

DOI: 10.32347/2076-815x.2023.84.28-41

УДК 528.4

к.т.н., доцент **Бачишин Б.Д.**,
b.d.bachyshyn@nuwm.edu.ua, ORCID: 0009-0009-1961-7776,
Національний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне,

ОБГРУНТУВАННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ ОБСТЕЖЕННІ МОСТУ В М. РІВНЕ

Мости є архіважливими спорудами для безпечного функціонування автомобільних доріг, залізниць та пішохідних зон. Мета цієї роботи – обґрунтування точності геодезичних робіт при обстеженні мостів. В державних будівельних стандартах відсутні вимоги до точності таких робіт. Актуальність цього питання полягає ще в тому, що виконувати будь-які геодезичні роботи необхідно з оптимальною точністю, яка з однієї сторони виключає надмірні затрати на геодезичне обладнання, а з іншої гарантує безпечне функціонування інженерної споруди. На основі таких розрахунків можна підібрати геодезичне обладнання з відповідними характеристиками та обрати методи вимірювань. Розглянуто три варіанти розрахунку необхідної точності геодезичних вимірювань: за відхиленням верху палі від проектного положення у плані, за відхиленням верху опор мосту від вертикалі та за граничним прогином балок-плит перекриття мосту. В якості значень граничних похибок геодезичних робіт пропонується вибирати менше значення з трьох варіантів. Розроблена методика була апробована при обстеженні мосту по вулиці Жоліо Кюрі в м. Рівне. За результатами розрахунків було вибрано метод наземного знімання із використанням способу вільної станції електронним безвідбивним тахеометром Leica TCR 405 ultra, як такий що забезпечує необхідну точність та найбільш економічний. Виконано координування всіх елементів мосту та знімання верхньої частини мосту та прилеглої території. За результатами геодезичних робіт були вираховані крени колон-палі, прогини поздовжніх несучих балок-панелей, побудовано план верху мосту. Таким чином виконані геодезичні роботи забезпечили якісне обстеження мосту і дозволили інженерам-будівельникам сформулювати заходи, необхідні для подальшого безпечного функціонування цієї мостової споруди. Наукова новизна та практична значущість цієї роботи полягає в тому, що розроблена методика обґрунтування точності геодезичних робіт при обстеженні мостових споруд, яка гарантує безпечне функціонування мостової споруди.

Ключові слова: обстеження мосту; обґрунтування точності; геодезичні роботи; електронний тахеометр.

Постановка проблеми. Мости є важливими та відповідальними спорудами для безпечного функціонування доріг. Згідно ДБН В.2.3-6:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування» геодезична складова загального обстеження мостів включає:

- обмірювання загальних розмірів конструкцій та їх перерізів;
- геодезичні роботи для виявлення зміщень в плані, деформацій, осідань, перекосів, кренів та прогинів конструкцій;
- визначення ступеня розмиву русла та стану заплав;
- оцінка стану дамб, укосів, траверс та конусів;
- оцінки відповідності положення споруди в плані і профілі, зазначених у проектній, виконавчій або експлуатаційній технічній документації [1];

Планові обстеження мостів проводяться з періодичністю через 5-7 років (для мостів віком до 20 років) та через 1 рік (для мостів віком більше 80 років) [1]. Проте у цьому ДБН відсутні будь-які показники, які б регламентували точність виконання геодезичних робіт. В такому випадку застосовують принцип, за яким слід звертатися до інших ДБН, де б застосовувались показники точності геодезичних робіт для складових конструкцій мосту, тобто: паль, фундаментів, балок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мости є архіважливими спорудами для безпечного функціонування автомобільних доріг та залізниць, тому інтерес до спостереження цих споруд, їх дослідження не припиняється і не припиниться ніколи. Автори [3] порівняли ефективність використання знімання електронним тахеометром, наземного лазерного сканування та фотограмметричного методу для визначення геометричних параметрів підвісного мосту. Автори пропонують здійснювати комбіновані спостереження мосту всіма трьома методами в один час. В [4] описані геодезичні роботи для визначення поздовжніх деформацій залізничного мосту. Було використано електронний тахеометр Trimble S6 HP ($m_S = 1 + 1ppm \cdot S$ мм, а $m_\beta = 1''$). Виявлені деформації мосту – 4мм, а рейок – 1мм. На цьому прикладі ми бачимо, що деформація колії рівна похибці вимірювання віддалі тахеометром, що свідчить про неякісний підбір приладу, і напевно, про відсутність обґрунтування точності виконання геодезичних вимірювань, чому власне і присвячена ця стаття, і що вказує про її актуальність. Автори [5] описують обстеження основного прольоту мосту «Газела» через річку Сава в Белграді класичним методом геометричного нівелювання. Величина прогину в точках вимірювання знаходиться в інтервал від +5,2 см до -38,3 см. Стаття [6]

присвячена детальному аналізу класичного тригонометричного нівелювання та ефективності його застосування для моніторингу вертикальних деформацій інженерних споруд. Експериментальні дослідження проводилися на пішохідному мості через річку. Використано тахеометр LEICA TCR 407. В [7] описано моніторинг залізничного мосту. Для виявлення горизонтальних зміщень використано мережу триангуляції, а вертикальних – геометричне нівелювання. Стаття [8] присвячена моніторингу деформацій великих бетонних двох паралельних мостових об'єктів довжиною 700 м. Конструкція мосту має 15 опор, висотою до 30 м. Опрацьовано шість етапів вимірювань за 6 років.

Популярним та ефективним методом моніторингу мостів є GNSS спостереження [9,10,11,12]. Зокрема, можливості застосуванню режиму RTK-GPS для моніторингу сталевого мосту Talkha у місті Мансура (США) присвячена робота [9]. Для оцінки ефективності китайської системи BDS був проведений порівняльний аналіз її результатів з даними GPS мережі на мосту через річку Янцзи в Китаї і виявлено, що точність BDS у статичному режимі може досягати 2–3 мм горизонтальній і 5–7 мм у вертикальній площинах [10]. Публікація [11] присвячена застосуванню супутникових навігаційних систем (в тому числі китайської (BDS) Beidou) для моніторингу деформацій мостових конструкцій. Відмічається, що даний метод забезпечує високу точність результатів та дозволяє отримувати безперервну інформацію про деформації в реальному часі з високою дискретністю, що характеризує деформацію конструкцій мосту як безперервний динамічний процес. В [12] мова йде про створення системи моніторингу здоров'я конструкцій (SHM), невід'ємною складовою якої є технологія глобальної системи позиціонування (GPS). У цьому дослідженні автори пропонують метод мульти-GNSS інтеграції. Експерименти, проведені на мосту через річку Янцзи Байшачжоу в Ухані (Китай), показують, що за рахунок більшої кількості доступних супутників і кращої геометрії супутників комбінована система GPS/BDS/ГЛОНАСС демонструє найвищу точність з похибкою 1–2 мм (навіть при зростанні граничних кутів відсічення від 10° до 40°) по горизонталі та 2–5 мм по вертикалі. Ці дослідження дають змогу використовувати GNSS спостереження в обмежених умовах видимості супутників.

Публікація [13] присвячена вивченню метрологічних переваг технології наземного лазерного сканування для моніторингу деформацій конструкцій мосту. У дослідженні представлені результати моніторингу деформацій, проведеного під час унікального випробування залізобетонного консольного мосту статичним навантаженням максимальною силою до 1961 кН (200 т), яке було прикладено на площі 12 м^2 в центральній частині однієї з балок. Дослідження виявило виникнення багатьох тріщин в балках і значних

вертикальних деформацій, як прогину ($-4,2$ см), так і підйому ($+2,5$ см). Результати моніторингу наземного лазерного сканування були підтверджені високоточним нівелюванням. Результати дослідження підтвердили, що точність наземного лазерного сканування може досягати $\pm 2,8$ мм при 95% довірчій імовірності.

В [14] автори намагаються описати оптимальну (з їх слів) методику застосування ВІМ для побудованих мостів. Ефективним аспектом цієї моделі буде інформація про теперішній стан мостових конструкцій. Таку інформаційну систему пропонується розробляти на основі проектної документації та натурних обмірів мосту. Цифрову модель мосту рекомендують створювати в програмному середовищі Revit. Згадується про поняття мостової інформаційної моделі – (BrIM). Теоретичні рекомендації були втілені в BrIM мосту на федеральній трасі В96. Остання була реалізована за даними наземного лазерного сканування, аерофотознімків та атрибутивної інформації з проектної документації. Програмним модулем SOFiSTiK були змодельовані деформаційні характеристики всієї конструкції мосту: нахил тіла мосту та поворот навколо центральної осі.

Дослідженню деформацій сталевго арочного мосту під статичним навантаженням методом наземної фотограмметрії присвячена робота [15]. Для визначення деформацій застосована модель методу скінчених елементів. Цікава ідея висвітлена у роботі [16], де запропоновано застосувати метод скінчених елементів для обґрунтування точності геодезичних робіт при розмічненні та моніторингу інженерних конструкцій. В [17] приведені результати моніторингу сталевго залізничного мосту за допомогою сканера Z+F Imager 5010 і традиційних методів точної безрефлекторної тахеометрії та нівелювання. Зі слів авторів ці результати демонструють, що методом TLS можна визначити вертикальне зміщення з точністю ± 1 мм. У статті [18] представлено моніторинг деформації пішохідного мосту через річку Малий Дунай у Братиславі методом наземного лазерного сканування (TLS). Для розрахунку переміщень було застосовано метод ортогональної регресії.

Ефективним методом моніторингу поведінки елементів будівельних конструкцій на думку авторів [19] є RGB+D дані. Вони створюються шляхом об'єднання даних зображення (RGB) та лазерного сканування, де канал D представляє відстань, отриману з лазерного сканера. Зображення RGB+D поєднує в собі переваги двох методів вимірювання. У цій роботі [19] висвітлено експериментальні дослідження цього методу для визначення переміщень елементів конструкції. Як еталон для переміщення, розрахованого на основі зображень RGB+D використовувалися переміщення, виміряні високоточним

давачем LVDT. Така технологія може бути з успіхом застосована для обстеження мостів.

Актуальність цього дослідження полягає в тому, що в державних будівельних стандартах відсутні вимоги до точності робіт при обстеженні мостів. Крім того, виконувати будь-які геодезичні роботи необхідно з оптимальною точністю, яка з однієї сторони виключає надмірні затрати на геодезичне обладнання, а з іншої гарантує безпечне функціонування інженерної споруди. Отримавши показники точності можна вибрати прилади з необхідними параметрами та методи виконання геодезичних робіт

Метою цієї роботи є обґрунтування точності геодезичних робіт при обстеженні мостів та розробка рекомендацій щодо методики виконання таких робіт.

Виклад основного матеріалу. Тут ми спробуємо визначити вимоги точності для різних складових робіт при обстеженні мостів, проаналізувати їх та сформувані рекомендації стосовно вибору технології знімання та приладів відповідної точності. Одним із масових та відповідальних процесів при обстеженні мостів є знімання та визначення крену паль. Граничні параметри паль, приведені в ДБН можуть бути використані для розрахунку необхідної точності вимірювань.

Відхилення верху паль (розміром до 0,6м) від проектного положення у плані при розташуванні паль в один ряд не повинно бути більшим [2]

$$\delta = 0,2D \quad (1)$$

вздовж моста та

$$\delta = 0,3D \quad (2)$$

поперек мосту. В формулах (1) , (2): D – діаметр палі чи менший розмір палі, якщо паля прямокутна. При розташуванні паль у два та більше рядів для середніх рядів ці граничні відхилення збільшуються на $0,1D$. Приведені вище значення стосуються монолітного ростверка. У випадку збірної розверстка $\delta = 5$ см. Для паль діаметром 0,6÷3м розташованих в один ряд

$$\delta = 0,1D \quad (3)$$

і

$$\delta = 0,15D \quad (4)$$

у випадку двох і більше рядів [2].

Очевидним є те, що при виборі приладів необхідної точності будемо використовувати не два граничних відхилення (вздовж та поперек мосту чи для крайніх та середніх рядів паль), а менше з них.

Граничне значення похибки геодезичних робіт при визначенні планового положення центру палі визначається як

$$\delta_{\Gamma} = 0,2\delta \quad (5)$$

Незалежно від використаного методу знімання необхідне створення локальної опорної мережі, яка включає мінімальну кількість закріплених пунктів (2-3) та вільні станції, які стали ефективним та вже практично незамінним інструментом для таких цілей. Координати опорних пунктів слід визначати з однієї вільної станції, якщо цього дозволяє територія знімання.

Як правило знімання та створення опорної мережі виконується одним тахеометром, тому

$$m_{3H} = m_{MEP} = \delta_{\Gamma} / \sqrt{2}, \quad (6)$$

де m_{3H} – похибка планового положення знімальної точки, m_{MEP} – похибка планового положення пунктів опорної мережі.

Для найбільш масового полярного способу знімання визначимо граничні похибки вимірювання віддалі m_S та горизонтального кута m_{β} , за якими можна буде підібрати тахеометр необхідної точності:

$$m_S = m_{3H} / \sqrt{2} \quad (7)$$

$$m_{\beta} = m_{3H} \cdot 206265 / \sqrt{2} / S, \quad (8)$$

де S – віддаль від тахеометра до точки мосту. Похибки за формулами (7), (8) отримані за умови, що кутова та віддалемірна складова мають рівновеликий вплив на загальну похибку.

Цим же документом обмежується і відхилення палі від вертикалі, а саме – граничне значення тангенса кута нахилу не повинно бути більше ніж:

- 200/1 при розташуванні палі та оболонок в один ряд;
- 100/1 при розташуванні палі та оболонок у два та більше рядів [2].

Таке обмеження відповідає граничному відхиленню в плані

$$\Delta = 0,005H \quad (9)$$

$$\Delta = 0,01H \quad (10)$$

відповідно для одного ряду палі та двох і більше рядів. H – висота палі.

Проте, тут відхилення формується як різниця планового положення центральної верхньої та нижньої точок палі. Координати центральних точок визначаються як середнє арифметичне з координат трьох наріжних точок палі,

які видно з однієї постановки тахеометра. Тобто планове зміщення a верху палі від вертикалі визначиться

$$a = \sqrt{\left(\frac{x_{B1} + x_{B2} + x_{B3} - x_{H1} - x_{H2} - x_{H3}}{3}\right)^2 + \left(\frac{y_{B1} + y_{B2} + y_{B3} - y_{H1} - y_{H2} - y_{H3}}{3}\right)^2} \quad (11)$$

де $x_{B1}, x_{B2}, x_{B3}, x_{H1}, x_{H2}, x_{H3}, y_{B1}, y_{B2}, y_{B3}, y_{H1}, y_{H2}, y_{H3}$ – координати x, y відповідно трьох верхніх та трьох нижніх наріжних точок палі.

Допустивши некорельованість аргументів формули (11) та те, що координати усіх точок визначаються з однаковою точністю, і перейшовши до похибок, отримуємо, що гранична планова похибка однієї точки

$$\delta = \Delta / \sqrt{3} \quad (12)$$

А далі за формулами (5) – (8) можна визначити похибки вимірювання кутів та відстаней, а за ними – прилади потрібної точності.

Не менш важливою складовою обстеження мостів є знімання та визначення прогинів поздовжніх балок-плит, які виконують функцію несучої конструкції мосту.

Згідно ДСТУ Б В.1.2-3:2006 «Прогини і переміщення. Вимоги проектування» [3] граничні вертикальні прогини перекриттів, що зазнають дії переміщуваних вантажів, матеріалів, вузлів і елементів устаткування та інших рухомих навантажень, не повинні перевищувати

$$f_{ГР} = l / 350, \quad (13)$$

де l – довжина плити, проліт. Застосувавши формулу (5) до (13) матимемо

$$\delta_{Г} = l / 1750 \quad (14)$$

В [3] розрізняють вертикальні та горизонтальні прогини. Для безпечного функціонування мосту домінуюче значення мають саме вертикальні прогини балок-плит мосту, тому для середньої точки балки-плити мосту прогин будемо визначати за результатами геодезичних спостережень як

$$f = (H_1 + H_2) / 2 - H_3, \quad (15)$$

де H_1, H_2 – висоти крайніх точок балки, в яких вона опирається на поперечні балки, H_3 – це висота середньої по довжині точки балки, в якій і визначається

максимальний прогин. Тобто, прогин тут є функцією визначення лише висот точок. Для попередніх розрахунків прийемо, що висоти всіх трьох точок балки визначаються з однаковою точністю а похибка висоти обмежується лише похибкою визначення перевищень (похибкою висоти вихідного репера нехтуємо). Висоти точок у формулі (15) є некорельованими аргументами, тому, перейшовши до похибок, матимемо

$$\delta_h = 1/1750/\sqrt{1.5}, \quad (16)$$

де δ_h – гранична похибка визначення перевищення тригонометричним нівелюванням, яка є функцією похибок вимірювання віддалей та вертикальних кутів під час створення опорної мережі та під час вимірювань мосту.

Граничні похибки вимірювання віддалі m_S та вертикального кута m_V визначимо як:

$$m_S = \delta_h / 2 / \sin \nu \quad (17)$$

$$m_V = \delta_h \cdot 206265 / 2 / S / \cos \nu, \quad (18)$$

де ν - вертикальний кут. В формулах (17) та (18) вже врахована залежність (6).

Викладене тут обґрунтування точності геодезичних робіт було застосоване при обстеженні мосту по вулиці Жоліо Кюрі в місті Рівне. Схематичний рисунок поздовжнього перерізу мосту приведено на рис.1. Міст має загальну довжину 42,4 м та складається з трьох прольотів: середній – 17,8 м, крайні по 12,3 м. Палі розташовані в місцях стикування прольотів мосту. В кожному місці – по два ряди палей діаметром $D=35$ см та висотою 6м, в кожному ряді – 14 палей.

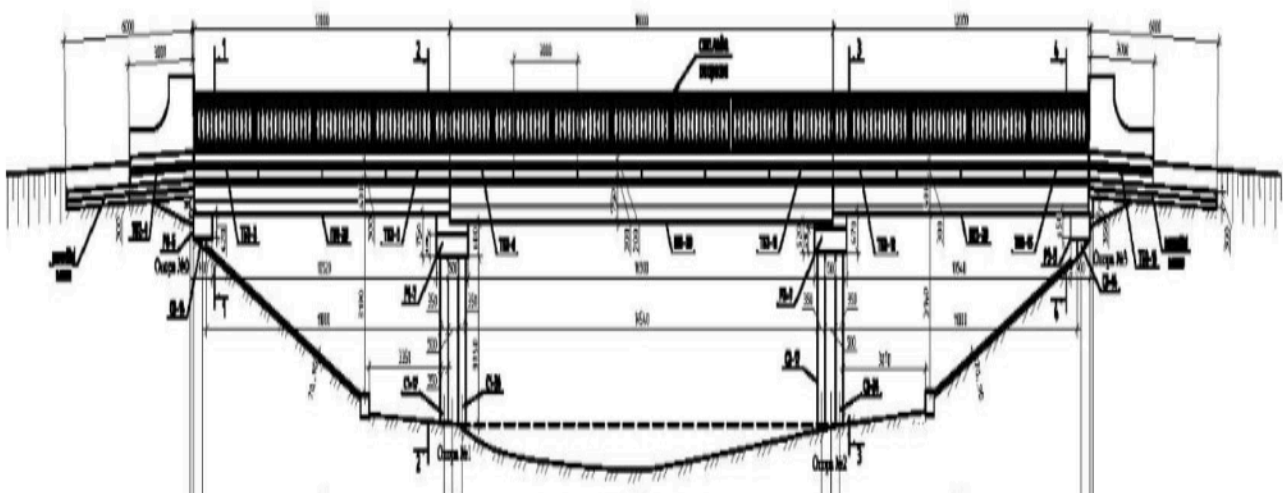


Рис.1 Поздовжній переріз мосту по вулиці Жоліо Кюрі.

Так як міст змонтований зі збірних елементів, то для розрахунків прийнято, що граничне відхилення вершу палей від проектного планового положення – 5 см. За граничне відхилення палей від вертикалі використано

$\Delta = 0,01H$, тому що палі розташовані у два ряди. Використовуючи геометричні характеристики елементів мосту були розраховані граничні значення середніх квадратичних похибок вимірювання кутів та ліній при обстеженні цього мосту. Значення цих похибок приведені в табл.1.

Таблиця 1

Граничні значення середніх квадратичних похибок вимірювання кутів та ліній, розрахованих для мосту по вулиці Жоліо Кюрі.

Параметр	Варіанти розрахунку		
	за відхиленням верху паль від проектного положення у плані	за відхиленням верху паль від вертикалі	за граничним прогином балки-плити
m_S , мм	5,0	3,5	4,1
m_β (m_v), сек	12,9	8,9	10,5

При розрахунках за кут нахилу взято середнє значення у 45° , а за максимальну вимірювану віддаль – 80м. Для забезпечення необхідної точності геодезичних робіт вибираємо менші значення похибок, а саме $m_S = 3,5\text{мм}$, а $m_\beta = 8,9''$.

Найбільш ефективними сучасними способами знімання конструкцій мосту є: застосування електронного безвідбивного тахеометра [3,4,6,17], лазерне наземне сканування [13,17,18], наземне фотограмметричне знімання [3,15] та GNSS спостереження [9-12]. Собівартість робіт першим способом є набагато меншою ніж іншими. Тому ми віддали перевагу безвідбивному тахеометру Leica TCR 405 ultra з характеристиками $m_S = 3,2\text{мм}$ (у режимі «без відбивача» на віддалі до 80м) та $m_\beta = 5''$.

Спираючись на обґрунтування точності, були проведені геодезичні роботи для обстеження мосту по вулиці Жоліо Кюрі тахеометром Leica TCR 405 ultra із використанням методу вільної станції: виконано знімання усіх елементів мосту та прилеглої території. За результатами цих робіт визначено крен паль-колон (рис.2), прогини поздовжніх балок (табл.2) та побудовано план верхньої частини мосту.

Таблиця2

Прогини поздовжніх балок-панелей

№ панелі	Прогин середини панелей, мм
П01-11	-8
П01-6	+16
П01-1	+12
П12-11	-4
П12-6	+12
П12-01	+22

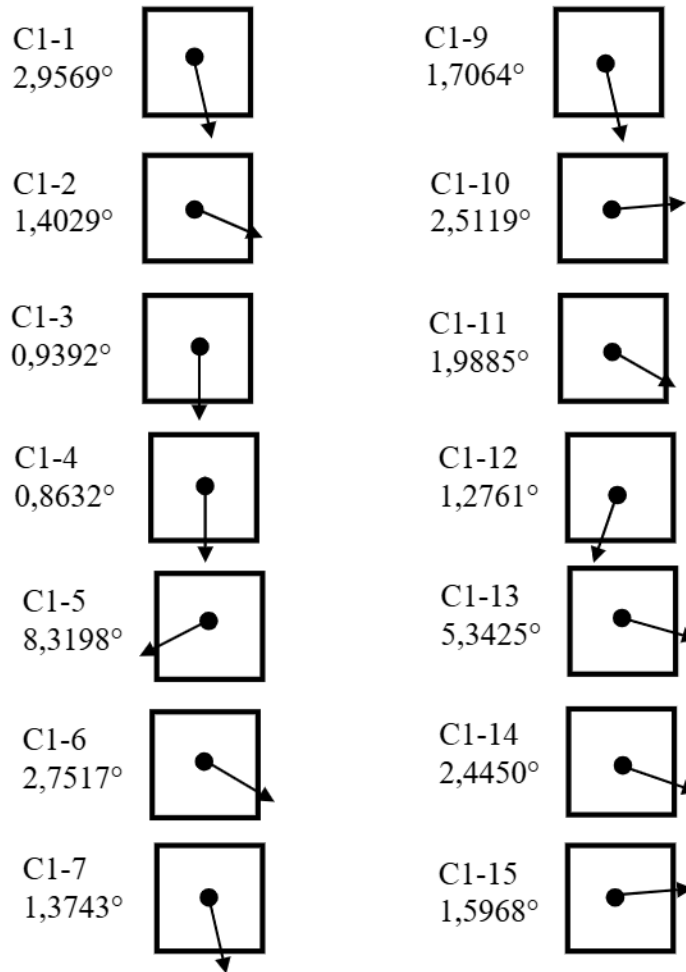


Рис.2. Схеми крену колон мосту (фрагмент)
(C1-7 – номер колони, 1,3743° – крен в градусах)

Значення крену для палей мосту приведені в градусах до 4-го знаку після коми на прохання замовника робіт. Стрілками позначено напрямок нахилу колони. Прогини поздовжніх балок приведені для найбільшого прольоту мосту (табл.2). Позитивні прогини свідчать про використання попередньо напружених елементів в конструкції мосту.

Висновки. Розроблено спосіб обґрунтування точності геодезичних робіт при обстеженні мостів, який гарантує безпечне функціонування мостової споруди. Такий спосіб має три варіанти розрахунку: за відхиленням верху палей від проектного положення у плані, за відхиленням верху опор мосту від вертикалі та за граничним прогином балок-плит перекриття мосту. В якості значень граничних похибок геодезичних робіт пропонується вибирати менше значення з трьох варіантів.

Розроблена методика була апробована при обслідуванні мосту по вулиці Жоліо Кюрі в м. Рівне. За результатами розрахунків було вибрано метод наземного знімання із використанням способу вільної станції електронним безвідбивним тахеометром Leica TCR 405 ultra, як такий що забезпечує необхідну точність та найбільш економічний. Виконані геодезичні роботи забезпечили якісне обстеження мосту і дозволили інженерам-будівельникам сформулювати заходи, необхідні для подальшого безпечного функціонування цієї мостової споруди.

Розроблений метод обґрунтування точності геодезичних робіт може розглядатися як невід'ємна складова мостової інформаційної системи (BrIM).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.3-6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування: – К.: Мінрегіонбуд України. – 2009. – 63 с.
2. ДБН В.2.3-20-2008. Споруди транспорту. Мости та труби. Виконання та приймання робіт: – К.: Мінрегіонбуд України. – 2008. – 102 с.
3. Beben D., Anigacz W. Examine changes in geometric parameters of a suspension bridge using various geodetic methods. Proc. 19th Int. Geodätische Woche Obergurgl 2017, ed K Hanke and T Weinold. – Berlin: Wichmann. – 2017. – P. 21-30.
4. Braun J., Štroner M. Geodetic measurement of longitudinal displacements of the railway bridge. Geoinformatics FCE CTU 12. – Praha. – 2014. – P.16-21. DOI:10.14311/gi.12.3. Режим доступу: https://www.fig.net/resources/proceedings/2014/2014_ingeo/TS7-02_Braun.pdf.pdf
5. Gučević J., Delčev S., Ogrizović V., Pejić M., Popović J. and Pejović M. Geodetic works during the estimation of the vertical displacement of a bridge under a load test. INGENEO 2014. – Belgrade. – 2014. – P.237-242.
6. Chirilă C., Albu-Budusanu R.M. Applying trigonometric levelling for monitoring the vertical deformations of engineering structures. Environmental Engineering and Management Journal, 18 (9). – 2019. – P. 1859–1866.
7. Zhang L., Zha X. Monitoring and result analysis of temporary railway bridge construction. Journal of Geomatics, 43 (6), – 2018. – P. 113–116. DOI:10.14188/j.2095-6045.2016427.
8. Bárta L., Bureš J., Otakar Švábenský O, Geodetic monitoring of bridge structures in operation. Contributions to International Conferences on Engineering Surveying. – 2020. – P. 198–210.
9. Mohamed T.E., Mosbeh M.T., Kaloop R., Elbeltagi E. Talkha steel highway bridge monitoring and movement identification using RTK-GPS technique. Measurement Volume 46, Issue 10. – 2013. – P. 4282-4292.
10. Xi R., Jiang W., Meng X., Chen H., Chen Q. Bridge monitoring using BDS-RTK and GPS-RTK techniques. Measurement, 2018 – Elsevier Volume 120. – 2018. – P. 128-139
11. Xinpeng W., Qingzhi Z., Ruijie X., Chenfeng L., Guanqing L., Ling L., Review of bridge structural Health Monitoring Based on GNSS: from displacement monitoring to dynamic characteristic identification. IEEE ACCESS. VOLUME 9. – 2021. – P. 80043-80065
12. Xi R., He Q., Meng X., Bridge monitoring using multi-GNSS observations with high cutoff elevations: A case study. Measurement, vol. 168. – 2021. Art. no. 108303
13. Ellmann A., Idnurm J., Kiisa M., Idnurm S.. Geodetic monitoring of bridge deformations occurring during static load testing. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 10 (1). – 2015. – P.17-27. DOI:10.3846/bjrbe.2015.03/

14. Romanovskyi A., Lisnyk O. Application of BIM in bridge construction. Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва, випуск II (44). – 2022. – С. 49-52 DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-2-44-49-52
15. Taşçi L. Deformation monitoring in steel arch bridges through close-range photogrammetry and the finite element method. *Experimental Techniques*, 39. – 2015 – P. 3–10. <https://doi.org/10.1111/ext.12022>.
16. Shults R. The Models of Structural Mechanics for Geodetic Accuracy Assignment: A Case Study of the Finite Element Method. *Contributions to International Conferences on Engineering Surveying/* – 2020. – P. 187–197
17. Gawronek P., Makuch M. TLS measurement during static load testing of a railway bridge. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8 (1). –2019. – art. no. 44.
18. Erdélyi J., Kopáčík A., Lipták I., Kyrinovič P. Pedestrian bridge monitoring using terrestrial laser scanning. *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies. Proceedings of the International Conference on Engineering Sciences and Technologies, ESaT.* – 2016. – P. 51–56.
19. Peroš J., Paar R., Divić V. Application of Fused Laser Scans and Image Data – RGB+D for Displacement Monitoring. *Contributions to International Conferences on Engineering Surveying.* – 2021. – P. 157-168.

candidate of technical sciences **Bohdan Bachyshyn**,
associate professor of the Department of Geodesy and cartography
National university of Water and Environmental Engineering, Rivne

JUSTIFICATION OF THE ACCURACY OF GEODESIC WORKS DURING THE INSPECTION OF THE BRIDGE IN RIVNE

Bridges are important structures for the safe operation of roads, railways and pedestrian areas. The purpose of this work is to substantiate the accuracy of geodetic works during the inspection of bridges. There are no requirements for the accuracy of such works in state construction standards. The relevance of this problem consists in the fact that it is necessary to perform any geodetic work with optimal accuracy, which, on the one hand, excludes excessive costs for geodetic equipment, and on the other, guarantees the safe functioning of the engineering structure. Based on such calculations, it is possible to choose geodetic equipment with appropriate characteristics and select measurement methods. Three options for calculating the required accuracy of geodetic measurements are considered: by the deviation of the top of the piles from the design position in the plan, by the deviation of the top of the bridge supports from the vertical and by the limit deflection of the beams-slabs of the bridge floor. As values for the marginal errors of geodetic work, it is suggested to choose the smaller value of the three options. The developed method was tested during the survey of the bridge is on Joliot Curie Street in Rivne. Based on the calculation results, the ground survey method chosen using the free station method with an electronic reflectorless total station Leica TCR 405 ultra, which provides the necessary accuracy and is the most economical. All elements of the bridge have been

coordinated and the geodesy survey of the upper part of the bridge and the surrounding area has been carry out. According to the results of geodetic works, the tilts of the column-piles, the deflections of the longitudinal load-bearing beams-panels were calculated, and the plan of the top of the bridge was constructed. So, the geodetic work performed provided a high-quality examination of the bridge and allowed construction engineers to formulate the measures necessary for the further safe operation of this bridge structure. The scientific novelty and practical significance of this work consists in the fact that a methodology has been developed for substantiating the accuracy of geodetic works during the inspection of bridge structures, which guarantees the safe functioning of the bridge structure.

Keywords: bridge inspection; justification of accuracy; geodetic works; electronic total station.

REFERENCES

1. DBN V.2.3-6:2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennja I vyprovovuvannja: – K.: Minregionud Ukrajinu. – 2009. – 63 s. {in Ukrainian}
2. DBN V.2.3-20-2008. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Vykonannja ta pryjmannja robit: – K.: Minregionud Ukrajinu. – 2008. – 102 s. {in Ukrainian}
3. Beben D., Anigacz W. Examine changes in geometric parameters of a suspension bridge using various geodetic methods. Proc. 19th Int. Geodätische Woche Obergurgl 2017, ed K Hanke and T Weinold. – Berlin: Wichmann. – 2017. – P. 21-30. {in English}.
4. Braun J., Štroner M. Geodetic measurement of longitudinal displacements of the railway bridge. Geoinformatics FCE CTU 12. – Praha. – 2014. – P.16-21. DOI:10.14311/gi.12.3. Режим доступу: https://www.fig.net/resources/proceedings/2014/2014_ingeo/TS7-02_Braun.pdf.pdf. {in English}.
5. Gučević J., Delčev S., Ogrizović V., Pejič M., Popović J. and Pejović M. Geodetic works during the estimation of the vertical displacement of a bridge under a load test. INGEO 2014. – Belgrade. – 2014. – P.237-242. {in English}.
6. Chirilă C., Albu-Budusanu R.M. Applying trigonometric levelling for monitoring the vertical deformations of engineering structures. Environmental Engineering and Management Journal, 18 (9). – 2019. – P. 1859–1866. {in English}.
7. Zhang L., Zha X. Monitoring and result analysis of temporary railway bridge construction. Journal of Geomatics, 43 (6), – 2018. – P. 113–116. DOI:10.14188/j.2095-6045.2016427. {in English}.
8. Bárta L., Bureš J., Otakar Švábenský O, Geodetic monitoring of bridge structures in operation. Contributions to International Conferences on Engineering Surveying. – 2020. – P. 198–210. {in English}.

9. Mohamed T.E., Mosbeh M.T., Kaloop R., Elbeltagi E. Talkha steel highway bridge monitoring and movement identification using RTK-GPS technique. *Measurement* Volume 46, Issue 10. – 2013. – P. 4282-4292. {in English}.
10. Xi R., Jiang W., Meng X., Chen H., Chen Q. Bridge monitoring using BDS-RTK and GPS-RTK techniques. *Measurement*, 2018 – Elsevier Volume 120. – 2018. – P. 128-139. {in English}.
11. Xinpeng W., Qingzhi Z., Ruijie X., Chenfeng L., Guanqing L., Ling L. Review of bridge structural Health Monitoring Based on GNSS: from displacement monitoring to dynamic characteristic identification. *IEEE ACCESS. VOLUME 9.* – 2021. – P. 80043-80065. {in English}.
12. Xi R., He Q., Meng X. Bridge monitoring using multi-GNSS observations with high cutoff elevations: A case study. *Measurement*, vol. 168. – 2021. Art. no. 108303. {in English}.
13. Ellmann A., Idnurm J., Kiisa M., Idnurm S. Geodetic monitoring of bridge deformations occurring during static load testing. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 10 (1). – 2015. – P.17-27. DOI:10.3846/bjrbe.2015.03/. {in English}.
14. Romanovskyi A., Lisnyk O. Application of BIM in bridge construction. *Suchasni dosjagnennja geodezychnoji nauky i vyrobnyctva, vypusk (44).* – 2022. – S. 49-52 DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-2-44-49-52. {in English}.
15. Taşçi L. Deformation monitoring in steel arch bridges through close-range photogrammetry and the finite element method. *Experimental Techniques*, 39. – 2015 – P. 3–10. <https://doi.org/10.1111/ext.12022>. {in English}.
16. Shults R. The Models of Structural Mechanics for Geodetic Accuracy Assignment: A Case Study of the Finite Element Method. *Contributions to International Conferences on Engineering Surveying/* – 2020. – P. 187–197. {in English}.
17. Gawronek P., Makuch M. TLS measurement during static load testing of a railway bridge. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8 (1). –2019. – art. no. 44. {in English}.
18. Erdélyi J., Kopáček A., Lipták I., Kyrinovič P. Pedestrian bridge monitoring using terrestrial laser scanning. *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies. Proceedings of the International Conference on Engineering Sciences and Technologies, ESaT.* – 2016. – P. 51–56.
19. Peroš J., Paar R., Divić V. Application of Fused Laser Scans and Image Data – RGB+D for Displacement Monitoring. *Contributions to International Conferences on Engineering Surveying.* – 2021. – P. 157-168. {in English}.