS-станцій. Опорні станції повинні бути розташовані у стабільних

місцях, поза межами об'єкту моніторингу та рухомих об'єктів. Дані про фазу несучої частоти з супутників GPS синхронно збираються всіма вимірювальними станціями мережі та автоматично завантажуються на центральну серверну станцію. Нарешті, автоматична служба статичної постобробки даних GPS виконує всі необхідні перетворення, повторну вибірку і базові розрахунки, повертаючи відносні 3D-координати точок моніторингу як кінцевий результат кожної вимірювальної кампанії. Система здатна автоматично виконувати повний цикл збору, передачі та постобробки даних.



Рис. 1. Вимірювальна станція 3DeMoN на об'єкті моніторингу: GPS-ровер з сонячною батареєю [8]

3DeMoN-Laser - це система на основі лазерного віддалеміра, яка дозволяє виконувати безперервні та автономні вимірювання відстані з міліметровою точністю на відстані до 1000 м (рис. 2, *a*). Типова конфігурація віддаленої системи 3DeMoN-Laser складається зі станції моніторингу DeMoN, яка здатна керувати трьома лазерними приладами. У разі встановлення на відкритому повітрі лазерні прилади зазвичай монтуються в захисній кабіні (рис. 2, *б*). При безпосередньому підключенні до мережі, наприклад, у випадку локальної системи моніторингу всередині будівлі, то до 160 лазерних приладів можуть бути інтегровані в одну мережу, поєднуючись через шину і з'єднання Інтернет.

Система 3DeMoN-Laser може бути застосована в різних сферах моніторингу, таких як зсуви, осідання ґрунту, нестабільність схилів, моніторинг тунелів, та будівель, контроль рівня води в резервуарах або в інженерній геодезії, де необхідно проводити вимірювання відстаней з міліметровою точністю.

Основні характеристики системи 3DeMoN-Laser: максимальна вимірювана відстань 1 км, час вимірювання 0.2 - 4 с, точність вимірювання відстані (стандартне відхилення) складає $\pm 0,2$ мм (вимірювання в приміщенні) та $\pm 1,5$ мм (зовнішні вимірювання).

Прилад ROBOVEC базується на лазерному віддалемірі, встановленому на двовісній модульній конструкції для горизонтальної та вертикальної орієнтації вимірювального приладу. Прилад здатний вимірювати варіацію відстаней і варіації відхилення горизонтальних і вертикальних кутів. Крім того, під час кожного вимірювання визначається і

зберігається температура повітря і потужність відбитого сигналу. Прилад керується через Інтернет-з'єднання і тому може бути легко інтегрований в існуючі системи моніторингу через дротову або бездротову локальну мережу (рис. 3, а). Під час вимірювання ROBOVEC може виконати повне сканування рівня відбитого сигналу на обраних цілях. Отримані дані потім автоматично обробляються за допомогою програмного забезпечення та власних алгоритмів.

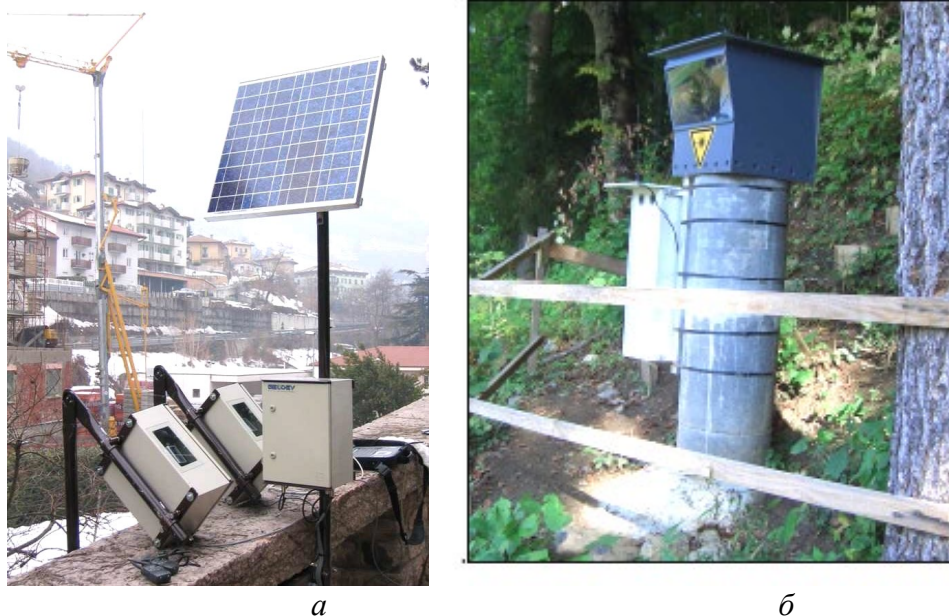


Рис. 2. 3DeMoN-Laser: а) - установка з двома лазерними приладами та станцією моніторингу з сонячним живленням; б) – установка в захисній кабіні [8]

Це дозволяє розраховувати координати центру нової цілі та слідкувати за рухомими цілями (наприклад, на зсуві). На рис. 3, б показано типове зображення рівня відбитого сигналу з результатами роботи алгоритму центрушукача цілі (візирної марки).

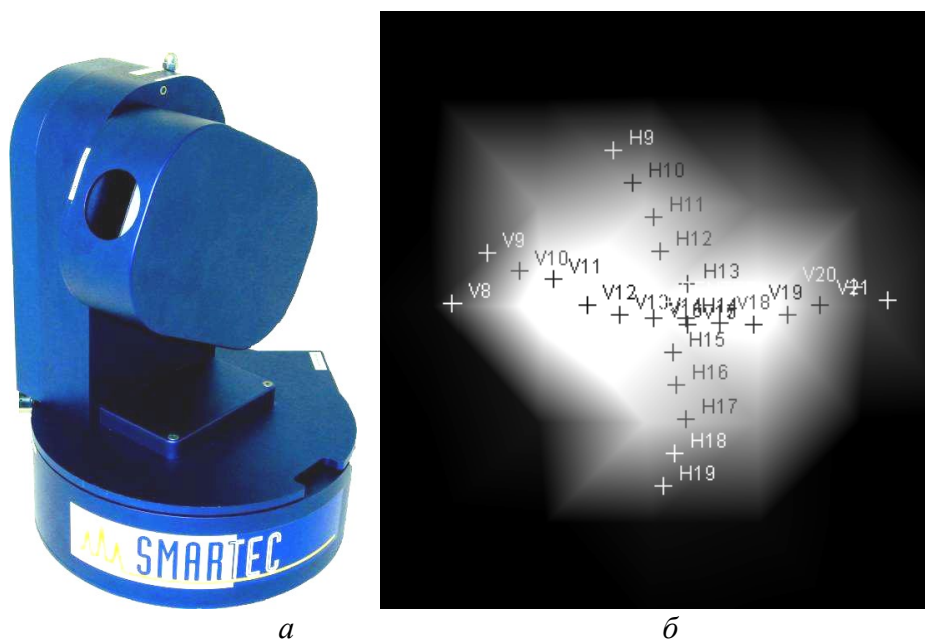


Рис. 3. Прилад ROBOVEC: а) – зовнішній вигляд; б) – результат роботи алгоритму пошуку центру марки [8]

На відстанях менше 50 м ROBOVEC може працювати у без рефlectorному режимі, то окрім зйомки та моніторингу, він може також використовуватися для інших задач, наприклад, отримання профілів або сканування поверхонь.

Платформу 3DeMoN було залучено для моніторингу даху метрополітену. Метрополітен Галіфакс (Швейцарія) – це мультирозважальний центр, спортивний об'єкт та виставковий центр, з'єднаний зі Світовим центром торгівлі та конференцій (рис. 4). Наразі він має місткість на 10595 глядачів. З часу будівництва арени наприкінці 1970-х років проектні навантаження значно зросли. Спостерігається постійне та зростаюче використання підвісного обладнання для світла та звуку, збільшуючи навантаження на несучі конструкції [8].

Власники метрополітену в Галіфаксі вирішили провести структурне дослідження конструкції даху і забезпечити засоби для ефективного моніторингу фактичних снігових навантажень і управління розважальними навантаженнями, підвішеними до даху.



Рис. 4. Зовнішній вигляд Метрополітен Галі факс [8]

Була встановлена комплексна система моніторингу стану конструкції, що поєднує в собі волоконно-оптичні датчики і блок ROBOVEC, яка надає інформацію про стан конструкції даху в реальному часі (рис. 5, рис. 6).

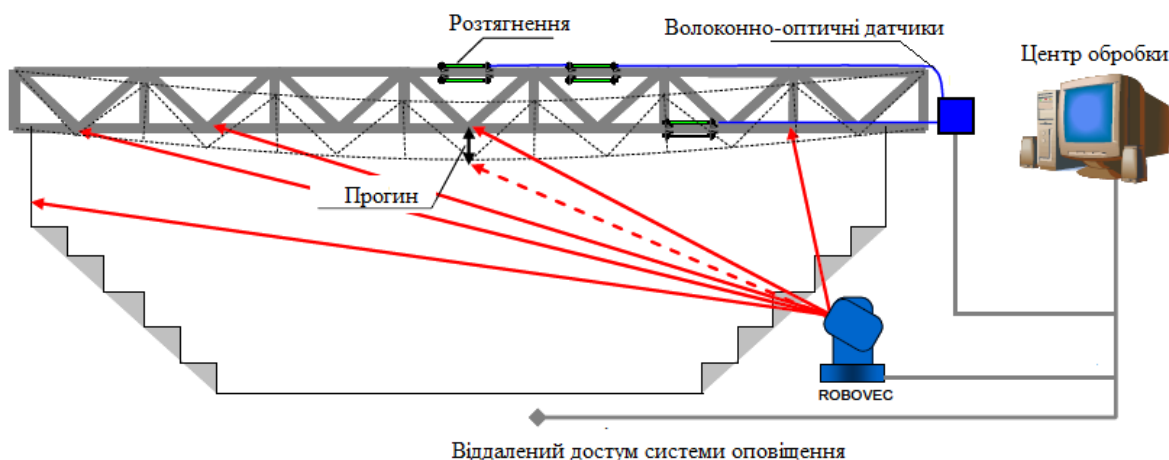


Рис. 5. Конфігурація системи моніторингу [8]

Блок зчитування волоконно-оптичних давачів і прилад ROBOVEC підключені до існуючої локальної мережі, а спеціальний комп'ютер керує давачами, збором даних і вимірюваннями. Дані деформації волоконно-оптичних давачів автоматично компенсуються за допомогою відповідних температурних давачів, в той час як вимірювання кута нахилу і відстані автоматично перетворюються в значення прогину.

Попередження та сигнали тривоги динамічно генеруються за досягнення заданих порогових значень деформації в балках або порогових значень прогину ферм.

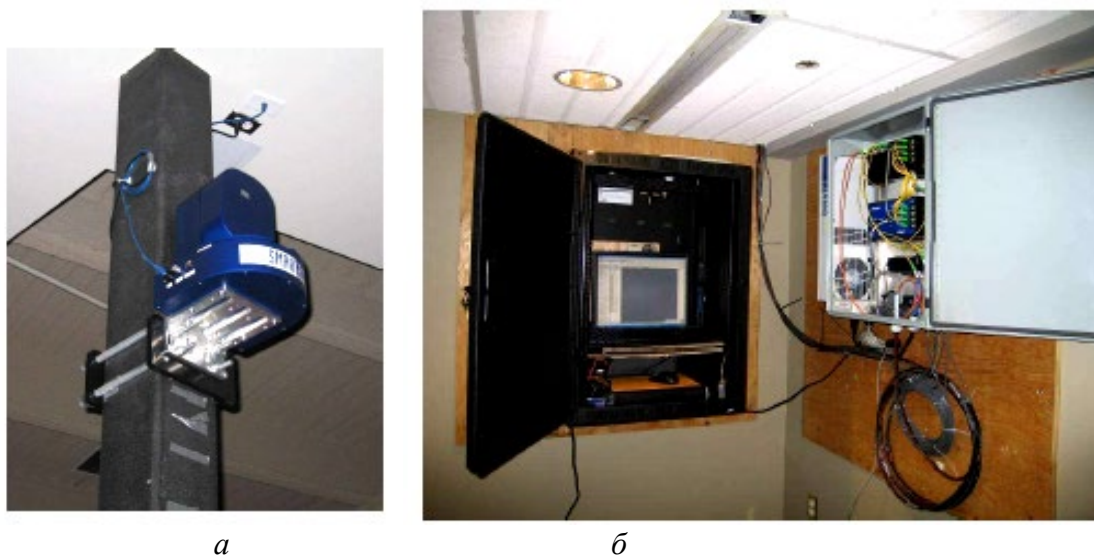


Рис. 6. Елементи системи моніторингу: а) – ROBOVEC встановлений на колоні в центрі станції метро; б) - центральний вимірювальний пункт зі спеціальним комп'ютером (ліворуч) та волоконно-оптичним блоком зчитування [8]

Повідомлення про ці події надсилаються електронною поштою певній кількості осіб з персоналу охорони будівлі, а також у вигляді світлової сигналізації в диспетчерській. На рис. 7 показані відхилення, виміряні за допомогою ROBOVEC протягом 2 тижнів.

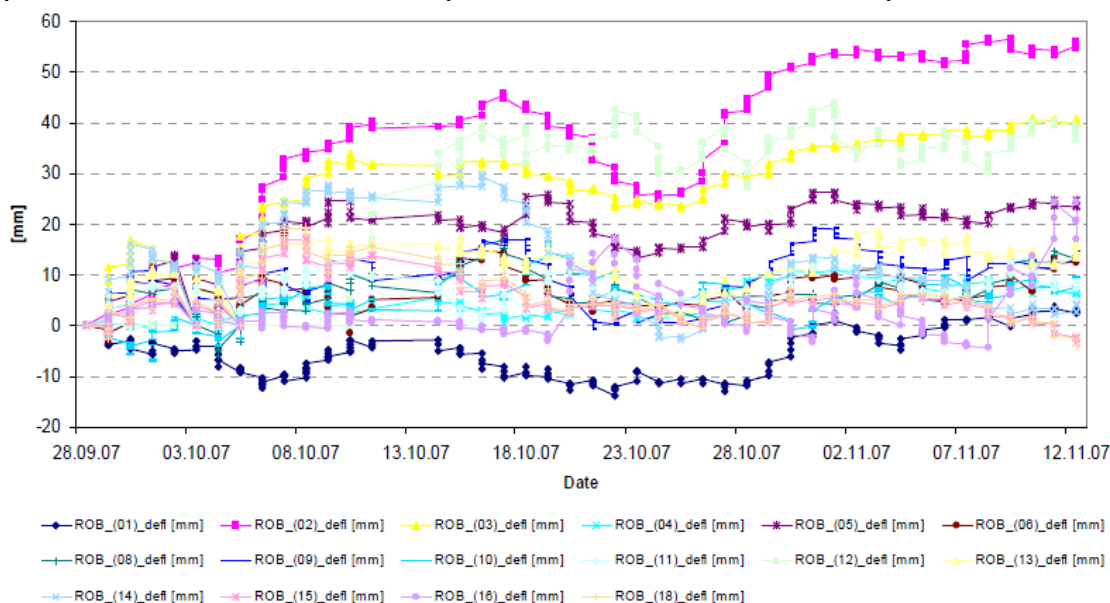


Рис. 7. Графіки виміряних прогинів [8]

Прилад виконує повне сканування всіх деформаційних марок кожні 6 годин, тоді як 36 волоконно-оптичних давачів виконують сканування кожні 15 хвилин.

Висновки відповідно до статті. Розглянуто склад, принцип роботи та застосування роботизованої системи моніторингу зсувів та деформацій 3DeMoN, яка дозволяє оперативно та з міліметровою точністю визначати параметри зсувів, деформації споруд та навколишніх об'єктів. Така чи подібна автономна та автоматична універсальна роботизована платформа може бути застосована для контролю за деформаціями основ, фундаментів відновлених споруд та їх частин, інженерних мереж та об'єктів інфраструктури, що їх оточують.

Список використаних джерел

1. ДБН А. 2.2-3:2014. Зміна № 2. Склад та зміст проектної документації на будівництво. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2022. – 18 с.
2. ДБН В 1.3-2:2010. Зміна № 1. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. – 32 с.
3. Modern Technologies of Geodetic Support of Planning Works in High-Rise Construction [Electronic resource] / O. Novomlynets, O. Tereshchuk, S. Kryachok, V. Belenok, H. Shaty, V. Gladilin // Geodetski list. – 2022. – Vol. 76 (99). № 1. – P. 71-86. – Accessed mode: <https://hrcak.srce.hr/en/clanak/398796>.
4. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 44 с.
5. ДБН В.1.2-5:2007. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2007. – 12 с.
6. Смолій, К. Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд / К. Смолій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – № 1 (29). – С. 87-89.
7. leica Geosystems. [Electronic resource]]. – Accessed mode: <https://ngc.com.ua/ua/info/monitoring-obyektov.html>.
8. Manetti, L. 3-Demon Monitoring Platform: Examples of applications in structural and geotechnical monitoring projects / L. Manetti, D. Inaudi, B. Glisic // 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering : Book of Papers. (Lisbon, 12 – 15 May 2008). – Lisbon, 2008. – P. 1-14.

References

1. State building regulations. (2022). SBR A. 2.2-3:2014. Shift №2. *Composition and content of project documentation for construction*. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Economy of Ukraine.
2. State building regulations. (2018). SBR V 1.3-2:2010. Shift №1. *System for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction. Geodetic works in construction*. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Economy of Ukraine.
3. Novomlynets, O., Tereshchuk, O., Kryachok, S., V. Belenok, V., Shaty H. & Gladilin, V. (2022). Modern Technologies of Geodetic Support of Planning Works in High-Rise Construction. *Geodetski list*, 76(99), 1, 71-86. <https://hrcak.srce.hr/en/clanak/398796>
4. State Standard of Ukraine. (2017). SSTU-N B V.1.2-18:2016. *Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition*. Kyiv: DP «UkrNDNTS» of Ukraine.
5. State building regulations. (2007). SBR V.1.2-5:2007. *Scientific and technical support of construction objects*. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Economy of Ukraine.
6. Smoliy, K. (2015). Analysis of modern geodetic and geotechnical methods of monitoring deformations of engineering structures. *Modern achievements of geodetic science and production*, 1(29), 87-89.

7. leica Geosystems. (2023). *ngc.com.ua*. <https://ngc.com.ua/ua/info/monitoring-obyektov.html>
8. Manetti, L., Inaudi, D., & Glisic, B. (2008). 3-Demon Monitoring Platform: Examples of applications in structural and geotechnical monitoring projects. Book of Papers, 4th *LAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*, Lisbon, 12 – 15 May 2008, 1 – 14.

Отримано 21.07.2023

UDC 528.4

Sergiy Kryachok¹, Vadym Belenok², Valery Gladilin³

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: geodesist2015@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5633-1501>. **ResearcherID:** N-3061-2016

²PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of the Aerospace Geodesy and Land Management

National Aviation University (Kyiv, Ukraine)

E-mail: belenok.vadim@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5357-7493>. **ResearcherID:** AAF-1013-2021

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geodesy and Land Management, Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)

E-mail: vgladilin.55@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0492-3510>. **ResearcherID:** EWG-8288-2022

APPLICATION OF GEODETIC MONITORING TO CONTROL DEFORMATIONS OF RECONSTRUCTED STRUCTURES

Currently, energy facilities, industrial buildings, shopping centers, and residential buildings are completely or partially destroyed as a result of shelling. Due to extraneous impact, the bearing capacity of foundations and structural stability of such structures may be disturbed.

The inspection, assessment of the technical condition of the damaged structure and its restoration are carried out in accordance with the existing regulatory documents. After completion of restoration works, taking into account the previous significant extraneous impact on the structure and its foundation, it is advisable to monitor their condition. This is especially important for high-rise structures, structures of considerable length and unique structures, the destruction of which may result in human casualties and significant economic losses.

The analysis of normative documents on monitoring of technical condition of objects and their structures allows determining the ways of monitoring, the criterion of its periodicity. An important element of monitoring the technical condition of the object is geodetic monitoring of its deformations.

The purpose of the article is to analyze the capabilities of the well-known universal robotic system for its application to control the deformations of restored objects.

The 3DeMoN robotic shear and deformation monitoring system consists of a number of monitoring stations distributed at the monitoring object and connected to one or more digital devices (GPS receivers, laser range finders) or analog sensors (inclinometers, strain gauges, fiber-optic sensors, etc.) and a central server station. The central server station provides data collection, data storage, configuration management of monitoring stations, automatic data processing and control over the correct operation of the network. This allows to quickly and with millimeter accuracy determine the parameters of landslides and deformations of structures and surrounding objects.

Such or similar autonomous and automatic universal robotic system can be applied to control deformations of the bases, foundations of restored structures and their parts, engineering networks and infrastructure objects that surround them.

Key words: geodetic monitoring, robotic system, deformation of the building.

Fig.: 7. Bibl. : 8.