

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет землевпорядкування**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
геодезії та картографії**

_____ Тарас ЄВСЮКОВ
(підпис)
« ____ » _____ 2026р.

**БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: «Геодезичне забезпечення спеціального обстеження мосту
через р. Либідь по проспекту Повітряних Сил у м. Києві»**

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Гарант освітньої програми:

д.геогр.н., проф.

Іван КОВАЛЬЧУК

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи:

к.е.н., доц.

Олексій ЖУК

Виконав:

(підпис)

Богдан ПАЛАМАРЧУК

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет землевпорядкування**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри
геодезії і картографії
д.е.н., проф. _____ Тарас ЄВСЮКОВ
“ _____ ” _____ 2026р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Паламарчуку Богдану Олександровичу

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи:

«Геодезичне забезпечення спеціального обстеження мосту через р. Либідь по проспекту Повітряних Сил у м. Києві»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «27» листопада 2025р. №2899
«С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 02 червня 2026 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

- Звіт з обстеження «Обстеження мосту через р. Либідь по Повітрофлотському проспекту».
- Звіт з обстеження ТОВ «НВП «Мостовий центр» «Обстеження шляхопроводу на перетині вул. Жилянська з просп. Повітрофлотським» в рамках розробки робочого проекту «Реконструкція транспортного вузла в різних рівнях на перетині просп. Перемоги з просп. Повітрофлотським із будівництвом пішохідних переходів в різних рівнях» у 2018 р

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Висвітлити сучасні геодезичні технології спеціального обстеження мостових споруд.
2. Охарактеризувати об'єкт дослідження (фізико-географічне розташування, топографо-геодезична забезпеченість, умови виконання робіт).
3. Описати види геодезичних робіт та порядок виконання спеціального обстеження мосту через річку Либідь.

Дата видачі завдання "08" січня 2025 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

Олексій ЖУК

**Завдання прийняв
до виконання**

Богдан ПАЛАМАРЧУК

ЗМІСТ

Вступ.....	9
Розділ 1. Сучасні геодезичні технології спеціального обстеження	
мостових споруд.....	12
1.1 Класифікація та загальні відомості про мостові переходи в м. Києві.....	12
1.2 Особливості геодезичного забезпечення обстеження мостових споруд..	17
1.3 Сучасні геодезичні технології виявлення дефектів елементів	
конструкції мосту.....	24
Висновки до 1 розділу.....	29
Розділ 2. Характеристика об'єкту дослідження.....	31
2.1 Топографо-геодезичне забезпечення району виконання робіт.....	31
2.2 Створення зйомочного обґрунтування.....	35
2.3 Вирівнювання та оцінювання точності планової та висотної основи.....	43
Висновки до 2 розділу.....	49
Розділ 3. Види геодезичних робіт при спеціальному обстеженні мосту	
через річку Либідь.....	51
3.1 Комплекс геодезичних робіт для забезпечення спеціального	
обстеження мосту через р. Либідь.....	51
3.2 Складання плану нівелювання проїзної частини мосту.....	60
3.3 Складання плану нівелювання низу погонової частини мосту.....	62
Висновки до 3 розділу.....	66
Висновки.....	67
Список використаних джерел.....	68
Додатки.....	72

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему: «Геодезичне забезпечення спеціального обстеження мосту через р. Либідь по проспекту Повітряних Сил у м. Києві» виконана студентом спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» Паламарчуком Богданом Олександровичем.

Метою роботи є отримання геометричних та просторових характеристик елементів конструкцій споруди для технічної оцінки експлуатаційної придатності споруди.

Об'єкт дослідження: процес спеціального обстеження мосту через р. Либідь по проспекту Повітряних Сил у м. Києві.

Предмет дослідження: геодезичний супровід спеціального обстеження мосту з ознаками загрозливого руйнування несних конструкцій елементів споруди.

У роботі використано загальнонаукові методи аналізу та узагальнення нормативної і науково-технічної літератури. До спеціальних методів належать геодезичні вимірювання із застосуванням електронних тахеометрів, GNSS-приймачів і лазерного сканування для визначення просторового положення елементів мосту. Також застосовано математичну обробку результатів вимірювань, порівняльний аналіз деформацій та візуалізацію просторових даних у спеціалізованому програмному забезпеченні.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для оцінки технічного стану мосту, виявлення деформацій та обґрунтування рішень щодо експлуатації, ремонту або реконструкції споруди. Результати можуть бути застосовані експлуатаційними службами та проєктними організаціями для підвищення безпеки та надійності транспортної інфраструктури.

Обсяг роботи: 75 ст., містить 16 рис., 9 табл., 32 джерела, 5 додатків.

ABSTRACT

The bachelor's qualification thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices. The total volume of the thesis is 75 pages. The work contains 9 tables, 16 figures, 32 references, and 5 appendices.

Keywords: GEODETIC SUPPORT, BRIDGE INSPECTION, BRIDGE STRUCTURES, ENGINEERING GEODESY, LASER SCANNING, GNSS TECHNOLOGIES, ELECTRONIC TOTAL STATION, DEFORMATION MONITORING, BRIDGE OVER THE LYBID RIVER, TRANSPORT INFRASTRUCTURE.

The purpose of the bachelor's qualification thesis is to obtain geometric and spatial characteristics of bridge structural elements for the technical assessment of the operational suitability of the structure.

The object of the study is the process of special inspection of the bridge over the Lybid River on Povitrianykh Syl Avenue in Kyiv.

The subject of the study is geodetic support of the special inspection of a bridge with signs of potential deterioration of load-bearing structural elements.

Research methods: analysis and generalization of scientific and regulatory literature, geodetic measurements using electronic total stations, GNSS receivers and laser scanning technologies, mathematical processing of measurement results, comparative analysis of deformations, and visualization of spatial data in specialized software.

The main research results include the following:

- modern geodetic technologies used for the special inspection of bridge structures were analyzed;
- the theoretical and regulatory foundations of geodetic support for bridge inspection were investigated;
- the topographic and geodetic characteristics of the study area and the conditions for performing geodetic works were examined;
- a survey control network was established and the accuracy of the horizontal and vertical control was assessed;

- the complex of geodetic works required for the special inspection of the bridge over the Lybid River was substantiated;
- leveling plans of the bridge roadway and the lower part of the span structure were prepared for assessing the technical condition of the bridge;
- the applicability of modern technologies, including GNSS measurements, electronic total stations, and terrestrial laser scanning, for detecting deformations and defects of bridge structures was confirmed.

The practical significance of the thesis lies in the possibility of applying the obtained results for assessing the technical condition of bridge structures, detecting deformations and defects, supporting decisions on maintenance, repair, and reconstruction, and improving the safety and reliability of urban transport infrastructure.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю забезпечення надійної та безпечної експлуатації транспортної інфраструктури в умовах зростаючого навантаження на міські мости. Міст через річку Либідь є важливим елементом транспортної інфраструктури Київ, що забезпечує безперервний рух транспорту по проспекту Повітряних Сил і виконує значну роль у функціонуванні міської транспортної мережі. Інтенсивність транспортних потоків у поєднанні з тривалим терміном експлуатації споруди зумовлює підвищені вимоги до контролю її технічного стану та своєчасного виявлення можливих дефектів.

В умовах постійного динамічного навантаження, впливу природних факторів та процесів старіння конструкцій особливої актуальності набуває проведення періодичних спеціальних обстежень мосту. Такі обстеження спрямовані на запобігання виникненню аварійних ситуацій, забезпечення безпеки дорожнього руху та продовження строку служби інженерної споруди. Вчасне виявлення критичних змін у конструкції дозволяє уникнути значних матеріальних збитків і потенційної загрози для учасників руху.

Важливу роль у цьому процесі відіграє геодезія, оскільки саме геодезичні вимірювання забезпечують отримання точної та об'єктивної інформації про просторове положення елементів мосту. За допомогою сучасних геодезичних методів можливо визначити ступінь деформацій, зміщень, осідань та інших ознак технічного зносу конструкції, які не завжди можуть бути виявлені під час візуального огляду.

Результати геодезичних робіт є базовою складовою інженерного аналізу стану мосту та слугують основою для прийняття обґрунтованих рішень щодо його подальшої експлуатації, ремонту чи реконструкції. Таким чином, геодезичне забезпечення спеціального обстеження мостових споруд набуває особливої значущості в сучасних умовах, що й визначає актуальність даного дослідження.

Мета роботи: отримання геометричних та просторових характеристик елементів конструкцій споруди для технічної оцінки експлуатаційної придатності споруди.

Для досягнення мети роботи необхідно рішити такі **завдання:**

1. Виконати геодезичні вимірювання для визначення просторового положення конструктивних елементів мосту.
2. Здійснити контроль вертикальних та горизонтальних деформацій опор і прогонових будов.
3. Забезпечити геодезичне супроводження спеціального обстеження згідно з нормативними вимогами.
4. Підготувати графічні та аналітичні матеріали для оцінювання технічного стану споруди.

Об'єкт дослідження: процес спеціального обстеження мосту через р. Либідь по проспекту Повітряних Сил у м. Києві.

Предмет дослідження: геодезичний супровід спеціального обстеження мосту з ознаками загрозового руйнування несних конструкцій елементів споруди.

Методи дослідження. У процесі виконання роботи використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів. До загальнонаукових належать аналіз і узагальнення науково-технічної літератури, нормативних документів та методичних матеріалів у сфері інженерної геодезії та обстеження мостових споруд. Спеціальні методи включають геодезичні вимірювання із застосуванням електронних тахеометрів, GNSS-приймачів та методів лазерного сканування для визначення просторового положення конструктивних елементів мосту, а також методи математичної обробки результатів вимірювань і побудови цифрових моделей. Додатково використано методи порівняльного аналізу для оцінювання деформацій та відхилень елементів конструкції від проектного стану, а також методи візуалізації просторових даних у спеціалізованому програмному забезпеченні.

Базу дослідження становлять нормативно-правові документи у сфері геодезії, будівництва та експлуатації мостових споруд, наукові праці вітчизняних і зарубіжних авторів з питань інженерної геодезії, спеціального обстеження інженерних споруд та моніторингу їх технічного стану, а також матеріали профільних конференцій і фахових видань. Окремо використано сучасні методичні рекомендації та технічну документацію щодо застосування геодезичного обладнання і програмного забезпечення для обробки просторових даних.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для об'єктивної оцінки технічного стану мосту, своєчасного виявлення деформацій і пошкоджень конструктивних елементів, а також обґрунтування рішень щодо подальшої експлуатації, ремонту або реконструкції споруди. Результати геодезичного супроводу можуть бути використані експлуатаційними службами та проєктними організаціями для підвищення безпеки та надійності транспортної інфраструктури міста Києва.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, трьох послідовних розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 32 найменування, та додатків, розміщених на 9 сторінках. У роботі побудовано 9 таблиць та 16 рисунків. Бакалаврська кваліфікаційна робота розміщена на 75 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНІ ГЕОДЕЗИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

СПЕЦІАЛЬНОГО ОБСТЕЖЕННЯ МОСТОВИХ СПОРУД

1.1 Класифікація та загальні відомості про мостові переходи в м. Києві

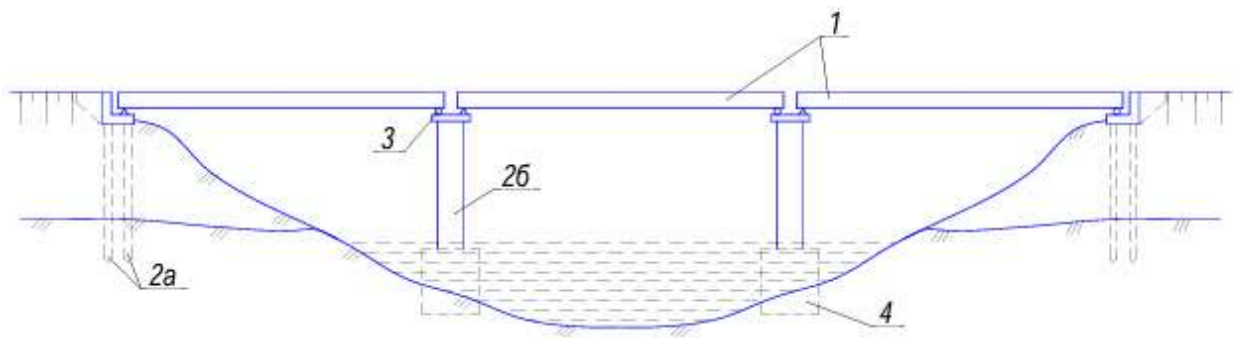
Мостові переходи є складними інженерними спорудами, що забезпечують безперервність транспортних, пішохідних або змішаних потоків через природні чи штучні перешкоди. На відміну від окремих мостів, мостовий перехід включає не лише власне прогонову будову, а й підходи, насипи, естакади, шляхопроводи та інші інженерні елементи, які утворюють єдиний транспортний комплекс. У структурі транспортної системи Києва мостові переходи відіграють стратегічну роль, зокрема забезпечуючи зв'язок між правобережною та лівобережною частинами міста через річку Дніпро, а також долаючи менші водні перешкоди, такі як річка Либідь.

Мостовий перехід як інженерний об'єкт характеризується значною протяжністю, складною конструктивною схемою та різноманітністю функціональних елементів. До його складу входять: міст, підходи, льодорізи, регуляційні і берегоукріпні споруди (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Схема мостового переходу [17]

Міст – своїми конструкціями перекриває русло ріки або русло ріки і частину заплави ріки [26, с. 65]. Підходи до мосту – забезпечують сполучення дороги з мостом. Їх улаштовують в вигляді насипів або естакад. Льодорізи – споруди для захисту проміжних опор моста від льодоходу (їх зводять з верхової сторони ріки, де можливі льодоходи). Регуляційні споруди: дамба, яка направляє струмінь – її будують у берегових опор, надає їй в плані обрис, який сприяє плавному протікання в отвір моста водного потоку. Берегоукріпні споруди: траверса – улаштовують з верхової сторони мостового переходу в вигляді коротких дамб, які виступають в ріку перпендикулярно або під кутом до берегу або насипу підходу. Траверса перешкоджає течі води вздовж берегу або насипу, охороняє їх від розливу і сприяє напрямку водного потоку в отвір моста. Міст складається з прольотних будов та опор (рис. 1.2).



- 1 – прольотні будови;
- 2а – берегові опори (устої);
- 2б – проміжні опори
- 3 – опори частини;
- 4 – фундамент опори.

Рис. 1.2. Схема моста [17]

Класифікація мостових переходів здійснюється за рядом ознак, основними з яких є функціональне призначення, тип перешкоди, конструктивна схема та умови експлуатації. Кожна з наведених класифікаційних груп має свої особливості, що визначають специфіку проєктування, будівництва та обстеження споруд (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Класифікація мостових переходів [3 с. 37]

Ознака класифікації	Вид мостового переходу	Коротка характеристика
За функціональним призначенням	Автомобільні	Призначені для пропуску автотранспортних засобів і розраховані на значні динамічні навантаження.
	Залізничні	Забезпечують рух поїздів і характеризуються підвищеними вимогами до жорсткості та надійності конструкцій.
	Пішохідні	Використовуються для пересування пішоходів і мають відносно невеликі експлуатаційні навантаження.
	Комбіновані	Поєднують кілька видів руху (автомобільний, залізничний, пішохідний) в межах однієї споруди.
За типом перешкоди	Через водні об'єкти	Призначені для подолання річок і каналів та зазнають впливу гідрологічних факторів.
	Шляхопроводи	Забезпечують перетин транспортних магістралей на різних рівнях без їх взаємного перетину.
	Естакади	Являють собою протяжні багатопрольотні споруди для пропуску транспорту над забудовою або рельєфом.
За конструктивною схемою	Балкові	Базуються на балкових елементах, що працюють на вигин, і є найбільш простими та поширеними.
	Ферменні	Складаються з системи стрижневих елементів, що утворюють жорстку просторову конструкцію.
	Аркові	Використовують арочні елементи, які працюють переважно на стиск і забезпечують високу міцність.
	Вантові	Мають систему вант і пілонів, що сприймають навантаження від прогонової будови.
	Комбіновані	Поєднують кілька конструктивних схем у межах одного мостового переходу.
За довжиною	Малі (до 100 м)	Використовуються для подолання незначних перешкод і мають просту конструкцію.
	Середні (100–500 м)	Застосовуються в міських умовах для перетину різних типів перешкод.
	Великі (понад 500 м)	Є складними інженерними спорудами з великою кількістю прольотів і елементів.
За умовами експлуатації	Міські	Функціонують в умовах щільної забудови та інтенсивного транспортного навантаження.
	Позаміські	Розташовані за межами населених пунктів і характеризуються менш складними умовами експлуатації.

Отже, наведена класифікація мостових переходів дозволяє систематизувати їх за основними ознаками. Такий підхід дає можливість комплексно оцінювати інженерні особливості мостових переходів, а також враховувати їх специфіку при проектуванні, обстеженні та експлуатації.

Для Києва характерне широке різноманіття мостових переходів, що зумовлено складною природною структурою міста та наявністю значної водної перешкоди – річка Дніпро. Основні мостові переходи через Дніпро, зокрема Північний міст, Південний міст, Міст Метро, Дарницький залізничний міст, а також Міст Патона, є складними інженерними комплексами, що поєднують різні конструктивні рішення та забезпечують функціонування основних транспортних зв'язків між правобережною та лівобережною частинами міста.

Поряд із цим, у міській інфраструктурі значну роль відіграють малі мостові переходи через другорядні водотоки, зокрема річку Либідь, які, незважаючи на менші розміри, також потребують регулярного обстеження та належного геодезичного забезпечення.

У чинному ДБН В.2.3-22:2025 «Мости і труби. Основні вимоги проектування» встановлюються базові принципи проектування, реконструкції та експлуатації мостових споруд, що безпосередньо визначає підхід до формування мостових переходів як комплексних інженерних систем. Особливістю даного ДБН є розгляд мостових переходів через сукупність їх складових елементів – прогонових будов, опор, підходів та естакад, які в комплексі забезпечують безперервність транспортного руху через природні та штучні перешкоди [13].

У законодавчих нормах наведено класифікацію мостів за їхніми геометричними, структурними, конструктивними, розрахунковими та механічними параметрами. Згідно з цією класифікацією налічують усього декілька найпоширеніших класів мостів, у першу чергу: малі, середні та великі. А поза цим, в окремий клас виділено мости, які за своїми індивідуальними параметрами (як загальними, так і окремими) не підпадають під жоден із уже згаданих типів мостів із наданням цим мостам спеціальної назви – «позакласні». Таким чином, до позакласних відносять: мости з прогонами понад 100 м; залізничні мости завдовжки понад 300 м; автодорожні мости завдовжки понад 300 м із прогонами більш ніж 60 м; мости завдовжки понад 500 м із індивідуальними конструкціями прогонових будов та опор; мости зі складними статичними схемами різних систем суміщених мостів із їздою в

одному або в різних рівнях; мости з розвідними прогонами. Беззаперечно, що мости перших трьох класів у кількісному обчисленні серед усіх існуючих українських мостів мають безперечну першість. Проте за своєю стратегічною, інфраструктурною, функціонально-логістичною й економічною значущістю, не кажучи вже про архітектурно-конструктивно-будівельні властивості та особливості, позакласні мости завжди заслужено перебували, перебувають і будуть перебувати на першому місці. Зрозумілим є також те, що подібні мости насамперед будуються на важливих транспортних напрямках, які зазвичай територіально співпадають із найбільшими містами країни. І тому, з урахуванням наведених міркувань, не викликає подив той факт, що всі мости через р. Дніпро в межах м. Києва відносять до позакласних. Зокрема Північний міст, Південний міст, міст Метро, Дарницький залізничний, Міст Патона

Окрім основних мостів через Дніпро, у Києві важливу роль у транспортній системі відіграють інші мостові переходи, зокрема шляхопроводи та естакади через залізничні колії та міські магістралі. Серед найбільш відомих можна відзначити Шулявський шляхопровід, який є одним із ключових елементів транспортної розв'язки на перетині проспекту Берестейського та вулиці Вадима Гетьмана. Також значне навантаження виконує Індустріальний шляхопровід, що забезпечує зв'язок між промисловими та житловими районами міста. Важливими є й Солом'янський шляхопровід, міст на перетині проспекту Науки із залізничними коліями, а також низка естакад на великих транспортних вузлах, зокрема в районі станцій метро та залізничних вузлів. Окремо слід згадати численні пішохідні надземні переходи, які забезпечують безпечне пересування через магістралі з інтенсивним рухом. У сукупності ці споруди формують розгалужену систему внутрішньоміських мостових переходів, що доповнює головні переправи через Дніпро та забезпечує безперервність транспортних потоків у межах Києва.

Отже, мостові переходи Києва становлять складну, багаторівневу транспортну систему, що забезпечує сталий зв'язок між правобережною та лівобережною частинами міста через річку Дніпро та інші водні перешкоди. Вони класифікуються за призначенням (автомобільні, залізничні, пішохідні та

метромости), конструктивними схемами (балкові, аркові, вантові, комбіновані) та матеріалами виконання. Кожен тип споруд виконує специфічні функції в міській транспортній інфраструктурі, забезпечуючи різні рівні пропускної здатності та навантаження. Загалом мостові переходи Києва є ключовими елементами транспортного каркаса міста, що визначають його функціональну цілісність, мобільність населення та ефективність транспортних зв'язків між районами.

1.2 Особливості геодезичного забезпечення обстеження мостових споруд

Мости як складні інженерні споруди протягом усього періоду експлуатації періодично потребують капітального ремонту або реконструкції. Такі роботи виконуються на основі проєктної документації, що розробляється за результатами комплексного інженерно-дослідницького обґрунтування. У структурі передпроєктного обстеження мостових споруд важливе місце займає геодезичне забезпечення, яке є невід'ємною складовою загального комплексу інженерних вишукувань. Воно охоплює як самі конструктивні елементи мосту, так і прилеглі території, що зазнають впливу експлуатаційних процесів. Окрім цього, обов'язковим є врахування інженерно-геологічних умов основи споруди, зокрема характеристик ґрунтів, які сприймають навантаження від мостових опор [4, с. 30].

Геодезичне забезпечення обстеження мостових споруд є складовою комплексної системи технічного контролю, що має на меті отримання достовірної інформації про просторове положення, деформації та загальний стан конструкцій у процесі їхньої експлуатації. Воно ґрунтується на створенні стабільної геодезичної основи, яка забезпечує можливість довготривалих спостережень, а також на застосуванні високоточних методів вимірювання, що відповідають сучасним нормативним вимогам. Важливим аспектом є закріплення опорних пунктів у безпосередній близькості до мостової споруди, що дозволяє здійснювати регулярні повторні вимірювання та порівнювати їх результати у динаміці. Саме завдяки цьому можна виявляти навіть незначні

зміщення, осідання чи крени, які потенційно становлять загрозу для безпечної експлуатації [20, с. 11]. Технічні характеристики геодезичних методів, що застосовуються при обстеженні мостових споруд відображені в табл 1.4.

Таблиця 1.4

Технічні характеристики геодезичних методів, що застосовуються
при обстеженні мостових споруд

Метод	Технологія	Точність	Призначення
Геометричне нівелювання I класу	Високоточний нівелір	$\pm 0,3-0,7$ мм/км	Визначення осідань опор
Тахеометрія	Електронний тахеометр	$1-2''$, $\pm(1-2$ мм + $1-2$ ppm)	Планово-висотні вимірювання
GNSS RTK	Супутникова система	10–20 мм (план), 15–30 мм (висота)	Координатна прив'язка
Лазерне сканування	3D сканер	2–5 мм	Цифрова модель мосту

Обстеження існуючих мостових споруд геодезичні роботи мають певні особливості порівняно з вишукуваннями для нового будівництва. Це пов'язано з тим, що дослідження проводяться на вже сформованій і раніше освоєній території. Така специфіка дозволяє використовувати раніше виконані топографічні матеріали, результати гідрографічних досліджень та дані щодо інженерно-геологічної будови району. Водночас ключовим завданням геодезичного забезпечення є перевірка, уточнення та актуалізація наявної інформації, оскільки з часом топографічна ситуація та стан конструкцій можуть зазнавати змін під впливом природних і техногенних факторів (рис. 1.3).

Особливістю геодезичного забезпечення обстеження мостових споруд є його тісний зв'язок із технічним діагностуванням конструкцій. Геодезичні методи дозволяють виявляти просторові деформації, зміщення та відхилення елементів мосту від проектного положення. Зокрема, виконується високоточне нівелювання опорних елементів, таких як підферменники, ригелі та фундаменти, для визначення можливих осідань або кренів. Окрему увагу приділяють контролю положення прогонових будов, для чого здійснюється порівняння виконавчих схем із фактичним станом конструкцій.



Рис. 1.3. Структура геодезичного забезпечення обстеження мостових споруд [14, с. 118]

Методи отримання геодезичної інформації в межах обстеження мостових споруд включають комплекс робіт, що базується на використанні сучасних вимірювальних технологій. До них належать аналіз наявних матеріалів попередніх інженерних вишукувань і виконавчої документації, виконання топографо-геодезичних вимірювань із застосуванням високоточних оптико-електронних приладів, а також систем наземного лазерного сканування. Такий підхід забезпечує отримання детальної просторової моделі споруди та дозволяє фіксувати навіть незначні деформаційні зміни [31, с. 272].

Додатковим напрямом геодезичного забезпечення є супровід обстеження залізничних мостів, де виконується побудова поздовжніх профілів колії, контроль її геометрії та перевірка взаємного положення рейкових ниток відносно осі мосту. У випадку мостів через водні об'єкти геодезичні роботи поєднуються з гідрографічними вимірюваннями, що включають визначення глибин, координат і висот точок берегової лінії та русла. Порівняння таких даних у динаміці дозволяє оцінювати розвиток руслових процесів і їх можливий вплив на стійкість споруди.

Особливості геодезичного забезпечення обстеження мостових споруд визначаються підвищеними вимогами до точності вимірювань, просторової деталізації конструкцій та необхідністю фіксації навіть незначних деформацій у процесі експлуатації. У таких роботах застосовуються високоточні методи інженерної геодезії, оскільки гранично допустимі відхилення елементів мостів зазвичай вимірюються міліметрами. Зокрема, при визначенні осідань опор використовуються нівеліри I класу точності, що забезпечують середню квадратичну похибку вимірювання висоти на рівні $\pm 0,3\text{--}0,7$ мм на 1 км подвійного ходу. Для планового положення конструкцій застосовуються електронні тахеометри з кутовою точністю $1\text{--}2''$ та лінійною похибкою вимірювання відстаней у межах $\pm(1\text{--}2 \text{ мм} + 1\text{--}2 \text{ ppm})$ [22, с. 125].

Однією з ключових технологічних особливостей сучасного геодезичного забезпечення є використання наземного лазерного сканування. Ця технологія дозволяє отримувати хмару точок щільністю від десятків тисяч до кількох мільйонів точок за секунду, що забезпечує просторову дискретність моделі на рівні 2–5 мм. Це дає можливість виконувати детальне відтворення геометрії прогонових будов, опор, деформаційних швів та інших конструктивних елементів без безпосереднього контакту з ними. Отримані дані інтегруються у цифрові моделі об'єктів, що використовуються для подальшого аналізу деформацій.

Для просторової прив'язки вимірювань у більшості випадків створюється локальна геодезична мережа з точністю визначення координат пунктів у плані в межах $\pm 2\text{--}5$ мм, а у висотному положенні – до $\pm 1\text{--}2$ мм. Закріплення пунктів виконується з урахуванням довготривалого спостереження, оскільки під час моніторингу мостових споруд передбачаються повторні цикли вимірювань із періодичністю від кількох місяців до 1–3 років залежно від класу споруди та її технічного стану [9].

Важливою складовою є використання GNSS-технологій, зокрема режиму RTK, що дозволяє отримувати координати з точністю 10–20 мм у плані та 15–30 мм по висоті в режимі реального часу. У поєднанні з наземними методами це

забезпечує комплексний контроль просторового положення мостових конструкцій у єдиній координатній системі.

Окреме значення має програмне забезпечення, яке використовується для обробки геодезичних даних та побудови цифрових моделей. Найчастіше застосовуються спеціалізовані комплекси для обробки тахеометричних вимірювань, GNSS-даних та лазерного сканування, що дозволяють виконувати тривимірну візуалізацію деформацій. Серед функціональних можливостей таких систем – порівняння «проект–факт», побудова карт відхилень із кроком сітки 5–10 мм, а також аналіз просторових деформацій у динаміці.

Геодезичне забезпечення обстеження мостів також включає контроль геометрії колії на залізничних мостах, де нормативні відхилення за шириною колії зазвичай не повинні перевищувати ± 3 мм, а перевищення або перекося рейкових ниток контролюються з точністю до 1 мм. Для цього застосовуються спеціалізовані колієвимірювальні системи та високоточні тахеометричні спостереження.

Основні етапи геодезичного обстеження моста відображені на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Основні етапи геодезичного обстеження моста [27, с. 72]

Проаналізувавши рисунок 1.4, можемо зробити висновок, що подана схема відображає поетапну структуру геодезичного забезпечення обстеження мостових споруд, що охоплює повний цикл робіт – від підготовчого етапу до обробки та аналізу отриманих вимірювань. Послідовність етапів демонструє логічну організацію процесу, де кожна стадія базується на результатах попередньої та забезпечує наступну. Особливе значення має етап створення геодезичної основи, оскільки він формує просторову базу для подальших високоточних вимірювань і визначає достовірність усіх результатів. Завершальний етап обробки даних забезпечує інтерпретацію отриманої інформації у вигляді цифрових моделей, оцінки деформацій та порівняння фактичного стану конструкцій із проєктними параметрами, що є ключовим для прийняття інженерних рішень.

Особливістю геодезичного забезпечення є необхідність врахування впливу зовнішніх факторів, таких як транспортні навантаження, вібрації, температурні коливання та гідрологічні умови, які можуть спотворювати результати вимірювань. Тому методики передбачають багаторазове повторення спостережень, статистичну обробку даних та використання спеціальних алгоритмів для відокремлення випадкових похибок від реальних деформацій. Важливим є також дотримання чинних нормативних документів, зокрема ДБН В.2.3-22:2025, які регламентують порядок проведення обстежень, вимоги до точності та періодичності вимірювань [13]. Таким чином, геодезичне забезпечення обстеження мостових споруд є багатокomпонентним процесом, що поєднує аналіз наявної інформації, високоточні вимірювання та просторове моделювання деформацій. Його особливістю є спрямованість не лише на фіксацію поточного стану конструкцій, але й на виявлення змін у часі, що є основою для обґрунтування подальших проєктних рішень щодо ремонту або реконструкції мостів.

Резюмуючи поданий матеріал, можна визначити особливості геодезичного забезпечення обстеження мостових споруд [8, с. 203]:

- необхідність забезпечення міліметрової точності вимірювань через малу величину допустимих деформацій конструкцій;

- створення стабільної локальної геодезичної мережі для довготривалого моніторингу;
- обов'язкове поєднання наземних, супутникових і лазерних методів вимірювання;
- використання високоточного нівелювання для визначення осідань і вертикальних деформацій;
- застосування електронної тахеометрії для просторового контролю положення елементів споруди;
- використання GNSS-технологій для координатної прив'язки в єдиній системі;
- впровадження лазерного сканування для створення детальних 3D-моделей об'єкта;
- регулярність повторних вимірювань для аналізу деформацій у динаміці;
- інтеграція геодезичних даних у цифрові моделі аналізу «проект-факт»;
- поєднання геодезичних робіт із технічним обстеженням конструкцій та інженерним аналізом стану споруди.

Геодезичне забезпечення обстеження мостових споруд є невід'ємною складовою сучасної системи інженерного контролю, що визначає достовірність оцінки технічного стану конструкцій та обґрунтованість подальших проєктних рішень. Його особливості полягають у високих вимогах до точності вимірювань, комплексному використанні різнорідних геодезичних технологій та необхідності формування стабільної просторової основи для довготривалих спостережень. Під час землеустрою та геодезичних вишукувань доцільно використовувати метод проєкцій з числовими позначками для зображення рельєфумісцевості, що дозволяє виконувати інженерно-геодезичну розвідку і планувати розміщення споруд мостів.

Застосування високоточного нівелювання, електронної тахеометрії, GNSS-технологій та наземного лазерного сканування дозволяє отримувати детальну інформацію про просторове положення конструктивних елементів мосту та виявляти навіть незначні деформаційні зміни. Особливе значення має інтеграція отриманих даних у цифрові моделі, що забезпечує можливість

порівняння фактичного стану споруди з проєктними параметрами та аналізу змін у часі.

Таким чином, геодезичне забезпечення виступає не лише інструментом фіксації геометричних параметрів мостових споруд, а й основою для комплексної діагностики їхнього технічного стану, що безпосередньо впливає на прийняття рішень щодо експлуатації, ремонту або реконструкції об'єктів мостової інфраструктури.

1.3 Сучасні геодезичні технології виявлення дефектів елементів конструкції мосту

Останніми роками в Україні спостерігається зростання кількості деформацій складних інженерних споруд, зокрема мостів та автомобільних доріг, що в окремих випадках досягають критичних значень. Це актуалізує проблему забезпечення надійності та довговічності мостових конструкцій, яка визначається не лише якістю проєктних рішень, але й повнотою інженерно-геодезичних досліджень, урахуванням впливу зовнішніх факторів та своєчасним виявленням дефектів конструктивних елементів.

Експлуатаційна безпека мостів потребує систематичного моніторингу та комплексної оцінки технічного стану, що базується на багатопараметричному аналізі деформаційних процесів [5, с. 241]. У цьому контексті сучасні геодезичні технології є ключовим інструментом отримання високоточних і оперативних даних про просторові зміни конструкцій, що дозволяє переходити до кількісного аналізу їхнього стану.

Результати геодезичних спостережень за осіданнями, зміщеннями та іншими деформаціями повинні відповідати вимогам точності, надійності та повторюваності, що забезпечує можливість своєчасного виявлення дефектів і прогнозування їх розвитку.

Проєктування та реконструкція мостових споруд потребують актуальної просторової інформації, яка отримується із застосуванням сучасних топографо-геодезичних методів, у тому числі в складних інженерно-геологічних умовах

[18, с. 43]. Використання цифрових технологій значно підвищує точність вимірювань і ефективність подальшої обробки даних.

Сучасні геодезичні технології забезпечують автоматизацію вимірювальних процесів, підвищення їх точності та інтеграцію результатів у цифрові моделі, що створює передумови для формування системного моніторингу технічного стану мостів.

Важливим етапом є впровадження систем геодезичного моніторингу, які забезпечують регулярне або безперервне спостереження за геометричними параметрами конструкцій і дозволяють аналізувати динаміку деформацій у часі [6, с. 63].

Основними засобами отримання просторової інформації є GNSS-приймачі, електронні тахеометри, нівеліри та лазерні сканери. Особливу ефективність демонструють роботизовані системи та сканувальні комплекси, що забезпечують автоматизований збір даних і фіксацію навіть незначних деформацій [19, с. 63].

Використання сучасного геодезичного обладнання дозволяє виконувати вимірювання у важкодоступних зонах мостових споруд без безпосереднього доступу до об'єкта, що суттєво підвищує повноту та достовірність даних.

Сучасні тенденції розвитку геопросторових технологій підтверджуються результатами міжнародних виставок, зокрема INTERGEO 2024, де було продемонстровано інтеграцію BIM-, GIS- та штучного інтелекту в єдині цифрові платформи [1]. Провідні компанії, такі як Autodesk, ESRI, Trimble, Hexagon, Bentley Systems, TerraSolid і TopoDOT, представили рішення для автоматизованого збору, обробки та аналізу геопросторових даних.

Зокрема, програмні продукти Autodesk (Civil 3D, Construction Cloud) орієнтовані на інтеграцію BIM і GIS у єдине інформаційне середовище, що забезпечує спільну роботу з інфраструктурними об'єктами. Рішення ESRI (ArcGIS Pro, ArcGIS Reality) дозволяють виконувати 3D-моделювання та просторовий аналіз із використанням хмарних обчислень. TerraSolid і TopoDOT забезпечують високоточну обробку даних LiDAR та автоматичне розпізнавання інженерних об'єктів, включаючи мости та дорожні конструкції. Платформи

Trimble та Hexagon спрямовані на підвищення точності GNSS-вимірювань та інтеграцію даних лазерного сканування у системи моніторингу [29, с. 655].

Такі технологічні рішення дозволяють не лише прискорити обробку даних, але й забезпечують перехід до цифрових двійників інфраструктурних об'єктів, що є основою сучасного підходу до діагностики технічного стану споруд.

Одним із ключових методів є лазерне 3D-сканування, яке формує детальну хмару точок поверхні мостових конструкцій. На її основі визначаються геометричні відхилення, зокрема прогини, перекося, осідання та зміщення елементів [19, с. 64]. Порівняння даних у різні періоди часу дозволяє виявляти навіть незначні зміни геометрії, що є індикатором розвитку дефектів.

Висока щільність точок у 3D-моделі забезпечує локалізацію поверхневих дефектів, таких як тріщини, сколи та локальні деформації, що значно підвищує інформативність обстеження (рис. 1.5).

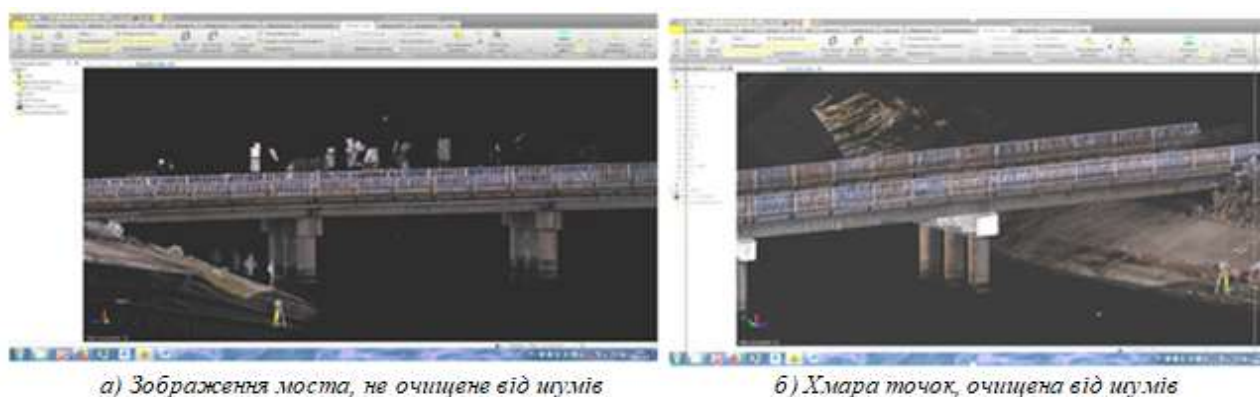


Рис. 1.5. Приклад зображення моста до (а) та після (б) очищення від шумів

GNSS-технології та електронні тахеометри використовуються для визначення просторового положення контрольних точок, що дозволяє фіксувати крени, зміщення та осідання опор [10, с. 212]. Повторні вимірювання формують основу систем геодезичного моніторингу деформацій.

Роботизовані тахеометри-сканери, зокрема системи типу SX-10, забезпечують повністю автоматизоване сканування без участі оператора, що підвищує оперативність та якість отриманих даних і розширює можливості обстеження складних конструкцій (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Електронний тахеометр-сканер SX-10

Інтеграція геодезичних даних у геоінформаційні системи (ГІС) забезпечує можливість комплексного просторового аналізу стану мостових споруд. Зокрема, накладання результатів вимірювань на проєктні моделі дає змогу визначати відхилення від нормативних значень і автоматично ідентифікувати потенційно дефектні ділянки конструкцій. Використання сучасних програмних комплексів обробки даних, таких як «Credo DAT», «Топоматик Robur», «Autodesk Civil 3D», «Leica Cyclone» та «Trimble RealWorks», дозволяє виконувати детальний аналіз кривизни поверхонь, виявляти локальні деформації та оцінювати ступінь пошкодження матеріалів, що істотно розширює можливості діагностики технічного стану мостів і забезпечує перехід до автоматизованого виявлення дефектів [24, с. 142].

Важливим етапом є якісне опрацювання даних лазерного сканування, отриманих із застосуванням приладів типу «Trimble SX10», «Leica ScanStation» або «Topcon GLS». Первинні хмари точок можуть містити «шуми», спричинені відбиттям сигналу від водної поверхні, сторонніх об'єктів або атмосферних перешкод. Використання вбудованих алгоритмів фільтрації у програмних середовищах «Leica Cyclone» та «Trimble RealWorks» дозволяє усунути такі спотворення та отримати очищену модель, придатну для коректного аналізу геометрії конструкції [15, с. 218]. Саме після цього стає можливим надійне виявлення локальних дефектів, зокрема тріщин, нерівностей та деформацій.

Подальша обробка геодезичних вимірювань виконується шляхом імпорту даних у спеціалізовані програмні середовища («Credo DAT» або «Топоматик

Robur – Вишукування»), де здійснюється формування та структуризація хмари точок (додаток А). На цьому етапі виконується ідентифікація характерних елементів конструкції та їх просторове координування, що забезпечує побудову точної цифрової моделі мосту та можливість подальшого аналізу його фактичного стану.

Після оброблення даних формується цифрова модель споруди у дво- та тривимірному вигляді. Використання 3D-візуалізації у середовищах «Autodesk Civil 3D» або «Топоматик Robur» дозволяє аналізувати геометрію конструкції з різних ракурсів, контролювати поверхневі деформації та виявляти відхилення форми. Зокрема, визначаються прогини прогонових будов, викривлення опор, нерівномірні осідання та зміщення конструктивних елементів [19, с. 65].

Сучасні програмні комплекси здатні обробляти великі масиви даних, що містять мільйони точок, отриманих у результаті лазерного сканування. У середовищах «Leica Cyclone» та «Trimble RealWorks» реалізовано інструменти автоматичного розпізнавання геометричних елементів і побудови поверхонь, що забезпечує високу деталізацію моделей. Інструменти редагування поверхонь у «Топоматик Robur» дозволяють виконувати оперативну тріангуляцію та аналіз без необхідності повторного моделювання [19, с. 66].

Важливою перевагою є можливість поетапного формування цифрових моделей із подальшим об'єднанням даних, отриманих із різних джерел. Це забезпечує комплексність аналізу та дозволяє охопити всі елементи мостової конструкції. Інтеграція семантичної та геометричної інформації дає змогу не лише візуалізувати об'єкт, але й виконувати поглиблений аналіз його технічного стану.

Крім того, геоінформаційні системи «ArcGIS» та «QGIS» забезпечують автоматизовану класифікацію просторових об'єктів і виявлення потенційно небезпечних зон. Порівняння актуальних моделей із проєктними або попередніми даними дозволяє оцінювати динаміку розвитку деформацій у часі [25, с. 30].

Суттєвою перевагою сучасних цифрових технологій є можливість обробки надвеликих масивів даних, що забезпечує високу точність

моделювання та дозволяє виявляти навіть незначні дефекти, які не фіксуються традиційними методами обстеження.

Зокрема, георадарне сканування дозволяє досліджувати внутрішню структуру конструктивних елементів без їх пошкодження та виявляти приховані дефекти, такі як порожнини, внутрішні тріщини, корозію арматури та зони знижених міцнісних характеристик. Інфрачервона термографія дає змогу виявляти ділянки відшарування матеріалу, порушення адгезії та розвиток корозійних процесів.

Одним із ключових інструментів є лазерне сканування (LiDAR), яке забезпечує отримання високоточних тривимірних моделей мостових споруд. Наземні та мобільні системи дозволяють фіксувати геометричні параметри з міліметровою точністю, виявляючи прогини, зміщення та крени. Порівняння результатів у різні періоди часу дає змогу визначати динаміку розвитку дефектів.

Додатково застосовуються системи відеоспостереження та інтелектуальні сенсорні мережі, що забезпечують безперервний моніторинг у реальному часі. Використання алгоритмів машинного навчання (CNN, R-CNN, YOLO) дозволяє автоматизувати виявлення дефектів і оцінювати їх розвиток, зменшуючи вплив людського фактора.

Отже, сучасні геодезичні технології є основою систем моніторингу мостових споруд, забезпечуючи перехід від візуального контролю до комплексного цифрового аналізу деформацій. Інтеграція GNSS, лазерного сканування, ГІС та методів неруйнівного контролю дозволяє підвищити точність діагностики, своєчасно виявляти дефекти та приймати обґрунтовані інженерні рішення щодо експлуатації, ремонту або реконструкції мостів.

Висновки до 1 розділу

У першому розділі проаналізовано теоретичні та нормативні засади геодезичного забезпечення обстеження мостових споруд, а також розглянуто сучасні технології виявлення дефектів елементів мостових конструкцій.

Встановлено, що мостові переходи є складними інженерними системами, які включають не лише прогонові будови та опори, а й підходи, естакади, регуляційні та берегоукріпні споруди. На основі аналізу класифікації мостових переходів визначено їх основні види за функціональним призначенням, конструктивною схемою, довжиною та умовами експлуатації. Особливу увагу приділено мостовим переходам міста Києва, які мають важливе стратегічне значення для забезпечення транспортного сполучення між правобережною та лівобережною частинами міста.

Досліджено особливості геодезичного забезпечення обстеження мостових споруд. Визначено, що його основною метою є отримання достовірної інформації про просторове положення конструкцій, контроль їх деформацій та оцінка технічного стану. Встановлено, що ефективне геодезичне забезпечення ґрунтується на створенні стабільної геодезичної основи, застосуванні високоточних методів вимірювань і проведенні систематичного моніторингу. Показано, що використання геометричного нівелювання, електронної тахеометрії, GNSS-технологій та лазерного сканування забезпечує необхідну точність визначення осідань, зміщень і деформацій конструктивних елементів мостів.

У результаті аналізу сучасних геодезичних технологій встановлено, що найбільш перспективними засобами виявлення дефектів мостових споруд є наземне лазерне сканування, GNSS-моніторинг, геоінформаційні системи, цифрове моделювання та методи неруйнівного контролю. Їх комплексне застосування дозволяє створювати високоточні тривимірні моделі споруд, автоматизувати процес виявлення дефектів, здійснювати аналіз деформацій у динаміці та підвищувати обґрунтованість інженерних рішень щодо експлуатації, ремонту й реконструкції мостів.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Топографо-геодезичне забезпечення району виконання робіт

Район виконання геодезичних робіт розташований у межах міста Києва – столиці України, яка є найбільшим адміністративним, транспортним та інженерно-інфраструктурним центром держави. Територія міста характеризується складними умовами урбанізованого середовища, високою щільністю забудови, наявністю розвиненої транспортної мережі та значною кількістю інженерних споруд різного призначення. Це безпосередньо впливає на організацію та виконання геодезичних робіт, підвищуючи вимоги до точності вимірювань та методів їхнього виконання.

Виконання інженерно-геодезичних робіт у межах досліджуваного об'єкта здійснюється відповідно до чинних нормативно-правових документів у сфері топографо-геодезичної діяльності та інженерних вишукувань. Зокрема, застосовуються вимоги ДБН та ДСТУ, що регламентують точність, методику та порядок виконання геодезичних вимірювань при обстеженні інженерних споруд.

Методична основа робіт передбачає використання сучасних GNSS-технологій у поєднанні з наземними тахеометричними вимірюваннями, що забезпечує необхідну точність визначення просторового положення конструктивних елементів мосту. Особлива увага приділяється дотриманню вимог щодо контролю якості вимірювань та їхньої внутрішньої узгодженості.

Міст через річку Либідь, що є об'єктом дослідження, розташований у Солом'янському районі м. Києва та забезпечує транспортний зв'язок по проспекту Повітряних Сил. Споруда перетинає річку Либідь – малу річку басейну Дніпра, яка протікає переважно в межах урбанізованої території міста. Долина річки характеризується значним антропогенним навантаженням, зарегульованістю русла та наявністю інженерних споруд різного типу.

Просторова прив'язка мостового переходу здійснюється шляхом поєднання даних державної геодезичної мережі та мережі супутникових спостережень. Для цього використовуються опорні пункти, координати яких визначені в державній системі координат, що забезпечує єдність просторової основи всіх вимірювань.

Контроль точності виконується шляхом повторних вимірювань та порівняння результатів, отриманих різними методами. Такий підхід дозволяє мінімізувати вплив випадкових та систематичних похибок, що є особливо важливим в умовах щільної міської забудови та обмеженої видимості.

Територія виконання геодезичних робіт належить до рівнинної частини Придніпровської височини з незначними коливаннями висот. Рельєф у межах району робіт є переважно техногенно зміненим, сформованим у процесі міської забудови та розвитку транспортної інфраструктури. Абсолютні відмітки поверхні коливаються в межах, характерних для центральної частини Києва.

Клімат району помірно континентальний із відносно м'якою зимою та теплим літом. Середня температура січня становить близько $-3...-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, липня – $+19...+22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Річна кількість опадів у середньому становить 550–650 мм, що впливає на умови виконання польових геодезичних робіт, зокрема під час лазерного сканування та GNSS-вимірювань.

Територія району виконання робіт характеризується високим рівнем урбанізації та щільною забудовою, що створює певні обмеження для проходження супутникових сигналів і вимагає застосування комбінованих геодезичних методів. Наявність транспортних магістралей загальнодержавного та міського значення зумовлює постійний динамічний вплив на конструкції мосту.

Для забезпечення виконання інженерно-геодезичних робіт у межах досліджуваної ділянки використовується існуюча державна геодезична мережа та міська знімальна основа м. Києва. Опорні геодезичні пункти забезпечують просторову прив'язку вимірювань до єдиної системи координат та висот, що є обов'язковою умовою при виконанні спеціальних обстежень інженерних споруд.

У якості планової основи використовується державна система координат УСК-2000, яка забезпечує сумісність результатів з сучасними геоінформаційними системами та матеріалами топографо-геодезичних зйомок. Висотна основа прийнята у Балтійській системі висот 1977 року, що дозволяє забезпечити узгодженість з наявними матеріалами попередніх інженерних обстежень та проектною документацією.

Міст через р. Либідь по проспекту Повітряних Сил є важливим елементом міської транспортної системи Києва, забезпечуючи інтенсивний рух транспорту між центральними та периферійними районами міста. Конструкція споруди зазнає значних експлуатаційних навантажень, що зумовлює необхідність регулярного геодезичного контролю її просторового положення та технічного стану.

Геодезичні умови виконання робіт у районі мостового переходу характеризуються як складні, що зумовлено сукупністю природних та техногенних факторів. До основних ускладнюючих чинників належать щільна міська забудова, наявність багаторівневої транспортної інфраструктури, а також обмежені умови для виконання супутникових спостережень.

Додатковим фактором є динамічний вплив транспортного навантаження, який може впливати на стабільність положення вимірювального обладнання та конструктивних елементів споруди. У зв'язку з цим застосовуються методи багаторазових спостережень із подальшим усередненням результатів.

Геодезичні роботи виконувались безпосередньо в межах мостового переходу через річку Либідь та прилеглих ділянок проспекту Повітряних Сил (рис. 2.1). При виконанні робіт використовуються топографічні матеріали масштабу 1:500, 1:1000, а також цифрові моделі місцевості, які відображають сучасний стан забудови та інженерної інфраструктури району. Такі матеріали є основою для попереднього аналізу території, планування геодезичних вимірювань та визначення оптимальної схеми розміщення опорних пунктів. Додатково можуть застосовуватись матеріали дистанційного зондування Землі, зокрема ортофотоплани та супутникові знімки високої роздільної здатності, що дозволяє уточнювати ситуаційний план та враховувати актуальні зміни

забудови. Досліджуваний об'єкт розташований у Солом'янському районі м. Києва в межах щільно забудованої міської території з інтенсивним транспортним рухом та розвинутою інженерною інфраструктурою.



Рис. 2.1. Схема розташування моста

Мостовий перехід є елементом магістральної вулично-дорожньої мережі та забезпечує безперервність руху транспорту над долиною річки Либідь. У межах досліджуваної ділянки річка Либідь не має відкритого русла, оскільки її течія повністю пропускається через закриту підземну колекторну систему, розташовану під дорожнім полотном проспекту Повітряних Сил. Таким чином, природний водотік у межах об'єкта візуально не спостерігається та не перетинає поверхню землі у відкритому вигляді.

Довжина мостового переходу становить орієнтовно 28,2 м, ширина – 18 м. Споруда забезпечує перетин русла річки Либідь та інтегрована в систему міської вулично-дорожньої мережі. Об'єкт збудований у другій половині ХХ століття та перебуває в експлуатації тривалий час, що обумовлює актуальність проведення спеціальних геодезичних обстежень.

Територія характеризується складною просторово-планувальною структурою, зумовленою наявністю автомобільної дороги, елементів мостової конструкції, підпірних споруд та підземних інженерних комунікацій. Покриття

проїзної частини виконано з асфальтобетону та розраховане на значні транспортні навантаження, характерні для міських магістралей загальнодержавного значення.

Геодезичні умови на ділянці ускладнені обмеженою видимістю опорних точок, впливом інтенсивного транспортного руху та наявністю багаторівневої інженерної забудови. Це обумовлює підвищені вимоги до точності вимірювань та необхідність врахування особливостей місцевості при виконанні геодезичних робіт.

З огляду на складні умови міської забудови, геодезична мережа в районі виконання робіт формується як комбінована система, що включає GNSS-спостереження та наземні вимірювання електронними тахеометрами [30, с. 172].

Для забезпечення необхідної точності виконується згущення опорної мережі шляхом закладання тимчасових знімальних пунктів, які закріплюються на стабільних елементах місцевості або інженерних конструкціях. Це дозволяє забезпечити стабільність геодезичної основи протягом усього періоду виконання робіт.

Таким чином, топографо-геодезичне забезпечення району виконання робіт характеризується складними умовами, зумовленими високим рівнем урбанізації, інтенсивним техногенним навантаженням та обмеженими умовами для виконання вимірювань. Використання сучасних GNSS-технологій у поєднанні з наземними методами спостережень та цифровою обробкою даних дозволяє забезпечити необхідну точність і надійність результатів геодезичних робіт при спеціальному обстеженні мостової споруди.

2.2 Створення зйомочного обґрунтування

Зйомочне обґрунтування на ділянці мостового переходу через р. Либідь по проспекту Повітряних Сил у м. Києві створювалось з метою забезпечення геодезичної основи для виконання детальної інженерно-геодезичної зйомки та спеціального обстеження споруди.

На першому етапі було виконано рекогносцировку місцевості з метою вибору місць закладання знімальних пунктів з урахуванням умов видимості, доступності та безпеки виконання вимірювань. У зв'язку зі щільною міською забудовою та інтенсивним рухом транспорту точки закріплювались переважно на твердих елементах дорожнього покриття та стаціонарних конструкціях, що забезпечує їх збереження та стабільність.

Вихідними пунктами для побудови зйомочного обґрунтування слугували пункти державної геодезичної мережі та точки, визначені методом GNSS-спостережень у режимі RTK. Прив'язка здійснювалась із використанням супутникового приймача, підключеного до мережі базових станцій, що забезпечило визначення координат опорних точок у реальному часі.

Подальше згущення мережі виконувалось методом тахеометричного ходу з використанням електронного тахеометра. Вимірювання кутів і відстаней проводились із двох положень кола, що дозволило зменшити вплив інструментальних похибок. Замикання ходів виконувалось на вихідні пункти або контрольні точки з відомими координатами.

Обробка результатів включала врівноваження тахеометричних ходів та перевірку нев'язок за координатами. Отримані значення не перевищували допустимих нормативних величин для інженерних зйомок масштабу 1:500, що підтверджує достатню точність побудованого зйомочного обґрунтування.

Сформована мережа знімальних точок була використана як основа для виконання детальної зйомки елементів мосту, включаючи опори, прольотні будови та прилеглу територію.

Для подальшого аналізу використовуються карти розміром 1:100 000 – 1:500 території проєкту. Для цього доцільно застосовувати DGM-точки, стандартні для зйомки місцевості за допомогою електронного тахеометра, а також приймач GNSS у режимі RTK.

Асоціація режиму RTK із системою базової станції була здійснена в певних точках мережі SystemNet. System Solutions продовжила використовувати метод корекції RTK для території України, цей метод є якісним (рис. 2.2). У серпні 2019 року до мережі додано 2 станції з обладнанням

Leica Geosystems: станцію VLCU та станцію KTLV у. Метою створення системи є вирішення проблем геодезичних компаній щодо проведення високоточних GPS-спостережень, насамперед у режимі RTK.

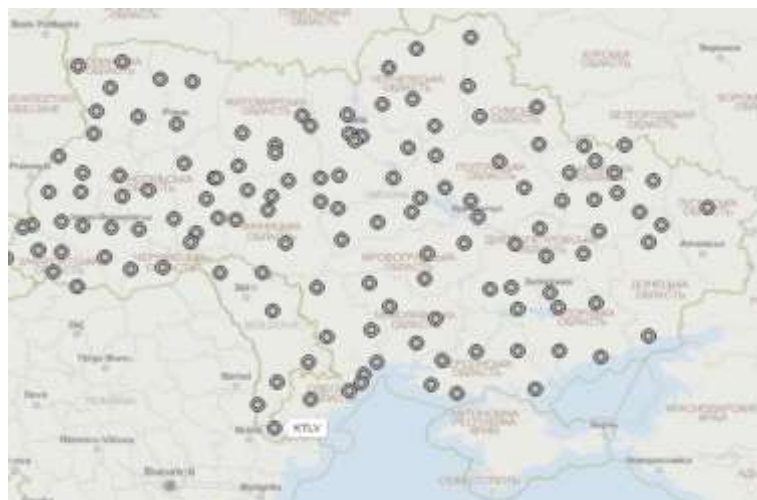


Рис. 2.2. Схема розташування мережі базових станцій System Solutions

Висока щільність забудови та наявність багаторівневої транспортної інфраструктури призводять до виникнення факторів, що впливають на точність геодезичних вимірювань, зокрема [28, с. 88]:

- багатопляховість GNSS-сигналів;
- екранування супутникових сигналів будівлями та спорудами;
- вібраційний вплив від інтенсивного транспортного руху;
- обмежені умови візування при тахеометричних вимірюваннях.

З метою мінімізації впливу зазначених факторів застосовуються комбіновані методи спостережень, багаторазові вимірювання та контрольні спостереження з різних станцій.

Геодезичні проєкти виконувалися двома способами – тахеометрична зйомка цифровим тахеометром і GNSS спостереження в режимі RTK. Цифрова тахеометрична станція під назвою Sokkia, яка має Power Set 250RX, була використана для проведення тахеометричних вимірювань з укладанням аодолітів. Електронний тахеометр Sokkia Set 250RX призначений для вирішення різноманітних завдань у будівництві, землеустрої та топографії (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Зображення електронного тахеометра

У таблиці 2.1 наведені технічні характеристики тахеометра Sokkia Set 250RX.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики тахеометра Sokkia Set 250RX

Показник	Значення
Технічні характеристики	
Кратність збільшення зорової труби	30
Кут поля зору	1 30
Мінімальна відстань фокусування	1,3 м
Точність виміру кута	00 00 02
Тип компенсатора	Рідинний
Діапазон вимірювання похилої відстані	
Без відбивача	0,5 м – 400 м
На одну призму	0,5 м – 5000 м
Точність вимірювання відстані	
Без відбивача	$\pm(3+2 \times 10^{-6} x)$
На одну призму	$\pm(2+2 \times 10^{-6} x)$
Внутрішня пам'ять	20000 точок
Дисплей	Графічна РК матриця 192x80 на кожній стороні
Клавіатура	32 клавіші на кожній стороні інструмента
Водо- і пилогахищеність	IP64
Діапазон робочих температур	Від -20 до +50

GNSS – приймач South Galaxy GIPlus використовувався для збору топографічних даних за допомогою методу GPS у режимі RTK. Це приймач нового покоління, який відрізняється компактними розмірами та інноваційним дизайном. Вбудований регулятор кута дозволяє камері знімати без центрування приймача. Це підвищує ефективність процесу (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Зображення GNSS – приймача South Galaxy GIPlus

Технічні характеристики GNSS-приймача South Galaxy GIPlus наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Технічні характеристики GNSS-приймача South Galaxy GIPlus

Показник	Значення
Кількість каналів	965
GPS	L1 C/A, L2C, L2E, L5
ГЛОНАСС	L1 C/A, L1P, L2 C/A, L2P, L3
Beidou	B1, B2, B3
Galileo	E1, E5A, E5B, E5AltBOC, E6
MSS L-Band	South Slink (OmniSTAR, Trimble RTX)
Інші	QZSS: L1 C/A, L1 SAIF, L1C, L2C, L5, LEX, SBAS: L1 C/A, L5; IRNSS
Характеристика точності	
Автономний режим	1,5 м
SBAS	план: 0,5 м, висота: 0,85 м.
DGNSS	план: 0,25 м + 1 мм/ км, висота: 0,25 м + 1 мм/ км,
RTK	план: 8 мм + 1 мм/ км, висота: 15 мм + 1 мм/ км
Статика	план: 2,5 мм + 0,5 мм/ км, висота: 5 мм + 0,5 мм/ км
Зв'язок і зберігання даних	
Порти	5-pin Lemo (зовнішнє живлення + RS232), 7-pin Lemo (USB + RS232), 1 порт для УКВ/GPRS антени, 1 слот для сім-картки

Електронна тахеометрична зйомка належить до основних сучасних методів наземних геодезичних вимірювань, що забезпечує високу точність визначення просторових координат об'єктів. Вона широко застосовується при виконанні інженерно-геодезичних робіт у складних міських умовах.

Електронна тахеометрична зйомка з автоматизованими компонентами використовується для зйомки меж земельної ділянки та висоти невеликих ділянок (рис.2.5).

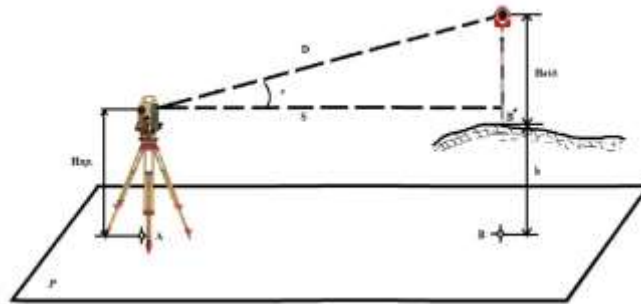


Рис. 2.5. Схема тахеометричного знімання

Підставою для тахеометричної зйомки є розміщення на території пунктів державної геодезичної мережі, призначених за призначенням. Як правило, кількість цих точок не вистачає. Для забезпечення необхідної щільності в точці зйомки додаються тахеометричні або леодолітні курси. Середня кількість точок стрільби, які прив'язані в різних масштабах, наведено в таблиці. 2.6.

Таблиця 2.6

Кількість опорних пунктів, призначена для тахеометричної зйомки

Масштаб зйомки	Загальна кількість опорних точок на 1 км ²	Приблизна довжина ходу, км
1:1000	16	1,8
1:2000	12	3
1:5000	4	6

У таблиці 2.7. наведено вимоги до знімального обґрунтування при тахеометричному зніманні.

Таблиця 2.7

Вимоги до знімального обґрунтування при тахеометричному зніманні

Масштаб зйомки	Максимальна довжина ходу, м	Максимальна довжина ліній, м	Максимальна кількість ліній у ході, шт
1:500	200	100	2
1:1000	300	150	3
1:2000	600	200	5
1:5000	1200	300	6

RTK (англ. Real Time Kinematic) – це система методів і технік, які використовуються для отримання планових координат і висот точок місцевості з точністю до сантиметра за допомогою GNSS-приймача в мережі діючих опорних станцій.

Мережа GNSS – це набір стаціонарних антенних станцій GNSS [7, с. 117]. Базові станції, які постійно розташовані в точках із відомими географічними координатами на відстані 70 кілометрів одна від одної та підключені до Інтернету (рис. 2.6).

Постійно працюючи, базові станції передають «необроблені» супутникові дані на центральну станцію, яка спеціалізується на програмному забезпеченні, яке обчислює поправки RTK для будь-якого мобільного приймача, який є частиною мережі (зовнішнього контуру мережі GNSS). Щоб працювати онлайн і отримувати RTK-керування, ровер повинен зв'язатися з сервером GNSS. Отримавши відгук, марсохід визначає своє місцезнаходження. Метою мережі GNSS є пом'якшення впливу та корекція інформації про місцезнаходження подорожуючого RTK Rover. Режим RTK дозволяє отримувати вказівки в реальному часі з роздільною здатністю 1 см у плані та 2 см у висоту.

При передачі радіосигналу із супутника він вразливий до різних пороків. Існує три основні причини спотворення сигналу, це неоднорідності атмосфери, перешкоди об'єктів і відбиття сигналу. Сама по собі супутникова система ГЛОНАСС GPS здатна з точністю до міліметра визначити будь-яке місце на планеті. Однак, коли сигнал досягає поверхні, через спотворення він нагадує вже не кілька міліметрів у фокусі, а пляму розміром від 5 до 100 метрів залежно від широти, кількості видимих супутників та інших факторів. Спотворення можна компенсувати за допомогою наземної інфраструктури – спеціального апаратного та програмного забезпечення, яке традиційно асоціюється з обладнанням GNSS.

Технології використовуються в багатьох галузях: геодезія та земельний кадастр, будівництво, а також моніторинг промислових об'єктів. Переваги мережі GNSS такі:

- для запису достатньо одного приймача;

- рівномірність положення ровера більша і точніша;
- самостійно купувати базову станцію немає необхідності;
- висока стабільність рішення та доступність корекцій RTK.

Недоліки: витрати на мережу та отримання зворотного зв'язку, робоча версія методу RTK може бути використана лише тоді, коли видно принаймні 5 супутників.

Отже, зйомочне обґрунтування на ділянці мостового переходу через р. Либідь по проспекту Повітряних Сил у м. Києві створювалось з метою забезпечення геодезичної основи для виконання детальної інженерно-геодезичної зйомки та спеціального обстеження споруди.

Вихідною основою для побудови зйомочного обґрунтування слугували пункти державної геодезичної мережі та дані GNSS-спостережень у режимі RTK із використанням мережі базових станцій System Solutions. Координати опорних точок визначались у реальному часі з подальшою фіксацією в єдиній системі координат, що забезпечило просторову узгодженість результатів.

На основі вихідних пунктів було виконано згущення геодезичної основи методом тахеометричного ходу з використанням електронного тахеометра Sokkia Set 250RX. Вимірювання кутів і відстаней здійснювались із контролем шляхом спостережень у двох положеннях кола, що дозволило мінімізувати інструментальні похибки. Закріплення знімальних точок виконувалось з урахуванням умов щільної міської забудови та інтенсивного руху транспорту. Пункти закладались на стійких елементах місцевості, що забезпечувало їх збереження та можливість повторного використання. Обробка результатів включала врівноваження тахеометричних ходів, обчислення координат знімальних точок та перевірку нев'язок. Отримані значення відповідали вимогам точності для інженерно-геодезичних зйомок масштабу 1:500, що підтверджує придатність створеної мережі для подальших робіт.

Сформоване зйомочне обґрунтування забезпечило основу для виконання детальної зйомки елементів мостового переходу, включаючи опори, прольотні будови та прилеглу територію.

2.3 Вирівнювання та оцінювання точності планової та висотної основи

Мостовий перехід через річку Либідь складається з самого мосту, підходів до нього (переважно насипи), струмененапрямних та регуляційних споруд. Основні частини мосту включають прогінну конструкцію (балку, ферму, арку) та опори, що її підтримують.

Точність висотної геодезичної мережі залежить від правильного взаємного розміщення конструкцій по висоті, враховуючи можливі перекоси та неприпустимі нахили. Для малих мостів мережі створюються за точністю нівелювання III і IV класів, а для великих мостів використовують нівелювання II класу. На кожному березі річки встановлюють щонайменше два реperi, а на підходах до мосту не менш ніж один репер кожні 1 км.

Обчислення точності та балансування таких мереж виконується на комп'ютері аналогічно мережам ТАЛ. Дослідження показали, що похибки азимутів і довжин сторін майже не залежать від форми та розмірів мереж, тоді як похибки абсцис і ординат збільшуються пропорційно довжинам сторін, але абсциси зазнають більшого збільшення. Для обчислення похибки планового положення найслабшої точки мережі можна використовувати формулу (2.1):

$$m_c \approx 0,71 \sqrt{3m_{\alpha}^2 + 2\left(\frac{Sm_{\beta}}{\rho}\right)^2 + 2m_s^2} \quad (2.1)$$

Ці мережі надзвичайно ефективні для створення багаторусних просторових структур в ущелинах і каньйонах у вертикальній площині, з вимірюванням горизонтальних та зенітних кутів і відстаней. Точки мережі можуть розташовуватися як в одній вертикальній площині (осьовій), так і поза нею. Похибку планового положення віддаленої точки щодо вихідної можна визначити за формулою (2.2):

$$m_F \approx \sqrt{4m_{\alpha}^2 + 2\left(\frac{Sm_{\beta}}{\rho}\right)^2 + 2m_s^2} \quad (2.2)$$

На довгих мостах (понад 1 км) у закритій місцевості геодезичну основну (каркасну) мережу створюють методом GPS, а потім згущують її

полігонометричним методом зі сторонами довжиною 200-300 м. Довжина ходів не перевищує 1 км, особливо у забудованих і лісистих районах.

Вимірювання здійснюються переважно методом двостороннього тригонометричного нівелювання з використанням високоточних електронних тахеометрів типу TC 1800 Leica. Zenітні кути вимірюються одночасно з горизонтальними кутами та відстанями, забезпечуючи стабільність зображень візирних марок і висоту приладу. У разі використання лише одного тахеометра намагаються зменшити інтервал часу між вимірюваннями у прямому та зворотному напрямках.

Центри мостових опор розмічають з пунктів мостової ТАЛ, використовуючи методи полярних координат та кутових засічок, в залежності від умов розташування опор і можливостей проведення спостережень з берегових пунктів.

На початкових етапах будівництва, коли опори розташовані у воді, центри опор розмічаються за методом кутових засічок з точністю до 50 мм, щоб правильно вивести корпус опускного колодезя у проектне положення для формування підводної частини опори. У сучасному будівництві таким самим методом розмічаються центри буронабивних паль, у верхній частині яких формується залізобетонний ростверк фундаменту опори.

Під час будівництва опор геодезичний контроль проводиться на етапах зведення фундаменту, ростверку та самого тіла опори. За даними проф. О. Н. Гридчина, похибка розмітки центра фундаменту, опалубки або паль може становити $1/200 h$ (де h – глибина закладання фундаменту), а похибка розмітки підфермової плити не повинна перевищувати 20 мм.

Відповідно до чинних нормативів, допустимі похибки у визначенні координат і висот пунктів геодезичної мережі щодо початку координат та початкового репера не повинні перевищувати: координати пунктів – 6 мм, координати центрів фундаментних опор – 50 мм, координати центрів опор на рівні та вище за обріз фундаментів – 12 мм, позначки постійних реперів на берегах і опорах – 3 мм, позначки тимчасових реперів на берегах і опорах – 5 мм [32, с. 22].

Точність планових геодезичних робіт залежить від точності встановлення прогінної конструкції на опори з урахуванням похибок будівельних і монтажних робіт. Вивчення характеру та взаємодії всіх похибок проводиться за допомогою розмірних ланцюгів. Елементарний розмірний ланцюг для одного прогону розрізного мосту може бути переданий через залежність (2.3).

$$l = b + z_1 + z_2 = b + u_1 - f_1 + u_2 - f_2, \quad (2.3)$$

де l – довжина прогінної конструкції;

z_1 і z_2 – нормативні (конструктивні зазори; U_1, U_2 – відстань опорної частини від поздовжньої осі опори; F_1, F_2 – відстань опорної підкладки від краю прогінної конструкції).

Похибка довжини прогону визначається з виразу (2.4):

$$m_l = \sqrt{m_b^2 + 2(m_u^2 + m_f^2)}, \quad (2.4)$$

де m_l – похибка геодезичного розмічування довжини прогону (двох центрів опор); m_b – похибка виготовлення (збирання) прогінної конструкції; m_u^2, m_f^2 – похибки будівельно-монтажних робіт.

На рис. 2.7 наведено розмірний ланцюг прогону розрізного моста через р. Либідь.

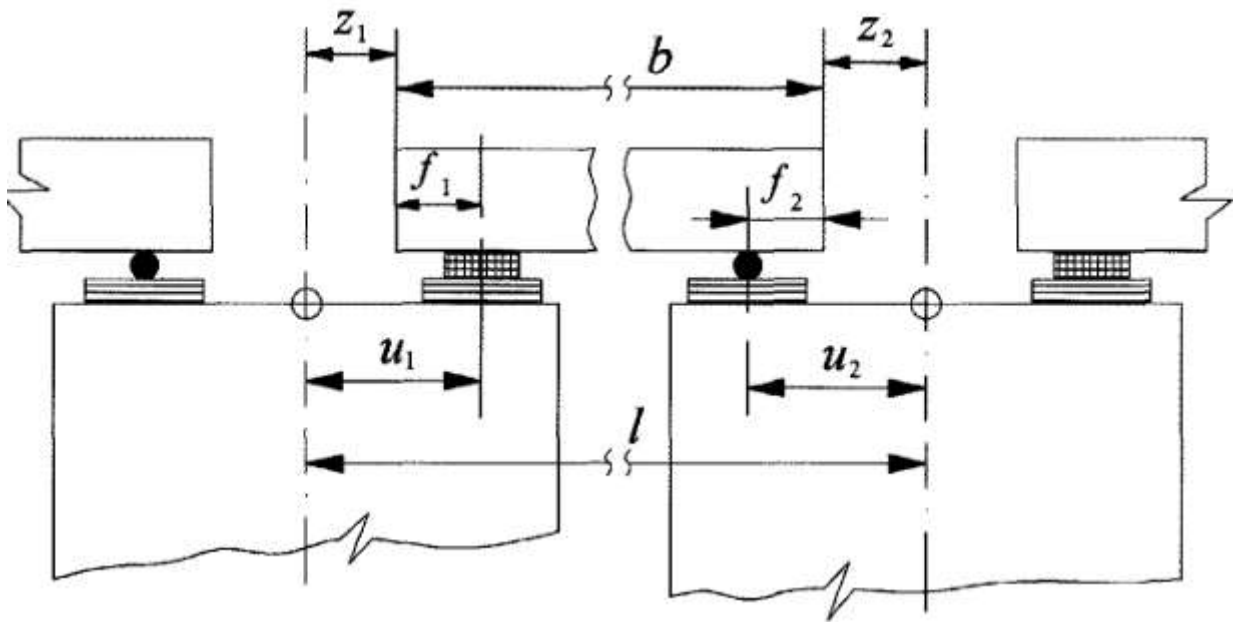


Рис. 2.7. розмірний ланцюг прогону розрізного моста через р. Либідь [21, с. 90]

Оскільки останні дві похибки є локальними, основною похибкою для геодезичних розмічувальних робіт вважається похибка m_b . Для забезпечення того, щоб похибка геодезичних робіт була вдвічі меншою від похибок будівельно-монтажних робіт, встановлюється така умова: $m_l = m_b \sqrt{2}$. Величину m_b пов'язують з двостороннім допуском δ на точність виготовлення прогінної конструкції, яка при ймовірності 0,95 становитиме (2.5):

$$m_b = \frac{\delta}{4} = \frac{ai}{4} \quad (2.5)$$

де a – коефіцієнт точності виготовлення конструкції; i – одиниця допуску, мкм.

Величина a для 4-8-го класів точності виготовлення мостових конструкцій становить 250, 400, 640, 1 000 і 1 600. Вибравши відповідний клас точності, за довжиною прогону можна спочатку визначити m_b , а потім m_l . Похибка розмітки центру мостової опори характеризується наступною залежністю (2.6):

$$m_0 = \sqrt{m_T^2 + m_P^2} \leq m_l / \sqrt{2} \quad (2.6)$$

де m_T, m_P – похибки, спричинені впливом побудови мостової ТАЛ або GPS-мережі та способу розмічування.

У розмічувальних роботах зазвичай прийнято, що $m_P = 2m_T$. Таким чином, $m_T \leq m_0 / \sqrt{5}$ і $m_P \leq 2m_0 / \sqrt{5}$. Для допустимої похибки $m_0 \leq 12$ мм, величини m_T і m_P становлять відповідно 5,4 мм і 10,8 мм. Виходячи з цих похибок, визначаються методи та точність виконання планової геодезичної мережі та розмічувальних робіт.

Підфермові частини конструкцій прольотних споруд допускають невеликі зміщення кінців під впливом температурних коливань. Монтаж прольотних конструкцій може здійснюватися різними методами: навісний монтаж у прольоті, збирання на березі з подальшим насуванням у проліт або збирання на березі з подальшим перевезенням по воді до місця монтажу.

Незалежно від методу монтажу, геодезичні роботи включають:

- детальну розмітку поздовжньої осі та періодичну перевірку співвісності споруджуваних елементів, яку можна здійснювати з основної або додаткової

(монтажної) осі, розташованої паралельно основній на відстані $l = \frac{b}{2} + 0.5$ м

(b -ширина конструкції); у другому випадку використовується бокове нівелювання; відхилення не можуть перевищувати 5 мм;

- контроль встановлення основних вузлів ферм по висоті та перевірка так званого будівельного підйому; середня квадратична похибка не повинна перевищувати 2-3 мм;

- періодичні контрольні спостереження під час монтажу за деформаціями тимчасових опор та монтажних підмостків, а також осіданням нівелірних реперів.

Вирівнювання планової та висотної основи мостового переходу через р. Либідь по проспекту Повітряних Сил у м. Києві виконувалось з метою

отримання узгоджених координат і висот пунктів зйомочного обґрунтування, необхідних для подальшого інженерно-геодезичного обстеження споруди. Планова основа була сформована у вигляді замкненого тахеометричного ходу, прокладеного через 5 пунктів із загальною довжиною 0,842 км. Вихідними слугували пункти державної геодезичної мережі та координати, визначені за результатами GNSS-спостережень у режимі RTK. Вимірювання кутів і відстаней виконувались електронним тахеометром, що забезпечило необхідну точність первинних даних для подальшого врівноваження [31, с. 277].

У процесі обробки було визначено кутову нев'язку ходу, яка склала $+12''$ при теоретичній сумі внутрішніх кутів 540° . Допустиме значення для даної кількості кутів становить $\pm 67''$, що свідчить про відповідність результатів вимірювань встановленим вимогам. Розподіл кутової нев'язки виконано рівномірно між усіма вершинами ходу з внесенням поправок по $-2,4''$. Після цього були обчислені дирекційні кути сторін і прирости координат, на основі яких визначено лінійну нев'язку, що склала 0,028 м. Відносна похибка ходу становить приблизно 1:30000, що суттєво перевищує нормативні вимоги для інженерно-геодезичних зйомок масштабу 1:500, де достатнім вважається рівень 1:2000–1:5000. Це підтверджує високу якість виконаних тахеометричних вимірювань і правильність побудови планової мережі.

Висотна основа була створена на базі нівелірного ходу довжиною 0,84 км із використанням даних геометричного нівелювання та GNSS-визначень. У результаті обчислень отримано висотну нев'язку $+0,012$ м, що при допустимому значенні $\pm 45,8$ мм (визначеному залежно від довжини ходу) свідчить про відповідність вимогам технічного нівелювання. Нев'язка була розподілена між точками пропорційно довжинам нівелірних плечей, що забезпечило отримання узгоджених відміток висот.

Оцінювання точності показало, що середня квадратична похибка визначення положення пунктів у плані становить близько 0,015–0,020 м, а за висотою – близько 0,010 м. Такі показники відповідають вимогам до інженерно-геодезичних робіт при обстеженні мостових споруд і забезпечують можливість визначення просторового положення конструктивних елементів із

необхідною точністю. Отримані результати свідчать про те, що створена планово-висотна основа є достатньо точною, внутрішньо узгодженою та придатною для виконання подальших геодезичних і деформаційних досліджень мостового переходу.

Висновки до 2 розділу

У другому розділі наведено характеристику об'єкта дослідження та проаналізовано топографо-геодезичні умови району розташування мостового переходу через річку Либідь по проспекту Повітряних Сил у м. Києві. Визначено, що досліджувана територія характеризується високим рівнем урбанізації, щільною забудовою, інтенсивним транспортним рухом і наявністю значної кількості інженерних комунікацій, що створює додаткові вимоги до точності та організації геодезичних робіт.

Для забезпечення просторової прив'язки об'єкта сформовано зйомочне обґрунтування на основі пунктів державної геодезичної мережі та результатів GNSS-спостережень у режимі RTK. Згущення геодезичної основи здійснено методом тахеометричного ходу із застосуванням електронного тахеометра Sokkia Set 250RX. Поєднання супутникових і наземних вимірювань забезпечило надійність координатної основи та відповідність отриманих даних вимогам інженерно-геодезичних робіт масштабу 1:500.

У результаті вирівнювання планової та висотної основи отримано узгоджені координати й відмітки пунктів мережі. Аналіз точності показав, що кутові, лінійні та висотні нев'язки перебувають у межах допустимих нормативних значень. Відносна похибка планової мережі становить близько 1:30000, а середні квадратичні похибки визначення координат і висот пунктів відповідають вимогам до геодезичного забезпечення обстеження мостових споруд.

РОЗДІЛ 3

ВИДИ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ СПЕЦІАЛЬНОМУ ОБСТЕЖЕННІ МОСТУ ЧЕРЕЗ РІЧКУ ЛИБІДЬ

3.1 Комплекс геодезичних робіт для забезпечення спеціального обстеження мосту через р. Либідь

Геодезичні роботи відіграють ключову роль у проєктах спеціального обстеження мостів та мостових переходах, адже вони забезпечують точність і надійність вимірювань, що є основою для успішного виконання проєктів будь-якого масштабу.

Інженерно-геодезичні роботи є невід'ємною частиною будівельно-монтажних робіт, які дають змогу контролювати якість будівництва і забезпечують безаварійну експлуатацію мостів. Проведення монтажно-геодезичних робіт при будівництві мостів супроводжується точними геодезичними вимірюваннями. Принципова схема проведення цих вимірювань повинна відповідати загальному геодезичному правилу послідовного виконання робіт на окремих спеціального обстеження мосту.

Основними критеріями, що визначають організацію геодезичного обстеження при проєктуванні, є ДБН 1-1-2008 «Інженерні вишукування для будівництва» [11], ДБН В.1.3-2-2010 «Інструкція з геодезичних робіт в будівництві» [12] і топографічна зйомка масштабу 1:5000, 1:2000, 1:1000 і 1:500.

Ефективним методом моніторингу поведінки елементів мостових конструкцій 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 [2, с. 160]. Під час проведення специфічного обстеження мосту через р. Либідь використовувалися переміщення, виміряні високоточним давачем LVDT.

Складність спеціального обстеження полягає в тому, що вдержавних 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.

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 проєктного положення у плані при розташуванні паль в один ряд не повинно бути більшим 0,2D вздовж моста та 0,3D поперек мосту [13].

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 збірного розверстка $5=8\text{см}$. Для паль діаметром 0,6÷3м розташованих в один ряд 0,1D і 0,15D у випадку двох і більше рядів [13].

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 за формулою (3.1):

$$\delta_{\Gamma} = 0,2\delta \quad (3.1)$$

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 це дозволяє територія знімання. Як

правило знімання та створення опорної мережі виконується одним тахеометром (3.2):

$$m_{3H} = m_{MEP} = \delta_{\Gamma} / \sqrt{2}, \quad (3.2)$$

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 (3.3-3.4):

$$m_S = m_{3H} / \sqrt{2} \quad (3.3)$$

$$m_{\beta} = m_{3H} \cdot 206265 / \sqrt{2} / S, \quad (3.4)$$

де S - віддаль від тахеометра до точки мосту. Похибки за формулами (3.3-3.4) отримані за умови, що кутова та віддалемірна складова мають рівновеликий вплив на загальну похибку.

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

- 200/1 при розташуванні паль та оболонок в один ряд;
- 100/1 при розташуванні паль та оболонок у два та більше рядів [10]

Таке обмеження відповідає граничному відхиленню в плані 0,005Н – для одного ряду паль, для двох і більше рядів – 0,01Н.

Проте, у даному випадку, 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 верху палі від вертикалі визначиться (3.5):

$$a = \sqrt{\left(\frac{x_{B1} + x_{B2} + x_{B3} - x_{H1} - x_{H2} - x_{H3}}{3} \right)^2 + \left(\frac{y_{B1} + y_{B2} + y_{B3} - y_{H1} - y_{H2} - y_{H3}}{3} \right)^2} \quad (3.5)$$

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 х, у відповідно трьох верхніх та трьох нижніх наріжних точок палі.

Допустивши некорельованість аргументів формули (3.5) та те, що координати усіх точок визначаються з однаковою точністю, і перейшовши до похибок, отримаємо, що гранична планова похибка однієї точки (3.6):

$$\delta = \Delta / \sqrt{3} \quad (3.6)$$

Далі за формулами (3.1-3.4) 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» [16] граничні вертикальні прогини перекриттів, що зазнають дії переміщуваних вантажів, матеріалів, вузлів і елементів устаткування та інших рухомих навантажень, не повинні перевищувати (3.7):

$$f_{GP} = l / 350, \quad (3.7)$$

де l – довжина плити, проліт.

Застосувавши формулу (3.1) до (3.7), отримаємо:

$$\delta_G = l / 1750$$

Розрізняють вертикальні та горизонтальні прогини. Для безпечного функціонування мосту домінуючим значення мають саме вертикальні прогини балок-плит мосту, тому для середньої точки балки-плити мосту прогин будемо визначати за результатами геодезичних спостережень як (3.8):

$$f = (H_1 + H_2) / 2 - H_3, \quad (3.8)$$

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 приймемо, 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 (3.8) є некорельованими аргументами, тому, перейшовши до похибок, матимемо (3.9):

$$\delta_h = 1/1750/\sqrt{1.5}, \quad (3.9)$$

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 (3.10-3.11):

$$m_S = \delta_h / 2 / \sin v \quad (3.10)$$

$$m_v = \delta_h \cdot 206265 / 2 / S / \cos v, \quad (3.11)$$

де v – вертикальний кут. В формулах (3.10-3.11) вже врахована залежність (3.2).

Таке обґрунтування точності геодезичних робіт було застосоване при спеціальному обстеженні мосту через р. Либідь по проспекту Повітряних Сил у м. Києві (додаток Б). Загальний вигляд мосту наведено в додатку В.

Споруда має багатопрогонову конструкцію з монолітною прогоною будовою, що спирається на систему опор. Загальна ширина мосту становить 28,2 м, ширина проїзної частини – 18,0 м. По обидва боки мосту розташовані тротуарні частини та тимчасове перильне огородження. На крайніх ділянках конструкції зафіксовані аварійні та зруйновані елементи, що потребують детального інженерно-геодезичного контролю.

Першочерговим завданням геометричного моніторингу несучої здатності є висотна фіксація положення балок прогонової будови між ключовими створами – Віссю опори Б та Віссю опори А. Обстеженням охоплено 8 поздовжніх ліній балок (від Б1 до Б8). На кожній лінії вимірювання

проводилися у трьох характерних точках: на опорі Б, у середині прогону та на опорі А (рис. 3.1).

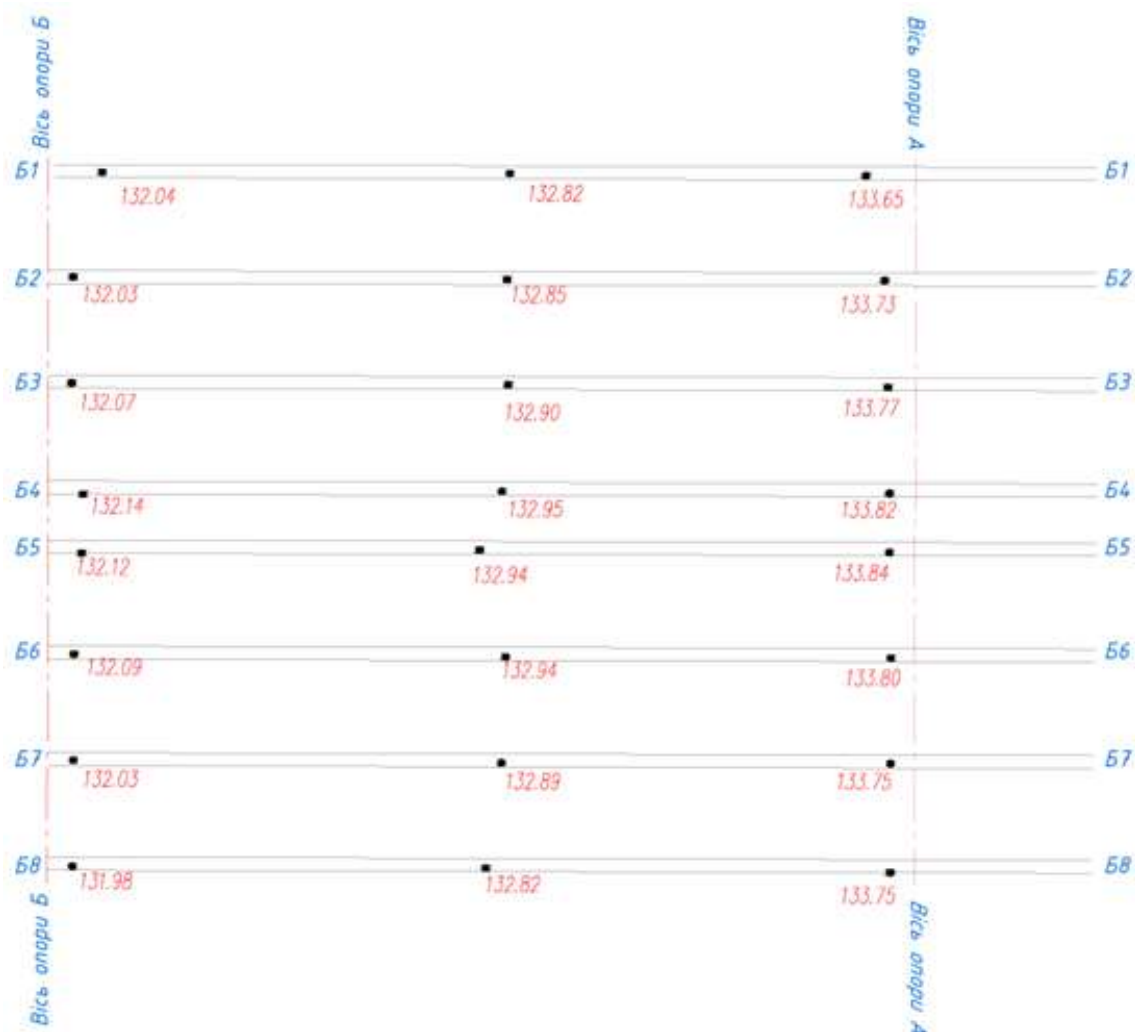


Рис. 3.1. Відображення фіксації положення балок прогонової будови між ключовими створами

Аналіз висотного положення на осі опори Б показав, що значення абсолютних відміток коливаються в межах від 131.98 м (балка Б8) до 132.14 м (балка Б4). Спостерігається плавне підвищення профілю до центральних балок (Б4 = 132.14 м, Б5 = 132.12 м) із пониженням до країв, що відповідає проєктному поперечному ухилу опорного ригеля. Аналіз висотного положення на Вісі опори А демонструє, що відмітки на цій опорі є значно вищими порівняно з опорою Б. Вони фіксують підйом мосту в напрямку руху і становлять від 133.65 м (Б1) до 133.84 м (Б5). Проаналізувавши прогини у середині прогону, бачимо, що нівелювання серединних точок балок фіксує

стабільний поздовжній розподіл висот (діапазон відміток: 132.82 м – 132.95 м). Порівняння середніх значень із опорними свідчить про відсутність критичних локальних провисань окремих балок відносно загальної осі нахилу прогонової будови. Найвища точка всередині прогону зафіксована на балці Б4 (132.95 м).

На основі базової геодезичної сітки виконано координування елементів верху мостового полотна, що дозволило пов'язати конструктивні осі споруди із фактичним рельєфом покриття (рис. 3.2). Знімання виконано у тривимірному просторі із прив'язкою до геометричних осей.

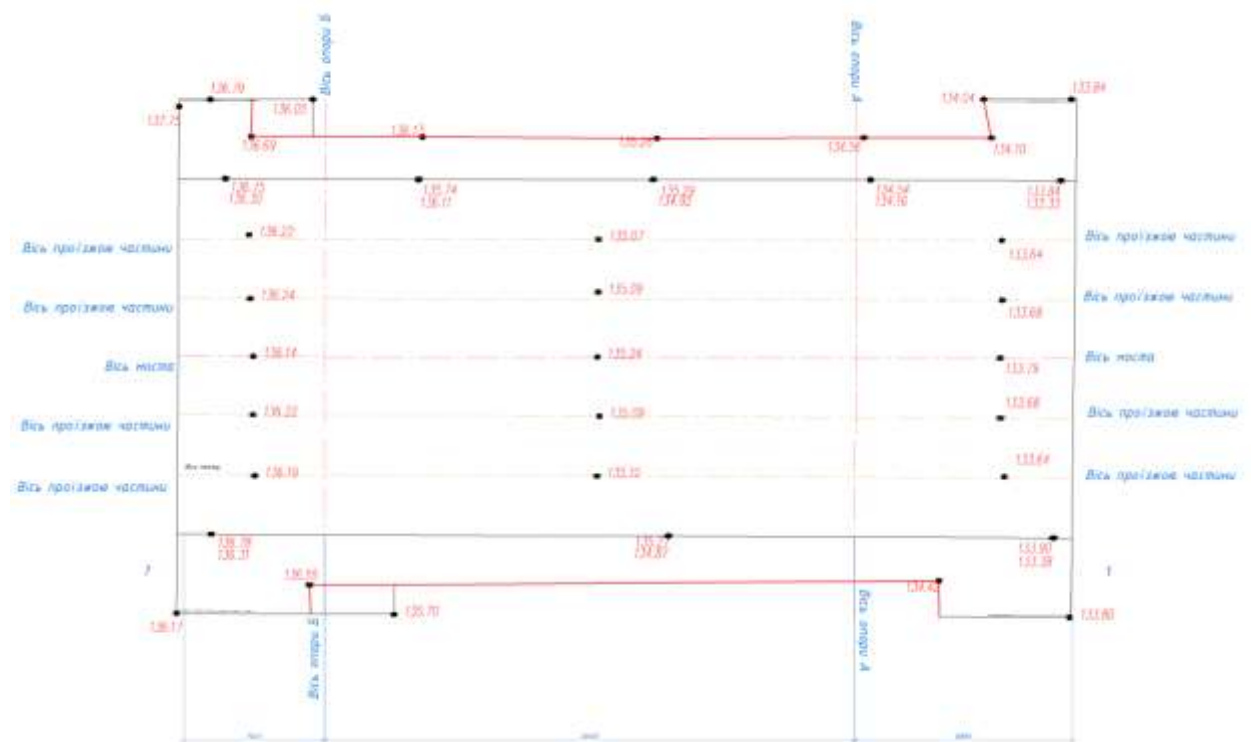


Рис. 3.2. Координування елементів верху мостового полотна

Згідно з даними рис. 3.2 міст має три чітко виражені зони за довжиною (загальна довжина ділянки знімання становить $7045 + 26650 + 13889 = 47584$ мм або 47.58 м):

- припідхідна ділянка до Вісі опори Б (довжина 7045 мм);
- основний прогін між Опорою Б та Опорою А (довжина 26650 мм);
- заопорна ділянка після Вісі опори А (довжина 13889 мм).

На плані виділено «Вісь моста» та чотири допоміжні лінії – «Вісь проїжджої частини», які визначають межі смуг руху. Геодезичні відмітки по осі

мосту плавно змінюються від 136.14 м на створі Опори Б до 135.24 м в центрі прогону та 133.79 м на створі Опори А. Це вказує на загальний поздовжній ухил полотна.

Геодезична зйомка зафіксувала суттєві геометричні аномалії вздовж лівого та правого країв мостового полотна.

- верхній дефектний контур: починається на підході з відмітки 136.79 м, має різкий стрибок на деформаційному шві опори Б 136.05 м / 136.69 м і тягнеться вздовж усього прогону до опори А 134.56 м, завершуючись критичним зломом профілю тротуару на відмітках 134.04 м – 134.10 м;

- нижній дефектний контур: фіксує деформацію бортового каменю та тротуарної консолі на Опорі Б (136.55 м – 135.70 м) та виносне руйнування біля Опори А на відмітці 134.42 м.

Для остаточного аналізу просторової схеми мосту через р. Либідь виконаємо натурні вимірювання поперечних перерізів конструкцій безпосередньо на створах Опори А та Опори Б. Ці архітектурно-перспективні розрізи ув'язують висоту дорожнього одягу, положення балок та фундаментну частину (рис. 3.3).

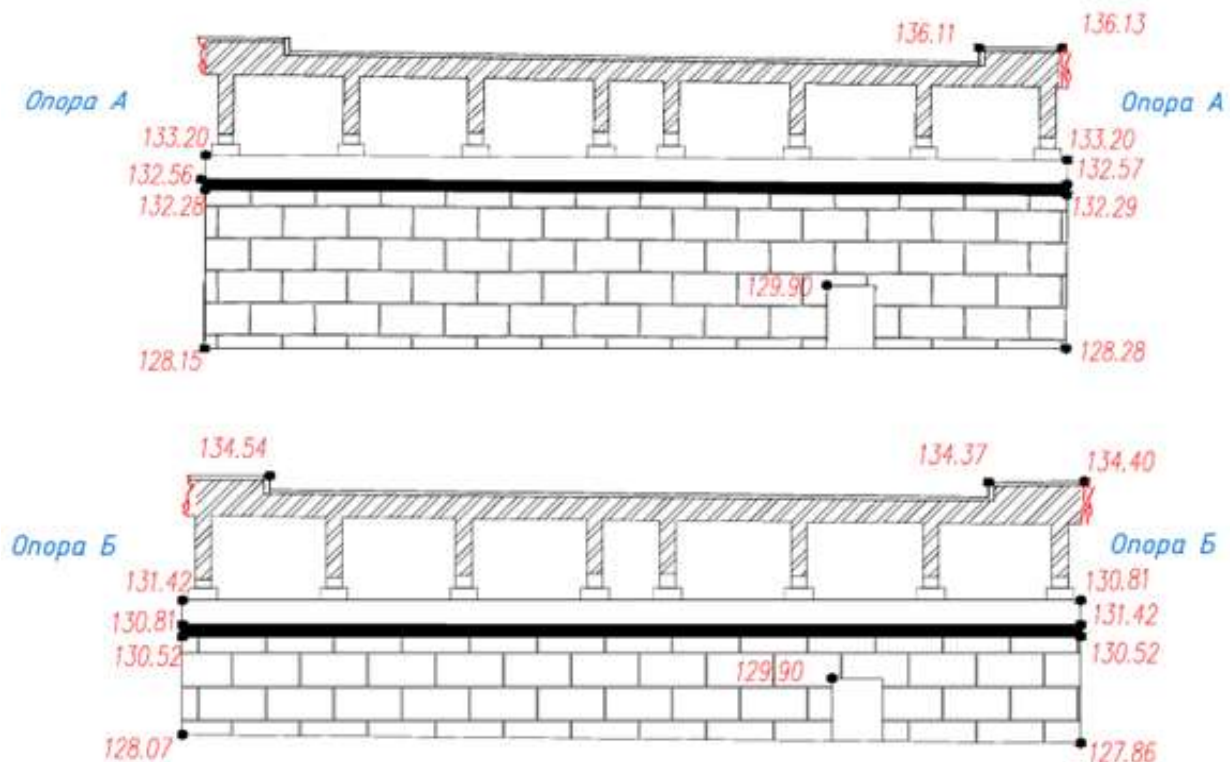


Рис. 3.3. Поперечні перерізи конструкцій на створах Опори А та Опори Б

На обох розрізах чітко візуалізується компоновка прогонової будови, що складається з монолітно-пов'язаних балок та верхньої плити проїзної частини, яка формує односкатний (або двоскатний із переломом по осі) поперечний профіль для скидання води. На Опорі А зафіксовані відмітки верху бар'єра 136.11 м та 136.13 м. На Опорі Б – відповідно 134.54 м та 134.40 м.

Дані рис. 3.3 відображають рівні посадки опорних частин балок на бетонні оголовки підпорних стін:

- Опора А: рівень підферменної плити зафіксовано на відмітках 133.20 м та 132.56 м / 132.57 м. Нижній лінійний маркер (лінія контакту з ґрунтом або фундаментом) залягає на відмітках 128.15 м та 128.28 м. Також зафіксовано технологічний проріз (канал) з відміткою верху 129.90 м.

- Опора Б: знаходиться конструктивно нижче. Рівень підферменників зафіксовано на відмітках 131.42 м та 130.81 м. Рівень підосви масивної стіни зафіксовано на абсолютних відмітках 128.07 м та 127.86 м. Технологічний проріз тут також має відмітку 129.90 м, що вказує на його горизонтальність (комунікаційний колектор або кабельне русло).

Зведені результати геодезичного аналізу трьох зображень свідчать про складний просторовий нахил споруди. Конструкція має стійкий поздовжній ухил (падіння відміток від Опори Б до Опори А). Водночас дані планово-висотного знімання верху полотна виявляють зони деструкції на межах деформаційних швів, які не пов'язані з просіданням самих балок, а є наслідком експлуатаційного зносу шарів дорожнього одягу та гідроізоляції. Отримані матриці висот є основою для побудови цифрової моделі мосту та розрахунку об'ємів ремонтних робіт.

Найбільш небезпечними визначено крайні ділянки мосту, позначені на розрізі як «зруйнована ділянка» та «аварійна ділянка». Саме в цих зонах зафіксовано найбільші відхилення фактичного положення конструкцій від проектних параметрів, що може свідчити про втрату несучої здатності окремих елементів.

3.2 Складання плану нівелювання проїзної частини мосту

Нівелювання проїзної частини мосту є невіддільною складовою комплексу інженерно-геодезичних вишукувань, що виконуються під час технічного обстеження, реконструкції або капітального ремонту мостових споруд. Головною метою цих робіт є визначення фактичного висотного положення елементів проїзної частини, виявлення деформацій (прогинів, осідань), розрахунок поздовжніх і поперечних ухилів, а також фіксація геометрії аварійних та руйнівних ділянок.

У межах цього проекту розглядається план нівелювання проїзної частини мосту через річку Либідь, розташованого на магістральній вулиці загальноміського значення – проспекті Повітряних Сил у м. Києві (напрямок руху: від проспекту Повітряних Сил до вулиці В'ячеслава Чорновола). План проїзної частини мосту з дефектами наведено в додатку Г.

Для отримання детальної висотної карти проїзної частини застосовується метод геометричного нівелювання.

Розбивка точок нівелювання (пикетажу) виконана за чітко визначеною геометричною сіткою, прив'язаною до конструктивних елементів мосту – опор та осі споруди:

1. Поздовжні профілі: Нівелювання виконується вздовж осі мосту («Вісь мосту»), по краях проїзної частини (вздовж бортового каменю чи бар'єрного огородження), а також по лініях смуг руху.

2. Поперечні профілі (створи): Прив'язані до осей опор мостової споруди. Як видно з креслення, на ділянці виділено ключові створи по осях опор: Опора № 3, Опора № 2, Опора № 1 та Опора № 0.

3. Відстані між створами: Між опорні відстані (прогони) становлять:

- між Опорою № 3 та Опорою № 2 – 8000 мм (8,0);
- між Опорою № 2 та Опорою № 1 (основний русловий прогін) – 26400 мм (26,4 м);
- між Опорою № 1 та Опорою № 0 – 5000 мм (5,0 м);

- загальна ширина проїзної частини разом із тротуарними консолями становить 26400 мм (26,4 м), де чиста ширина проїзної частини між бордюрами дорівнює 18000 мм (18,0 м).

В кожній точці перетину поздовжніх і поперечних ліній визначаються дві відмітки: фактична висотна відметка (верхнє число) та проєктна відметка (нижнє число). Наприклад, на Опорі № 3 по лівій брівці: фактична – 135,694 м, проєктна – 135,284 м.

На основі отриманих абсолютних відміток точок обчислено фактичні поздовжні та поперечні ухили проїзної частини, які на плані виражені у проміле (‰):

1. Поздовжні ухили проїзної частини:

- на ділянці між Опорою № 3 та Опорою № 2 поздовжній ухил становить 59,619 ‰ та 55,927 ‰ (залежно від смуги руху), що свідчить про значний підйом/спуск полотна на підходах до основного прогону;

- на довгому прогоні (між Опорою № 2 та Опорою № 1) ухил стабілізується і становить 71,247 ‰ та 69,171 ‰;

- на ділянці з'їзду (між Опорою № 1 та Опорою № 0) поздовжній ухил становить 94,826 ‰ та 94,809 ‰, що є критично високим показником, обумовленим складним міським рельєфом та необхідністю спряження рівнів доріг.

2. Поперечні ухили:

- обчислюються між віссю мосту та краєм проїзної частини для забезпечення ефективного водовідведення. На створах опор зафіксовані такі поперечні ухили;

- створ Опори № 3: ухил ліворуч – 115,738 ‰, праворуч – 115,836 ‰;

- створ Опори № 2: ліворуч – 46,040 ‰, праворуч – 43,467 ‰;

- створ Опори № 1: ліворуч – 52,209 ‰, праворуч – 52,258 ‰;

- створ Опори № 0: ліворуч – 27,337 ‰, праворуч – 19,023 ‰;

Такий розподіл ухилів демонструє, що проїзна частина має двоскатний профіль, який трансформується по довжині мосту для плавного переходу в радіус або профіль прилеглих вулиць.

Нівелювання дозволило не лише встановити геометрію споруди, а й чітко локалізувати деструктивні процеси в тілі проїзної частини та несучих конструкцій. На плані зафіксовано дві великі зони конструктивних пошкоджень:

1. Аварійна ділянка (верхня частина плану, сторона проспекту Повітряних Сил):

- розташована в межах руслового прогону між Опорою № 2 та Опорою № 1 вздовж правого краю проїзної частини;
- простягається від створу Опори № 2 майже до створу Опори № 1;
- геодезичні відмітки в цій зоні (наприклад, 136.148 м при проєктній 135.799 м, або 134.183 м при проєктній 133.759 м) фіксують значні відхилення від проєктних значень. Це може свідчити про просідання прогонової будови, руйнування деформаційних швів або порушення цілісності гідроізоляції з подальшим руйнуванням асфальтобетонного покриття.

2. Зруйнована ділянка (нижня частина плану, сторона вул. В'ячеслава Чорновола):

- локалізована вздовж протилежного (лівого) краю проїзної частини, також між Опорою № 2 та Опорою № 1;
- графічно позначена лінійними хрестоподібними маркерами червоного кольору, що вказує на суцільне руйнування дорожнього одягу чи тротуарної консолі;
- у цій зоні зафіксовані деформації профілю (відмітки 136.638 м та 134.872 м, що підтверджує незадовільний технічний стан покриття та потребує негайного капітального ремонту із заміною конструктивних шарів.

Результати аналізу плану нівелювання проїзної частини мосту через р. Либідь свідчать про суттєві та системні порушення його геометричного стану, які виходять за межі допустимих експлуатаційних відхилень. Найбільш критичні деформації зафіксовані в межах основного прогону між опорами №1 та №2, де спостерігається значне викривлення поздовжнього профілю, що може вказувати як на нерівномірні осідання конструкції, так і на загальне погіршення несучої здатності окремих елементів мостового полотна. Додатково

встановлено наявність значних поздовжніх ухилів, що досягають 94,8‰, які є надмірними для нормальних умов експлуатації та створюють несприятливий гідрологічний режим на проїзній частині. Унаслідок цього відбувається прискорене скупчення та переміщення поверхневих вод, що підсилює процеси розмивання, руйнування асфальтобетонного покриття та розвиток локальних дефектів у зонах максимальних деформацій. Особливу тривогу викликає наявність чітко ідентифікованих ділянок, класифікованих як «аварійні» та «зруйновані», що прямо свідчить про втрату ними експлуатаційної придатності та наближення або фактичний перехід до граничного технічного стану. У сукупності виявлені відхилення характеризують міст як споруду з нерівномірним і прогресуючим характером деформацій, що потребує невідкладного детального інженерного обстеження та прийняття рішень щодо обмеження або відновлення експлуатації найбільш пошкоджених ділянок.

3.3 Складання плану нівелювання низу прогонової частини мосту

Нівелювання низу прогонової будови є критично важливою частиною геодезичного обстеження, оскільки воно дозволяє оцінити безпосередній технічний стан несучих залізобетонних або металевих елементів (балок) без урахування деформацій дорожнього одягу. На відміну від знімання верху проїзної частини, де на висотні відмітки впливає колійність, напливи асфальту або вибоїни, нівелювання низу прогонової будови фіксує чисту геометрію прогинів конструкції, деформації опорних частин та загальну будівельний підйом або провисання споруди.

Роботи виконувалися методом геометричного нівелювання за допомогою високоточних нівелірів із використанням спеціальних прямих або перевернутих геодезичних рейок (у випадках, коли безпосередній доступ до нижньої грані балки обмежений).

Вимірювання проведені на ділянці між двома конструктивними створами:

- вісь опори № 1 (зі сторони проспекту Повітряних Сил);
- вісь опори № 0 (зі сторони вулиці В'ячеслава Чорновола);

- загальна довжина досліджуваного прогону між осями цих опор становить 17255 мм (17.255 м).

Нівелірна сітка сформована за матричною схемою: вимірювання зафіксовані на створах опор (Опора № 1, Опора № 0) та у середньому (задіскризованому) перерізі прогону для кожної з поздовжніх конструктивних ліній (додаток Д).

На основі додатку 3 проведено детальний аналіз абсолютних відміток низу прогонової будови, розбитих на сім основних поздовжніх рівнів (балок) та центральну зону спряження (табл. 3.1). Усереднені та точкові дані фіксують чітку тенденцію загального поздовжнього нахилу споруди: йде рівномірне зниження висотних відміток у напрямку від проспекту Повітряних Сил (Опора № 1) до вулиці В'ячеслава Чорновола (Опора № 0).

Таблиця 3.1

Фактичні абсолютні відмітки низу прогонової будови, м

Поздовжня лінія / елемент	Вісь опори №1	Середина прогону	Вісь опори № 0	Загальний перепад (Н1-Н0)
Лінія 1 (Верхня брівка)	133.610	132.588	131.865	1.745
Лінія 2	133.627	132.790	131.933	1.694
Лінія 3	133.804 / 133.836	132.912 / 133.011	132.036 / 132.131	1.768 / 1.705
Лінія 4 (Центральна)	133.831	132.937	132.134	1.697
Лінія 5	133.784	132.879	132.085	1.699
Лінія 6	133.749	132.805	132.051	1.698
Лінія 7 (Нижня брівка)	133.628	132.715	131.998	1.630

Проаналізувавши дані табл. 3.1, можемо зробити кілька важливих інженерно-геодезичних висновків щодо просторової форми низу прогонової будови:

1. Характер поздовжнього профілю: перепад висот між Опорою № 1 та Опорою № 0 в середньому становить близько 1.70 м на довжині 17.255 м. Це свідчить про крутий поздовжній ухил низу прогонової будови, який орієнтовно дорівнює:

$$i = \frac{133.831 - 132.134}{17.255} \approx 0.0984 \text{ або } 98.4\text{‰}$$

Такий ухил є нормативним для складних умов міського рельєфу та забезпечує висотне спряження магістральних вулиць.

2. Аналіз поперечного перерізу (коробової або балкової структури): розглянувши створ Опори № 1, чітко видно, що максимальні відмітки зафіксовані по центру та на лінії 3 (133.831 м – 133.836 м). До країв (Лінія 1 та Лінія 7) відмітки симетрично зменшуються до значень 133.610 м та 133.628 м. Це підтверджує наявність проєктного двоскатного поперечного профілю самої прогонової будови. Така ж закономірність зберігається всередині прогону та на Опорі № 0.

3. Локальний аналіз зони Лінії 3: у межах третьої поздовжньої лінії на кожному створі зафіксовано подвійні відмітки (наприклад, на Опорі № 1: 133.804 та 133.836; в середині: 132.912 та 133.011). Це вказує на наявність конструктивного виступу, поздовжнього шва замоноличування або розриву в плиті низу прогонової будови (наприклад, міжбалковий шов чи технологічний уступ), висота якого становить від 32 мм до 99 мм.

4. Оцінка прогину балок. Для виявлення можливих деформацій (провисань) порівняємо фактичні відмітки в середині прогону з теоретичною прямою лінією між опорними точками на прикладі Центральної Лінії 4. Розрахуємо нормативне середнє значення між опорами за формулою (3.12):

$$H_{\text{сер}} = \frac{133.831 + 132.134}{2} = 132.9825 \text{ м} \quad (3.12)$$

При цьому фактичне значення в середині прогону дорівнює 132.937 м.

Різниця становить: $132.937 - 132.9825 = -0.0455$ (або -45.5 мм).

Дане відхилення (близько 4.5 см) вказує на наявність плавного пружно-пластичного прогину прогонової будови донизу під дією постійних (власна вага конструкцій) та динамічних (транспортний потік) навантажень. Подібні прогини фіксуються по всіх лініях балок, що є типовим для залізобетонних прогонових будов, які тривалий час перебувають в експлуатації.

У результаті проведеного аналізу можемо зробити висновки, що план нівелювання низу прогонової будови підтверджує стабільну просторову конфігурацію несних конструкцій із чітким витриманим поздовжнім ухилом у напрямку вул. В'ячеслава Чорновола ($\sim 98.4 \text{ ‰}$). Збережено правильну геометричну схему поперечного розподілу висот (двоскатність нижнього поясу прогону). Виявлені деформаційні прогини в середині прогону (в межах 4-5 см) потребують зіставлення з розрахунковими гранично допустимими значеннями для даного типу залізобетонних конструкцій згідно з чинними будівельними нормами (ДБН). Дані нівелювання будуть закладені в основу розрахунку несучої здатності мосту при складанні паспорта споруди.

Висновки до 3 розділу

У третьому розділі виконано комплексне обґрунтування та реалізацію інженерно-геодезичного забезпечення спеціального обстеження мосту через р. Либідь. Розглянуто методологічні підходи до організації геодезичних робіт, визначення необхідної точності вимірювань та вибору відповідного приладового забезпечення з урахуванням нормативних вимог і фактичних умов експлуатації споруди.

На основі аналізу граничних відхилень елементів мосту сформовано підхід до оцінювання допустимих похибок геодезичних вимірювань, що дозволило обґрунтувати параметри створення локальної опорної мережі та виконання знімальних робіт із застосуванням сучасних методів (тахеометричне знімання, геометричне нівелювання, просторове координування та елементи 3D-аналізу).

Проведені натурні вимірювання забезпечили отримання детальної просторової моделі мосту, яка включає висотний стан прогонової будови, проїзної частини та низу конструкцій. Виявлено загальний поздовжній ухил споруди, а також характерні деформаційні зони, що проявляються у вигляді локальних відхилень, пошкоджень покриття та нерівномірних прогинів елементів прогонової будови.

Результати нівелювання проїзної частини та низу прогонової будови підтвердили наявність як конструктивно обумовлених ухилів, так і експлуатаційних деформацій, зокрема в зонах деформаційних швів і середніх ділянках прогонів. Зафіксовані відхилення не перевищують критичних значень для окремих елементів, однак свідчать про нерівномірний характер роботи конструкції та наявність локальних пошкоджень, що потребують подальшого інженерного аналізу.

Узагальнені геодезичні дані сформували основу для побудови цифрової моделі мосту та подальшого розрахунку обсягів ремонтних робіт, а також можуть бути використані при розробці технічного паспорта споруди й прийнятті рішень щодо її подальшої експлуатації або відновлення.

ВИСНОВКИ

Під час написання бакалаврської кваліфікаційної роботи було вирішено всі поставлені завдання:

Виконано геодезичні вимірювання, спрямовані на визначення просторового положення конструктивних елементів мосту через р. Либідь. У результаті застосування тахеометричного знімання, геометричного нівелювання та просторового координування отримано детальну інформацію про планово-висотне положення основних елементів споруди, включаючи проїзну частину, прогонову будову та опори. Це дозволило сформулювати вихідну геодезичну основу для подальшого аналізу деформацій та побудови просторової моделі мосту.

Здійснено контроль вертикальних та горизонтальних деформацій опор і прогонових будов мосту на основі порівняння фактичних геодезичних відміток із проектними та нормативними значеннями. Виявлено загальний поздовжній ухил конструкції, а також локальні відхилення висотних відміток у характерних перерізах, що свідчить про нерівномірний характер деформацій. Отримані результати дозволили оцінити ступінь деформованості окремих елементів та виявити зони потенційного зниження експлуатаційної надійності.

Забезпечено геодезичне супроводження спеціального обстеження мосту відповідно до вимог чинних нормативних документів у сфері інженерно-геодезичних робіт та будівельних норм. Виконано створення локальної опорної мережі, обґрунтування необхідної точності вимірювань, а також систематичний контроль геометричних параметрів споруди в процесі обстеження.

Підготовлено графічні та аналітичні матеріали, що відображають фактичний просторовий стан мосту та його основних конструктивних елементів. Сформовано плани нівелювання, поперечні та поздовжні профілі, а також аналітичні таблиці висотних відміток і деформацій. Отримані матеріали дозволяють комплексно оцінити технічний стан споруди, ідентифікувати дефектні та аварійні ділянки та є основою для прийняття рішень щодо подальшої експлуатації або ремонту мосту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. INTERGEO 2024. URL: <https://dvw.de/intergeo/en/press/intergeo-conference-2024> (дата звернення: 17.04.2026).
2. 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. №1 P. 157-168.
3. Банніков Д.О., Нікіфорова Н.А., Косячевська С.М. Сучасний стан класифікації транспортних будівельних конструкцій в Україні. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2022. №21. С. 35–43.
4. Бачишин Б.Д. Обґрунтування точності геодезичних робіт при обстеженні мосту в м. Рівне. *Містобудування та територіальне планування*. С. 28–40.
5. Безбабічева О.І., Музика А.П. Вплив безпеки та аварій мостів на надійність. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Інновації та перспективи світової науки». Канада. 2021. С. 240–243.
6. Бережна К.В., Краснов С.М. Вплив помилок проектування, будівництва й експлуатації на несну здатність пішохідного мосту. *Вісник ХНАДУ*. 2025. № 109. С. 61–67.
7. Вітровий А., Гльома І. Супутникові технології в геодезії. *Економічна експертиза та землепорядкування*. 2020. №1. С. 117–118.
8. Войтенка С. П. Інженерна геодезія : підручник. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2022. 700 с.
9. Гайдар К.Р. Обстеження мостових споруд згідно діючих нормативних документів України. URL: <https://surl.li/wmmsnt> дата звернення: 16.04.2026).
10. Головачов В., Горб О., Тревого І., Тарнавський В., Салій Ю. Дослідження сучасних тенденцій в геоінформатиці. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2025. № (49). С. 212–223.

11. ДБН А. 2.1-1-2008. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=40217 (дата звернення: 11.05.2026).
12. ДБН В.1.3-2:2010 «Геодезичні роботи у будівництві». URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199637436816688486?doc_type=2 (дата звернення: 11.05.2026).
13. ДБН В.2.3-22:2025 «Мости і труби. Основні вимоги проектування». URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/BN01:4868-1755-9511-2275?doc_type=2 (дата звернення: 16.04.2026).
14. Дем'яненко Р.А., Аннеков А.О., Медведський Ю.В., Ніколайко Д.М. Сучасні методи геодезичного забезпечення будівництва і моніторингу висотних будівель та інженерних споруд. Монографія. Київ, 2025. 206 с.
15. Доля К.В. Функціональні можливості ГІС. Матеріали науково-практичної конференції (з нагоди Міжнародного дня геоінформаційних систем). Харків, 2021. С. 216-221.
16. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 «Прогини і переміщення. Вимоги проектування». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6616 (дата звернення: 11.05.2026).
17. Загальні відомості про штучні споруди. URL: <https://surl.li/bbtsfa> (дата звернення: 16.04.2026).
18. Казаченко Л. М., Мусієнко І. В. Застосування ГІС-технологій та робота тахеометра для реконструкції мостової споруди. *Нові технології в будівництві*. 2020. № 35. С. 41–47.
19. Казаченко Л., Казаченко Д., Завальний О., Коваленко Л., Наливайко Т. Сучасні геодезичні вимірні системи та гіс-технології у плануванні та 3D-моделюванні лінійних споруд. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2022. № 1 (43). С. 62–70.
20. Касьянов В. В. Геодезичне і картографічне забезпечення землеустрою : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. 79 с.

21. Касьянов В. В. Дослідницькі методи та сучасні технології геодезії : конспект лекцій для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. 115 с.
22. Коваленко Л.О., Ємець В.А. Інженерно-геодезичні роботи і виконавча зйомка монтажу прогонових будов мостів. *Комунальне господарство міст*. 2021. № 161. С. 124–128.
23. Корнієв М. М., Дітковський С. Л. Оцінка надійності мостів в Україні. *Збірник наукових праць «Дороги і мости»*. 2023. №27. С. 177–188.
24. Мамонтов К.А., Штерндок Е. С., Касьянов В.В. Геодезичні технології для формування просторового забезпечення сучасних кадастрових систем. *Науковий журнал «АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ І ДОРОЖНЄ БУДІВНИЦТВО»*, 2024. № 116. С. 139–147.
25. Млвчан Т.В. Впровадження геоінформаційних технологій у геодезії та землеустрої. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Впровадження геоінформаційних технологій на практиці». Одеса, 2025. С. 29–31.
26. Перепелиця К. М., Ключник С.В. Використання наплавних (понтонних) мостів для технічного прикриття транспортних об'єктів *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2024. №26. С. 63–70.
27. Пшінько О.М., Краснюк А.В., Громова О.В., Щербак А.С., Старосольська Т.В. Питання землеустрою та геодезичних вишукувань під час проектування та будівництва мостів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2019. № 15. С. 70–76.
28. Різник В.В. Удосконалення вишукувальних інженерно-геодезичних робіт при проектуванні і будівництві автомобільних доріг: кваліфікаційна робота магістра зі спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій». Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. 104 с.
29. Рожі І., Рожі Т., Мандебура С. Геоінформаційні технології та електронні геодезичні прилади для моніторингу поширення інвазійних рослин

у ландшафтах центральної України. *Просторовий розвиток*. 2025. № 11. С. 654–669.

30. Свириденко С.В., Пілічева М.О. Використання супутникових технологій при проведенні інженерно-геодезичних робіт. Перспективи розвитку територій: теорія і практика: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, Харків, 2022. С. 170–171.

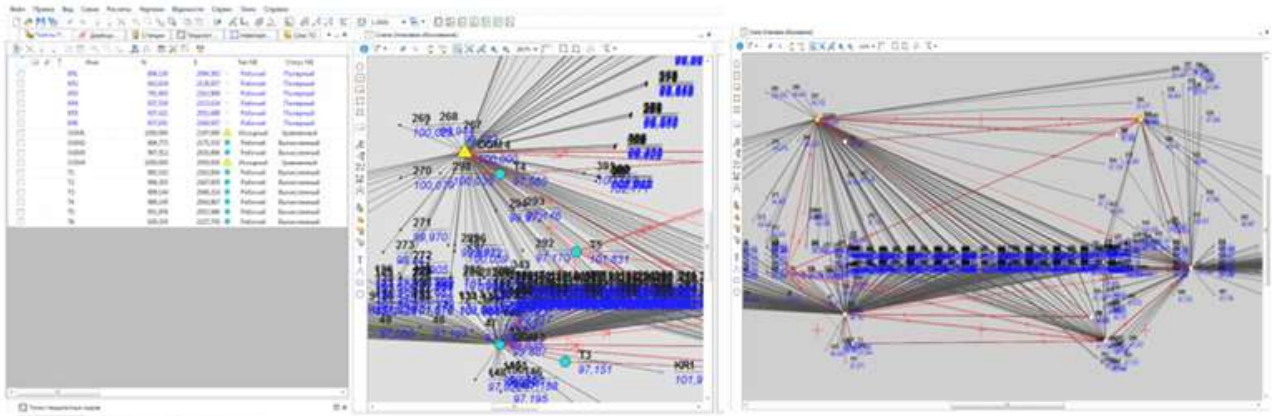
31. Цинка А. О., Боднар Л.П. Дослідження стану мостових переходів на основі аналітичної експертної системи управління мостами. *Збірник наукових праць «Дороги і мости»*. 2020. № 21. С. 270–281.

32. Шимановський О. В. Сучасний технічний стан позакласних металевих мостів м. Києва. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського*. 2020. № 21. С. 5–37.

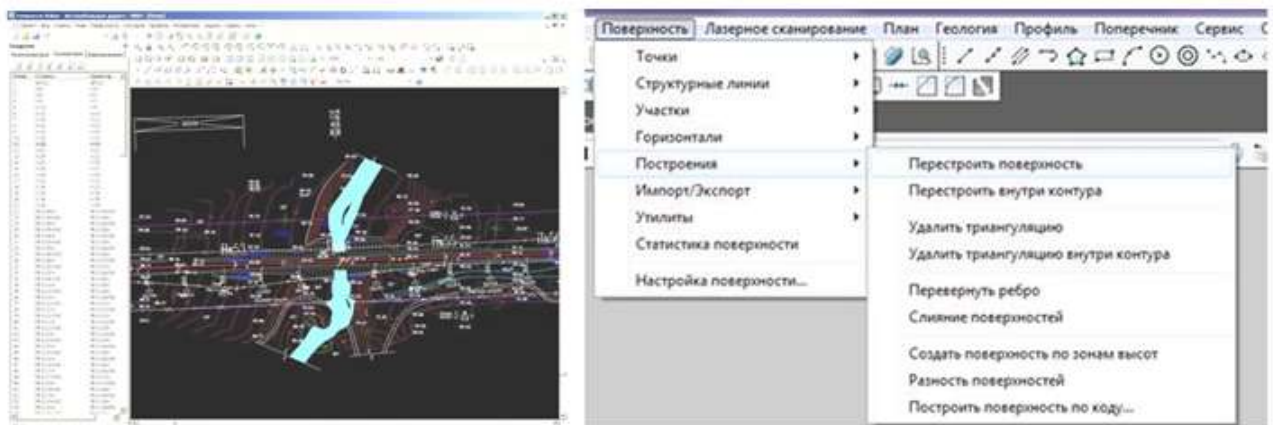
ДОДАТКИ

Додаток А

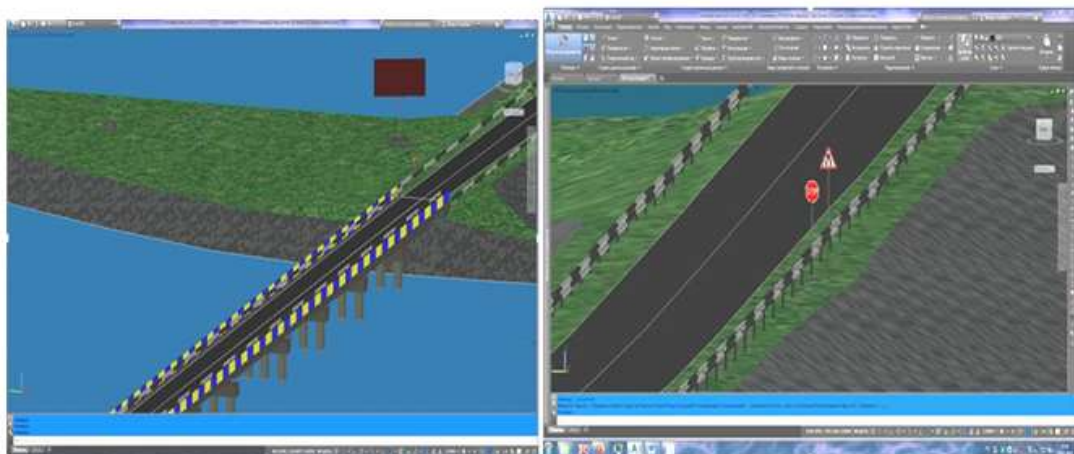
Відображення точок тахеометричного знімання у програмі «Credo-Dat»



Приклад побудови цифрової моделі місцевості в «Топоматик Робур – Вишукування»



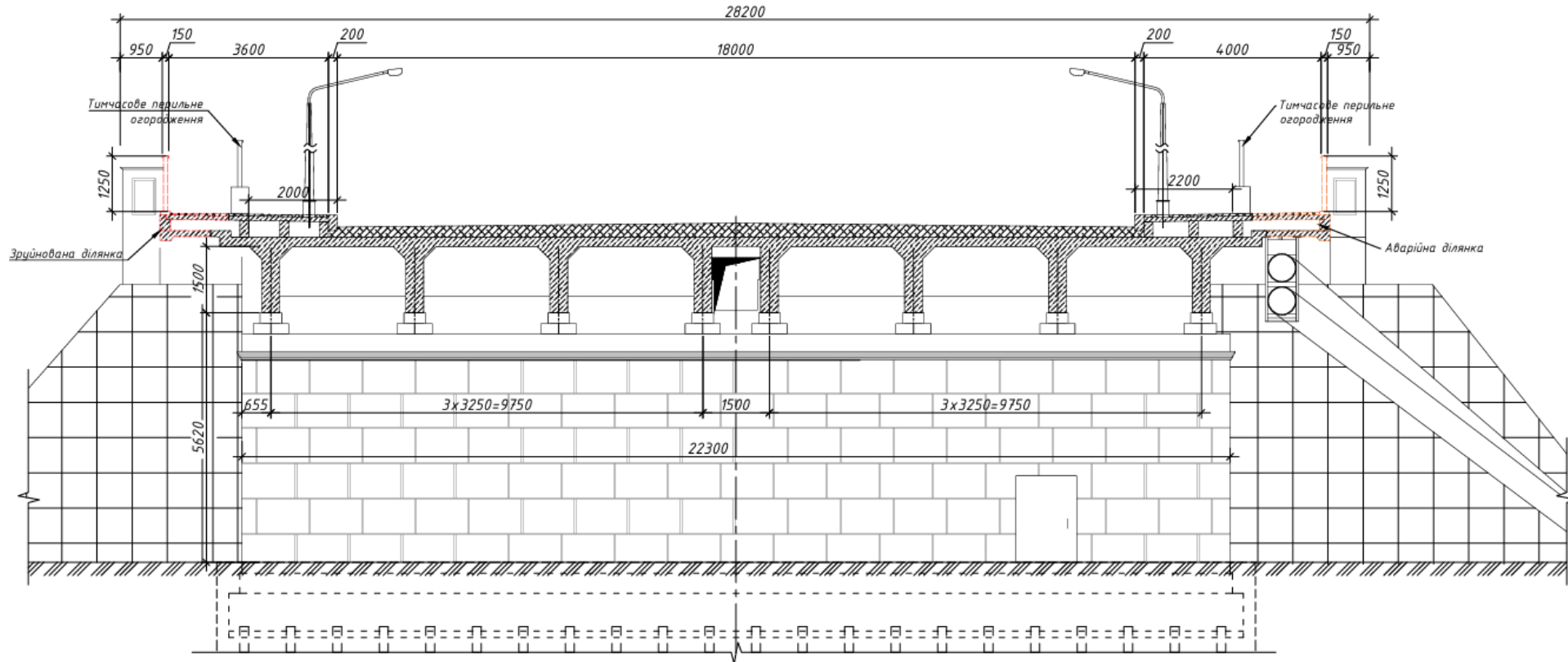
Приклад 3D-моделі розширення полотна проєктної мостової споруди у програмі «Топоматик Robur – Геодезія»



Процес проведення геодезичних робіт під час спеціального обстеження мосту через р. Либідь



Розріз 1-1 (фактичний)
М 1:50



План проїзної частини мосту з дефектами. План нівелювання мосту.

Аварійна ділянка

Зруйнована ділянка

Вул. В'єслава Чорновола

136.83, 136.148, 135.799, 134.183, 133.759, 133.683, 135.694, 135.284, 55.927‰, 136.201, 135.799, 69.171‰, 134.338, 133.930, 94.809‰, 133.566, 133.174, 115.738‰, 46.04‰, 53.429‰, 136.312, 136.204, 134.395, 133.421, 115.836‰, 43.467‰, 52.209‰, 27.337‰, 52.258‰, 19.023‰, 135.267, 135.720, 59.619‰, 135.816, 136.169, 71.247‰, 133.930, 134.359, 94.826‰, 133.250, 133.774, 136.757, 137.540, 136.638, 134.872, 134.338, 133.686, 8000, 26400, 5000

Нівелювання низу прогонової будови

