

DOI: 10.32347/2786-7269.2023.6.266-275

УДК 528.4

к.т.н., доцент **Бачишин Б.Д.**,  
b.d.bachyshyn@nuwm.edu.ua, ORCID: 0009-0009-1961-7776,  
**Гадзeman М.С.**,  
hadzeman\_ak20@nuwm.edu.ua, ORCID: 0009-0003-2750-8349,  
Національний університет водного господарства  
та природокористування м. Рівне

## ГЕОДЕЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КРЕНУ ДИМОВОЇ ТРУБИ КОТЕЛЬНІ ПО ВУЛИЦІ М. КАРНАУХОВА В М. РІВНЕ

*Димові труби є неординарними та технологічно надважливими будівельними спорудами. Їх безпечне функціонування є необхідною умовою довготривалої та безаварійної роботи котельні та забезпечення теплом цілих мікрорайонів міста. Мета цієї роботи – дослідження крену димової труби котельні геодезичними методами. Актуальність цього дослідження полягає в тому, що крен димової труби є небезпечним фактором, який може привести до її руйнування через втрату стійкості чи внаслідок перевищення зусиллям максимального опору. Руйнування такої конструкції може завдати значних економічних чи навіть людських втрат.*

*Виконано попередній розрахунок точності геодезичних робіт для визначення крену димової труби по вулиці М. Карнаухова. За результатами розрахунку обрано електронний тахеометр Leica TCR 1205. Застосовано модифікований координатний метод, яким визначено положення великої кількості точок на зовнішній поверхні труби для кожного горизонтального перерізу. Результати вимірювань зрівноважені параметричним способом методу найменших квадратів. Даний спосіб реалізовано в програмному модулі «Крен», розробленому авторами.*

*Виконано три цикли вимірювань в 2021, 2022 та 2023 роках. Значення крену (близько 200 мм) є досить відчутним для цієї димової труби з діаметром нижнього січення 3.65 м. Труба нахилена в ту сторону, з якої встановлено обладнання мобільного зв'язку. Зрівноважене значення крену різниться із значенням, вирахованим лише за крайніми точками спостереження із станції. Дані моніторингу крену слід розглядати як невід'ємну складову будівельної інформаційної системи димової труби (ВІМ).*

*Ключові слова: геодезичні дослідження; крен; димова труба; електронний тахеометр, програмний модуль.*

**Постановка проблеми.** Димові труби є неординарними та технологічно надважливими будівельними спорудами. Їх безпечне функціонування є необхідною умовою довготривалої та безаварійної роботи котельні та забезпечення теплом цілих мікрорайонів міста. Крім того, недавно дуже поширеною практикою стало неконтрольоване встановлення на таких трубах обладнання для забезпечення мобільного зв'язку. Таке обладнання викликає додаткові, непередбачені проектом, зусилля, які в поєднанні з іншими проектними факторами можуть привести до ситуації, коли сумарне зусилля перевищить опір конструкції в певному місці, що призведе до руйнування споруди. Іншою причиною руйнування може бути втрата стійкості [1] димової труби через появу надмірного крену конструкції через встановлене обладнання, особливо коли воно сконцентроване з одного боку труби. А руйнування димової труби може привести до непередбачуваних наслідків як з точки зору безпеки людей так і з точки зору економічної шкоди. Тому дослідження деформацій димових труб та, зокрема, крену є цікавою та важливою науково-практичною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Інтерес до моніторингу деформацій висотних об'єктів, зокрема димових труб, є постійним та безперервним у різних куточках нашої планети, адже важливість безаварійної роботи таких споруд не потребує доказів.

Визначенню кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування присвячені роботи [2, 3, 4]. Комплексному дослідженню деформацій та крену присвячена стаття [5]. В ній викладені результати спостереження за Вежею Тисячоліття в Каліфорнії (США) з 2006 до 2020 року. Для визначення крену використані дані спостережень з трьох джерел: геодезичного знімання марок на різних поверхах, з результатів спостереження за осіданнями фундаменту та супутникових даних інтерферометричного радара з синтетичною апертурою (InSAR). Також застосуванню останнього методу для цілей визначення деформацій споруд та прогнозування їх розвитку присвячена робота [6]. Автори [7] стверджують, що розроблені ними подвійні квадратні марки дозволяють значно підвищити ефективність наземного фотограмметричного методу для визначення нахилів споруд у порівнянні із методами знімання електронним тахеометром, лазерним скануванням та GPS – визначеннями. Для безперервного моніторингу деформацій споруд автори [8, 9] пропонують використовувати робот-тахеометр з фото та відеокамерами та системою самонаведення. Питанням визначення кута нахилу опори ЛЕП присвячені роботи [10, 11]. В [10] ця задача вирішується за даними лазерного сканування з БПЛА, а в [11] пропонується можливість вже автоматичного визначення цієї ж задачі шляхом опрацювання 2D-знімків та 3D хмари точок лазерного

сканування. В [12] пропонується високочутливий поворотний 3D-давач переміщення, який може бути застосований для автоматичного моніторингу різноманітних деформацій, в т.ч. крену. Оригінальним є патент США [13], яким за автором закріплюється юридичні права на метод визначення нахилів споруд, який базується на поєднанні методу інклінометрії з методом GPS-вимірювань. Питання про причини нахилу, про величини нахилу та про те, як вдалося стабілізувати нахил найвідомішої Пізанської Вежі висвітлені в [14]. Кут нахилу споруди методом кутових засічок досліджують в роботі [15]. Сумісне опрацювання даних BDS/GPS для моніторингу деформації висотних будівель висвітлено в [16].

**Актуальність цього дослідження** полягає в тому, що крен димової труби є небезпечним фактором, який може привести до її руйнування через втрату стійкості чи внаслідок перевищення зусиллям максимального опору. Руйнування такої конструкції може завдати значних економічних чи навіть людських втрат.

**Метою** цієї роботи є дослідження крену димової труби котельні геодезичними методами.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом дослідження є димова труба котельні висотою 37 метри по вулиці М. Карнаухова в м. Рівне. Труба має конічну форму, а в горизонтальному січенні – форму кола, виготовлена з цегли. Нижнє січення труби має діаметр 3,65 м, а верхнє – 2,78 м. Із західної сторони на висоті 32 м на трубі встановлено обладнання для забезпечення мобільного зв'язку. Від співробітників котельні неодноразово надходили повідомлення про те, що відбувається «відстрілювання» частин цегли від труби і ці частини падають на території котельні. Це свідчить про негативні з точки зору міцності процеси, які відбуваються в тілі димової труби.

Згідно ДСТУ Б В.2.1-30:2014 [17] граничні похибки вимірювань крену димарів, щогл, веж не повинні перевищувати величини  $0,0005H$ , де  $H$  – висота споруди, тобто:  $\delta_{гр}=18.5$  мм для нашої труби висотою 37 м. Вирахуємо середню квадратичну похибку визначення крену застосувавши коефіцієнт переходу 3:  $m_K=6.2$  мм. Для переходу від похибки крену до похибки визначення координат використаємо формулу визначення крену

$$K = \sqrt{(X_v - X_n)^2 + (Y_v - Y_n)^2}, \quad (1)$$

де  $X_v, X_n, Y_v, Y_n$  – планові координати відповідно верхньої центральної та нижньої центральної точок труби. Перейшовши до середніх квадратичних похибок, матимемо

$$m_{пл} = m_K, \quad (2)$$

де  $m_{пл}$ ,  $m_K$  – середні квадратичні похибки планового положення точки та крену відповідно. Під час польових вимірювань ми визначаємо координати не центральної точки, а зовнішніх точок конструкції, а вже за ними – положення центру. Мінімально необхідна кількість вимірних зовнішніх точок для відновлення центру круглого перерізу – 3. В залежності від обраного методу визначення крену на зовнішній поверхні димової труби спостерігається набагато більше точок на одному рівні. Тому, насправді, координати центральної точки січення труби будуть визначені точніше приблизно в  $\sqrt{n-3}$  разів ( $n$  – кількість зовнішніх точок для одного січення).

Для вибору приладів необхідної точності розрахуємо середні квадратичні похибки вимірювання кутів  $m_\beta$  та віддалей  $m_S$  для полярного способу знімання аналогічно [18]:  $m_\beta = 9.8''$  та  $m_S = 3.1$  мм. Для польових вимірювань ми використали електронний тахеометр Leica TCR 1205.

Для конструкцій круглого перерізу найефективнішим методом визначення крену є так званий координатний [19], який в [17] називають «координування». Різні автори по-різному описують суть та порядок робіт цим методом. Ми ж будемо розуміти під цим методом такий, при якому на зовнішній поверхні димової труби координують полярним способом (вимірюють і кути і віддалі) якомога більше точок на одному горизонтальному перерізі. Будь-які методи визначення крену, які базуються на спостереженні лише крайніх (чи характерних, чи поворотних – кутових) точок, автоматично знижують точність та надійність визначення крену споруди. Це обумовлено тим, що будь-яка помилка крайньої точки має значний вплив на точність визначення центру, адже центр (для одного відрізка чи осі) визначають за положенням лише двох точок. І найбільший вплив на помилку положення центру січення має помилка ідентифікації крайньої точки, викликана технологіями будівництва: помилками в розмірах цегли, різною товщиною шва, різною товщиною захисного шару, різною товщиною опалубки, викришуванням матеріалу і т.п. Така помилка ідентифікації може досягати 1-3 см і більше, що в разі перевищує приладові похибки вимірювання. Крім того при вимірюванні віддалі на крайні точки матимемо найгірші умови вимірювань: велике відхилення променя від нормалі до поверхні. Тому використання більшої кількості точок на зовнішній поверхні димової труби дозволяє зменшити домінуючий вплив помилки ідентифікації на точність положення центру січення. Спостереження труби варто виконувати мінімум із двох стацій, розташованих приблизно під кутом  $90^\circ$  якщо дивитися на ці станції із центру споруди. Це гарантуватиме мінімум по одній точці для двох взаємо перпендикулярних діаметрів, які будуть визначені за найкращих умов: промінь падатиме по нормалі до поверхні конструкції.

Спостереження димової труби по вулиці Миколи Карнаухова було виконано із двох станцій, розташованих приблизно під кутом  $90^\circ$  (див. рис. 1). Використати більше станцій було неможливо через природні перешкоди.

Для зв'язку станцій в одну систему координат було використано дві зв'язні точки (31 і 32), одну з яких замаркували на самій трубі, іншу – поруч. Координати зв'язних точок були визначені з першої станції, а місцеположення другої – методом вільної станції.

На зовнішній поверхні димової труби в різні роки було закоординовано від 12 до 30 точок на кожному січенні, порівну з кожної станції. Вимірювання проводилися у безрефлекторному режимі.

Така кількість точок спостереження ставить задачу зрівноваження результатів методом найменших квадратів (МНК). За невідомі параметри приймемо координати центра та радіус кола. Кількість рівнянь поправок рівна  $2n$  ( $n$  – кількість точок на одному січенні). Авторами було створено програмний модуль «Крен» для визначення крену для двох січень круглої форми. Модуль може зчитувати координати точок конструкції з текстового файлу у форматі: № точки У Х Н. Є можливість додавати чи видаляти точки (рис. 2). В модулі реалізовано параметричний спосіб врівноваження результатів за МНК.

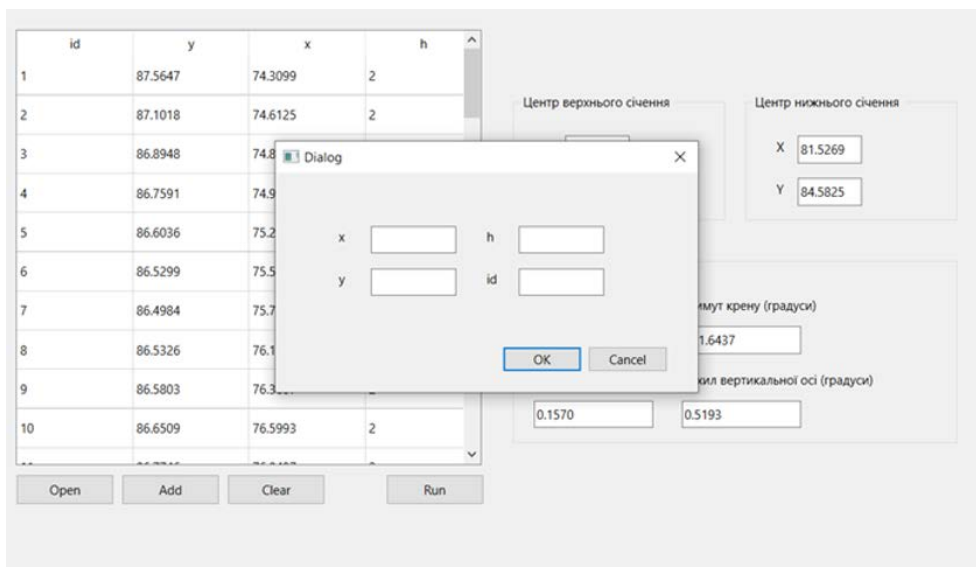
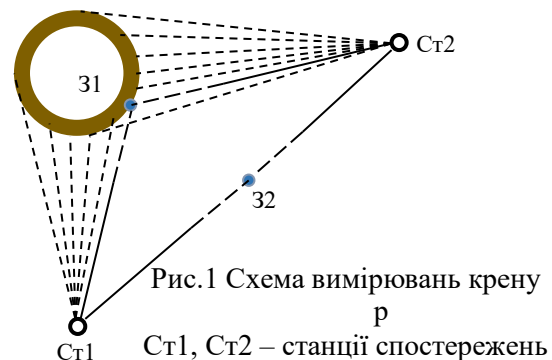


Рис.2. Робоче та діалогове вікно програмного модуля «Крен»

Приблизне значення крену можна отримати в програмі Digital, побудувавши два кола, які максимально наближаються до точок вимірювань,

визначивши центри кіл та вимірявши віддаль між цими центрами. Координати центрів кіл, отримані в програмі Digitals, можна використати як наближені значення для строго врівноваження в програмному модулі «Крен».

Для порівняння результатів крен було враховано також за результатами спостереження лише крайніх точок з кожної станції, що імітує інші способи визначення крену, які базуються на вимірюванні дотичних напрямків до тіла труби чи крайніх (характерних точок).

Результати обчислень за 2021-2023 роки представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

#### Результати обчислення крену димової труби

Цикл	Зрівноважене значення крену з модуля «Крен», мм	СКП крену, мм	Напрямок крену, градуси	Кут нахилу димової труби, градуси	Крен, врахований за крайніми точками, мм
07.2021	195.0	13.8	266.4	0.3747	184.8
07.2022	217.9	7.2	264.2	0.4279	195.7
07.2023	194.9	10.3	268.8	0.3753	202.6

Як видно з результатів обчислень, значення крену є досить відчутним як для труби діаметром 3,65м в нижньому січенні. Напрямок крену – на захід. Саме з тієї сторони знаходиться обладнання мобільного зв'язку. Стверджувати, що основною причиною крену в західному напрямку є обладнання, не можна, тому що спостереження ми розпочали вже після встановлення антен. Наявні відхилення врівноваженого значення крену від значення отриманого за лише за крайніми точками. Середня квадратична похибка крену обчислена з результатів врівноваження значно перевищує приладову похибку вимірювання електронним тахеометром TCR 1205. Причиною цього, на наш погляд, є помилка ідентифікації точок на кам'яній кладці димової труби та те, наскільки точно витримано проектний радіус в кожному січенні під час будівництва. Спостерігається коливання значення крену у 2022 році. Серед можливих причин такого відхилення може бути коливання параметрів атмосфери, які найбільше впливають на деформацію труби: температури, швидкості і напрямку вітру та тиску. На жаль значення цих параметрів не фіксувалися під час вимірювань.

**Висновки.** Виконано попередній розрахунок точності виконання геодезичних робіт для визначення крену димової труби по вулиці Миколи Карнаухова. За результатами розрахунку обрано електронний тахеометр TCR 1205 та координатний метод вимірювання.

Для врівноваження результатів спостереження за МНК розроблено програмний модуль «Крен».

Виконано три цикли вимірювань в 2021, 2022 та 2023 роках. Значення крену є досить відчутним для цієї димової труби. Труба нахилена в ту сторону, з якої

встановлено обладнання мобільного зв'язку. Зрівноважене значення крену різниться із значенням, вирахованим лише за крайніми точками спостереження із станції. Дані моніторингу крену слід розглядати як невід'ємну складову будівельної інформаційної системи димової труби (ВІМ).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войцехівський О., Попов В., Дорохова Н. Стійкість рівноваги висотних димових труб на фундаментах мілкового закладання. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. Вінниця: ВНТУ. – 2017. – С. 42-49.
2. Войтенко С., Шульц Р., Білоус М. Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск I (17). – 2009. – С. 144-150.
3. Шульц Р., Білоус М., Ковтун В., Куліченко Н, Гончерюк О. Визначення кренів історичних споруд за методом наземного лазерного сканування. // Інженерна геодезія, вип. 62. – 2015. – С. 55-71.
4. Andreas H., Abidin H., Sarsito D., Pradipta D. The investigation on high-rise building tilting from the issue of land subsidence in Jakarta City. // MATEC Web of Conferences 270, 06002. – 2019. – P.1-7. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927006002>.
5. Stewart J., Wagner N., Murphy D., Butkovich J., Largent M., Nouri H., Curran H., Maffioli D., Egan J. Foundation Settlement and Tilt of Millennium Tower in San Francisco, California. // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* Vol. 149, No. 6. – 2023. – 05023002. – P.1-22. DOI: 10.1061/JGGEFK.GTENG-10244.
6. Ma P., Zheng Y., Zhang Z., Wu Z., Yu C. Building risk monitoring and prediction using integrated multi-temporal InSAR and numerical modeling techniques. // *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 114. – 2022. – 103076.
7. Yang G., Wu J., Hu Q., Lei D. Real-time monitoring of changes in building tilt angle using double square artificial marks. // *Indoor and Built Environment*, Vol. 30(6). – 2021. – P. 777–786. DOI: 10.1177/1420326X20909163 [journals.sagepub.com/home/ibe](https://journals.sagepub.com/home/ibe).
8. Chua Y., Wang J. Application of Measuring Intelligent Robot in Building Deformation Monitoring. // *Procedia Computer Science* 208, 7th International Conference on Intelligent, Interactive Systems and Applications. – 2022. – P. 206–210.
9. Li Y., Yu C., Hong X., Jicheng D., Yinghao Z., Xiao H., Yao L., Jianyang Z., Yueqin W. Key technologies of measurement robot // *Journal of Surveying and mapping*, 50(09). – 2021. – P. 1159-1169.
10. Lu Z., Gong H., Jin Q., Hu Q., Wang S. A transmission tower tilt state assessment approach based on dense point cloud from UAV-Based LiDAR. *Remote Sens*, 14 (2). – 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14020408>.
11. Chen L., Chang J., Xu J., Yang Z. Automatic Measurement of Inclination Angle of Utility Poles Using 2D Image and 3D Point Cloud // *Appl. Sci.*, 13, 1688. – 2023. – P.1-22. <https://doi.org/10.3390/app13031688>.
12. Cai J., Jiang T., Gao Z., Shi Y. A high-sensitivity rotatable 3D displacement sensor. // *Scientific Reports* 13:5086. – 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32178-3>.
13. Chisholm G., Daly J., Hansby M. Relating to the determination of verticality in tall buildings and other structures. // Patent Number: 5,841,353. Nov. 24, 1998.
14. Zhou S. The tilt of the Leaning Tower of Pisa: Why and How? // *Geoengineer*. – Dec, 17. – 2020. <https://www.geoengineer.org/education/web-class-projects/ce-179-geosystems-engineering-design/assignments/the-tilt-of-the-tower-of-pisa-why-and-how>.
15. Guo Q., Gao X., Ge W. Method and practice of high rise building inclination monitoring based on angle intersection. // *Geomat Spatial Inform Technol.* – 2018. – P. 210–213.

16. Wang K. BDS/GPS data processing and analysis for highrise building deformation monitoring. Beijing: Beijing Jiaotong University. – 2016.
17. ДСТУ Б В.2.1-30:2014. Грунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд. Мінрегіон України. К.: 2015. 33 с.
18. Бачишин Б. Обґрунтування точності геодезичних робіт при обстеженні мосту в м. Рівне // Містобудування та територіальне планування. № 84, 2023. - С.28-41 DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.28-41>.
19. Баран П. Інженерна геодезія: Монографія. К.: ПАТ «Віпол», 2012. – 618 с.: іл

candidate of technical sciences **Bohdan Bachyshyn, Maksym Hadzeman**  
National university of Water and Environmental Engineering, Rivne

## **GEODETIC RESEARCH OF THE SMOKESTACK TILT OF THE BOILER HOUSE ON KARNAUKHOVA STREET IN RIVNE**

Smokestacks are extraordinary and technologically important construction structures. Their safe operation is a prerequisite for long-term and trouble-free operation of a boiler house and the provision of heat to entire city districts. The purpose of this paper is to study the smokestack tilt of a boiler house using geodetic methods. The relevance of this research is in the fact that the smokestack tilt a dangerous factor that can lead to its destruction due to loss of stability or due to the force exceeding the maximum resistance. The destruction of such a structure can cause significant economic or even human losses.

A preliminary calculation of the accuracy of geodetic work to determine the smokestack's tilt on M. Karnaukhova Street was performed. Based on the calculation results, an electronic total station Leica TCR 1205 was selected. A modified coordinate method was used to determine the position of a large number of points on the outer surface of the smokestack for each horizontal section. The measurement results are balanced by the parametric method of the least squares method. This method is implemented in the "Kren" software module developed by the authors.

Three measurement cycles were performed in 2021, 2022, and 2023. The value of the tilt (about 200 mm) is quite noticeable for this smokestack with a bottom section diameter of 3.65 m. The smokestack is tilted in the direction from which the mobile communication equipment is installed. The balanced tilt value differs from the value calculated from the outermost observation points from the station. Tilt monitoring data should be considered as an integral part of the chimney building information system (BIM).

Keywords: geodetic research; tilt; smokestack; electronic total station, software module.



## REFERENCES

1. Vojtsekhivskij O., Popov V., Dorokhova N. Stijkist rivnovagy vysotnykh dymovykh trub na fundamentakh milkoho zakladannja. // Suchasni tekhnologij, materialy i konstrukcij v budivnytstvi. Naukovo-tekhnichyj zbirnyk. Vinnytsja: VNTU. – 2017. – S.42-49. {in Ukrainian}.
2. Vojtenko S., Shults R., Bilous M. Vyznachennja kreniv inzhenernykh sporud metodom nazemnoho lazernoho skanuvannja. // Suchasni dosjahnennja geodezychnoji nauky ta vyrobnytstva, vypusk I (17). – 2009. – S.144-150. {in Ukrainian}
3. Shults R., Bilous M., Kovtun V., Kulichenko N, Honcheruk O. Vyznachennja kreniv istorychnykh sporud za metodom nazemnoho lazernoho skanuvannja.. // Inzhenerna geodezija, vyp. 62. – 2015. – S.55-71. {in Ukrainian}
4. Andreas H., Abidin H., Sarsito D., Pradipta D. The investigation on high-rise building tilting from the issue of land subsidence in Jakarta City. // MATEC Web of Conferences 270, 06002. – 2019. – P.1-7. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927006002>. {in English}
5. Stewart J., Wagner N., Murphy D., Butkovich J., Largent M., Nouri H., Curran H., Maffioli D., Egan J. Foundation Settlement and Tilt of Millennium Tower in San Francisco, California. // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Vol. 149, No. 6. – 2023. –05023002. – P.1-22. DOI: 10.1061/JGGEFK.GTENG-10244. {in English}
6. Ma P., Zheng Y., Zhang Z., Wu Z., Yu C. Building risk monitoring and prediction using integrated multi-temporal InSAR and numerical modeling techniques. // International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 114. – 2022. – 103076. {in English}
7. Yang G., Wu J., Hu Q., Lei D. Real-time monitoring of changes in building tilt angle using double square artificial marks. // Indoor and Built Environment, Vol. 30(6). – 2021. – P. 777–786. DOI: 10.1177/1420326X20909163 [journals.sagepub.com/home/ibe](https://journals.sagepub.com/home/ibe). {in English}
8. Chua Y., Wang J. Application of Measuring Intelligent Robot in Building Deformation Monitoring. // Procedia Computer Science 208, 7th International Conference on Intelligent, Interactive Systems and Applications. – 2022. – P. 206–210. {in English}
9. Li Y., Yu C., Hong X., Jicheng D., Yinghao Z., Xiao H., Yao L., Jianyang Z., Yueqin W. Key technologies of measurement robot // Journal of Surveying and mapping, 50(09). – 2021. – P. 1159-1169. {in English}
10. Lu Z., Gong H., Jin Q., Hu Q., Wang S. A transmission tower tilt state assessment approach based on dense point cloud from UAV-Based LiDAR. Remote Sens, 14 (2). – 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14020408>. {in English}

11. Chen L., Chang J., Xu J., Yang Z. Automatic Measurement of Inclination Angle of Utility Poles Using 2D Image and 3D Point Cloud // *Appl. Sci.*, 13, 1688. – 2023. – P.1-22. <https://doi.org/10.3390/app13031688>. {in English}
12. Cai J., Jiang T., Gao Z., Shi Y. A high-sensitivity rotatable 3D displacement sensor. // *Scientific Reports* 13:5086. – 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32178-3>. {in English}
13. Chisholm G., Daly J., Hansby M. Relating to the determination of verticality in tall buildings and other structures. // Patent Number: 5,841,353. Nov. 24, 1998. {in English}
14. Zhou S. The tilt of the Leaning Tower of Pisa: Why and How? // *Geoengineer.* – Dec, 17. – 2020. <https://www.geoengineer.org/education/web-class-projects/ce-179-geosystems-engineering-design/assignments/the-tilt-of-the-tower-of-pisa-why-and-how>. {in English}
15. Guo Q., Gao X., Ge W. Method and practice of high rise building inclination monitoring based on angle intersection. // *Geomat Spatial Inform Technol.* – 2018. – P.210–213. {in English}
16. Wang K. BDS/GPS data processing and analysis for highrise building deformation monitoring. Beijing: Beijing Jiaotong University. – 2016. {in English}
17. DSTU B V.2.1-30:2014. Grunty. Metody vymirjuvannja deformatsij osnov budynkiv i sporud. Minregion Ukrainy. K.: 2015. 33s. {in Ukrainian}.
18. Bachyshyn B. Obgruntuvannja tochnosti geodezychnykh robit pry obstezhenni mostu v m. Rivne // *Mistobuduvannja ta terytorialne planuvannja.* № 84, 2023. – S.28-41 DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.28-41>. {in Ukrainian}.
19. Baran P. Inzhenerna geodezija: Monohrafija. K.: PAT «Vipol», 2012. – 618 s.: il. {in Ukrainian}.