

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

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

_____ Іван КОВАЛЬЧУК
(підпис)
« ____ » _____ 2025р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Топографо-геодезичне забезпечення будівництва мостового
переходу (на прикладі Подільського мостового переходу в місті Києві)»**

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Гарант освітньої програми: д.геогр.н., проф. _____ Іван КОВАЛЬЧУК
(підпис)

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи:** д.е.н., доц. _____ Іван ОПЕНЬКО
(підпис)

Виконала: _____ Єлизавета ПОНОМАРЕНКО
(підпис)

КИЇВ – 2025

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри геодезії та картографії
д.геогр.н., проф. _____ Іван КОВАЛЬЧУК
(підпис)

« _____ » _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

до виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студентці

Пономаренко Єлизаветі Іванівні

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: **«Топографо-геодезичне забезпечення будівництва мостового переходу (на прикладі Подільського мостового переходу в місті Києві)»**

Затверджена наказом ректора НУБіП України від 18 листопад 2024 р. № 2063 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: технічна документація із землеустрою щодо встановлення (відновлення) меж земельної ділянки.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Визначення алгоритму геодезичних робіт, створення виконавчої схеми, підбір необхідного обладнання та обґрунтування методів їх застосування при будівництві мостового переходу

Дата видачі завдання: «25» листопад 2024 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Іван ОПЕНЬКО

**Завдання прийняла до
виконання**

(підпис) Єлизавета ПОНОМАРЕНКО

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ	8
1.1 Нормативно-правове забезпечення виконання топографо-геодезичних робіт при будівництві мостових споруд	8
1.2 Особливості топографо-геодезичних робіт при будівництві мостів.....	18
РОЗДІЛ 2. ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЛАШТУВАННЯ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ (НА ПРИКЛАДІ ПОДІЛЬСЬКОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ)	28
2.1 Виконавча схема та методика виконання геодезичних робіт при влаштуванні буронабивних палей	28
2.2 Оцінка точності геодезичних вимірювань та їх відповідність нормативним вимогам	39
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА ПОДІЛЬСЬКОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ	49
3.2 Побудова геодезичних розбивних мереж для наступних етапів будівництва	53
3.3 Пропозиції щодо моніторингу деформацій конструкцій та основи мостового переходу.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	67
ДОДАТКИ.....	70

ВСТУП

Актуальність. Розвиток сучасних міст супроводжується підвищенням щільності міської забудови, освоєнням територій зі складними геологічними умовами та впливом інших несприятливих факторів (вібраційний вплив транспорту, розвиток ерозійних процесів внаслідок витоків із інженерних комунікацій тощо, будівництво впритул до історичних будівель в умовах обмежень). Мости відіграють ключову роль в інфраструктурі, забезпечуючи надійні шляхи для пересування транспорту та пішоходів. Вони пов'язують міста та регіони, сприяючи економічному розвитку та покращенню якості життя. Основні принципи проектування мостів залежать від типу тримальної конструкції: плоскої, опуклої або увігнутої. Вони більш відомі як балкові, арочні чи підвісні мости. Конструкція мосту включає фундаменти, опори, прогонові будови та дорожнє полотно. До конструкції мосту входить безліч елементів, таких як балка, залізобетонний проліт, фундамент та плита. Всі ці елементи забезпечують міцність та довговічність споруди. Всі елементи працюють у комплексі, забезпечуючи міцність та довговічність споруди. Для будівництва мостів використовують різні матеріали: сталь, залізобетон, бетон та композитні матеріали. Сучасні технології, такі як навісний монтаж та попередня напруга, дозволяють створювати надійні та довговічні конструкції. Під час будівництва застосовують нові конструктивні рішення та технології зведення будівель, в тому числі мостів. Особливого значення під час будівництва в складних умовах набувають геодезичні роботи, адже саме від їх оперативності та якості залежить і якість будівництва загалом. Саме тому при будівництві об'єктів мостової інфраструктури необхідно проводити такі роботи, як геодезичні роботи та моніторинг тощо.

Одним головних елементів мостобудування є підготовка фундаментів та опор. Найпоширенішими на сьогодні є пальові фундаменти, які одержали широке поширення у всіх видах будівництва, тому що дозволяють суттєво зменшити об'єм земляних робіт, знизити витрату матеріалів, підвищити рівень індустріальності робіт нульового циклу. Разом з тим, пальові фундаменти більш складні в проектуванні і виконанні робіт, мають більш високу стійкість

в порівнянні з фундаментами мілкового залягання. Тому застосування паль вимагає відповідного техніко-економічного обґрунтування, їх проектування - максимально точного і всебічного врахування інженерно-геологічних умов будівельного майданчика, характеру навантажень і впливу на фундаменти. У будівництві застосовується велика кількість видів паль, найбільшого поширення одержали залізобетонні забивні і буронабивні палі.

У даній бакалаврській роботі описано проведення комплексу геодезичних робіт при будівництві мостового переходу та його допоміжних споруд, що зводиться, а саме при виконанні проєкту «Будівництво Подільського мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві».

Метою дипломної роботи є обґрунтування проведення комплексу інженерно-геодезичних робіт при будівництві мостового переходу в умовах м. Києва.

Для досягнення мети у роботі були сформовані наступні **завдання**:

- проаналізувати нормативно-правове заперечення виконання комплексу геодезичних робіт при будівництві, обслуговуванні та моніторингу мостів;
- визначити комплекс топографо-геодезичних робіт при зведенні мостових переправ;
- дослідити результати виконання інженерно-геодезичних спостережень при облаштуванні буронабивних паль.

Об'єктом дослідження є комплекс геодезичних робіт необхідний для зведення, експлуатації та моніторингу стану мостового переходу в умовах міської забудови.

Предметом дослідження є топографо-геодезичні роботи, що виконуються при влаштуванні буронабивних паль при будівництві Подільського мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві.

Інформаційною базою бакалаврської кваліфікаційної роботи виступають дані супутникових GNSS технологій, проєктна документація будівництва Подільського мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві,

звітно-кошторисна документація підрядника ТОВ «ГП «Автострада», матеріали затвердження Міської цільової програми розвитку транспортної інфраструктури міста Києва на 2024-2025 роки.

Нормативно-правову основу виконуваних робіт становлять нормативно-правові акти, а саме: Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність», ДСТУ 9154:2021 «Настанова з виконання геодезичних робіт у дорожньому будівництві», ДБН В.1.3-2:2010 «Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві», Розпорядження від 13.10.2021 р. N 2152 Київ «Про перезатвердження проекту "Будівництво Подільського мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві».

Структура роботи. Робота складається з трьох розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел.

Ключові слова: топографічне знімання, геодезичні мережі, тахеометричні вимірювання, GNSS-технології, виконавча зйомка, інженерно-геодезичний контроль, мостовий перехід.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ

1.1 Нормативно-правове забезпечення виконання топографо-геодезичних робіт при будівництві мостових споруд

Відносини в сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності регулюються Законом України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» та іншими нормативно-правовими актами України.

Відповідно до статті 3 цього Закону завданням законодавства про топографо-геодезичну і картографічну діяльність є регулювання відносин у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності для забезпечення потреб держави і громадян результатами топографо-геодезичної і картографічної діяльності [1].

Геодезичні вимірювання, що виконуються під час вишукувань, проектування, будівництва та експлуатації інженерних споруд, називаються інженерно-геодезичними роботами. Вони є невід'ємною частиною технологічного процесу виконання інженерно-будівельних робіт [6].

Методика вимірювань, їх обробка та прилади використовуються ті ж, що і при виконанні звичайних геодезичних робіт. Однак при будівництві унікальних споруд та вирішенні специфічних завдань застосовують спеціальні високоточні методи і прилади для проведення інженерно-геодезичних робіт[6].

Основні види інженерно-геодезичних робіт:

1. Інженерно-геодезичні вишукування, які є основою для проектування інженерних споруд та інших видів вишукувань, таких як геологічні, гідрологічні тощо. Вони включають:

- а) розвиток планово-висотної основи та топографічну зйомку будівельних майданчиків;
- б) трасування лінійних споруд;

с) геодезичну прив'язку (визначення координат і висот) геологічних виробок, гідрологічних створів тощо.

Наразі широко використовуються методи аеровишукувань [6].

2. Інженерно-геодезичне проектування, яке здійснюється на етапі проектування споруд і включає:

складання топографічних планів, профілів та інших матеріалів, необхідних для проектування інженерних споруд.

в) розрахунок необхідних даних для геодезичної підготовки перенесення проекту споруди на місцевість;

г) розробка методів виконання геодезичних розбивних робіт і вибір необхідних приладів;

д) вирішення завдань з планування будівельних майданчиків, підрахунок площ та об'ємів.

3. Розбивка споруд. Це основний вид інженерно-геодезичних робіт під час перенесення проекту споруди на місцевість, який включає:

а) побудову геодезичної розбивної основи;

б) перенесення на місцевість головних осей споруд;

с) детальну розбивку споруд;

д) проведення виконавчих зйомок зведених споруд [6].

Для розбивки споруд необхідна більш висока точність геодезичної основи та точніші методи виконання геодезичних вимірювань порівняно із зйомочними роботами.

4. Геодезичне забезпечення монтажу будівельних конструкцій та технологічного обладнання. Це найвідповідальніший і найточніший вид інженерно-геодезичних робіт, який включає:

а) встановлення елементів будівельних конструкцій у плані, за висотою та по вертикалі;

б) контроль точності монтажу будівельних конструкцій;

с) розбивку монтажних осей і встановлення технологічного обладнання в проектне положення;

д) контроль точності монтажу технологічного обладнання.

Геодезичні вимірювання виконуються за допомогою спеціально розроблених приладів та методів [6].

5. Спостереження за деформаціями споруд. Вимірювання здійснюються високоточними геодезичними методами та приладами згідно зі спеціально розробленою програмою. Вони включають:

а) вимірювання осідань та деформацій основ і фундаментів;

б) визначення планових зміщень споруд;

с) визначення кренів висотних споруд (будинків, башт, труб та ін.).

Ці вимірювання проводяться для перевірки правильності теоретичних розрахунків стійкості споруд та прийняття необхідних заходів щодо захисту споруд у разі виявлення неприпустимих деформацій [6].

Сучасне будівництво інженерних споруд здійснюється за допомогою індустриальних методів. Елементи будівельних конструкцій виготовляються на заводах, що спеціалізуються на будівництві, і доставляються на будівельний майданчик, де їх монтують за допомогою машин і механізмів. Таким чином, будівельний майданчик перетворюється на монтажний [6].

На сучасному етапі будівельно-монтажних робіт установка елементів будівельних конструкцій у проектне положення можлива лише через проведення інженерно-геодезичних розбивних робіт. Відтак вимоги до точності інженерно-геодезичних вимірювань підвищилися. Зі зростанням висотності будівель і споруд зростає також значення геодезичного обслуговування будівельно-монтажного процесу. Геодезичні роботи виконуються за графіком і в строки, узгоджені з виконанням загальнобудівельних, монтажних і спеціальних робіт. Такий графік розробляється під час складання проектів організації будівництва (ПОБ) і проектів проведення робіт (ПР) [6].

У цих проектах розроблено рекомендації для геодезичного забезпечення будівництва, які визначають методику та точність виконання геодезичних вимірювань. Під час будівництва висотних (понад 5 поверхів) або унікальних будівель створюється спеціальна геодезична служба.

Головне завдання геодезичної служби будівництва полягає у забезпеченні точності геометричних параметрів інженерних споруд відповідно до проєкту [6].

На будівельному майданчику виконується великий комплекс геодезичних робіт. Основні з них включають:

- a) проєктування та побудову геодезичної розбивної основи;
- b) виконання геодезичних розбивних робіт у процесі будівництва;
- c) геодезичний контроль точності монтажу будівельних конструкцій;
- d) проведення виконавчих геодезичних зйомок;
- e) геодезичні спостереження за деформаціями споруджуваних будівель і споруд [6].

Під час будівництва значний обсяг простих геодезичних розбивних робіт виконують інженери-будівельники.

При будівництві особливо складних споруд (понад 14 поверхів, мости, греблі тощо) додатково розробляється проєкт проведення геодезичних робіт (ППГР). Він складається з кількох розділів:

1. Організація геодезичних робіт: календарний план, кошторис на виконання геодезичних робіт і техніко-економічне обґрунтування ППГР.
2. Основні геодезичні роботи: схема планово-висотної основи розбивних робіт, розрахунок точності та методика виконання геодезичних робіт.
3. Геодезичні роботи при будівництві підземної частини будинку: методика виконання робіт і схема для розбивки осей, котловану, фундаментів тощо.

4. Геодезичні роботи при зведенні надземної частини будинку: методика побудови розбивних осей на монтажних горизонтах, вказівки для геодезичного забезпечення встановлення елементів конструкцій у проектне положення, проведення контрольних вимірювань і виконавчих зйомок [6].

Найвідповідальнішими етапами інженерно-геодезичних робіт під час будівництва є розбивка споруд і геодезичне забезпечення встановлення елементів будівельних конструкцій у проектне положення. При цьому необхідно звести споруди на місцевості з проектною точністю, дотримуючись всіх геометричних параметрів у плані та за висотою [6].

Для виконання цих завдань використовується технічна документація, розроблена під час вишукувань і проектування споруди.

1. Генеральний план. Це великомасштабна карта або план, на якому показаний весь комплекс надземних і підземних будівель та споруд [6].

На генеральному плані міста зазначають усі існуючі та проєктовані будівлі, споруди, дороги тощо.

Генеральний план промислових підприємств включає основні виробничі та допоміжні будівлі; енергетичне обладнання (трансформатори, підстанції тощо); адміністративно-господарські та побутові будівлі; склади; транспортні споруди; інженерні мережі тощо.

Положення будівель і споруд на генеральному плані визначається координатами точок осей і позначками основ [6].

Окремим типом генерального плану є будівельний генеральний план. Окрім елементів, зазначених у загальному генеральному плані, на ньому вказуються всі допоміжні та тимчасові виробничі будівлі, транспортні шляхи, інженерні мережі, склади та інше.

2. Робочі креслення. Це деталізовані проєкти окремих будівель і споруд. Серед них використовуються:

а) титульний лист проєкту, що містить основну характеристику будівлі або споруди, де вказані планові та висотні геодезичні прив'язки об'єкта

до пунктів геодезичної основи або місцевих предметів і контурів. Зазначається система переходу від абсолютних позначок до відносних;

b) план розбивки основних осей споруд, де показані подовжні й поперечні осі, що характеризують геометричні розміри споруд. До плану додається відомість координат перетину осей, характеристика частин будинку, кутів повороту автодоріг, колодязів підземних інженерних мереж, опор ліній електропередач та інше;

c) план фундаментів, на якому вказані осі, до яких прив'язані основні елементи фундаментів, ширина і глибина залягання, відстань між осями тощо;

d) вертикальні розрізи, що характеризують архітектуру будівлі, глибину залягання фундаментів, висоти віконних та дверних прорізів, конструкцію окремих елементів;

e) план фундаментів під обладнання. Показані осі фундаментів під обладнання, розміри й глибина залягання фундаментів з прив'язкою до основних осей будівель;

f) монтажні креслення промислового та технологічного обладнання, на яких показані контури будівельних конструкцій і встановленого обладнання [6].

Проект вертикального планування включає всі необхідні дані для перетворення існуючого рельєфу місцевості в поверхню, що забезпечує відведення поверхневих вод з майданчика для нормальної експлуатації будівель і споруд. Основним кресленням проекту вертикального планування є картограма земляних робіт. На ній показані місця виїмок і насипів землі, позначки землі, проектні (червоні) та робочі позначки по всьому будівельному майданчику. Це креслення використовується для винесення на місцевість проектних площин [6].

Під час виконання інженерно-геодезичних робіт використовуються також інші плани і креслення, які містять необхідні дані для перенесення проекту споруди на місцевість і встановлення елементів конструкцій у проектне положення.

4. Схеми геодезичної основи на будівельному майданчику, відомості координат висот і рисунки геодезичних пунктів.

Геодезична основа, створена на будівельному майданчику в період вишукувань, за своєю точністю та густотою розміщення пунктів забезпечує виконання топографічних зйомок у масштабах, необхідних для проектування споруди [6].

Інженерно-геодезичні розбивні роботи під час будівництва виконуються з вищою точністю. Тому на будівельному майданчику до початку будівельних робіт створюється планова та висотна основа з підвищеною точністю та щільністю пунктів, яку називають геодезичною розбивною основою або спеціальною сіткою.

Форма й точність сітки залежать від типу і розмірів споруди, її конструкції та необхідної точності дотримання геометричних параметрів. Сітка може розвиватися на основі пунктів державних сіток або самостійно в умовній системі. Вона повинна забезпечити точність вимірювань у плановому та висотному відношеннях при виконанні всіх видів інженерно-геодезичних робіт щодо винесення на місцевість комплексу будівель, споруд та інженерних комунікацій [6].

Геодезична розбивна основа на будівельному майданчику створюється у вигляді сітки закріплених пунктів. При цьому має бути забезпечений зв'язок з пунктами державної геодезичної сітки, сіток місцевого значення, а також пунктами сіток, створених під час вишукувань.

Проектування та створення сітки має виконуватися в порядку та строки, що відповідають стадіям проектування та черговості будівництва споруд. Проект сітки складається на основі розробленого генерального плану об'єкта будівництва.

Геодезичну розбивну основу в плані створюють методами триангуляції, трилатерації, полігонометрії та теодолітних ходів. Під час будівництва промислових підприємств її створюють у вигляді будівельної сітки. Висотну

розбивну основу створюють методом геометричного нівелювання у вигляді замкнених і розімкнених нівелірних ходів [6].

Щоб позначки пунктів були визначені щонайменше від двох реперів державної геодезичної сітки або сітки місцевого значення. Пункти висотної сітки здебільшого поєднуються з пунктами планової сітки.

Створення геодезичної розбивної основи для будівництва гідроелектростанцій, промислових підприємств, мостів та інших інженерних споруд здійснюється на основі розробленого проєкту виконання геодезичних робіт. У деяких випадках, під час будівництва окремих будівель, вона може бути відсутня [6].

Геодезичну розбивну основу поділяють на зовнішню і внутрішню.

Зовнішня геодезична основа створюється і закріплюється поза будівлею або спорудою. Вона служить для виконання будівельних робіт нульового циклу: планування будівельного майданчика, облаштування котловану, зведення фундаментів до позначки "будівельного нуля" – позначки рівня підлоги першого поверху. Це називають зведенням підземної частини будівлі.

Внутрішня геодезична розбивна основа розвивається від пунктів зовнішньої геодезичної основи. Її пункти закріплюються на рівні підлоги першого поверху. Взаємне положення пунктів внутрішньої основи має бути отримане, як правило, з вищою точністю, ніж пунктів зовнішньої основи. Для цього здійснюють геодезичні вимірювання підвищеної точності. Створені на нульовому горизонті геодезичні розбивні сітки називають базисними [6].

Для перенесення комплексу інженерних споруд промислових об'єктів на місцевість створюється система прямокутників або квадратів. Щоб спростити розрахунки й полегшити розбивку точок споруд, координатні осі розташовують строго паралельно головним осям споруд і осям проїздів.

Початок координат будівельної сітки вибирають за межами майданчика таким чином, щоб координати всіх точок споруд виражалися додатними значеннями абсцис і ординат. Зазвичай за початок координат беруть південно-західний кут будівельного майданчика. У точках перетину координатних осей

встановлюють постійні бетонні знаки на глибині 0,5 м нижче від глибини максимального промерзання ґрунту.

Перевага будівельної сітки порівняно з іншими видами геодезичної основи полягає в тому, що точність розбивки будівель на всьому майданчику однакова. Це значно спрощує обчислення координат точок осей будівель і споруд. Оскільки лінії сітки паралельні проектним осям будівель, під час розбивки осей можна застосовувати найпростіші та водночас досить точні методи геодезичних вимірювань [6].

Під час монтажу пункти базисних сіток переносять на розташовані вище монтажні горизонти. Сітка, утворена пунктами всіх монтажних горизонтів, називається просторовою геодезичною сіткою.

Точність створення зовнішньої геодезичної основи характеризується параметрами, наведеними в таблиці 1. При створенні внутрішньої основи використовуються допуски для встановлення елементів конструкцій у проектне положення. В базисних сітках вимірюють усі кути та лінії, тому їх називають лінійно-кутовими [6].

Геодезичну розбивну основу створюють з перспективою використання при експлуатації споруди (дослідження деформацій), її розширення та реконструкції.

Допустимі та середні квадратичні похибки, наведені в таблиці 1, отримані як теоретичні узагальнення багаторічного досвіду геодезичного забезпечення будівництва в нашій країні.

Таблиця 1

Характеристика точності побудови геодезичної розбивної сітки

№ п/п	Характеристика об'єктів будівництва	Середні квадратичні похибки		
		Кутові виміри, с	Лінійні виміри/ відносна точність	Визначення перевищень, мм, на 1 км ходу
1	2	3	4	5
1	Підприємства і споруди на площі понад 100 га. Окремі будинки й споруди з площею забудови понад 100 тис. м ²	3	1/25000	4
2	Підприємства і споруди на площі до 100 га. Окремі будинки й споруди на площі 10...100 тис. м ²	5	1/10000	6
3	Будинки і споруди на площі до 10 тис. м ² . Дороги, інженерні комунікації на забудованих територіях	10	1/5000	10
4	Дороги, інженерні комунікації на незабудованій території	30	1/2000	15

Точність вимірювання базисів геодезичної розбивної основи визначається спеціальними розрахунками, але повинна бути щонайменше у два рази точніша за відносні похибки (табл. 1). Клас точності побудови геодезичної розбивної основи особливо складних і унікальних інженерних споруд, а також будівель висотою понад 16 поверхів, визначається

спеціальними розрахунками при розробці проекту проведення геодезичних робіт [6].

Сітки проектують з можливо меншою кількістю ступенів основи, що скорочує обсяг робіт і підвищує точність положення пунктів сітки. При будівництві гідроелектростанцій, мостів та тунелів існують особливі вимоги щодо точності планово-висотної розбивної основи. Розглянемо їх окремо.

Висотну основу на будівельних майданчиках розвивають, як правило, геометричним нівелюванням II, III та IV класів. Пункти сітки закріплюють постійними знаками. Їх розміщують у місцях, де буде забезпечене їх зберігання на весь період будівництва і експлуатації споруд [6].

Варто пам'ятати, що у державних геодезичних сітках у виміряні лінії вводяться поправки за проектування їх на поверхню сфероїда та за приведення до площини проєкції. Ці поправки не вводяться у виміряні лінії розбивних сіток, оскільки вони можуть спричинити викривлення розмірів споруди при перенесенні її на місцевість. У гірських районах для майданчиків з великим перепадом висот лінію проєктують на середній рівень будівельного майданчика [6].

1.2 Особливості топографо-геодезичних робіт при будівництві мостів

Мостовий перехід через річку 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. Крайні опори називаються береговими. Мости поділяються на малі, середні та великі залежно від довжини: відповідно 25, 100, 500 м. Довші мости належать до позакласних [2].

Залежно від матеріалу прогінної конструкції, мости бувають металевими, залізобетонними, бетонними, кам'яними та дерев'яними. Великі мости переважно виготовляються з металу.

Перший зварний міст у Європі - міст імені Є. О. Патона через Дніпро в Києві, довжиною 1543 м, був побудований у 1953 році. Він має чотири прогони довжиною по 87 м та 20 прогонів по 58 м. Ширина мосту становить 27 м. Останнім часом почали будувати мости з композитних матеріалів. За конструкцією мости поділяються на балкові, аркові, рамні, підвісні та комбіновані, з яких балкові мости є найпоширенішими [2].

Для переправи через великі водотоки використовуються арки завдовжки від 150 до 300 м і більше. На Північному та Південному мостах у Києві, а також на мості через о. Хортиця у Запоріжжі, центральні підвісні прогони сягають 270 м і підтримуються пілонами заввишки 100 та 150 м. Центральний прогін арки Подільського моста через Дніпро у Києві становить 344 м. У світовій практиці відомі прогони, підвішені на двох пілонах заввишки 297 м, які досягають довжини 2 км, як-от міст через протоку Акаші між островами Хонсю і Сікоку в Японії, де два сталевих пілони мають висоту 297 м [2].

Під час будівництва мостових переходів здійснюються такі основні геодезичні роботи: створення головної планової та висотної геодезичних мереж, розмітка центрів мостових опор, контроль за їх спорудженням, розмітка верхньої частини опор, геодезичний контроль під час збирання або виготовлення прогінної конструкції та її встановлення на опори [3].

Для створення планових опорних мереж мостових переходів в основному використовують метод Тимчасової Анкерної Ланки (далі ТАЛ), відомий також як триангуляція. Однак, на відміну від традиційної триангуляції, сучасний метод ТАЛ включає вимірювання не лише горизонтальних кутів, але й сторін завдяки використанню електронних тахеометрів. Це забезпечує високу точність і ефективність вимірювань. Довжини сторін мережі зазвичай не перевищують 0,3-1 км. Для довших мостів основну мережу створюють за допомогою GPS-методу [3].

Кількість пунктів у плановій мережі мосту зазвичай варіюється від чотирьох до восьми і розташовується на обох берегах річки та в акваторії на природних і штучних островах. Два з цих пунктів обов'язково розміщуються

на осі мосту, а інколи навіть поза межами його будівельної частини, але завжди з прив'язкою до тимчасових пунктів закріплення осі. Конструкція мережі залежить від топографічних умов місцевості і зазвичай формується у вигляді геодезичних чотирикутників та центральних систем [3].

Під час зведення опор здійснюється контроль центру за допомогою методів полярних координат та прямої кутової засічки. Якщо умови дозволяють встановити тахеометр на опорі, використовують метод оберненої лінійно-кутової засічки з двох-трьох берегових опорних пунктів, з подальшим редукуванням станції на центр опори, враховуючи різницю між проектними та фактичними координатами. Все частіше на практиці застосовують GPS-метод, використовуючи три приймачі, встановлені на контрольованому пункті та двох пунктах мостової ТАЛІ [3].

Для створення проектних напрямків на центри опор інколи застосовують метод створів. Відредукований напрям закріплюють парою постійних створних віх-виносок з марками, розміщеними на березі з одного або двох боків опори. Це дозволяє спростити контроль під час розмічування фундаментів з високих берегів, застосовуючи метод створів для точного перенесення осей на верхню частину опори [3].

У підвісних мостах опорами виступають пілони. У 2004 році у Франції над долиною річки Тарн був побудований металевий віадук довжиною 2 460 метрів, підвішений на семи пілонах висотою 89 метрів, які спираються на опори висотою від 77 до 245 метрів. У Києві центральні прогони двох мостів через Дніпро підвішені на вантах на пілоні висотою понад 100 метрів, а в Запоріжжі на мосту через Дніпро зводяться два спарених пілони висотою 150 метрів [3].

Залізобетонний пілон має А-подібну форму, ноги якого з'єднуються на вершині, а горизонтальний ригель підтримує прогінну конструкцію. Ноги пілона пустотілі, з товщиною стінок 600 мм, мають пірамідальну форму та нахилені від вертикалі на кут $3,5^\circ$ (в площині хz осі вертикальні). У верхній частині ніг пілона є отвори для пропуску вант [3].

Будівництво пілона під заданим кутом до горизонту вимагає постійного контролю висоти робочого ярусу та відповідного розміщення щитів переставної опалубки. Передача позначок на робочий ярус здійснюється за допомогою лазерного далекоміра або точного тригонометричного нівелювання [3].

Інженерно-геодезичне забезпечення зведення пілона передбачає поярусний контроль (кожні 3-5 метрів) планово-висотного положення арматурних блоків і точок горизонтальних перерізів, зокрема верхніх точок стикування переставних щитів металевої опалубки. Висока щільність контрольних точок зумовлена як нахилом осей ніг від вертикалі, так і зміною розмірів їх перерізів з висотою.

Після завершення будівництва опори, її центр переносять на верхню частину, розмічаючи поздовжню та поперечну осі, а також місця для встановлення опорних частин [3].

На рис.1.1. наведено геодезичну мережу моста через р. Дніпро у Запоріжжі. На мостовому переході було створено планову геодезичну мережу, що складається з 9-ти пунктів. Вони формують центральну систему, до якої входять два пункти, розташовані в акваторії русла річки: один на скельному острові, а інший на опорі сусіднього моста. Вісь мостового переходу закріплена двома пунктами, МТ-1 та МТ-17.

У мережі налічується 26 сторін з такими довжинами: мінімальна – 223 м, середня – 594 м, і максимальна – 1175 м [3].

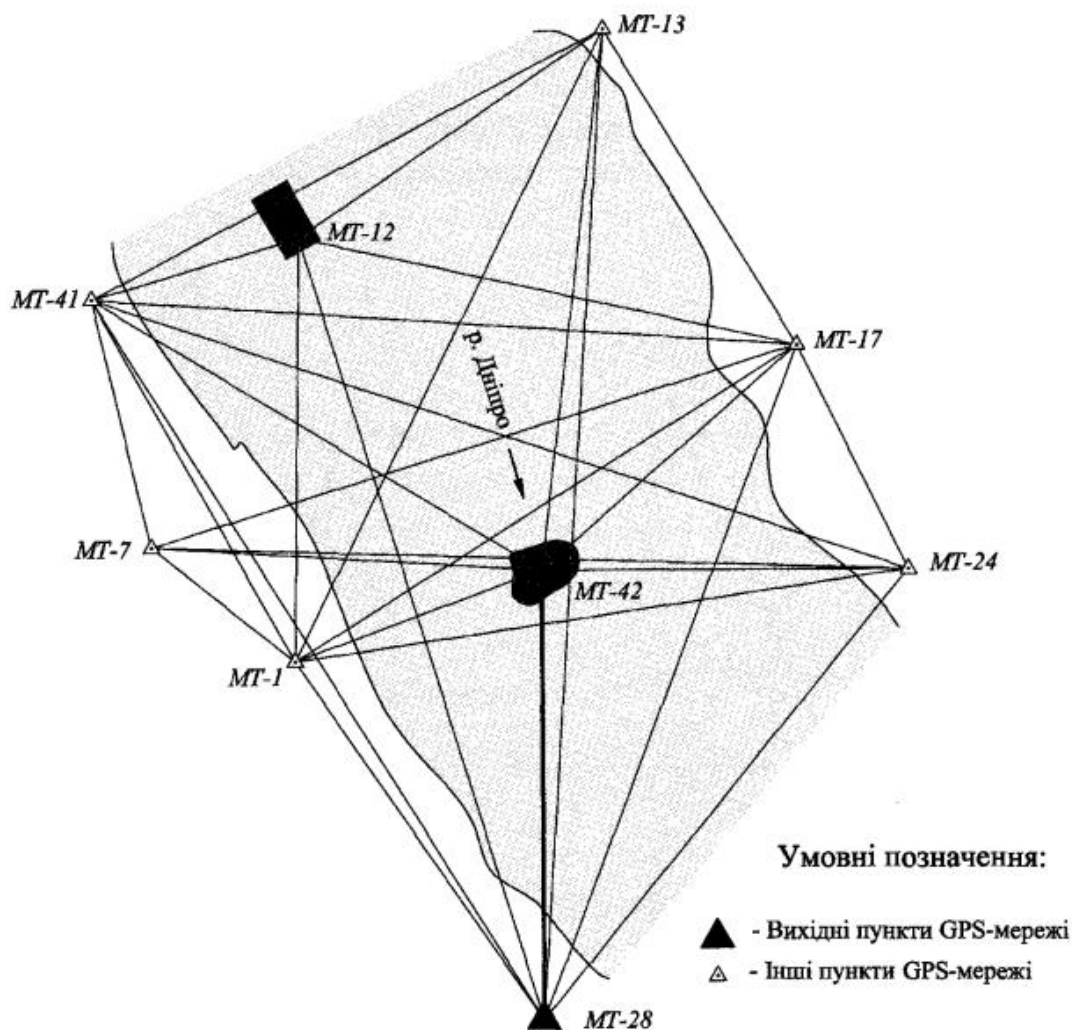


Рис. 1.1. Схема планової геодезичної мережі ТАЛ мостового переходу через р. Дніпро у Запоріжжі.

Точність висотної геодезичної мережі залежить від правильного взаємного розміщення конструкцій по висоті, враховуючи можливі перекося 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 репери, а на підходах до мосту не менш ніж один репер кожні 1 км [3].

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:

$$m_C \approx 0,71 \sqrt{3m_{\text{ц}}^2 + 2\left(\frac{Sm_{\beta}}{\rho}\right)^2 + 2m_S^2}$$

Ці мережі надзвичайно ефективні для створення багатоярусних 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:

$$m_F \approx \sqrt{4m_{\text{ц}}^2 + 2\left(\frac{Sm_{\beta}}{\rho}\right)^2 + 2m_S^2}$$

де S - середня довжина сторони мережі.

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. Розрахунок точності побудови мереж здійснюють за допомогою програм типу "Топоград", з урахуванням необхідної точності польових вимірювань і дотримання нормативних вимог [3].

Вимірювання здійснюються переважно методом двостороннього тригонометричного нівелювання з використанням високоточних електронних тахеометрів типу TC 1800 Leica. Зенітні 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 [3].

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 [3].

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 [3].

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 [3].

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 (рис.1.2.) може бути переданий через залежність

$$l = b + z_1 + z_2 = b + u_1 - f_1 + u_2 - f_2 ,$$

де l – довжина прогінної конструкції; z_1, 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

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

де m_l – похибка геодезичного розмічування довжини прогону (двох центрів опор); m_b – похибка виготовлення (збирання) прогінної конструкції; m_u, m_f – похибки будівельно-монтажних робіт [3].

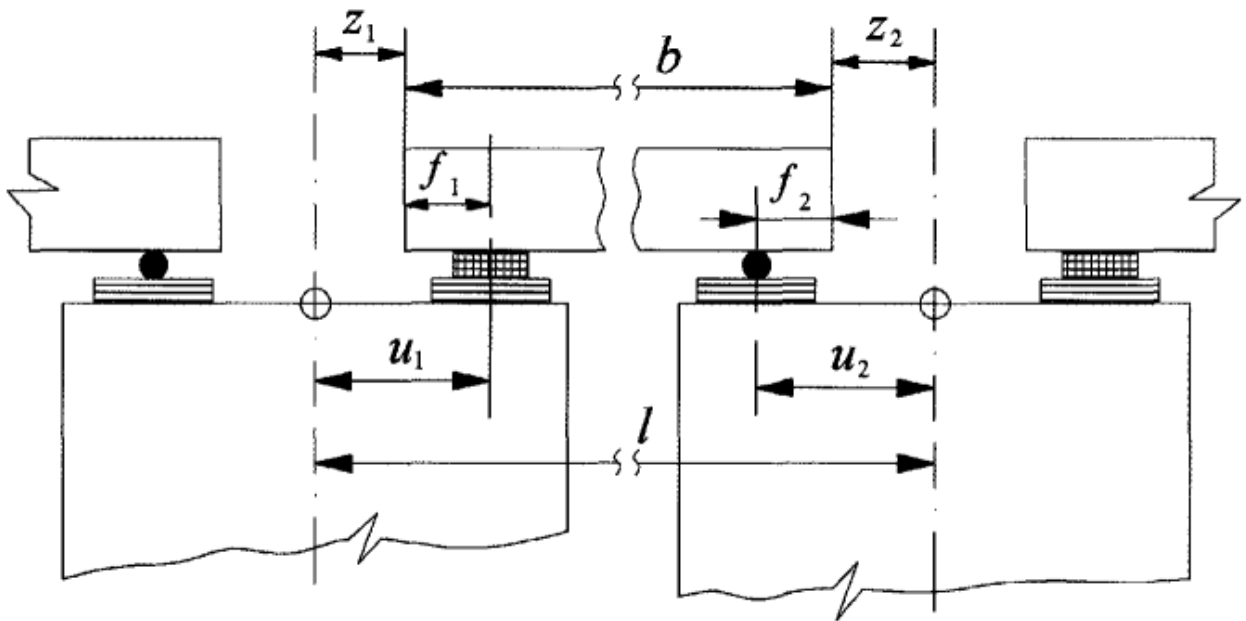


Рис.1.2. Розмірний ланцюг прогону розрізного моста.

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:

$$m_b = \frac{\delta}{4} = \frac{ai}{4}$$

де a – коефіцієнт точності виготовлення конструкції; i – одиниця допуску, мкм [4].

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:

$$m_0 = \sqrt{m_T^2 + m_P^2} \leq m_l/\sqrt{2}$$

де m_T, m_P – похибки, спричинені впливом побудови мостової ГАЛІ 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 [3].

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 [5].

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

$$l = \frac{b}{2} + 0.5 \text{ м (} b \text{-ширина конструкції); у другому випадку використовується}$$

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 [5].

Якщо прольотну конструкцію збирають на березі, на березі виконують розмітку всіх конструктивних елементів: поздовжньої осі, осей опор і положення кожної секції конструкції. Контроль будівельного підйому ферм зазвичай здійснюється геометричним нівелюванням у похмуру погоду для запобігання різким температурним деформаціям через нерівномірне нагрівання сонячними променями. Форма будівельного підйому – плавна, вигнута догори крива, параметри якої задаються проектувальниками [5].

Під час монтажу може бути ефективним використання приладів, таких як тахеометри та нівеліри з видимим лазерним променем, для контролю встановлення конструкцій мосту в проектне положення [5].

Після закінчення монтажу проводять виконавчу зйомку, за результатами якої складають план прольотних конструкцій, профілі будівельного підйому ферм та поздовжні профілі залізничних колій або покриття автомобільної дороги. Як завжди, на цих матеріалах відображають проектне положення вузлів, а також значення і напрямки зміщення реального положення точки. Виконавчу зйомку рекомендується проводити у похмуру погоду, щоб уникнути деформаційних похибок через нерівномірне нагрівання [5].

РОЗДІЛ 2. ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЛАШТУВАННЯ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ (НА ПРИКЛАДІ ПОДІЛЬСЬКОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ)

2.1 Виконавча схема та методика виконання геодезичних робіт при влаштуванні буронабивних палей

Протягом останніх десятиліть у розвинених країнах світу були створені й впроваджені новітні технології для виконання спеціалізованих будівельних робіт. У цих технологічних процесах використовуються сучасне спеціалізоване обладнання, ефективні матеріали та ресурси, а також висококваліфікований інженерно-технічний і робітничий персонал. Завдяки цьому забезпечується висока продуктивність, належна якість і безпека робіт у складних гідрогеологічних умовах і в щільній міській забудові, де використання традиційних методів будівництва практично неможливе [7].

Найпростішим методом облаштування бурових палей є створення свердловини, встановлення в неї заздалегідь виготовленого армованого каркасу та подальше бетонування. Однак у процесі буріння та вилучення обсадної труби при бетонуванні ґрунт навколо палей, включно зі стінками та основою, не ущільнюється, як це відбувається при вдавлюванні або забиванні збірних палей. Через це несуча здатність таких буронабивних палей може значно знижуватись. Для її підвищення були розроблені спеціальні методи та впроваджено відповідні технологічні режими облаштування [7].

Протягом останніх 30–40 років у будівництві активно застосовується технологія струминної цементації ґрунтів, відома як «jet-grouting». Завдяки цій технології можливо виконувати будівельні роботи навіть у складних гідрогеологічних умовах. Її особливість полягає в суттєвому покращенні ґрунтових основ, на яких зводяться фундаменти, а також під існуючими будівлями та спорудами, що вже експлуатуються. Це дозволяє під час будівництва у щільній міській забудові зводити нові споруди поруч із

наявними, забезпечуючи їхню цілісність. Окрім цього, «jet-grouting» є конкурентним методом для створення огорожень котлованів і траншей, гарантуючи стійкість їхніх стінок і захист від ґрунтових вод [7].

Досвід застосування технології струминної цементації ґрунтів «jet-grouting» у будівництві демонструє її високу ефективність, особливо в умовах складної гідрогеології. Ця технологія також добре зарекомендувала себе в щільній міській забудові при створенні заглиблених споруд, зокрема на глибинах, що перевищують рівень подошви фундаментів існуючих будівель і споруд, розташованих поруч із котлованами та траншеями [7].

Спосіб облаштування бурових паль широко застосовується, оскільки він дозволяє не лише створювати захисні стінки котлованів, але й використовуватися для зведення паль великого діаметру, навіть у складних гідрогеологічних умовах [7].

Бурові палі створюються безпосередньо на будівельному майданчику. Основні етапи їх облаштування включають буріння свердловин необхідного діаметра та глибини, встановлення армокаркасу та бетонування. Усі роботи, зокрема проектування, улаштування, випробування, контроль якості та приймання завершених конструкцій, слід проводити відповідно до вимог, зазначених у нормативному документі «Руководство по проектированию и устройству фундаментов из буронабивных свай и опор колон» [7].

На відміну від паль, виготовлених на заводах, бурові палі є значно економічно вигіднішими. Їх основна перевага полягає у відсутності потреби в опалубці, експлуатація якої, а також обладнання й інфраструктури для виробництва на заводах збірного залізобетону може становити до 40% від загальної вартості облаштування паль. Функцію опалубки у випадку бурових паль виконує свердловина, пробурена безпосередньо на місці. Бетонна суміш заливається прямо в цю свердловину, що забезпечує ідеальні умови для її твердіння з постійною та оптимальною температурою і вологістю, навіть у зимовий період. При цьому відсутня необхідність у витраті теплової енергії

для прискорення твердіння, що є обов'язковим для виготовлення збірних паль[7].

Бурові палі можуть бути облаштовані на глибину до 30 метрів, а за потреби - навіть до 50 метрів, і мати значні розміри поперечного перерізу з діаметром до двох метрів або більше, іноді з порожниною всередині. При цьому досягається монолітність конструкції, яка неможлива у випадку збірних паль. Важливою перевагою бурових паль є їх здатність проникати на значну глибину, навіть у тверді скельні породи, з надійним анкеруванням. Крім того, облаштування бурових паль з уширеною п'ятою є ще однією істотною перевагою порівняно із збірними палями [7].

З огляду на значні переваги технології облаштування бурових паль, за останні десятиліття вона зазнала інтенсивного розвитку. Її вдосконалення тісно пов'язане зі створенням сучасного обладнання, яке забезпечує ефективне застосування технологій у різних складних гідрогеологічних умовах і щільно забудованих міських районах. Наприклад, для буріння сухих і легких ґрунтів зазвичай використовують шнекові бури, які руйнують ґрунт і транспортують його на поверхню [7].

Шнековий бур монтується на копрову установку, яка, у свою чергу, є навісним обладнанням на екскаваторі, крані або бульдозері відповідної потужності. Однак навіть під час буріння сухих ґрунтів може відбуватися обвалення стінок свердловин у процесі буріння, встановлення каркасу або бетонування. Потрапляння такого ґрунту до бетонної суміші може значно погіршити якість палі. Щоб уникнути обвалення стінок свердловин, застосовують обсадні труби або технології облаштування буроін'єкційних паль [7].

З огляду на різноманіття гідрогеологічних умов, у яких зводяться фундаменти та підземні споруди, виникає потреба у створенні паль у свердловинах різних, зокрема великих, діаметрів. Для виконання бурових робіт була розроблена спеціалізована техніка та навісне обладнання. Більшість бурових робіт виконувалася з використанням обсадних труб. Бурові палі,

включаючи буронабивні, буроін'єкційні та буросічні, застосовуються як для облаштування огорожень виїмок, так і для створення палевих фундаментів. Часто огороження котлованів із бурових паль використовується як захисні стіни підвалів будівель і споруд [7].

Забезпечення високої якості бурових паль є пріоритетом, тому технологічні рішення спрямовані на запобігання змішуванню бетонної суміші з ґрунтом стінок свердловин. Для цього розроблено спеціалізовану високопродуктивну техніку та вдосконалено технологію буріння свердловин, що виключає обвалення їхніх стінок під час буріння, армування та бетонування. У слабких ґрунтах використовуються обсадні труби, які занурюються глибше бура, запобігаючи можливому обваленню стінок під час буріння. У деяких випадках застосовується суспензія з бентонітової глини, яка виконує функції обсадної труби, але є більш надійною. У процесі бетонування обсадна труба поступово вилучається, а бентонітова суспензія витісняється бетонною сумішшю, що заливається у свердловину. Для роботи в різних гідрогеологічних умовах використовують змінні бурові інструменти. Обсадні труби виготовляються з окремих секцій, які з'єднуються за допомогою спеціальних замків, що забезпечують легке та надійне складання і розбирання[7].

При бурінні свердловин у глинистих ґрунтах за умов високого рівня ґрунтових вод необхідно враховувати певні особливості. Завдяки своїй зв'язності, такий ґрунт добре утримується на шнековому наконечнику, що забезпечує високу продуктивність буріння. Однак за таких гідрогеологічних умов обов'язковим є використання обсадної труби для запобігання обваленню стінок свердловини. У міру заглиблення свердловини обсадна труба поступово нарощується до досягнення проектної глибини [7].

За високого рівня ґрунтових вод вибурений ґрунт не може залишатися на шнековому бурі. Тому замість нього використовується спеціальна корзина, всередині якої розташований шнековий бур. Під час буріння корзина зі шнеком заповнюється ґрунтом, що надійно утримується всередині неї та легко

вивантажується шляхом відкриття днища. Це забезпечує високу ефективність процесу буріння. Перед зануренням у свердловину з обсадною трубою днище корзини закривається, що дозволяє продовжувати буріння під водою. Роботи з таким обладнанням виконуються під захистом обсадної труби, яка занурюється тією ж установкою та завжди знаходиться глибше, ніж шнек із корзиною [7].

Бурова установка зі шнековим наконечником характеризується високою ефективністю. Ґрунт із невеликою вологістю надійно утримується на такому робочому органі під час транспортування та легко розвантажується зі шнека. Усі роботи з облаштування свердловини виконуються автоматизованим комплексом машин без потреби у ручних операціях. Навісне обладнання бурової установки включає спеціальний гідравлічний захват, який використовується для занурення обсадної труби в ґрунт. Той самий захват застосовується для витягування обсадної труби під час бетонування у міру заповнення свердловини бетонною сумішшю [7].

Сучасні бурові машини для створення свердловин під бурові палі демонструють високу продуктивність. Вони здатні виконувати буріння в майже будь-яких гідрогеологічних умовах. Завдяки відсутності вібрацій і ударів, ці машини можна безпечно використовувати поблизу існуючих будівель та споруд, не завдаючи їм шкоди. Важливою перевагою такого обладнання є легка заміна робочого інструмента. Крім того, використання однієї машини для буріння та занурення обсадної труби значно підвищує її ефективність [7].

Відповідно до вимог ДБН В.2.1-10-2009, фундаменти класифікуються за їх конструктивними особливостями наступним чином:

окремі стовпчасті, стрічкові, щільові просторові фундаменти, спеціалізовані з анкерами, із забивних блоків чи коротких палей, перехресні стрічкові системи, плитні, коробчасті, просторово-рамні. Вони можуть бути малозаглибленими, мілкового закладання чи глибокого заглиблення для споруд, зведених у котлованах;

підземні просторові системи типу "палі-колони - перекриття - огорожувальні конструкції", які використовуються як заглиблені фундаменти для будівель з більш ніж одним підземним поверхом. Такі конструкції створюються без улаштування котловану, безпосередньо з поверхні;

палі-колони, стовпи, глибокі опори, оболонки, кесони, "стіни у ґрунті", а також комбіновані системи паль, глибоких опор або оболонок, які з'єднуються кушовими, стрічковими, плитними ростверками або просторово-рамними чи коробчастими системами, що використовуються для глибокого закладання фундаментів [7].

Бурові опори є різновидом паль-колон. Вони представляють собою бетонні стовпи, що створюються шляхом заливання бетонної суміші у попередньо пробурені свердловини. Заливка бетонної суміші здійснюється під захистом глинистого розчину або обсадних труб, які витягуються в процесі бетонування.

Процес облаштування бурових опор аналогічний технології влаштування буронабивних паль. Вони фактично є буронабивними палями великого діаметра ($d > 80$ см). Нижня частина буронабивних опор обов'язково доводиться до щільних ґрунтових шарів, завдяки чому вони працюють як стійкі елементи. У деяких випадках їх виготовляють із розширеною п'ятою [7].

Бурові опори мають високу несучу здатність (≥ 1000 т) і розраховуються як палі-стійки. Залежно від типу конструкцій, фундаменти поділяють на фундаменти для колон, стін, розпірних конструкцій, стовпів або цілісних споруд.

Відповідно до положень ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013, під час облаштування буронабивних паль забій свердловини має бути очищений від розпушеного ґрунту або ущільнений за допомогою трамбування. Для ущільнення неводонасичених ґрунтів застосовується трамбівка: при діаметрі свердловини 1 м і більше — масою не менше 5 т, а для свердловин діаметром менше 1 м — масою не менше 3 т. Ущільнення ґрунту в забої слід проводити до досягнення

"відмови", яка не перевищує 2 см за останні п'ять ударів. Загальна величина "відмови" трамбівки повинна бути не меншою за діаметр свердловини [7].

Для запобігання підйому та зміщенню арматурного каркасу під дією бетонної суміші, що заливається у свердловину, а також під час вилучення бетонолитної або обсадної труби, необхідно закріпити каркас у проектному положенні. Це особливо важливо у випадках, коли армування не виконується на всю глибину свердловини [7].

Під час буріння, очищення та бетонування свердловини рівень глинистого розчину має перевищувати рівень ґрунтових вод (або водного горизонту на акваторії) щонайменше на 0,5 м.

У разі, якщо в процесі буріння виникають непереборні перешкоди, рішення щодо можливості подальшого використання свердловин для облаштування паль має приймати організація, що виконувала проектування фундаменту [7].

Після завершення буріння необхідно перевірити відповідність фактичних розмірів свердловин, позначок їх гирла та забою, а також розташування кожної свердловини у плані до проектною документації. Також слід визначити відповідність типу ґрунту основи даним інженерно-геологічних досліджень, за потреби залучивши геолога. Під час бетонування сухих свердловин до та після встановлення арматурного каркасу обов'язково проводиться огляд свердловини на предмет наявності розпушеного ґрунту на забої, осипів, вивалів, води чи шламу [7].

У піщаних обводнених, просадкових та інших нестійких ґрунтах бетонування паль слід виконувати не пізніше ніж через 8 годин після завершення буріння, а в стійких ґрунтах — не пізніше ніж через 24 години. Якщо виконання бетонування у визначені терміни неможливе, не слід розпочинати буріння свердловин, а в разі вже розпочатих робіт їх необхідно призупинити, залишивши забій на 1–2 метри вище проектного рівня та не виконуючи розширень [7].

Перед укладанням бетонної суміші під водою у кожен свердловину, пробурену в скельному ґрунті, необхідно видалити буровий шлам із забою. Для цього слід забезпечити подачу води під високим тиском 0,8-1 МПа з витратою 150-300 м³/год. Промивання потрібно проводити протягом 5-15 хвилин до повного видалення залишків шламу, що підтверджується зміною кольору води, яка переливається через край обсадної труби. Завершувати промивання слід безпосередньо в момент початку руху бетонної суміші у бетонолитній трубі [7].

ДСТУ-Н Б В.2.1-29:2014 «Конструктивні вимоги. Настанова щодо проектування і влаштування заглиблених споруд способом «стіна в ґрунті»» встановлює такі основні вимоги.

Заглиблені споруди, зведені методом «стіна в ґрунті» (надалі — ЗССГ), повинні виконуватися із окремих захваток, розміри яких визначаються властивостями технологічних розчинів та можливістю виконання конструкційних робіт (безперервно або з технологічними перервами). Розташування захваток слід виконувати вздовж виїмки, послідовно або через одну. Геометричні параметри захваток по ширині й глибині необхідно контролювати за допомогою спеціальних інструментів або габаритів, що закріплюються на монтажному крані.

При послідовному розміщенні захваток виникає потреба встановлювати вертикальні обмежувачі, які забезпечують запобігання перетіканню конструкційного матеріалу в сусідні захватки та створюють умови для формування стиків між ними [7].

Обмежувачі захваток мають бути жорсткими, інвентарними та зазвичай виготовлятися з металу або залізобетону. У поперечному перерізі вони повинні мати просту форму з боковими ущільнювачами. Якщо передбачено закріплення ватерстопа, який залишатиметься у конструкції, обмежувач повинен мати поздовжній виріз відповідної форми. Відхилення встановленого обмежувача від вертикалі вздовж виїмки не повинно перевищувати 1 % його загальної довжини [7].

Верхню частину виїмки слід облаштувати напрямними стінками або форшахтою, які забезпечують стабільність цієї частини під час розробки ґрунту та закладання конструкційного матеріалу. Поверхня напрямної стінки повинна бути горизонтальною і розташовуватись на 1,5 м вище рівня підземних вод. Розташування напрямних стінок повинно враховувати необхідні допуски для облаштування конструкцій ЗССГ та не створювати перешкод для переміщення важкого будівельного обладнання. Вони мають бути достатньо міцними для утримання арматурного каркасу, збірних панелей або слугувати опорою для домкратів під час вилучення обмежувачів захваток із виїмки. Матеріалами для виготовлення напрямних стінок можуть бути монолітний чи збірний залізобетон, а також метал [7].

Відстань між напрямними стінками має перевищувати ширину або діаметр ґрунторозроблювального обладнання на 5-10 см, щоб забезпечити його безперешкодний рух у межах виїмки.

Виїмки ґрунту під час облаштування ЗССГ необхідно виконувати за допомогою спеціалізованих або адаптованих для цього землерийних, бурових і гідрофрезерних машин.

Під час розробки виїмок рівень глинистого розчину повинен залишатися в межах висоти напрямних стінок, як у процесі занурення робочого органу землерийної машини, так і під час його виймання [7].

На етапі розробки виїмки потрібно візуально оцінювати тип ґрунту на рівні забою і перевіряти його відповідність даним інженерно-геологічних досліджень. У разі виявлення невідповідностей необхідно залучати представників проектної організації.

Облаштування виїмок, розташованих уздовж інженерних комунікацій, слід проводити з дотриманням таких мінімальних відстаней:

0,5 м — для сталевих зварних, керамічних, чавунних, полімерних і азбестоцементних трубопроводів, а також каналів і колекторів;

2 м — для інших підземних комунікацій.

Технологія облаштування ЗССГ включає створення форшахти, підготовку технологічного (глинистого) розчину, розробку ґрунтової виїмки під його захистом, встановлення обмежувачів захватки та її заповнення конструкційним матеріалом із одночасним витісненням глинистого або технологічного розчину [7].

Під час облаштування конструкцій ЗССГ глинистий або технологічний розчин повинні забезпечувати стійкість ґрунтових виїмок і зберігати їхні стінки у процесі розробки та заповнення виїмок конструкційним матеріалом. Для цього розчини мають відповідати встановленим технічним характеристикам [7].

Роботи з облаштування ЗССГ зазвичай виконуються захватками, причому їхня довжина та послідовність визначаються технічними параметрами ґрунторозроблювальної техніки і необхідністю забезпечення безперервного заповнення захватки конструкційним матеріалом.

Для влаштування конструкцій ЗССГ слід використовувати обмежувачі захваток, конструкція яких має витримувати односторонній тиск заповнювального матеріалу і запобігати його перетіканню до сусідніх захваток [7].

Під час облаштування ЗССГ з монолітного залізобетону спочатку в глинистий розчин опускають арматурний каркас із отворами для розміщення вертикально пересувної труби (ВПТ) або шланга від бетононасоса. Далі через ці елементи подається тверднучий матеріал, який поступово витісняє глинистий розчин із траншеї [7].

Бетоноукладальне обладнання має забезпечувати подачу бетонної суміші до захватки з інтенсивністю, що гарантує рівномірне заповнення виїмки бетоном. Воно складається з комплекту бетонолитних труб із ланцюгами, завантажувального бункера із затвором, а також пристроїв для монтажу, підйому та опускання труб. Також передбачено підмостки для розміщення обладнання та роботи обслуговуючого персоналу. Відстань між

нижнім кінцем труби та дном виїмки не повинна перевищувати 100 мм. Перед початком робіт бетонолитну трубу необхідно перевірити на герметичність [7].

Час для встановлення арматурних каркасів перед початком бетонування не повинен перевищувати 12 годин. Під час бетонування бетонолитні труби необхідно розташовувати в отворах арматурних каркасів. Кількість труб для кожної захватки визначають, враховуючи радіус розтікання бетонної суміші. У процесі бетонування нижній кінець бетонолитної труби повинен бути занурений у бетонну суміш на глибину не менше 1 м. Перерви в бетонуванні не повинні перевищувати 1,5 години [7].

Безперервне бетонування захватки необхідно проводити до рівня, який перевищує проектну позначку на 2 % від висоти конструкції, але не менше ніж на 0,4 м. Після цього слід видалити верхній шар забрудненого бетону.

У зимових умовах перед подачею до завантажувального бункера бетонну суміш необхідно підігрівати. Її температура під час укладання має бути щонайменше 10 °С. У межах глибини промерзання слід передбачити обігрів бетону, зокрема за допомогою електронагрівачів.

Сучасні фахівці у сфері будівництва повинні володіти знаннями про ефективні методи освоєння підземного простору, особливо в умовах щільної забудови та складних гідрогеологічних характеристик. Для реалізації цих завдань необхідно застосовувати спеціалізовані конструктивно-технологічні підходи, які широко використовуються в розвинених країнах. В Україні вже створено достатню кількість нормативних документів для виконання таких завдань, і знання їх основних положень є ключовим для успішного впровадження в інженерну практику [7].

2.2 Оцінка точності геодезичних вимірювань та їх відповідність нормативним вимогам

Геодезичні роботи завжди супроводжуються вимірюваннями, які, у свою чергу, мають певний рівень похибки. На точність вимірюваних величин впливають різні чинники, зокрема: характеристики вимірювального приладу, обраний метод вимірювання, професійні навички спостерігача, зовнішні умови тощо. Точність результатів залежить від комбінації цих та інших факторів, які можуть бути випадковими або систематичними. Ці фактори при переході до інших вимірювань змінюються, що призводить до випадкових коливань або систематичних відхилень вимірюваних величин від середнього значення [8].

Похибки вимірювань, викликані зазначеними факторами, зокрема недосконалістю приладів, методів вимірювання, обмеженими можливостями органів чуття спостерігача чи несприятливими зовнішніми умовами, є немінучими. Оскільки ці фактори діють незалежно один від одного, сумарна похибка вимірювань є результатом комбінованого впливу всіх джерел похибок, що виникають у процесі вимірювань. Теорія похибок вимірювань вирішує низку важливих завдань, зокрема:

- встановлення закономірностей розподілу похибок;
- визначення найнадійніших значень шуканих величин на основі результатів вимірювань;
- оцінка точності отриманих значень;
- визначення допустимих меж похибок;
- дослідження закономірностей накопичення похибок як під час проведення вимірювань, так і в процесі їх обробки [8].

Вимірювання – це встановлення відношення величин, що вимірюються, до іншої однорідної величини, яку прийнято за одиницю міри, тобто

$$L = \frac{M}{N},$$

де M - вимірювана величина; N - одиниця міри; L - числове значення величини M .

Вимірювання поділяються на:

1) Прямі (безпосередні) та непрямі (опосередковані) вимірювання за фізичним виконанням спостерігача.

Якщо вимірювану величину можна прямо порівняти з одиницею вимірювання, це вважається прямим вимірюванням. Наприклад, довжина лінії, виміряна за допомогою вимірювальної стрічки, величина кута, визначена теодолітом, або перевищення, зафіксоване нівеліром і рейкою, не належать до прямих вимірювань [8].

Проте існують ситуації, коли неможливо отримати значення величини безпосередньо. У таких випадках використовують непрямі вимірювання, які дозволяють визначити значення величини через функціональний зв'язок із іншими виміряними величинами, доступними для безпосереднього вимірювання. Наприклад, для рівностороннього трикутника потрібно визначити радіуси вписаного і описаного кіл. Зрозуміло, що ці вимірювання будуть непрямыми.

2) Рівноточні та нерівноточні вимірювання залежно від точності, яка визначається умовами проведення. Рівноточними вважаються вимірювання однієї чи кількох однорідних величин, які виконані за однакових умов: тим самим методом, спостерігачами з однаковою кваліфікацією, за допомогою приладів однакової точності, за схожих зовнішніх умов тощо [8].

Якщо вимірювання однієї чи кількох однорідних величин виконуються за різних умов, вони вважаються нерівноточними. Наприклад, розглянемо серії широтних спостережень за яскравою зенітною зіркою α Persej, проведені навесні та восени. Очевидно, що такі вимірювання є нерівноточними через відмінність зовнішніх умов під час їх виконання.

Необхідні та додаткові вимірювання за кількістю. Вимірювання, що виконуються для отримання хоча б однієї системи значень шуканих величин,

називають необхідними. Якщо, окрім необхідних, проводяться додаткові вимірювання, їх називають надлишковими [8].

Наприклад, у випадку довільного трикутника на площині, де потрібно визначити значення кутів, достатньо виміряти два кути, наприклад α та β , а третій кут γ знайти зі співвідношенням $\gamma = 180^\circ - \alpha - \beta$. Якщо виміряти і кут γ , таке вимірювання вважається надлишковим. Виконання надлишкових вимірювань є обов'язковим, оскільки вони допомагають виявити грубі похибки, отримати достовірні значення величин і підвищити точність вимірювань.

Залежні та незалежні вимірювання визначаються умовами проведення. Залежними є такі вимірювання певної величини, які впливають на результат вимірювання іншої величини. У разі, якщо вимірювання не впливають одне на одного, їх вважають незалежними [8].

Наприклад, під час вимірювання кутів α, β та γ у трикутнику, можна знайти їх суму $S = \alpha + \beta + \gamma$. Самі вимірювання кутів можуть бути незалежними. Однак, якщо розглядати суму S у зв'язку з кожним із кутів, наприклад S і α є залежними, оскільки похибка у вимірюванні кута α впливатиме на значення суми. Аналогічно, залежними будуть вимірювання S з кожним із кутів.

У процесі вимірювань, окрім самого об'єкта, задіяні вимірювальні прилади, спостерігачі, які їх використовують, а також зовнішнє середовище, що впливає на результати. Усі ці умови можуть змінюватися, і точно врахувати такі зміни неможливо. Через це отримані результати вимірювань можуть відрізнитися від істинних значень [8].

Розглянемо істинне значення L вимірюваної величини та її виміряні значення $l_i = (i = \overline{1, n})$. Тоді величини

$$\Delta_i = l_i - L$$

називають істинними похибками вимірювань. Ці похибки виникають через обмеження точності вимірювальних приладів, недостатню чутливість органів спостерігача, несприятливі зовнішні умови тощо. Оскільки повністю усунути істинні похибки неможливо, до результатів вимірювань вводяться

поправки, які дозволяють зменшити їх до мінімуму. У теоретично ідеальних умовах, хоча досягти цього практично надзвичайно складно, поправки можуть бути обчислені за формулою $v_i = L - l_i$, тоді як істинні похибки Δ_i дорівнюватимуть нулю [8].

Похибки, що виникають у процесі вимірювань, класифікують за походженням і характером впливу на результати. Залежно від походження, вони поділяються на інструментальні, особисті та спричинені зовнішнім середовищем. Інструментальні похибки пов'язані з недосконалістю виробництва, недостатньою перевіркою чи налаштуванням приладів, а також зі зміною їх властивостей із часом. Такі похибки частково можна усунути під час вимірювань. Особисті похибки обумовлені чутливістю органів відчуття, рівнем кваліфікації та психологічним станом спостерігача [8].

Похибки зовнішнього середовища спричинені умовами, такими як температура, тиск, вологість, вітер, особливості рельєфу чи нестабільність ґрунту. Для їхнього врахування або зменшення застосовують коригувальні поправки чи спеціальні методи спостережень, хоча цілковито усунути їх неможливо.

За впливом на результати похибки поділяються на систематичні, грубі та випадкові. Систематичні похибки виникають за певними закономірностями і можуть бути як постійними, так і змінними [8].

Сталими систематичними похибками називають похибки, спричинені постійними факторами, які під час вимірювання залишаються незмінними за абсолютною величиною. Вони можуть виникати через недоліки у виробництві, неточну перевірку або налаштування вимірювального приладу, а також через постійну дію факторів зовнішнього середовища. Для визначення величини цих похибок необхідно проводити спеціальні дослідження або вимірювання, у результаті яких встановлюється їх числове значення.

Змінними систематичними похибками вважають такі, що змінюються за абсолютною величиною під час вимірювань. Закон їх зміни залежить від

характеру впливу тих факторів, які викликають ці похибки, і може мати різну аналітичну форму [8].

Грубі похибки, або промахи, - це помилки, які не можуть бути допущені за даних умов вимірювань. Вони зазвичай є наслідком неуважності або недбалого ставлення спостерігача. Для їх виявлення необхідно виконувати контрольні чи повторні вимірювання. Такі похибки обов'язково повинні бути виключені з результатів вимірювань.

Випадкові похибки - це помилки, абсолютне значення яких під час вимірювань змінюється хаотично і не має чіткої закономірності. Вони є сумарним ефектом впливу різноманітних відомих і невідомих чинників. Повністю уникнути таких похибок неможливо, однак сучасні точні методи вимірювань, високоякісні прилади та сприятливі умови дозволяють звести їх до мінімального значення [8].

Слід зазначити, що інструментальні похибки здебільшого мають систематичний характер, тоді як особисті похибки та похибки зовнішнього середовища вважаються випадковими.

Розглянемо основні властивості випадкових похибок:

1. За умов проведення вимірювань абсолютна величина випадкових похибок завжди менша за певне граничне значення.
2. Похибки меншої абсолютної величини зустрічаються частіше, ніж похибки більшої величини.
3. Частота появи додатних і від'ємних похибок завжди однакова.
4. Середнє арифметичне значення випадкових похибок прямує до нуля за умови необмеженого збільшення їх кількості.
5. У послідовності випадкових похибок не простежується закономірностей у зміні їх абсолютної величини [8].

Визначення найбільш достовірних значень виміряних величин потребує вирішення ще однієї важливої задачі - оцінки точності отриманих результатів. Очевидно, що точність не можна оцінити лише на основі одного вимірювання. Однак, якщо є значна кількість результатів вимірювань певної величини та

відомі істинні похибки, то їхній аналіз дозволяє усунути грубі похибки, а в деяких випадках і систематичні. Таким чином, можна виділити сукупність випадкових істинних похибок [8].

Якщо розглядати кілька рядів випадкових істинних похибок, то оцінювати точність результатів вимірювань слід за їх ступенем розсіювання. Чим менше різниця між значеннями похибок, тим точнішими є результати. І навпаки, чим більша різниця, тим менш точними вважаються вимірювання.

Для визначення точності результатів використовуються такі критерії: середня похибка, ймовірна похибка та середньоквадратична похибка [8].

Середньою похибкою θ називають середнє арифметичне значення абсолютних величин істинних похибок $\Delta_i (i = \overline{1, n})$, отриманих під час вимірювань.

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta_i|}{n} = \frac{[|\Delta|]}{n}.$$

Розглянемо випадкові похибки, що виникають під час вимірювання певної величини. Абсолютний варіаційний ряд випадкових похибок - це упорядкована послідовність таких похибок, розташованих за зростанням або спаданням їхньої абсолютної величини [8].

Ймовірна похибка p визначається як значення у цьому варіаційному ряді, яке ділить його на дві рівні за кількістю частини.

Розглянемо такий ряд випадкових похибок:

-0,01; 0,12; 0,56; -0,35; 0,06; -0,11; -0,05; -0,20; -0,08; 0,09; -0,19; -0,18;
0,32; -0,45; 0,30; -0,44; -0,57.

Побудуємо абсолютний варіаційний ряд

0,01; 0,05; 0,06; 0,08; 0,09; 0,11; 0,12; 0,18; 0,19; 0,20; 0,30; 0,32; 0,35; 0,44;
0,45; 0,56; 0,57.

Посередині даного ряду знаходиться значення 0,19. Тому ймовірна похибка $p = 0,19$.

У цьому прикладі обсяг N вихідного ряду похибок становив непарне число 17. Якщо ж обсяг N вихідного ряду похибок буде парним, то ймовірна

похибка визначається як середнє арифметичне двох центральних значень абсолютного варіаційного ряду [8].

Середня квадратична похибка t - це величина, що дорівнює квадратному кореню із середнього арифметичного квадратів істинних похибок.

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}.$$

На основі досліджень випадкових похибок встановлено такі емпіричні залежності:

$$\theta = \frac{4}{5}m,$$
$$p = \frac{2}{3}m.$$

Середньоквадратична похибка вважається найефективнішим критерієм для оцінки точності вимірювань. Вона має кілька переваг у порівнянні із середньою та ймовірною похибками:

1) Середньоквадратична похибка є дуже чутливою до точності, оскільки великі за абсолютною величиною випадкові похибки, що значною мірою впливають на надійність результатів, суттєво впливають на її значення.

2) Навіть за відносно невеликої кількості вимірювань середньоквадратична похибка досягає стабільного значення, яке змінюється дуже повільно зі збільшенням числа вимірювань [8].

3) На основі величини середньоквадратичної похибки можна визначити граничну похибку — найбільше за абсолютною величиною значення випадкової похибки, яке може виникати за даних умов вимірювань. Як граничну похибку приймають потрійну величину середньоквадратичної похибки.

$$\Delta_{\text{гран.}} = 3m$$

4) Володіючи інформацією про середньоквадратичні похибки певних величин, можна без складнощів визначити середньоквадратичні похибки інших величин, які з ними функціонально пов'язані [8].

Похибки поділяються на абсолютні та відносні. До абсолютних похибок належать істинна похибка Δ , середня θ , ймовірна p та середньоквадратична m .

Відносні похибки часто застосовуються під час вимірювання лінійних величин або площ. Вони є безрозмірними та визначаються як відношення абсолютних похибок до вимірюваного значення величини. Якщо взяти виміряне значення величини x , то:

$$\frac{\Delta}{x} - \text{відносна істинна похибка,}$$

$$\frac{\theta}{x} - \text{відносна середня похибка,}$$

$$\frac{m}{x} - \text{відносна середня квадратична похибка,}$$

$$\frac{p}{x} - \text{відносна ймовірна похибка.}$$

Результати вимірювань будь-якої фізичної величини мають випадковий характер, оскільки їх не можна передбачити наперед. Розглянемо довільну неперервну випадкову величину x та її нормальний закон розподілу. Цей закон є граничним для розподілів як неперервних, так і дискретних випадкових величин. Він описує стан, до якого наближаються всі інші закони розподілу за певних умов. Такі умови виникають, коли вимірювана величина є сумою багатьох інших випадкових величин, розподілених відмінно від нормального закону. У природі ця ситуація є типовою, тому нормальний закон розподілу або його комбінації зустрічаються найчастіше [8].

Диференціальна функція цього розподілу, тобто функція густини ймовірності, має такий вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}},$$

де m, σ^2 - математичне сподівання та дисперсія відповідно (параметри розподілу).

Відомо, що середнє арифметичне вважається "найкращою оцінкою" математичного сподівання. Отже, для випадкової величини X , якщо вона є

істинною випадковою похибкою, математичне сподівання дорівнює нулю відповідно до четвертої властивості випадкових похибок. У цьому випадку функція густини матиме такий вигляд:

$$f(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma} * e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}}.$$

Графік цієї функції зображено на рисунку 2.1.

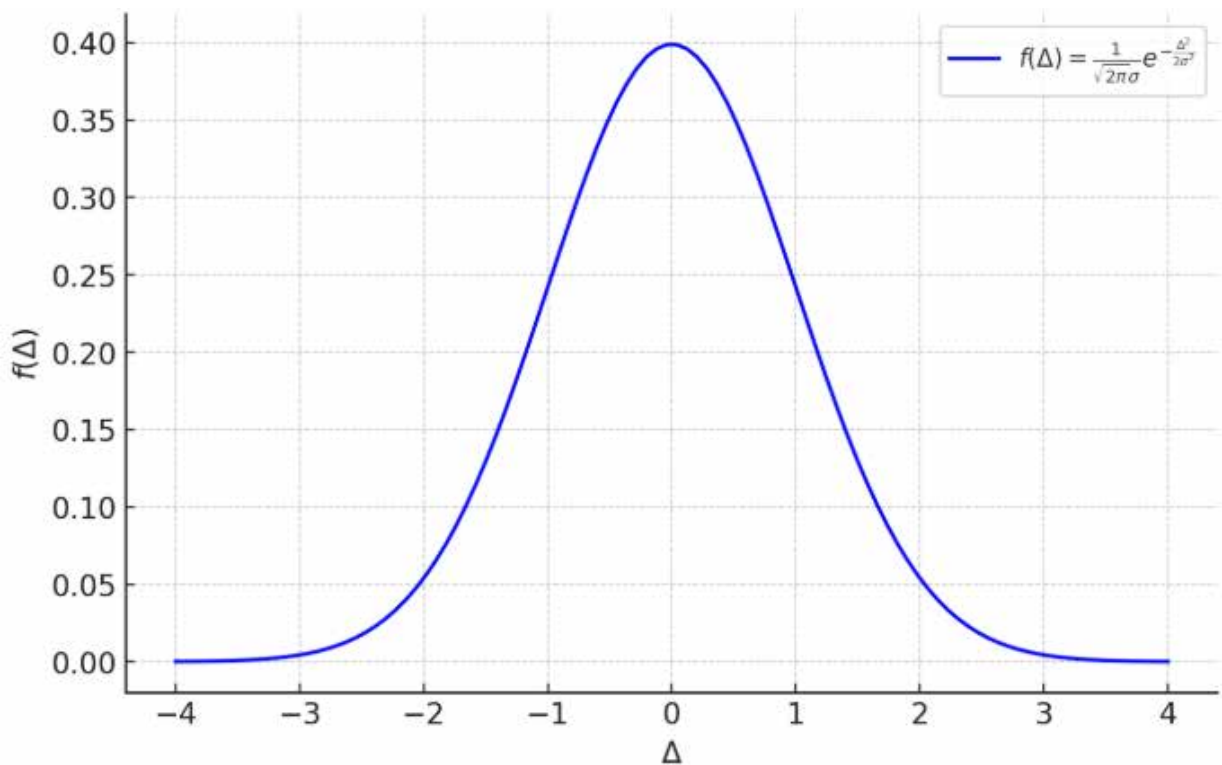


Рис. 2.1. Графічна інтерпретація функції густини ймовірності.

Із вигляду кривої та виразу для $f(\Delta)$ видно, що даний розподіл є симетричним відносно осі ординат, на якій досягається найбільше значення густини $f_{max} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma}$. Абсциси точок перегину кривої відповідають значенням $\Delta = \pm\sigma$ [8].

Інтегральна функція нормального розподілу істинних випадкових похибок Δ буде такою:

$$F(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma} \int_{-\infty}^{\Delta} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}} * d\Delta.$$

Її графік зображено на рисунку 2.2.

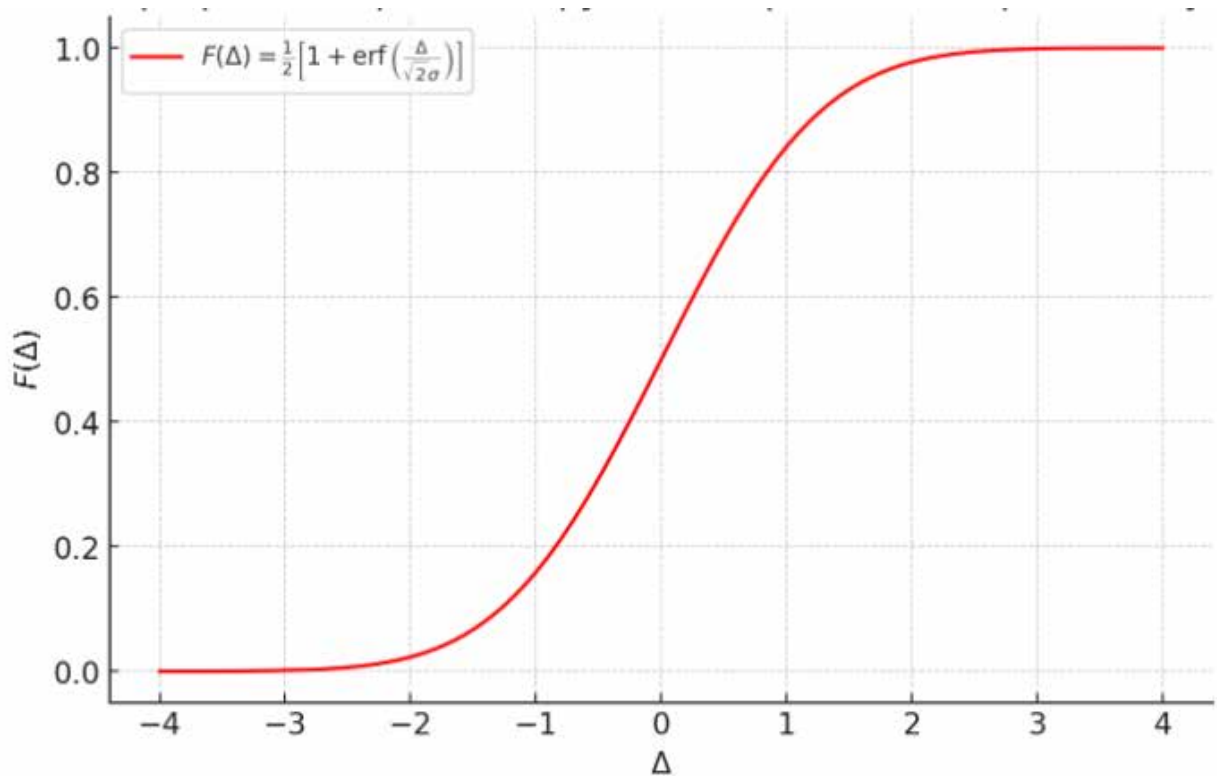


Рис. 1.2. Інтегральна крива розподілу істинних випадкових похибок.

З рисунка 2.2. зрозуміло, що точка $\left(0; \frac{1}{2}\right)$ виступає центром симетрії інтегральної кривої розподілу істинних випадкових похибок. При цьому абсциси точок перегину збігаються з відповідними значеннями для кривої густини розподілу [8].

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА ПОДІЛЬСЬКОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ

3.1 Характеристика об'єкта будівництва та необхідність створення мостового переходу

Проект будівництва мостового переходу зі столичного Подолу на лівобережний масив Воскресенка з'явився в 1993 році. Подільсько-Воскресенський міст внесли до генерального плану Києва ще за часів СРСР – в 1986 році [13]. Через два роки було розроблено техніко-економічне обґрунтування будівництва, а безпосередньо роботи стартували в 1993 році. На той момент проєкт оцінювався в 40 млрд 701 млн купоно-карбованців. Побудувати міст планували до 2002 року, але вже в 1997-му роботи припинили через важке фінансове становище столиці.

За проєктом, цей міст має стати найдовшим в Києві, його загальна довжина становитиме понад 7 км і ширина 35 м повинен з'єднати Правий берег (Поділ), Труханів острів і Лівий берег Києва (Троєщину і Воскресенський масив). Призначений для автомобільного транспорту та поїздів метрополітену. Загальну схему мостового переходу показано на рисунку 3.1.

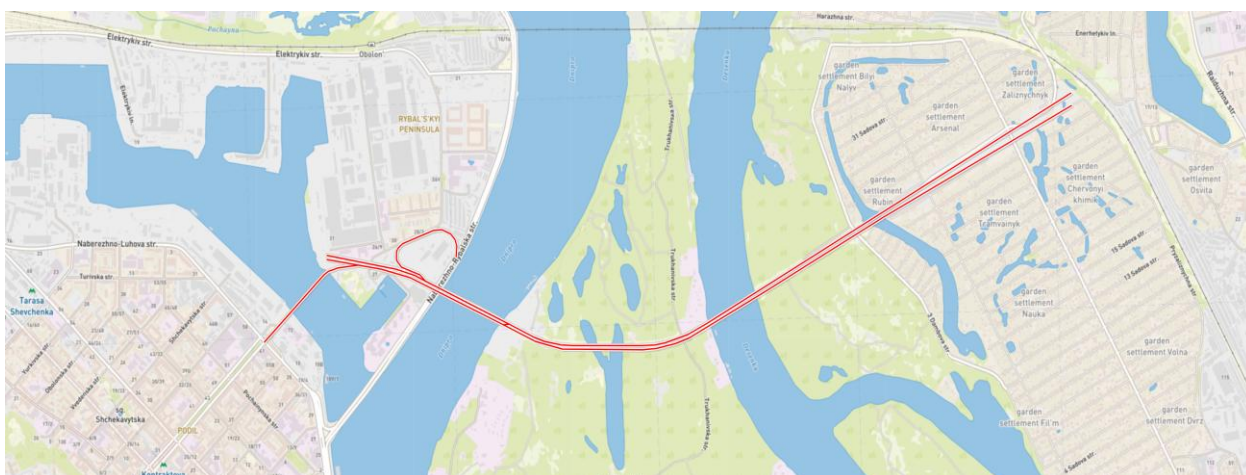


Рис.3.1. Схема Подільського мостового переходу
Профільне зображення представлено на рисунку 3.2.

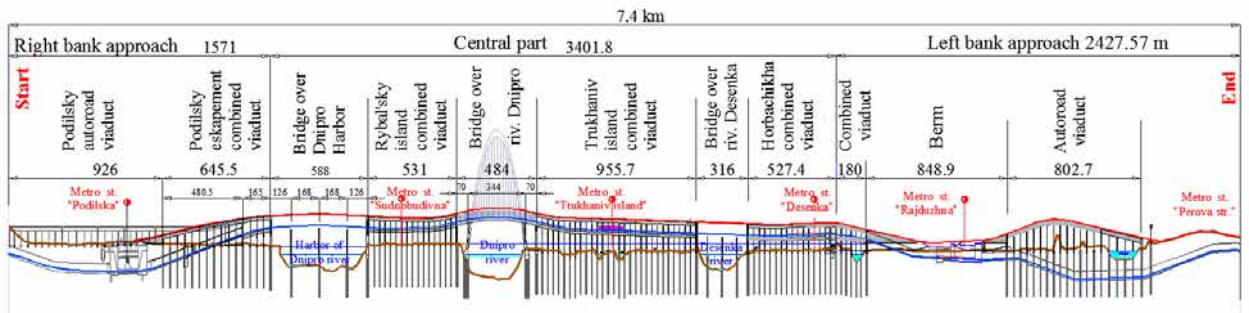


Рис. 3.2. Подільський мостовий перехід (профіль) 3.2.

Необхідність створення мостового переходу визначена у рамках спільного проекту КМДА та Світового Банку з розробки Інтегрованого плану розвитку транспортної інфраструктури м. Києва та його приміської зони [14]. За проектом, досліджено низку сценаріїв розвитку систем швидкісного рейкового транспорту для забезпечення сполучення лівобережних житлових масивів з розташованим на правобережжі адміністративно- діловим ядром міста. Встановлено, що 36 % населення Києва, проживає у лівобережних районах: Деснянському, Дарницькому та Дніпровському, при цьому там розташовано лише 18 % загальної кількості робочих місць (рис. 3.3.).

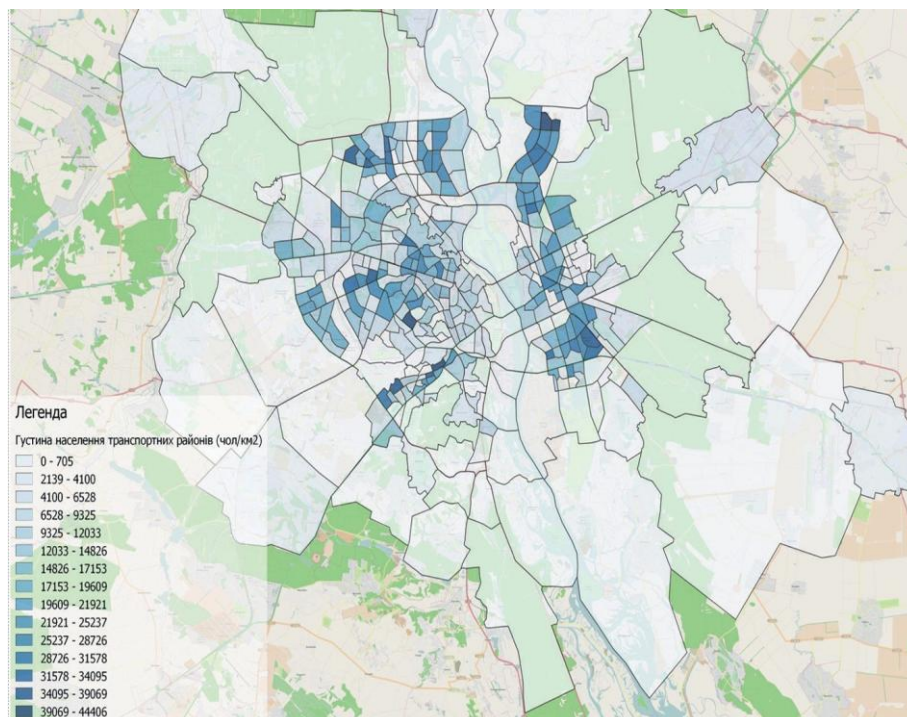


Рис. 3.3. Густина населення транспортних районів м. Києва, чол/км²

Основна кількість робочих місць сконцентрована в адміністративно- діловому ядрі міста: Печерському та Шевченківському районах, при цьому

найбільшу щільність робочих місць мають утворення: Паньківщина та Нова Забудова (рис. 3.4.).

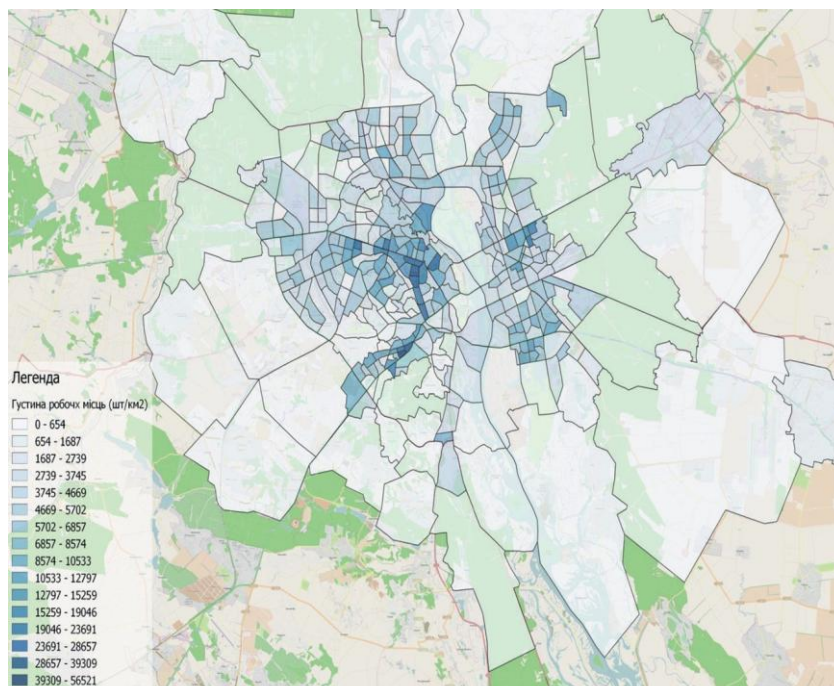


Рис.3.4. Робочі місця м. Києва, шт/км²

Конструкція переходу складається з двох ярусів (автомобільна дорога і метро) і включає в себе три мости (через Гавань, Дніпро, Десенку, і тепер ще обговорюється міст через озеро Райдужне) і кілька естакад, що їх з'єднують (рис. 3.5.). Для руху автомобілів передбачено шість смуг. Метрорівень - це дві колії для майбутніх станцій Подільсько-Вигурівської гілки метрополітену, яку ще мають побудувати. В проєкт мостового переходу закладені три станції цієї гілки.. Загальна ж протяжність мостового переходу, як вже було зазначено становить понад 7 км. Однією з ключових споруд Подільського мостового переходу є арковий міст через річку Дніпро, який входить до числа найбільших у Європі (рис.3.6.). Згідно з проєктною документацією, довжина основної частини моста становить 472 м, а центрального прогону - 344 м. [15].

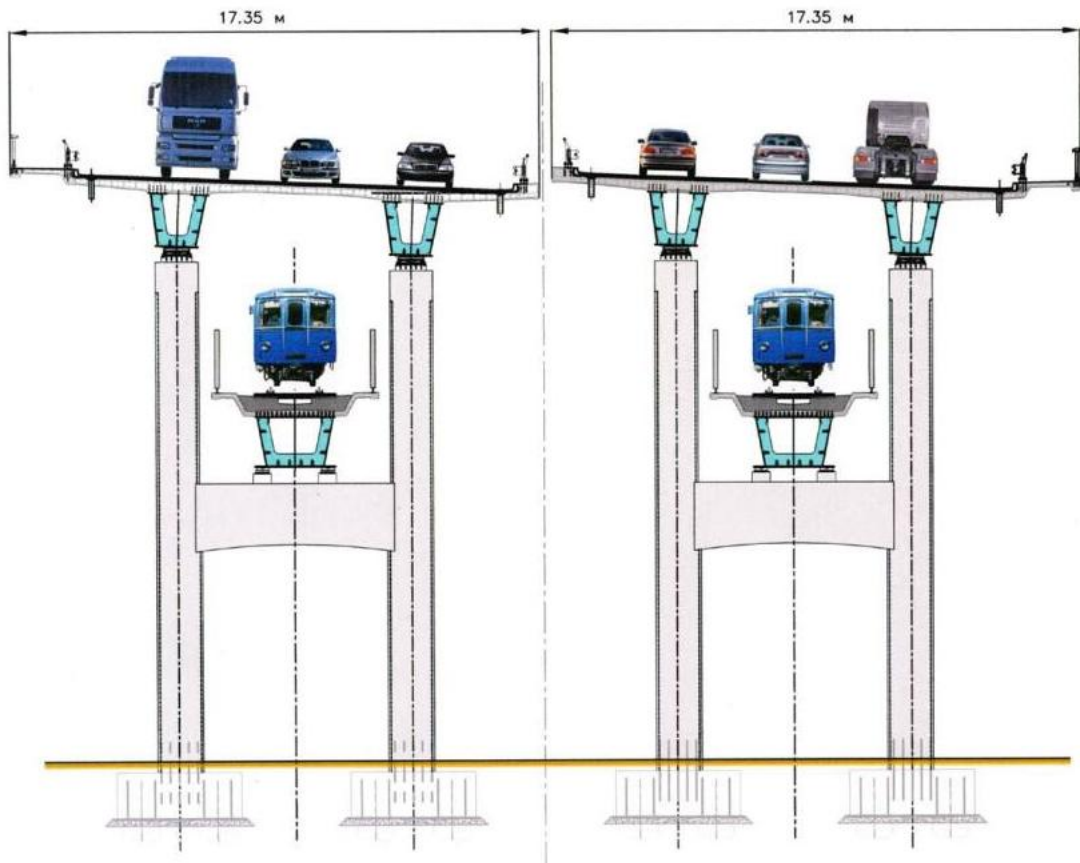


Рис.3.5 Схема естакади мостового переходу (поперечний профіль)



Рис. 3.6. Подільський мостовий перехід та арковий міст через річку Дніпро.

Основні конструкції мосту через Дніпро і естакади на Трухановому збудували ще в середині 2000-х років. З 2021 року рішенням КМДА було перезапущено проєкт будівництва Подільського мосту і збільшила його вартість до 11,2 млрд грн [16].

Враховуючи те, що мостовий перехід будується в умовах високо стоячих ґрунтових вод та заплав річок, важливим фактором, що впливатиме на будівництво та подальшу експлуатацію мостового переходу є ґрунти. Інженерно-геологічні умови майданчика для будівництва переходу, умовно сприятливі (наявність насипних ґрунтів, високе залягання рівня підземних вод). Загальний ухил рельєфу в північно-східному напрямку. Територія, що прилягає, має асфальтове покриття і сплановано з ухилом 1 – 2 градуса до заходу. Небезпечні фізико-геологічні явища і процеси (зсуви, яри, просідання поверхні) на майданчику і прилягаючої території відсутні. Поверхня майданчика вкрита асфалто-щебеним покриття товщиною 0,5 – 0,4м по ущільнених насипних ґрунтах (шар 1) потужністю 1,5 – 4,9м. Максимальна потужність 4,9м. У геологічній будові майданчика беруть участь четвертинні алювіально-делювіальні супіски (шар 2) і алювіальні піски (шари 3, 4, 5), які із глибин 14,9 – 16,2 м підстилаються неогеновими глинами (шар 6). Характер залягання виділених шарів ґрунтів у межах майданчика відображений прикладеними інженерно-геологічними розрізами з 1 – 1 по IV-IV. Особливістю геологічної будови майданчика є: - наявність потужної (9 – 10м) товщі водонасичених ворізнозернистих пісків (шари 3, 4, 5) - витримане по глибині (14,9 – 16,2м) залягання неогенових глин (шар 6). Характер залягання виділених шарів у межах будівельного майданчика відображений у додатку А.

3.2 Побудова геодезичних розбивних мереж для наступних етапів будівництва

Для успішного проведення подальших будівельних робіт необхідно забезпечити виконання комплексу геодезичних робіт, що у перспективі

сприятимуть облаштуванню геодезичної мережі. Забезпечення геодезичного супроводу будівництва, як правило, передбачає виконання робіт щодо:

- виносу осей;
- передачі висотної відмітки (репера);
- виносу точок по координатах;
- знімання на будівництві;
- виносу котловану;
- підрахунку об'ємів земляних мас;
- визначення меж земельної ділянки;
- виносу конструктивних елементів будівлі.

Виходячи із сформованої мети та поставлених у роботі завдань, акцент буде зроблено на обґрунтування комплексу геодезичних робіт щодо передачі висотної відмітки та виносу конструктивних осей споруд, що заплановані до будівництва та входять у комплекс геодезичних розбивочних робіт. В основі комплексу геодезичних розбивочних робіт покладено фіксацію на місцевості точок та ліній, які визначають геометричні характеристики споруди. Визначення і закріплення на місцевості точок, ліній та площин, що визначають планове і висотне положення споруди та його розміри, називають розбивкою споруди, або винесенням проекту в натуру. Положення проектних точок споруди встановлюють, використовуючи існуючі на місцевості точки, координати яких відомі. Такими точками найчастіше є пункти геодезичної мережі, але можуть бути використані також і побудовані раніше споруди. Основними етапами робіт, виконуваних для винесення проекту споруди в натуру, є:

- створення геодезичної розбивної мережі;
- геодезична підготовка проекту;
- геодезичні роботи безпосередньо в ході будівництва;
- геодезичний контроль будівельно-монтажних робіт.

Створення геодезичної розбивної мережі. Основою для розбивних робіт служить створювана на території будівництва геодезична розбивна мережа. Вид цієї мережі залежить від характеру місцевості, форми і розмірів споруди, необхідної точності винесення проекту на місцевість. У нашому випадку, для будівництва Подільського мостового переходу, попередньо була створена планово-висотна геодезична мережа у вигляді лінійно-кутової мережі, як геодезичної основи для будівництва моста та допоміжних споруд. Так на ділянці будівництва мостового переходу, що перебуває у відповідальності будівельної компанії ТОВ «ГП "Автострада» було запроектовано планово-висотну основу у вигляді геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика. Використовуючи ДСТУ 9154:2021 «Настанова з виконання геодезичних робіт у дорожньому будівництві» [16] та ДБН В.1.3-2:2010 «Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві» [17] та наявні пункти ДГМ (R1, R5) було закладено геодезичну розмічувальну мережу будівельного майданчика. Мережа створена для перенесення проекту в натуру (червоні лінії, будівельна сітка) з прив'язкою до опорної геодезичної мережі, яка включає п'ять реперних точок (рис. 3.7.).

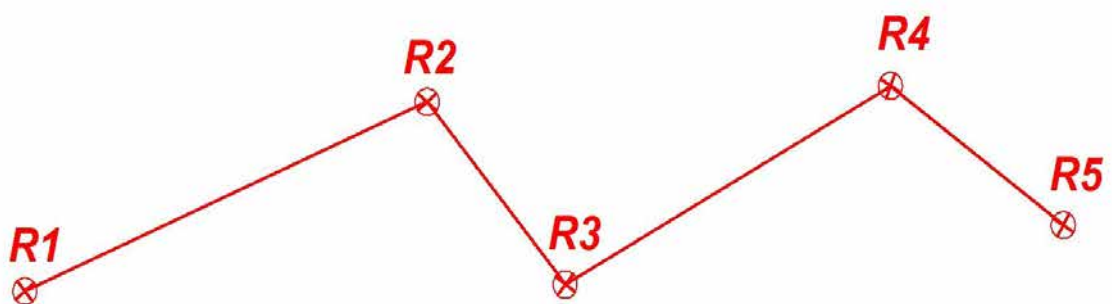


Рис. 3.7. Проектна опорна геодезична мережа

Пункти R1 та R5 належать до опорної геодезичної мережі. Координати відповідних пунктів приведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Координати R1 та R5

№	X	Y	H
R1	560 758,712	380 642,880	101.91
R5	560 765,293	380 759,942	102.80

Для подальшого ведення будівництва необхідно побудувати зовнішню геодезичну розмічувальну мережу, що створюється для винесення в натуру головних або основних розмічувальних осей, виконання детальних розмічувальних робіт на будівельному майданчику та виконавчого знімання.

Для виконання детальних розмічувальних робіт при монтажі будівельних конструкцій, елементів та контролю точності геометричних параметрів будівництва розробляється внутрішня геодезична розмічувальна мережа [22]. Використовуючи дані опорних пунктів R1 та R5, було проведено планове обґрунтування пунктів розбивної мережі та визначені координати опорних точок R2, R3, R4 (таблиця 3.2.). При проведенні оцінки допустимості вимірів та перевірки нев'язок було використано ДБН В.1.3-2:2010, а саме «Умови забезпечення точності геодезичних вимірювань». (див. додаток Б-Д).

Таблиця 3.2.

Визначення координат пунктів розбивної мережі R2, R3, R4

№	X	Y	Довжина	Кут	H
R1	560 758,712	380 642,880	49,143	067°15'24"	101.91
R2	560 777,711	380 688,202	24,091	139°42'46"	102.01
R3	560 759,334	380 703,779	41,748	061°27'58"	102.50
R4	560 779,276	380 740,457	23,984	125°39'54"	103.10
R5	560 765,293	380 759,942			102.80

В основу розрахунку було покладено за відомими координатами початкової та кінцевої точок ходу що прокладався. У кінці обчислень одержали координати кінцевої точки діагонального ходу , що є контролем

обчислень. Вимірювання проводилися із використанням електронного тахеометра SOKKIA FX-201 (рис. 3.8.). Даний прилад забезпечує знімання із точністю 1" для кутових величин [23]. При прокладанні використовувалися призмові відбивачі, точність вимірювання відстаней на відбивач складає $2\text{мм}+2\text{мм/км}$.



Рис.3.8. Тахеометр SOKKIA FX-201 та призмовий відбивач

За результатами польових вимірів та поствимірювальних робіт було складено схему планово-висотної основи необхідної для проведення топографо-геодезичних робіт при спорудженні фундаментів та набивних паль (рис. 3.9.).

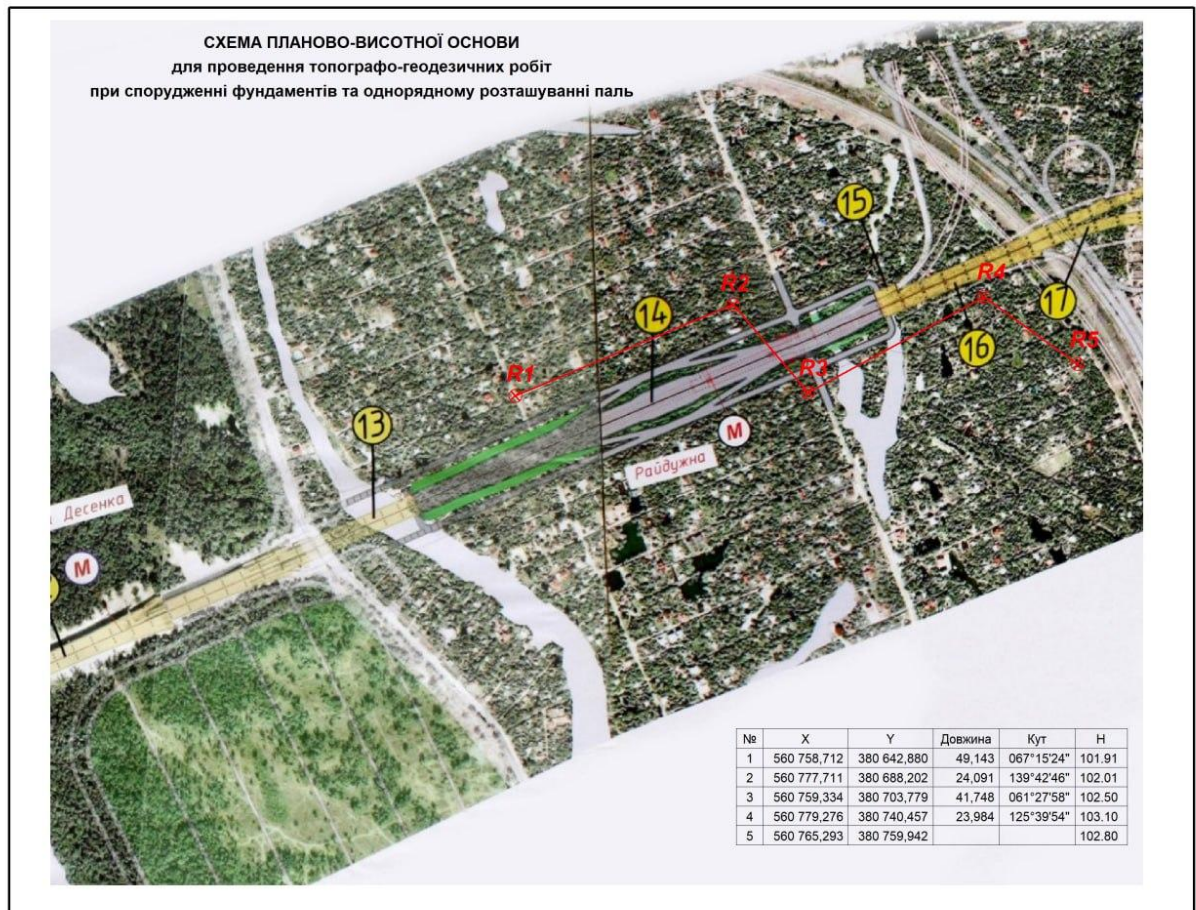
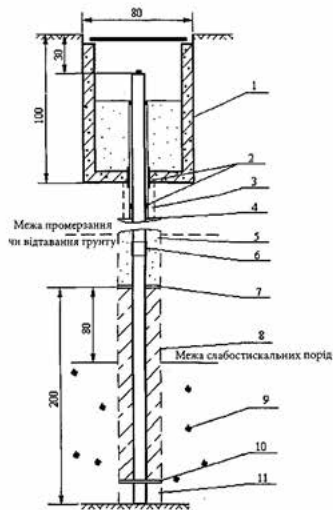


Рис.3.9. Схема планово-висотної основи для проведення геодезичних робіт при будівництві мостового переходу.

Враховуючи те, що одним із головних поставлених завдань у роботі є обґрунтування виконання інженерно-геодезичних спостережень при облаштуванні буронабивних паль [20]. Реперні точки на місцевості були закріпленні відповідними знаками, встановлення та характеристики яких регламентується ДСТУ 9154:2021 «Настанова з виконання геодезичних робіт у дорожньому будівництві». Монтажна схема закріплення відповідного знаку приведена на рисунку 3.10.



- 1 – залізобетонний чи металевий колодязь із кришкою;
- 2 – сальники;
- 3 – захисна труба діаметром 150 мм - 200 мм;
- 4 – труба діаметром 80 мм - 150 мм;
- 5 – ґрунт (пісок, лес);
- 6 – муфта;
- 7 – обмежувальне кільце;
- 8 – свердловина діаметром 250 мм;
- 9 – бетон;
- 10 – металевий диск;
- 11 – цементний розчин.

Рис.3.10. Закріплення геодезичної розмічувальної мережі споруд з тривалістю будівництва більше ніж 0,5 року.

3.3 Пропозиції щодо моніторингу деформацій конструкцій та основи мостового переходу

Невід’ємним елементом сучасного мостобудування являється облаштування та будівництво фундаментів та підпірних конструкцій. Враховуючи складність геологічних умов зведення мостового переходу на етапі проектування, в основу конструкції було покладено фундаментну технологію встановлення буронабивних паль. Буронабивні палі - це вертикальні стовпи, які заливають прямо на будівельному майданчику. Для їх встановлення у ґрунті бурять свердловину, яку потім заливають бетоном. В даний час вони вже набули широкого поширення і активно витісняють фундаментні опори [18, 21]. Такий тип паль застосовують у таких випадках:

- для будівництва високих та громіздких промислових та офісних будівель;
- при будівництві об’єктів на болотистій місцевості чи інших ослаблених ґрунтах;
- для будівництва будинків на складній рельєфній місцевості;
- коли тверді породи, які здатні витримати навантаження будівлі, залягають досить глибоко.

Буронабивні палі, на відміну від забивних і гвинтових, мають надійнішу конструкцію і не піддаються корозії. Технологія їхнього монтажу передбачає буріння свердловини, яка заповнюється армуючим поясом та заповнюється бетоном (рис.3.11.). Враховуючи високий рівень ґрунтових вод та потенційну небезпеку паводків установка палей відбувалася по методу що забезпечує їхню довготривалу роботу у ґрунтах з високим вмістом ґрунтових вод. Для встановлення палі у такий спосіб необхідно вирити свердловину, виготовити п'яту, вставити арматурний каркас та встановити обсадну трубу. У свердловину через бурову установку заливають глиняний розчин, який вбирається, утворюючи кірку на стінах. Вона перешкоджає обваленню ґрунту. Далі, у свердловину поміщають каркас та трубу. Коли починається процес подачі бетону, її витягують.

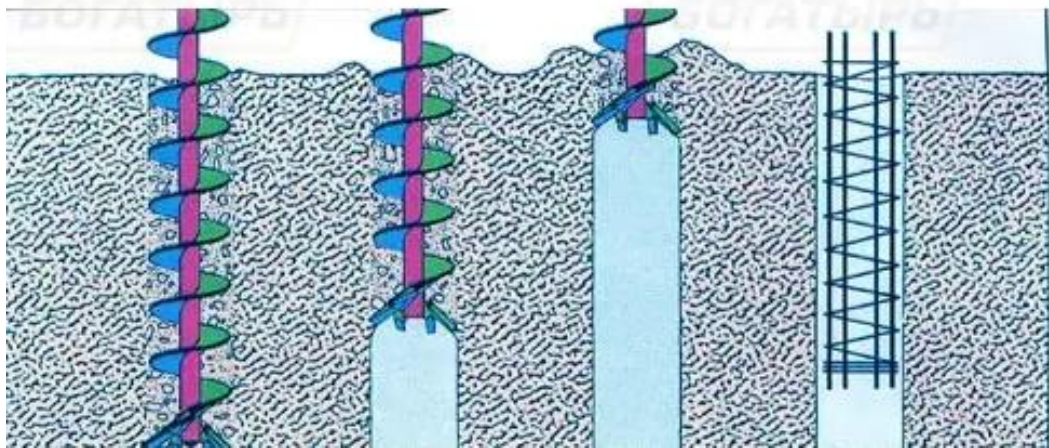


Рис. 3.11. Облаштування буронабивних палей в умовах високих ґрунтових вод.

Для ефективної роботи палей розраховується несуча здатність палей. При розрахунку палевого фундаменту по граничних станах першої групи необхідно, зокрема, виконати розрахунок по несучій здатності ґрунту основи палей. При проектуванні палевих фундаментів промислових і громадських будинків завжди виконується розрахунок по несучій здатності палей на сприйняття осьових (поздовжніх) навантажень і порівняно рідко - на поперечні сили і згинальні моменти. Несуча здатність одиночної палі F_d буронабивних палей зі стовбуром постійного перерізу, що працюють на вдавлююче навантаження визначається як сума сил розрахункових опорів ґрунту основи під нижнім кінцем палей і на її бічній поверхні за формулою

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cr} \cdot R \cdot A + u \cdot \sum \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i)$$

де F_d - несуча здатність палі, кН;

γ_c - коефіцієнт умов роботи палі в ґрунті;

γ_{cr}, γ_{cf} - коефіцієнти умов роботи ґрунту під нижнім кінцем і на бічній поверхні палі;

R - розрахунковий опір ґрунту під нижнім кінцем палі, кПа;

A - площа обпирання на ґрунт нижнього кінця палі, м²;

u - зовнішній периметр поперечного перерізу палі, м;

f_i - розрахунковий опір i -го шару ґрунту основи на бічній поверхні палі, кПа;

h_i - товщина i -го шару ґрунту, що стикається з бічною поверхнею палі.

Враховуючи необхідну несучу здатність палей для проекту було обрано два типи циліндричних палей ПБН -1, ПБН -2 (див. табл. 3.3 та додаток Е).

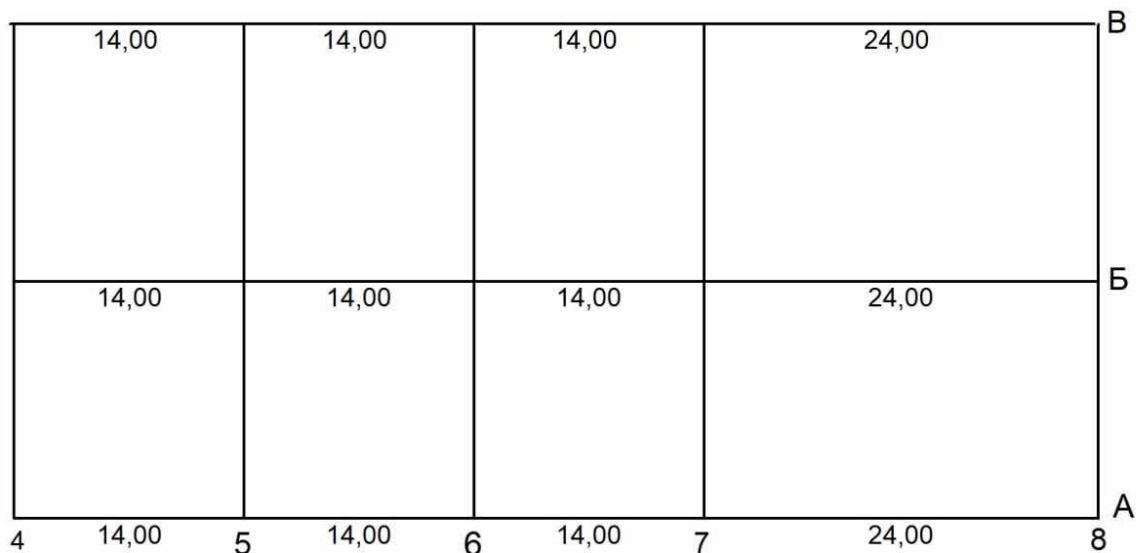
Таблиця 3.3.

Тип палі	Висота, мм	Діаметр, мм	Оголовок, мм
ПБН -1	18750	820	960
ПБН -2	21105	820	2010

Використання буронабивних палей обох типів було застосовано при облаштуванні підпірних стін підземного переходу

Важливим кроком при формуванні фундаментів опорних стін та конструкцій є розрахунок необхідної кількості палей та відстані між ними. Мінімально припустимі відстані між палями призначаються для висячих палей: $3e_p$ - для забивних, $4e_p$ - віброзанурених у піски; для палей-стійок - $1,5e_p$ (e_p - ширина перерізу або діаметр отвору). Відстані між краями розширень бурових і набивних палей повинні бути не менше 0,5м у суглинках і глинах та не менше 1м в інших різновидах нескельних ґрунтів. Максимальні відстані між палями встановлюються розрахунками ростверку за несучою здатністю, їх не рекомендується приймати більше 2,5 - 3,0 м або 6 - 8 розмірів поперечного перерізу палі. У нашому випадку палі обох типів монтувалися через 1 м.

Враховуючи особливості монтажу буронабивних паль та запроєктовану геодезичну розмічувальну мережу будівельного майданчика, була сформована схема буріння із подальшим монтажем паль типу ПБН -1, ПБН -2 (рис. 3.12.).



№	X	Y	Довжина	H
4	560 721,008	380 583,750	14,000	102,6
5	560 721,008	380 597,750	14,000	103,2
6	560 721,008	380 611,750	14,000	103,1
7	560 721,008	380 625,750	24,000	103,2
7	560 721,008	380 649,750		

Рис. 3.12. Фрагмент схеми геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика.

У результаті проведених геодезичних та будівельних робіт було залито 18 паль типу ПБН -2 та 110 паль типу ПБН -1.

Наступний крок геодезичних робіт передбачає визначення відхилень у конструкції буронабивних паль. Нами було виділено наступні типи відхилень: планові, які передбачають розрахунок вертикальних відхилень конструкцій та споруд та висотні, які передбачають знаходження відхилень між фактичною висотою конструкції та її проектною висотою. Для цього ми скористалися «Правилами виконання вимірювання параметрів будинків і споруд» [19]. Для оцінки точності будівництва паль та визначення вертикальних відхилень Δx_i скористалися пунктом 5 «Відхил прямовисної лінії колон стінових панелей,

стін і інших конструкцій і їх елементів». Дане положення передбачає застосування методів і засобів приведених на рисунку 3.13.

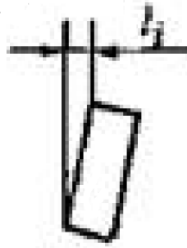


Рис. 3.13. Параметри і методи вимірювання вертикальних відхилень палей відносно осі конструкції.

Математична інтерпретація має наступний вигляд:

$$\Delta x_i = l_i$$

Δx_i – відхилення, мм;

l_i – відлік по шкалі.

Для оцінки висотних відхилень ми використали формулу:

$$\Delta h_i = H_i - H_0$$

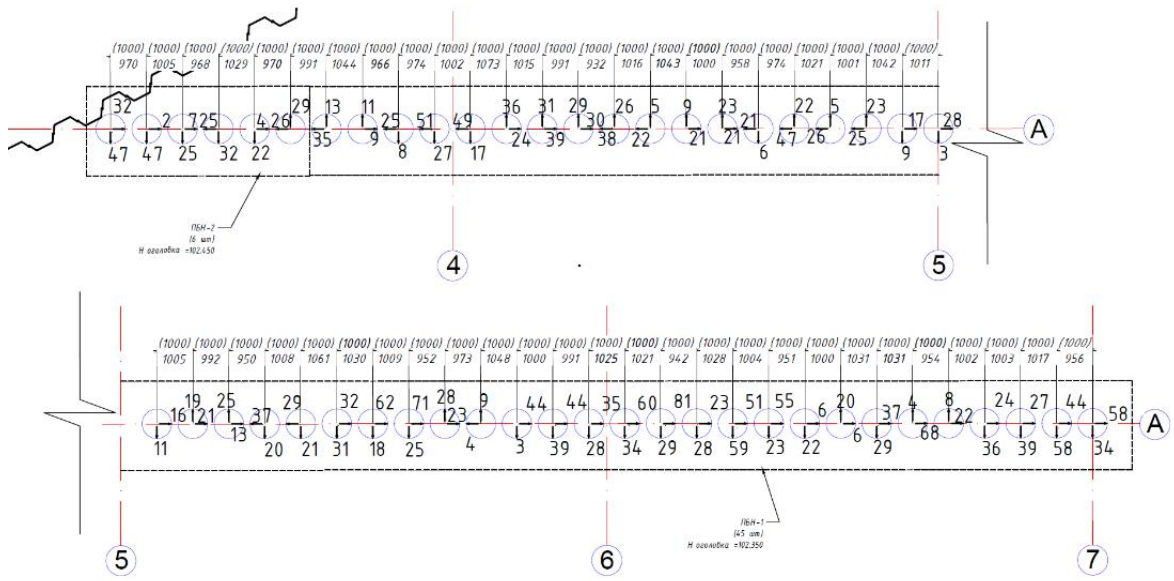
Δh_i – відхилення від проектних розмірів, мм;

H_i – фактична висота споруди;

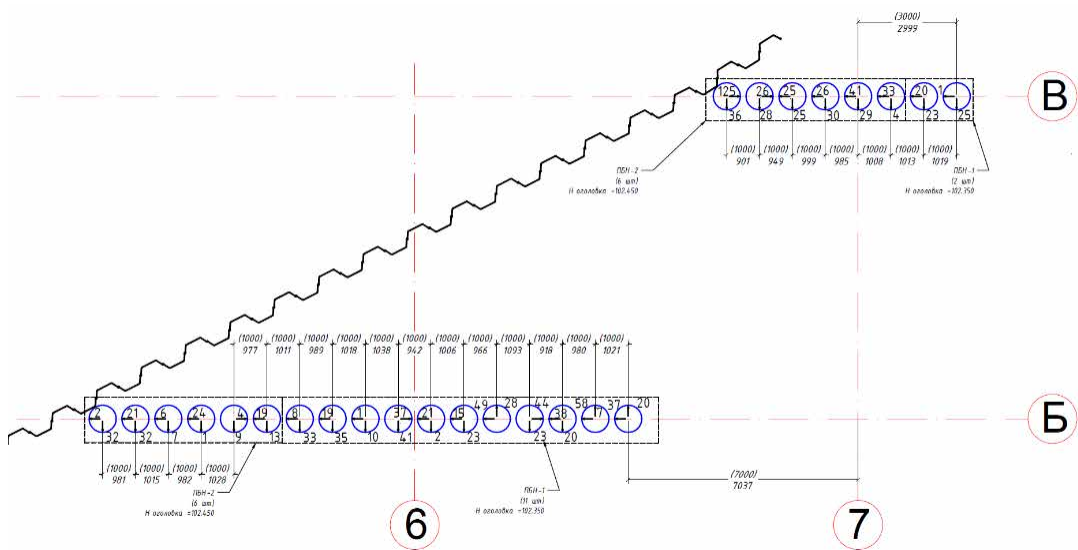
H_0 – проектна висота споруди.

Результати спостережень були занесені у відповідні відомості та подані у додатку Ж.

За результатами проведених вимірювань та із використанням пакету програм AutoCAD були виготовленні схеми влаштування буронабивних палей ПБН -1, ПБН -2 у межах частини будівельної опорної мережі обмеженої поздовжніми осями - А-А, В-В та поперечними осями – 4-4, 8-8. Детально дивитися рисунок 3.14 (а,б,в). та додатки З,К,Л.



a



б

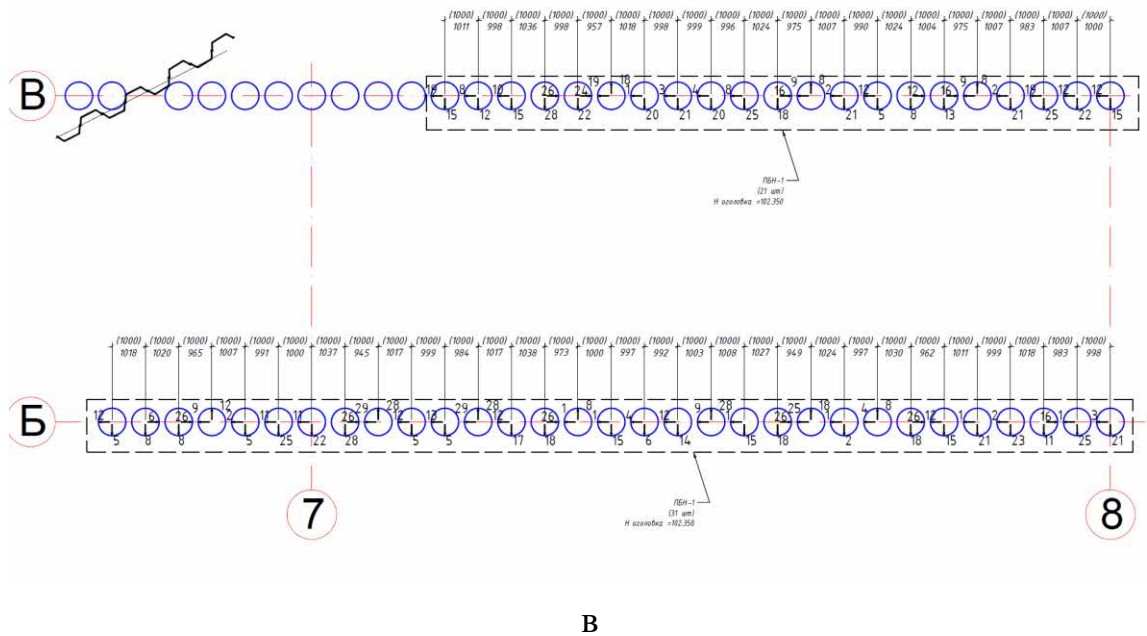


Рис. 3.14. Схема облаштування паль будівельного майданчика

Так у межах поперечної осі А-А було закладено 45 паль типу ПБН -1 та 6 паль типу ПБН – 2. У межах осі Б-Б закладено 42 палі типу ПБН -1 та 6 паль типу ПБН – 2. У межах осі В-В закладено 23 палі типу ПБН -1 та 6 паль типу ПБН – 2.

Так нами визначені максимальні вертикальні поздовжні відхилення Δx_{\max} лежать у межах ± 60 мм. Середні ж показники $\Delta x_{\text{сер}}$ для ПБН -1 становить $+3,0$ мм та $\Delta x_{\text{сер}}$ для ПБН -2 становить $-0,4$ мм. Фактичні висоти буронабивних паль відхиляються від проєктних висоти $\Delta h_{\max} \pm 93$ мм. Середні показник висотних відхилень для ПБН -1 становить $\Delta h_{\text{сер}} +0,5$ мм, для паль ПБН -2 становить $-1,4$ мм.

Таким чином, запропонована технологічна схема в значній мірі сприяє підвищенню ефективності і надійності буронабивних паль у водонасичених ґрунтах та створить основу розробки технологічних карт при виконанні даного виду робіт, що у подальшому сприятиме підвищенню експлуатаційних характеристик залізобетонних конструкцій та мостового переходу в цілому.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі обґрунтовано проведення комплексу інженерно-геодезичних робіт при будівництві мостового переходу в умовах м. Києва.

При написанні роботи мною для досягнення мети були поставлені завдання та отримані такі результати, а саме:

проаналізовано нормативно-правове заперечення виконання комплексу геодезичних робіт при будівництві, обслуговуванні та моніторингу мостів. Встановлено, що в Україні проведення геодезичних робіт при виконанні будівельних робіт регулюється законами, Національними стандартами України, Державними будівельними нормами України. Також визначальними є рішення органів державної влади та місцевого самоврядування, адже через систему прийнятих рішень, програм розвитку, затвердження проектної документації можливо реалізувати архітектурний задум;

визначено комплекс топографо-геодезичних робіт при зведенні мостових переходів. Встановлено, що в умовах міста для забезпечення будівельно-монтажних робіт застосовують тригонометричне нівелювання та відповідні тахеометр, що дає змогу побудувати планово-висотну основу – опорну геодезичну мережу та розмічувальну мережу безпосередньо на будівельному майданчику;

досліджено результати виконання інженерно-геодезичних спостережень при облаштуванні буронабивних паль. Встановлено, що від вибору способу будівництва паль, залежатиме точність та відхилення при будівництві. Так нами визначені максимальні вертикальні поздовжні відхилення Δx_{\max} лежать у межах ± 60 мм. Середні ж показники $\Delta x_{\text{сер}}$ для ПБН -1 становить $+ 3,0$ мм та $\Delta x_{\text{сер}}$ для ПБН -2 становить $-0,4$ мм. Фактичні висоти буронабивних паль відхиляються від проектних висоти $\Delta h_{\max} \pm 93$ мм. Середні показник висотних відхилень для ПБН -1 становить $\Delta h_{\text{сер}} +0,5$ мм, для паль ПБН -2 становить $-1,4$ мм. Отримані результати моніторингу є задовільними для даного виду будівельних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text> (дата звернення: 22.02.2025).
2. Каракай, С.В. Міські мостові переходи України і безпека руху / С.В. Каракай. - К.: КНУБА, 2004. - 159 с.
3. Інженерна геодезія: Монографія / П. І. Баран. - К.: ПАТ «ВІПОЛ», 2012. - 618 с.
4. ДСТУ-Н Б В.13.-1. Виконання вимірювань, розрахунок та контроль точності геометричних параметрів. Настанова. - К.: Мінрегіонбуд України, 2010. - 122 с.
5. Бачишин Б.Д. Б32 Інженерна геодезія : навч. посіб. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2020. – 196 с.
6. Войтенко С. П. Геодезичні роботи в будівництві / С. П. Войтенко. Київ: КНУБА, 1993. 135 с.
7. Пшінько О. М., Радкевич А. В., Нетеса М. І., Нетеса А. М. Технологія спеціальних робіт: навчальний посібник. – Дніпро: Журфонд, 2020. – 432с.
8. П.М. Зазуляк, В.І. Гавриш, Е.М. Євсєєва, М.Д. Йосипчук Основи математичного опрацювання геодезичних вимірювань: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво «Растр-7» , 2007. – 408 с.
9. Законом України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність»;
10. 1. Батракова А.Г., Кузьмін В.І. Інженерно-геодезичний моніторинг і контроль в будівництві, частина І. Геодезичні роботи при будівництві мостових переходів: навч.посіб. Харків: ХНАДУ, 2018. 116 с.

11. Дорошко Є.В. Обґрунтування доцільності єдиноформатної технології автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань / Є.В. Дорошко, Е.В. Захарова, Г.С. Саркісян, П.Б. Міхно // Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник. Сер.: Технічні науки та архітектура. 2021. Вип. 6 (166). С. 8187.

12. Інноваційні технології у галузі геодезії, землеустрою та проектування: монографія. Харків : ХНАДУ, 2021. 486 с.

13. Як змінювалася вартість будівництва Подільсько-Воскресенського мосту в Києві. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/10/25/infografika/finansy/yak-zminyuvalasya-vartist-budivnyctva-podilsko-voskresenskoho-mostu-kyievi> КИЇВСЬКА МІСЬКА РАДА. URL: <https://kmr.gov.ua/sites/%20default/files/ukr.pdf>

14. Як в Києві добудовують найбільший аروحний міст в Європі. URL: <https://apostrophe.ua/ua/news/society/kyev/2019-10-12/kak-v-kieve-dostravayut-samyj-bolshoj-arochnyj-most-v-evrope-v-seti-pokazali-zrelischnye-foto/177043>

15. Розпорядження від 13.10.2021 р. N 2152 Київ «Про перезатвердження проекту "Будівництво Подільського мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві»

16. ДСТУ 9154:2021 «Настанова з виконання геодезичних робіт у дорожньому будівництві» URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=96552.

17. ДБН В.1.3-2:2010 «Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві». URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199637436816688486?doc_type=2.

18. Технологія встановлення буронабивних паль. URL: <https://techtronic.com.ua/tehnologiya-vstanovlennya-buronabivnix-pal/>

19. «Правилами виконання вимірювання параметрів будинків і споруд». URL: <https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/dstu-n-b-v13-1->

2009-vikonannya-vim%D1%96ryuvan-rozrahunok-ta-kontrol-tochnost%D1%96-geometricnih-parametr%D1%96v-nastanova.pdf]

20. Ратушняк Г.С. Геодезичне забезпечення будівництва. URL: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/2023heodez\(2016\)/p1.html](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/2023heodez(2016)/p1.html)

21. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення.

22. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

23. Сучасні геодезичні прилади, які використовують під час будівництва, реконструкції та ремонтних робіт автомобільних доріг. URL: <https://dorndi.org.ua/ua/suchasni-geodezichni-priladi-yakivikoristovuyuty-pid-chas-budivnictva-rekonstrukciyi-ta-remontnih-robit-avtomobilynih-dorig>.

ДОДАТКИ

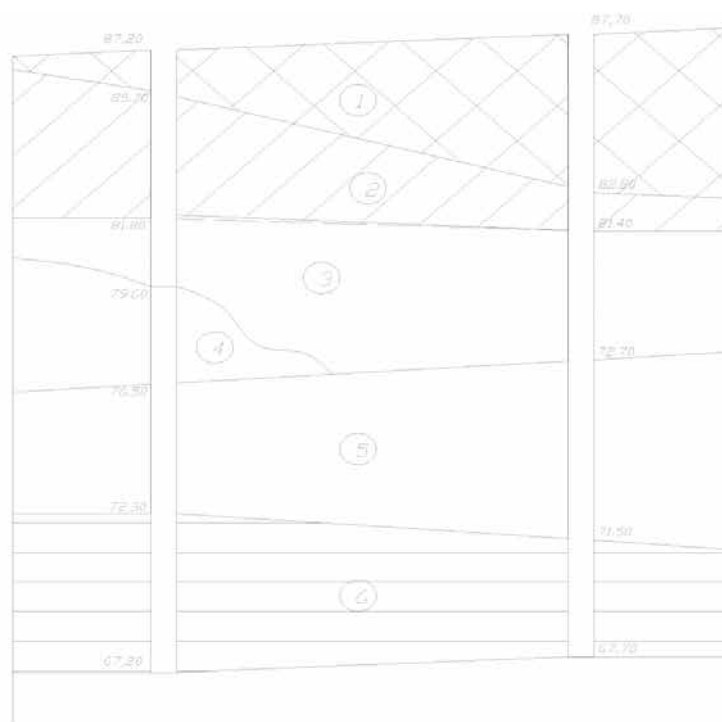


Рис. 2.1 Інженерно-геологічний розріз

- 1 – Насипний ґрунт: асфальт, щебінь, супісок, суглинок із будівельним сміттям;
 2 – супісок бурий, жовтий з коріннями дерев, із гніздами піску; 3 – Пісок жовтий, пилуватий, середньої щільності додаванням супіску; 4 – Пісок дрібний, жовтий, середньої щільності з додаванням і з прошарками щебню піщаника; 5 – Пісок середньої крупності із включеннями гравію і уламків піщанику; 6 – Глина жовто-сіра, шарувата, з мікропрошарками пилуватого піску.

УМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Таблиця А.1 – Умови забезпечення точності кутових вимірювань

Процеси, умови вимірювання, тип приладів	Середні квадратичні похибки результатів кутових вимірювань				
	3"	5"	10"	15"	30"
Середні квадратичні похибки центрування	0,5 мм		1 мм		3 мм
Метод центрування кутомірного приладу і візирних цілей	Оптичним центриром або примусове центрування		Оптичним центриром		Оптичним центриром, виском
Середні квадратичні похибки фіксування пунктів та маркування осей та точок	0,5 мм		1 мм		3 мм
Фіксування центрів пунктів та маркування осей та точок	Рисувалкою		Керном		Олівцем, шпилькою
Кількість прийомів	2				1
Примітка. Теодоліти мають відповідати вимогам ГОСТ 10529.					

Таблиця А.2 – Умови забезпечення точності лінійних вимірювань

Процеси, умови вимірювання, тип приладів	Відносні середні квадратичні похибки лінійних вимірювань				
	$\frac{L}{25000}$	$\frac{L}{15000}$	$\frac{L}{10000}$	$\frac{L}{5000}$	$\frac{L}{2000}$
А. Сталевими рулетками					
Укладання в створ	-	За допомогою теодоліта		Візуально	
Сила натягу вимірювального приладу, H	-	Динамометром, 100		Вручну	
Похибка вимірювання температури для врахування різниці температури компарування і вимірювань, °С	-	Термопара		Термометром	
		0,5		1,0	2,5
Кількість відліків	-	2 пари відліків і 1 зсув			
Провис рулетки	-	Нівелюванням		Візуально	Не враховується
Фіксація проміжних точок	-	Рисувалкою		Керном	Олівцем

Закінчення таблиці А.2

Процеси, умови вимірювання, тип приладів	Відносні середні квадратичні похибки лінійних вимірювань				
	$\frac{L}{25000}$	$\frac{L}{15000}$	$\frac{L}{10000}$	$\frac{L}{5000}$	$\frac{L}{2000}$
Визначення перевищення кінців лінії, що вимірюється	-	Нівелюванням			
Границі допустимої похибки рулеток, мм	Робочий еталон 3-го розряду за ДСТУ 3741 $\Delta = \pm(0,01+0,01 \times (L-1))$		2-й клас точності за ДСТУ 4179 $\Delta = \pm(0,3+0,15 \times (L-1))$		3-й клас точності за ДСТУ 4179 $\Delta = \pm(0,4+0,2 \times (L-1))$
	Б. Тахеометрами, світловіддалемірами або віддалемірами лазерними ручними				
Центрування приладів	Оптичним центриром або примусове центрування		Оптичним центриром		Оптичним центриром або виском
Фіксація центрів знаків	Рисувалкою		Керном		Олівцем, шпилькою
Похибка вимірювання температури повітря, °С	2	4	5	10	20
Похибка вимірювання атмосферного тиску, кПа (мм рт. ст.)	0.5 (4)	0.9 (7)	1.23 (10)	2.7 (20)	6.7 (50)
Визначення перевищення кінців лінії, що вимірюється	Нівелюванням				
Середні квадратичні похибки приладу при вимірюванні згідно ГОСТ 19223-90	$1 + 2 \times D$	$2 + 2 \times D$		$3 + 3 \times D$	$5 + 5 \times D$
<p>Примітка 1. При роботі на монтажному горизонті поправка в довжину рулетки за врахування різниці температури компарування і вимірювань не вводиться.</p> <p>Примітка 2. D – довжина, що вимірюється виражена в кілометрах.</p> <p>Примітка 3. L – довжина, що вимірюється виражена в метрах.</p>					

Таблиця А.3 – Умови забезпечення точності геометричного нівелювання

Умови вимірювання, тип приладів	Середні квадратичні похибки вимірювання перевищення на станції, мм			
	1	2	3	5
Нерівність плечей на станції, м, не більше	5	10	15	25
Максимальна відстань від нівеліра типу Н-05 до інварної рейки, м, не більше	50	60	75	100
Максимальна відстань від нівеліра типу Н-05 до рейки з ціною поділки 1 мм, м, не більше	20	30	40	40
Максимальна відстань від нівеліра типу Н-3 до шашкової рейки, м, не більше	-	20	40	75
Максимальна відстань від нівеліра типу Н-3 до рейки з ціною поділки 1 мм, м, не більше	10	20	-	-
Висота візирного променя над перешкодою, м, не менше	0,3	0,2		0,1
Примітка. Нівеліри мають відповідати вимогам ГОСТ 10528.				

Таблиця А.4 – Умови забезпечення точності передачі позначок на монтажний горизонт геометричним нівелюванням

Умови вимірювання	Середні квадратичні похибки визначення позначок на монтажному горизонті відносно вихідного, мм			
	$10 + 50 \times H$	$6 + 20 \times H$	$4 + 15 \times H$	$2 + 10 \times H$
Висота монтажного горизонту, м	До 15 включно	Понад 15 до 73,5 включно	Понад 73,5 до 100 включно	Більше 100
Нерівність плечей на станції, м, не більше	25	15	10	5
Висота візирного променя над перешкодою, м, не менше	0,1	0,2		0,3
Границі допустимої похибки рулеток, мм	3-й клас точності за ДСТУ 4179		2-й клас точності за ДСТУ 4179	
Взяття відліків на верхньому і нижньому горизонтах	Почергове		Одночасне	
Примітка 1. Поправка у довжину рулетки за врахування різниці температури компарування і вимірювань не вводиться.				
Примітка 2. Максимальні відстані від нівеліра до рейки та рулетки приймаються відповідно за таблицею А.3.				
Примітка 3. H – різниця позначок двох будь-яких монтажних горизонтів виражена в сотнях метрів ($100 \text{ м} = 1$).				

Таблиця А.5 – Умови забезпечення точності передачі познач

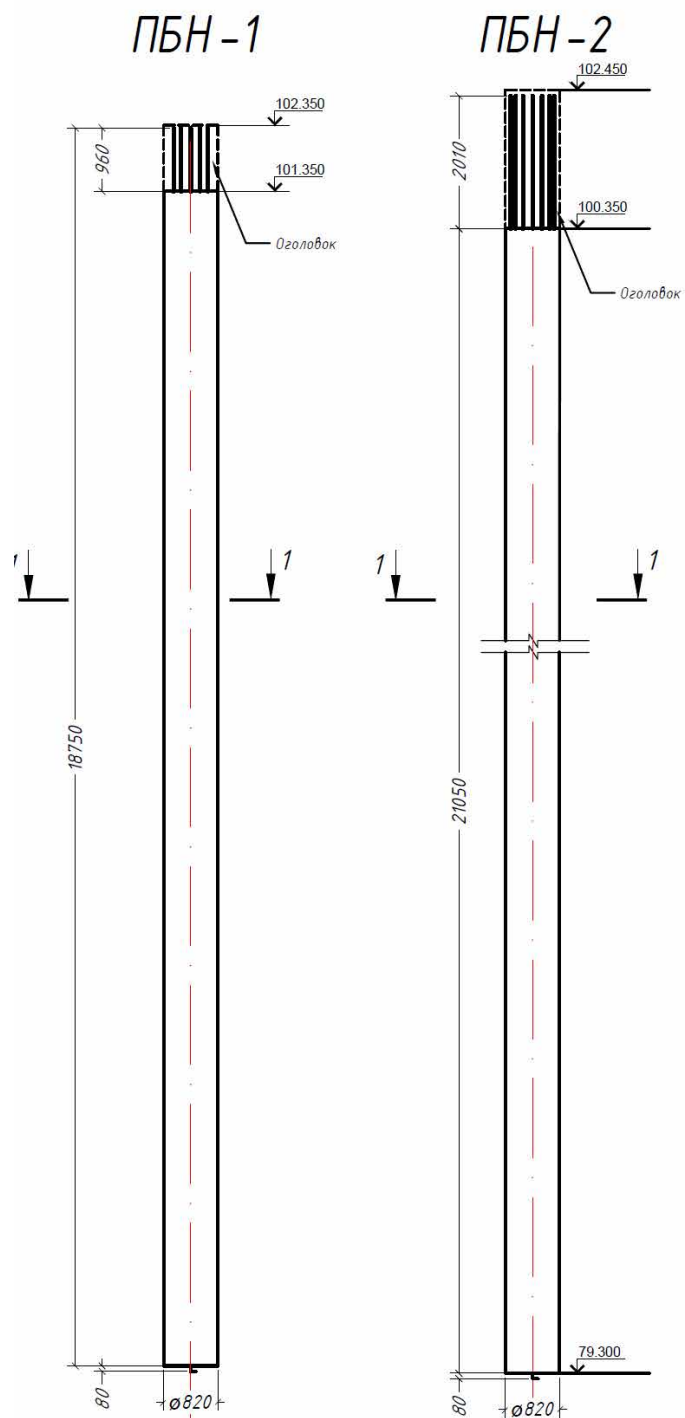
тригонометричним нівелюванням електронним тахеометром або
ручним лазерним віддалеміром

Умови вимірювання	Середні квадратичні похибки визначення познач на монтажному горизонті відносно вихідного, мм			
	$10 + 50 \times H$	$6 + 20 \times H$	$4 + 15 \times H$	$2 + 10 \times H$
Висота монтажного горизонту, м	До 15 включно	Понад 15 до 73,5 включно	Понад 73,5 до 100 включно	Більше 100
Середні квадратичні похибки вимірювань вертикального кута тахеометром	30"	10"	5"	2"
Середні квадратичні похибки вимірювань відстані тахеометром або ручним лазерним віддалеміром, мм	$5 + 5 \times D$	$3 + 3 \times D$	$2 + 2 \times D$	$1 + 2 \times D$
Середні квадратичні похибки вимірювань висоти візирних цілей над репером, мм	5	3	2	1
Висота візирного променя над перешкодою, м, не менше	0,1	0,2		0,3
Границі допустимої похибки рулеток, мм	3-й клас точності за ДСТУ 4179		2-й клас точності за ДСТУ 4 179	
Кількість прийомів	1		2	
Взяття відліків на верхньому і нижньому горизонтах	Почергове			
<p>Примітка 1. Вимірювання виконуються електронним тахеометром з однаковою точністю на відбивачі або відбиваючі плівки встановлені на вихідному і монтажному горизонтах.</p> <p>Примітка 2. У результаті передачі позначки тригонометричним нівелюванням або ручним лазерним віддалеміром повинні вводиться поправки за температурні деформації будівлі відповідно за методикою передбаченою ПВГР.</p>				

Таблиця А.6 – Умови забезпечення точності передачі планових координат точок та осей по вертикалі

Процеси, умови вимірювання	Середні квадратичні похибки передачі планових координат точок та осей по вертикалі, мм			
	$10 + 50 \times H$	$3 + 5 \times H$	$2 + 3 \times H$	$1 + 2 \times H$
Висота проєціювання, м	До 15 включно	Понад 15 до 73,5 включно	Понад 73,5 до 100 включно	Понад 100
Середні квадратичні похибки приладів вертикального проєктування (ПВП), мм, не більше	$3 + 5 \times H$	$1,5 + 2,5 \times H$	$1 + 1,5 \times H$	$0,5 + 1 \times H$
Метод центрування кутомірного приладу і візирних цілей	Оптичним центриром			
Середні квадратичні похибки фіксування пунктів та маркування осей та точок	3 мм	1 мм		0,5 мм
Фіксація точок	Олівцем на гладкій поверхні, палетці		Керном на вихідному горизонті і олівцем на палетці на монтажному горизонті	
Мінімальна відстань від візирного променя до будівельної конструкції, м	0,1		0,05	
СКП вимірювань горизонтального кута тахеометром	30"	5"	-	
Наявність двохосьового компенсатору	ні	так	-	
Кількість прийомів, не менше	1		2	
Примітка. Умови забезпечення точності геодезичних робіт при будівництві експериментальних, унікальних і складних об'єктів і монтажі технологічного устаткування треба визначати в проектній документації та окремому розділі ПВГР.				

Буриабивні палі тип 1 та тип 2



Відомості спостережень Δx_i та Δh_i палів ПБН -1

Вісь	№ палі	ПБН-1 (110 шт)				
		повздожня Δd ,мм	поперечна Δd ,мм	проектний,мм	фактичний,мм	Δh ,мм
А-4	1	-35	13	1000	1044	44
	2	9	11	1000	966	-34
	3	-25	-8	1000	974	-26
	4	-51	-27	1000	1002	2
А-5	1	-49	-17	1000	1073	73
	2	24	36	1000	1015	15
	3	39	31	1000	991	-9
	4	30	29	1000	932	-68
	5	-38	26	1000	1016	16
	6	-22	5	1000	1043	43
	7	21	9	1000	1000	0
	8	21	23	1000	958	-42
	9	-21	6	1000	974	-26
	10	-47	22	1000	1021	21
	11	-26	5	1000	1001	1
	12	-25	23	1000	1042	42
	13	17	-9	1000	1011	11
	14	28	-3	1000	1000	0
	15	16	-11	1000	1005	5
	16	21	19	1000	992	-8
	17	13	25	1000	950	-50
	18	-37	20	1000	1008	8
	19	-29	-21	1000	1061	61
	20	32	-31	1000	1030	30
	21	62	-18	1000	1009	9
	22	71	-25	1000	952	-48
	23	23	28	1000	973	-27
	24	-4	9	1000	1048	48
	25	44	-3	1000	1000	0
	26	44	-39	1000	991	-9
	27	35	-28	1000	1025	25
А-6	1	60	-34	1000	1021	21
	2	81	-29	1000	942	-58
	3	23	-28	1000	1028	28
	4	51	-59	1000	1004	4
	5	55	-23	1000	951	-49
	6	6	-22	1000	1000	0
	7	20	6	1000	1031	31
	8	37	-29	1000	954	-46
	9	4	68	1000	1002	2
	10	8	22	1000	1003	3
	11	24	-36	1000	1017	17
	12	27	-39	1000	1017	17

	13	44	-58	1000	956	-44
	14	58	-34	1000	1000	0
Б-6	1	-8	-33	1000	989	-11
	2	-19	-35	1000	1018	18
	3	-1	-10	1000	1038	38
	4	37	-41	1000	942	-58
Б-7	1	-21	-2	1000	1006	6
	2	-15	-23	1000	966	-34
	3	-49	28	1000	1093	93
	4	44	-23	1000	918	-82
	5	-38	-20	1000	980	-20
	6	-58	17	1000	1024	24
	7	-37	20	1000	1000	0
	8	-12	-5	1000	1018	18
	9	6	-8	1000	1020	20
	10	26	-8	1000	965	-35
	11	-9	12	1000	1007	7
	12	-2	-5	1000	991	-9
	13	-11	-25	1000	1000	0
	14	-11	-22	1000	1037	37
Б-8	1	26	-28	1000	945	-55
	2	-29	28	1000	1017	17
	3	-12	-5	1000	999	-1
	4	-13	-5	1000	984	-16
	5	-29	28	1000	1017	17
	6	-12	-17	1000	1038	38
	7	26	-18	1000	973	-27
	8	-1	8	1000	1000	0
	9	-1	-15	1000	997	-3
	10	-4	-6	1000	992	-8
	11	-12	-14	1000	1003	3
	12	-9	28	1000	1008	8
	13	-1	-15	1000	1027	27
	14	26	-18	1000	949	-51
	15	-25	18	1000	1024	24
	16	-1	-2	1000	997	-3
	17	-4	8	1000	1030	30
	18	26	-18	1000	962	-38
	19	-12	-15	1000	1011	11
	20	-1	-21	1000	999	-1
	21	-2	-23	1000	1018	18
	22	16	-11	1000	983	-17
	23	-1	-25	1000	998	-2
	24	-3	-21	1000	1000	0
Б-8	1	-20	-23	1000	1013	13
	2	-1	-25	1000	1019	19
	3	-19	-15	1000	1011	11

	4	-8	-12	1000	998	-2
	5	-10	-15	1000	1036	36
	6	26	-28	1000	998	-2
	7	24	-22	1000	957	-43
	8	-19	18	1000	1018	18
	9	-1	-20	1000	998	-2
	10	-3	-21	1000	999	-1
	11	-4	-20	1000	996	-4
	12	-8	-25	1000	1024	24
	13	16	-18	1000	975	-25
	14	-9	8	1000	1007	7
	15	-2	-21	1000	990	-10
	16	-12	-5	1000	1024	24
	17	12	-8	1000	1004	4
	18	16	-13	1000	975	-25
	19	-9	8	1000	1007	7
	20	-2	-21	1000	983	-17
	21	-19	-25	1000	1007	7
	22	-12	-22	1000	1000	0
	23	-12	-15	1000	1000	0
	<i>∑</i>	3,0	-8,0	1000,0	1000,5	0,5

Відомості спостережень Δx_i та Δh_i поль ПБН -2

Вісь	№ палі	ПБН-2 (18 шт)				
		повздожня, $\Delta d, \text{мм}$	поперечна, $\Delta d, \text{мм}$	проектний, м	фактичний, м	$\Delta h, \text{м}$
А-4	1	-47	32	1000	970	-30
	2	-47	2	1000	1005	5
	3	-25	7	1000	968	-32
	4	-32	-25	1000	1029	29
	5	-22	4	1000	970	-30
	6	-26	29	1000	991	-9
Б-6	1	-2	-32	1000	981	-19
	2	-21	-32	1000	1015	15
	3	-6	-7	1000	982	-18
	4	-24	-1	1000	1028	28
	5	4	-9	1000	977	-23
	6	-19	-13	1000	1011	11
В-7	1	125	-36	1000	901	-99
	2	26	-28	1000	949	-51
	3	-25	-25	1000	999	-1
	4	-26	-30	1000	985	-15
	5	-41	-29	1000	1008	8
В-8	1	-33	-4	1000	1013	13
	<i>∑</i>	-0,4	-2,2	109,1	107,7	-1,4

