

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

к.е.н., доцент

_____ Оксана МАЛАЩУК

«_____» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти
Освітньої програми «Геодезія та землеустрій»
за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій»

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ
КАПІТАЛЬНОМУ РЕМОНТІ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ШЛЯХОПРОВОДУ (НА ПРИКЛАДІ ДІЛЬНИЦІ
ПОМІЧНА – КОЛОСІВКА, 1135 КМ ПК 1, М. ВОЗНЕСЕНСЬК)

Науковий керівник: к.е.н., доцент

_____ Оксана МАЛАЩУК

Рецензент:

Виконав: здобувач заочної форми навчання

_____ Артем КОЗАРЕНКО

*Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить
результати власних досліджень.*

*Використання ідей і текстів інших авторів
має посилання на відповідне джерело.*

_____ Артем КОЗАРЕНКО

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет геодезії, землеустрою та агроінженерії
Кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру
Освітній рівень другий (магістерський)
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. завідувача кафедри

к.е.н., доцент Оксана МАЛАЩУК

«_____» _____ 202__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

КОЗАРЕНКО АРТЕМУ МИКОЛАЙОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Дослідження геодезичних робіт при капітальному ремонті залізничного шляхопроводу (на прикладі дільниці Помічна – Колосівка, 1135 км ПК 1, м. Вознесенськ).

Керівник проекту: к.е.н., доцент Оксана МАЛАЩУК, затверджена наказом закладу вищої освіти від «_____» _____ 2026р. № _____.

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: матеріали технічного обстеження залізничного шляхопроводу на 1135 км ПК 1 дільниці Помічна–Колосівка в м. Вознесенську Миколаївської області; проектна та робоча документація з капітального ремонту шляхопроводу; паспорт шляхопроводу; креслення існуючого та проектного стану споруди; топографічний план району робіт; матеріали інженерно-геологічних вишукувань.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1. Аналіз нормативно-правових та наукових джерел за темою кваліфікаційної роботи. 2. Характеристика району робіт та досліджуваного залізничного шляхопроводу. 3. Геодезичне забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу. Висновки. Список використаної літератури.

РЕФЕРАТ

Дослідження геодезичних робіт при капітальному ремонті залізничного шляхопроводу (на прикладі ділянки Помічна – Колосівка, 1135 км ПК 1, м. Вознесенськ). КОЗАРЕНКО А.М. Кваліфікаційна робота. ОДАУ, кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру. 2026. 80 с. текстової частини, 5 вкладиші, 6 таблиць, 33 літературних джерел, 5 аркуші графічної частини.

Текстова частина включає: вступ, аналіз нормативно-правових та наукових джерел за темою кваліфікаційної роботи, характеристика району робіт та досліджуваного залізничного шляхопроводу, геодезичне забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу, висновки, список використаної літератури.

Графічна частина включає: ситуаційний план району розташування залізничного шляхопроводу на 1135 км ПК 1 ділянки Помічна–Колосівка, загальний план і конструктивна схема існуючого шляхопроводу, конструктивна схема проєктного залізничного шляхопроводу, проєктна GNSS-мережа району виконання робіт та схема прив'язки об'єкту, проєкт локальної планово-висотної геодезичної мережі залізничного шляхопроводу.

Ключові слова: ЗАЛІЗНИЧНИЙ ШЛЯХОПРОВІД, КАПІТАЛЬНИЙ РЕМОНТ, ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, GNSS, GNSS RTK, ЛОКАЛЬНА ГЕОДЕЗИЧНА МЕРЕЖА, ПЛАНОВО-ВИСОТНА ОСНОВА, ТАХЕОМЕТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ, ГЕОДЕЗИЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ВИКОНАВЧЕ ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗНІМАННЯ, ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ, КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ

Практичне значення роботи полягає у розробленні комплексної схеми геодезичного забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу, яка може бути використана для організації розмічувальних, контрольних та виконавчих геодезичних робіт на об'єкті.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВИХ ТА НАУКОВИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	10
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОБІТ ТА ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ШЛЯХОПРОВОДУ	24
2.1 Фізико-географічна характеристика району робіт	24
2.2 Конструктивна характеристика існуючого залізничного шляхопроводу	30
2.3 Інженерно-геологічні умови ділянки розташування шляхопроводу	36
РОЗДІЛ 3 ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ШЛЯХОПРОВОДУ	42
3.1 Проєктні рішення та організація капітального ремонту залізничного шляхопроводу	42
3.2 Проєктування та формування локальної планово-висотної геодезичної мережі	47
3.3 Методика виконання геодезичних робіт під час капітального ремонту	54
3.4 Геодезичний контроль геометричних параметрів шляхопроводу та оцінювання точності виконаних робіт	61
3.5 Рекомендації щодо підвищення надійності та ефективності геодезичного забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу	70
ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	77

ВСТУП

Загальна постановка проблеми та актуальність теми. Залізничний транспорт є важливою складовою транспортної інфраструктури України, а його безперебійне та безпечне функціонування значною мірою залежить від технічного стану залізничної колії, штучних споруд та інших елементів транспортної інфраструктури. Особливого значення набуває своєчасне проведення капітального ремонту залізничних шляхопроводів, експлуатаційний стан яких безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів та надійність транспортного сполучення.

Капітальний ремонт залізничного шляхопроводу є складним комплексом будівельно-монтажних і відновлювальних робіт, під час виконання яких необхідно забезпечити відповідність фактичного просторового положення конструктивних елементів прийнятим проєктним рішенням. У таких умовах геодезичні роботи є невід’ємною складовою технологічного процесу ремонту. Вони забезпечують створення геодезичної основи, перенесення проєктних рішень у натуру, визначення положення конструктивних елементів, контроль монтажу та відновлення споруди, перевірку геометрії залізничної колії і виконання виконавчого геодезичного знімання. Така комплексна роль геодезичних робіт обґрунтована і в нормативних та наукових джерелах, проаналізованих у першому розділі роботи.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення надійності геодезичного забезпечення ремонтних робіт на залізничних штучних спорудах. Для шляхопроводу важливо контролювати не лише окремі конструктивні елементи, а й їх взаємне просторове положення, положення осі залізничної колії, висотні характеристики, габарити та відповідність фактичних параметрів проєктним значенням. При цьому геодезичне забезпечення повинно бути організоване як послідовна система взаємопов’язаних робіт – від формування вихідної планово-висотної основи до остаточного виконавчого контролю.

Сучасні технології дозволяють поєднувати GNSS-визначення, електронну тахеометрію, геометричне нівелювання, наземне лазерне сканування та цифрове моделювання. При цьому GNSS-технології доцільно використовувати для забезпечення єдності координатного простору, тахеометричні вимірювання – для високоточного локального визначення положення конструкцій, а нівелювання – для контролю висотних параметрів. Такий комплексний підхід є особливо доцільним для залізничного шляхопроводу, де необхідно одночасно контролювати положення колії та конструктивних елементів споруди.

Таким чином, актуальність роботи полягає у необхідності розроблення та обґрунтування комплексної організації геодезичних робіт, яка забезпечує просторову узгодженість ремонтних робіт, контроль геометричних параметрів конструкцій та залізничної колії, а також оцінювання відповідності виконаних робіт проєктним рішенням.

Мета кваліфікаційної роботи: дослідження та обґрунтування комплексу геодезичних робіт при капітальному ремонті залізничного шляхопроводу на 1135 км ПК 1 ділянки Помічна–Колосівка в м.Вознесенську, а також розроблення послідовності геодезичного забезпечення, що забезпечує проєктне положення конструктивних елементів та залізничної колії і контроль їх геометричних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *завдання*:

1. Проаналізувати нормативно-правові та наукові джерела щодо геодезичного забезпечення будівництва, реконструкції та капітального ремонту залізничних споруд.

2. Дослідити сучасні геодезичні методи та технології, які можуть застосовуватися для забезпечення ремонтних робіт на залізничному шляхопроводі.

3. Охарактеризувати район розташування та конструктивні особливості досліджуваного залізничного шляхопроводу.

4. Проаналізувати проєктні рішення та визначити основні конструктивні елементи споруди, що підлягають геодезичному забезпеченню.

5. Сформувати проєктну схему планово-висотного геодезичного забезпечення об'єкта.

6. Розробити локальну планово-висотну геодезичну мережу.

7. Обґрунтувати послідовність геодезичних робіт під час виконання основних етапів капітального ремонту шляхопроводу.

8. Визначити методи геодезичного контролю положення опор, прогонових конструкцій, фундаментів та інших конструктивних елементів споруди.

9. Розробити порядок геодезичного контролю положення залізничної колії та її взаємного положення з конструкціями шляхопроводу.

10. Виконати порівняння проєктних і розрахунково-контрольних геометричних параметрів споруди та оцінити характер можливих відхилень.

11. Сформувати рекомендації щодо підвищення надійності та ефективності геодезичного забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу.

Об'єкт дослідження: геодезичне забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу на 1135 км ПК 1 ділянці Помічна–Колосівка в місті Вознесенську Миколаївської області.

Предмет дослідження: методи, технологічні операції та організаційні рішення щодо створення геодезичної основи, виконання розмічувальних робіт, геодезичного контролю конструктивних елементів і залізничної колії, виконавчого геодезичного знімання та оцінювання відповідності геометричних параметрів шляхопроводу проєктним рішенням

Методи дослідження. У роботі використано аналітичний, графічний, геодезичний та розрахунково-порівняльний методи дослідження. Аналітичний метод застосовано для опрацювання нормативно-правових і наукових джерел, аналізу вимог до геодезичного забезпечення та визначення доцільних методів вимірювань. Графічний метод використано під час аналізу

топографічних і проєктних матеріалів, формування схеми локальної планово-висотної мережі та визначення положення її пунктів. Розрахункові методи застосовано для визначення взаємного положення пунктів геодезичної мережі, перевірки її геометричної узгодженості, визначення довжин і координатних різниць, а також оцінювання відхилень геометричних параметрів шляхопроводу. Геодезичні методи передбачають використання GNSS-визначень, електронної тахеометрії та геометричного нівелювання залежно від конкретного етапу ремонтних робіт і необхідної точності. Зокрема, тахеометричні вимірювання передбачено використовувати для визначення положення характерних точок конструкцій та залізничної колії, а геометричне нівелювання – для контролю висотних відміток.

Практична значущість роботи полягає у розробленні комплексної схеми геодезичного забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу, яку може бути використано як основу для організації геодезичних робіт на аналогічних об'єктах.

Практичним результатом роботи також є запропонована технологічна послідовність геодезичних робіт, яка охоплює контроль вихідної геодезичної основи, розмічування осей споруди, контроль виконання будівельно-монтажних робіт, виконавче знімання та порівняння фактичних параметрів із проєктними. Такий порядок забезпечує безперервний геодезичний супровід капітального ремонту від підготовчого етапу до остаточного контролю відремонтованої споруди.

Результати дослідження можуть бути використані під час планування та організації інженерно-геодезичних робіт при ремонті залізничних шляхопроводів, а також як методична основа для контролю геометричних параметрів конструкцій і положення залізничної колії.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВИХ ТА НАУКОВИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Геодезичне забезпечення будівництва, реконструкції та капітального ремонту транспортних споруд є важливою складовою інженерно-геодезичного забезпечення будівельного виробництва. Особливого значення ці роботи набувають під час ремонту залізничних шляхопроводів, оскільки такі об'єкти поєднують конструктивні елементи штучної споруди із залізничною колією, а їх експлуатація відбувається в умовах значних статичних і динамічних навантажень. Тому геодезичні роботи при капітальному ремонті повинні забезпечувати не лише визначення просторового положення окремих конструкцій, але й контроль їх геометричних параметрів, відповідності проєктним рішенням та стабільності в процесі виконання ремонтних робіт.

Специфіка залізничної інфраструктури визначає необхідність урахування нормативних вимог, що регламентують технічний стан і ремонт залізничної колії та штучних споруд. Нормативні документи залізничної галузі передбачають проведення різних видів ремонтних робіт, зокрема капітального ремонту колії, а також робіт із капітального ремонту штучних споруд. Капітальний ремонт пов'язаний із відновленням або посиленням основних конструктивних елементів та потребує відповідного геодезичного контролю їхнього положення [24].

Метою даного огляду є систематизація нормативно-правових вимог та аналіз сучасних наукових підходів до геодезичного забезпечення капітального ремонту залізничних шляхопроводів, виявлення прогалин у дослідженнях та обґрунтування напрямів подальшого дослідження на прикладі дільниці Помічна–Колосівка.

Нормативно-правова база геодезичних робіт при капітальному ремонті залізничних шляхопроводів. Правові засади функціонування транспортної галузі визначаються *Законом України «Про транспорт»* [27] та *Законом України «Про залізничний транспорт»* [23]. Вони формують загальну правову основу функціонування залізничного транспорту, його інфраструктури та організації відповідних робіт. Геодезична складова робіт регламентується *Законом України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність»* [26], який визначає правові засади здійснення топографо-геодезичної та картографічної діяльності в Україні. Окреме значення має *Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»* [25], оскільки достовірність результатів геодезичних вимірювань безпосередньо залежить від метрологічних характеристик використовуваних приладів, дотримання встановлених процедур вимірювань та контролю їх результатів.

Теоретичною основою геодезичної діяльності є система стандартизованих термінів і визначень. Відповідно до *ДСТУ 2393-94 «Геодезія. Терміни та визначення»*, геодезичні поняття охоплюють комплекс положень, пов'язаних із визначенням форми та розмірів Землі, просторового положення точок земної поверхні, виконанням вимірювань та створенням картографічних матеріалів. Використання уніфікованої термінології є важливою передумовою однозначного трактування результатів геодезичних вимірювань та оформлення технічної документації [18].

Безпосередньо організація інженерно-геодезичних вишукувань регламентується *ДБН А.2.1-1:2014 «Інженерні вишукування для будівництва»*. Положення цього документа визначають загальні вимоги до складу, організації та виконання інженерних вишукувань, отримання вихідних даних про територію та об'єкти, а також формування матеріалів за результатами виконаних робіт [12]. Для досліджуваного шляхопроводу положення щодо інженерних вишукувань мають принципове значення, оскільки геодезична інформація про фактичне положення конструктивних елементів споруди є вихідною основою для прийняття технічних та

ремонтних рішень. При цьому геодезичні роботи повинні бути взаємопов'язані з технологічною послідовністю виконання капітального ремонту.

Особливе місце у нормативному забезпеченні займає *ДБН В.1.3-2:2010 «Геодезичні роботи у будівництві»*. Документ встановлює загальні правила проєктування, виконання та приймання геодезичних робіт під час будівництва, реконструкції та технічного переоснащення об'єктів будівництва. Відповідно до положень ДБН, геодезичне забезпечення охоплює комплекс заходів, спрямованих на забезпечення відповідності геометричних параметрів споруди проєктній і нормативній документації, а геодезичний контроль передбачає перевірку просторового положення та геометричних параметрів конструкцій на різних етапах виконання робіт [14].

Важливим положенням нормативної бази є необхідність взаємного узгодження геодезичних робіт із технологічною послідовністю будівельно-монтажних процесів. Геодезичне забезпечення не обмежується початковою топографічною зйомкою, а повинно охоплювати створення та згущення геодезичної розмічувальної мережі, виконання розмічувальних робіт, контроль геометричних параметрів конструкцій, виконавчі знімання та підготовку відповідної документації. Таким чином, геодезичні вимірювання мають розглядатися як постійна складова технологічного процесу ремонту або реконструкції споруди [14].

Важливе значення має також питання точності геодезичних вимірювань. ДБН В.1.3-2:2010 передбачає вибір методів і засобів вимірювань залежно від необхідної точності визначення геометричних параметрів. У проєкті виконання геодезичних робіт мають бути визначені планово-висотна розмічувальна мережа, способи виконання робіт, розрахунок точності та відповідне геодезичне обладнання [14]. Для капітального ремонту шляхопроводу це означає необхідність диференційованого підходу до точності: для окремих конструктивних елементів можуть встановлюватися більш жорсткі вимоги, ніж для загального топографічного знімання території. Тому вибір методу вимірювань повинен здійснюватися з

урахуванням призначення результату: вихідне знімання, розмічування, контроль монтажу, виконавче знімання або моніторинг деформацій.

Окремо слід відзначити значення виконавчої геодезичної документації. ДБН В.1.3-2:2010 передбачає складання виконавчої геодезичної документації за завершеними етапами будівельного виробництва та для конструктивних елементів об'єкта. Така документація дозволяє зафіксувати фактичне просторове положення виконаних конструкцій та порівняти його з проєктними значеннями. Для залізничного шляхопроводу виконавче знімання доцільно розглядати як один із ключових результатів геодезичного забезпечення капітального ремонту. Воно може охоплювати визначення фактичних координат і висот характерних точок конструкцій, положення осі колії, відміток рейок, положення опор і прогонових будов, геометричних параметрів мостового полотна та інших елементів, передбачених проєктною документацією [14].

При застосуванні супутникових технологій доцільно враховувати ДСТУ ISO 17123-8:2018 *«Оптика та оптичні прилади. Процедури польових випробувань геодезичних та топографічних приладів. Частина 8. Приймачі ГНСС, що працюють у режимі вимірювань у реальному часі (RTK)»*. Зазначений стандарт має безпосереднє значення для оцінювання працездатності та точності GNSS-приймачів, які можуть застосовуватися під час визначення координат характерних точок залізничного шляхопроводу [19]

ДБН В.1.2-14:2018 *«Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»* встановлює класи наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва. Визначення класу наслідків для досліджуваного шляхопроводу безпосередньо впливає на вимоги до точності та надійності геодезичних робіт, а також на склад і обсяг геодезичної документації [13].

ДБН В.2.3-6:2009 *«Мости та труби. Обстеження і випробування»* поширюється, зокрема, на мости, що розташовані на залізницях, і встановлює загальні правила їх обстеження та випробування. Документ передбачає

отримання даних про фактичний стан конструкцій, їх геометричні характеристики, дефекти, деформації та результати інструментальної зйомки. Для технічного звіту передбачаються креслення, схеми, результати інструментальних вимірювань, дані випробувань та аналіз отриманих результатів [16].

Важливе значення має ДБН В.2.3-19:2018 *«Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проєктування»*, який регламентує вимоги до залізничних споруд і параметрів залізничної інфраструктури. Його положення доцільно використовувати під час аналізу геометричних параметрів залізничної колії та конструктивних елементів шляхопроводу [15].

Специфіка об'єкта дослідження потребує врахування галузевих нормативних документів, що регламентують технічний стан і ремонт залізничної колії та штучних споруд. Основним з них є *«Правила утримання та ремонту колії (ЦП-0269)»*, які визначають види, періодичність та обсяги ремонтних робіт на залізничній колії, включаючи капітальний ремонт. Цей документ безпосередньо впливає на планування геодезичних робіт, оскільки визначає технологічну послідовність ремонтних операцій та вимоги до геометричних параметрів колії після завершення ремонту [33].

«Правила технічної експлуатації залізниць України» встановлюють загальні вимоги до технічного стану залізничної колії та штучних споруд, що є основою для контролю якості ремонту. Вони визначають граничні норми утримання колії, допуски на відхилення геометричних параметрів, що мають враховуватися під час геодезичного контролю [22].

Зазначені положення нормативно-правової бази мають безпосереднє значення для дослідження геодезичних робіт при капітальному ремонті залізничного шляхопроводу, оскільки дозволяють розглядати геодезичне забезпечення не як окрему операцію, а як систему взаємопов'язаних робіт, що супроводжує весь технологічний цикл ремонту від вихідного обстеження та створення геодезичної основи до розмічування, контролю монтажу конструкцій і виконавчого знімання.

Таким чином, у контексті капітального ремонту залізничного шляхопроводу геодезичні вимірювання мають виконувати дві взаємопов'язані функції: отримання вихідної просторової інформації про фактичний стан споруди та забезпечення геодезичного контролю ремонтних робіт. Такий підхід є особливо важливим для споруд, експлуатаційні характеристики яких можуть змінюватися внаслідок осідань, деформацій, температурних впливів, зміни навантаження або втручання в конструктивну схему під час ремонту.

У науковій літературі значна увага приділяється питанням визначення геометричних параметрів залізничної колії. Одним із традиційних напрямів є визначення координат осі колії, поздовжнього профілю, ширини колії, підвищення зовнішньої рейки, ухилів та інших параметрів. Геометричні параметри колії визначають умови взаємодії рухомого складу із залізничною інфраструктурою, а тому їх контроль є необхідною складовою геодезичного забезпечення ремонтних робіт.

Методичні питання геодезичного забезпечення будівельних робіт розглянуто у праці *Г. С. Ратушняка, О. Д. Панкевича, Ю. С. Бікса та Т. Ю. Вовка «Геодезичне забезпечення будівництва»*. Автори розглядають питання створення геодезичної основи, розмічувальних робіт, визначення положення конструктивних елементів та контролю виконання будівельних робіт [28].

Особливе значення для теми дослідження має праця *Хільчевського, Гнатишина та Полянського «Геодезичні роботи при будівництві та реконструкції лінійних споруд»*. Специфіка лінійних споруд полягає у необхідності забезпечення просторової узгодженості окремих елементів уздовж значної протяжності об'єкта. Для залізничного шляхопроводу це проявляється у взаємному положенні осі колії, прогонових будов, опор, підходів до споруди та інших конструктивних елементів [32].

Геодезичні методи та технології для залізничних об'єктів. Сучасні дослідження демонструють поступовий перехід від використання окремих геодезичних приладів до інтегрованих технологій, що поєднують GNSS,

електронну тахеометрію, високоточне нівелювання, наземне лазерне сканування та цифрове моделювання.

Одним із найбільш поширених напрямів є застосування GNSS-технологій для визначення просторового положення залізничної колії. *Akpınar* та *Gülal* запропонували мультисенсорну систему геодезичного контролю геометрії залізничної колії, яка поєднує GNSS-приймач, електронний тахеометр, інклінометр та датчики лінійних переміщень. За допомогою такої системи можуть одночасно визначатися ширина колії, підвищення, ухил та координати осі колії. Автори розглядають інтегровану систему як альтернативу традиційним геодезичним методам контролю геометрії залізничної колії [1].

Подальше дослідження цих авторів було присвячене визначенню геометрії залізничної колії із застосуванням адаптивної фільтрації Калмана. Запропонований підхід дозволяє обробляти результати вимірювань геометричних параметрів колії та визначати координати її осі. Автори наголошують на можливості оперативного визначення ширини колії, підвищення, ухилу та просторового положення осі [2].

Порівняльний аналіз точності різних методів показує, що мультисенсорні системи забезпечують вищу точність порівняно з традиційними методами, особливо в умовах інтенсивного руху, проте потребують складнішого калібрування та опрацювання даних.

Подальший розвиток супутникових технологій дозволив перейти від дискретних вимірювань окремих точок до мобільних систем визначення положення залізничної колії. *Koc*, *Specht*, *Chrostowski* та *Palikowska* досліджували точність визначення осі залізничної колії за супутниковими вимірюваннями із використанням активної геодезичної мережі. Автори досліджували безперервне супутникове знімання залізничної колії із застосуванням фазового методу та активної геодезичної мережі ASG-EUPOS. Для оцінювання точності використовувався показник поперечного відхилення положення колії (Cross Track Error). Дослідження демонструє можливості застосування GNSS не лише для визначення окремих точок, а й

для контролю просторової геометрії залізничної колії. У роботі аналізувалися відхилення положення осі колії та можливості застосування GNSS для проєктування і контролю її геометричного стану [4].

Важливий напрям сучасних досліджень пов'язаний із визначенням положення осі колії у глобальній системі координат. *Wilk* та співавтори запропонували мобільний метод визначення положення осі залізничної колії із використанням декількох GNSS-приймачів, встановлених на вимірювальній платформі. Автори розглядають окремо глобальні параметри, що визначають положення колії у просторовій системі координат, та локальні параметри, які характеризують взаємне положення елементів колії. Результати досліджень підтверджують перспективність використання багатоприймальних GNSS-систем для високоточного визначення геометрії залізничної колії в динамічних умовах [8]. Для теми даної кваліфікаційної роботи це дослідження має методичне значення, оскільки демонструє можливість визначення відхилень фактичного положення залізничної колії від проєктного положення у просторовій системі координат. Такий підхід може бути використаний при оцінюванні результатів ремонтних робіт на ділянці Помічна–Колосівка, якщо в процесі дослідження передбачено визначення координат осі колії до та після виконання окремих ремонтних операцій.

У 2025 році *Skibicki, Wilk, Koc, Chrostowski* та *ін.* продовжили дослідження багатоприймальних GNSS-систем для мобільного визначення положення осі залізничної колії. У статті, опублікованій у *Remote Sensing*, запропоновано алгоритм контролю геометрії системи кількох GNSS-приймачів під час мобільних вимірювань положення осі колії. Автори підкреслюють значення високоточної діагностики положення колії для контролю її геометричних параметрів і забезпечення можливості підвищення швидкості руху [7].

Дослідження застосування RTK GNSS для визначення геометрії осі залізничної колії проводили *Gogoliński* та *Uznański*. Автори порівнювали результати RTK GPS-вимірювань із результатами полярної зйомки,

виконаної високоточним електронним тахеометром. Результати експериментальних досліджень показали можливість використання RTK GNSS для визначення положення осі залізничної колії та контролю її геометричних параметрів [3].

За результатами порівняльного аналізу, GNSS-методи забезпечують точність визначення положення осі колії на рівні 1-3 см у плані, що є достатнім для більшості завдань капітального ремонту, проте поступаються тахеометричним методам за точністю визначення висот (похибка GNSS-визначень висоти може сягати 2-5 см, що в 2-3 рази більше порівняно з точним нівелюванням). У той же час GNSS забезпечує значно вищу продуктивність (можливість визначати до 10-20 точок за хвилину безперервного знімання проти 2-5 точок при тахеометричній зйомці).

Поряд із супутниковими технологіями важливу роль у геодезичному забезпеченні залізничної інфраструктури продовжують відігравати електронні тахеометри. Їх перевагою є можливість отримання високоточної просторової інформації в умовах, де застосування GNSS обмежене або неможливе. Для шляхопроводу особливе значення це має під конструкціями споруди, поблизу опор, у місцях із затіненням супутникового сигналу та під час виконання локальних високоточних розмічувальних робіт. Зокрема, для роботи в тунелях, під мостовими конструкціями, поблизу високих споруд та в умовах обмеженої супутникової видимості доцільним є застосування роботизованих тахеометричних систем. У мультисенсорних системах геометричного контролю залізничної колії тахеометр може використовуватися спільно з GNSS-приймачем, що забезпечує взаємне доповнення методів [1].

Питання геодезичного моніторингу залізничних мостів досліджували також *Psimoulis*, *Stiros* та *Moschas*. На прикладі залізничного мосту *Gorgopotamos* у Греції автори застосували роботизований електронний тахеометр для визначення реакції конструкції на проходження поїздів за різних умов. Результати показали можливість використання геодезичних

спостережень для виявлення просторових переміщень конструкції та дослідження взаємодії ґрунтової основи і мостової споруди [6].

Сучасні дослідження також демонструють ефективність інтеграції електронних тахеометрів із сенсорними системами. Wyszalek та співавтори розробили систему для моніторингу статичних і динамічних переміщень залізничних мостів, у якій тахеометричні вимірювання доповнюються інклінометрами та акселерометрами. Особлива увага приділяється визначенню вертикальних переміщень конструкції під час проходження поїздів. Такий комплексний підхід дозволяє оцінювати реакцію конструкції на рухомі навантаження та підвищує інформативність моніторингових спостережень [9].

Подальший розвиток цього підходу представлений у роботі Olaszek, Wyszalek, Sala та Kokot, присвяченій моніторингу статичних і динамічних переміщень залізничних мостів із використанням інерційних сенсорів. Дослідники розглядають комплексне вимірювання реакції конструкції на рухомі навантаження, що дозволяє отримувати інформацію про її фактичну поведінку під час проходження поїздів [5].

Тахеометричний метод забезпечує найвищу точність визначення координат окремих точок (похибка 1-2 мм на відстані до 100 м), проте є значно менш продуктивним (вимірювання однієї точки займає 20-40 секунд) порівняно з GNSS та лазерним скануванням. Застосування роботизованих тахеометрів дозволяє автоматизувати процес вимірювань і підвищити продуктивність до 5-10 точок за хвилину, що робить їх придатними для моніторингу динамічних процесів.

Окремий напрям досліджень становить геодезичний моніторинг мостів і шляхопроводів. Необхідність такого моніторингу пов'язана з тим, що під час експлуатації конструкції можуть виникати осідання, крени, горизонтальні зміщення, прогини та інші деформації. Геодезичні методи дозволяють безпосередньо визначати просторові зміщення конструктивних елементів і встановлювати їх динаміку в часі.

Значний потенціал для геодезичного забезпечення капітального ремонту має наземне лазерне сканування (TLS). На відміну від традиційних дискретних вимірювань, лазерне сканування дозволяє отримувати щільну тривимірну інформацію про конструкцію та формувати хмару просторових точок. Це створює можливість визначати фактичні геометричні параметри конструкції, виявляти відхилення від проєктної геометрії, формувати 3D-модель та порівнювати результати знімання, виконаного в різні моменти часу.

У роботах, наведених у дослідженні *Бачишина*, зокрема *Gawronek* та *Makuch*, розглядається використання TLS під час статичних випробувань залізничного мосту. Це демонструє перспективність лазерного сканування для отримання просторової інформації про деформації конструкцій та оцінювання їхньої реакції на навантаження [11].

Бачишин досліджував короткоперіодичні деформації мосту в місті Рівне із застосуванням електронного тахеометра та розглядав геодезичний моніторинг як складову інформаційної системи мостової споруди. Автор також наводить низку досліджень, присвячених застосуванню наземного лазерного сканування та фотограмметричних методів для моніторингу мостів. В роботі наголошується на необхідності геодезичного моніторингу для забезпечення безпечного функціонування мостових споруд, у тому числі тих, що є складовими автомобільної та залізничної транспортної інфраструктури [11].

Ще одним перспективним напрямом є використання фотограмметрії та цифрового 3D-моделювання. Фотограмметричні методи дозволяють отримувати геометричну інформацію про конструкції за серією цифрових зображень і можуть бути ефективними для документування фактичного стану шляхопроводу, створення тривимірної моделі, визначення геометричних параметрів та порівняння стану споруди в різні періоди.

Лазерне сканування забезпечує щільність точок до 1-5 мм на поверхні конструкцій, що дозволяє виявляти деформації з точністю до 2-5 мм, проте вимагає значного обсягу обчислювальних ресурсів для обробки даних (хмари

точок об'ємом до 100-500 млн точок на один об'єкт). Фотограмметричні методи є більш доступними і дозволяють отримувати 3D-моделі з точністю 5-20 мм залежно від якості знімання та програмного забезпечення, що робить їх придатними для документування стану конструкцій, але менш точними для високоточних вимірювань.

Сучасна тенденція полягає не в заміні традиційних геодезичних методів одним новим методом, а в інтеграції різних технологій. GNSS забезпечує визначення положення в єдиній системі координат, електронний тахеометр – високоточні локальні вимірювання, нівелювання – точне визначення перевищень і висот, лазерне сканування – щільне тривимірне представлення поверхні, а фотограмметрія – оперативне отримання цифрової просторової інформації.

Такий комплексний підхід особливо доцільний при капітальному ремонті залізничного шляхопроводу, оскільки дозволяє поєднати геодезичний контроль положення колії, конструктивних елементів і деформацій споруди. При цьому результати різних методів можуть використовуватися для взаємного контролю та підвищення надійності отриманої інформації.

Порівняльна характеристика методів за критеріями точності, продуктивності та вартості наведена в таблиці 1.1.

Геодезичний моніторинг залізничних шляхопроводів. Окремий напрям досліджень становить геодезичний моніторинг мостів і шляхопроводів. Необхідність такого моніторингу пов'язана з тим, що під час експлуатації конструкції можуть виникати осідання, крени, горизонтальні зміщення, прогини та інші деформації. Геодезичні методи дозволяють безпосередньо визначати просторові зміщення конструктивних елементів і встановлювати їх динаміку в часі.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика методів геодезичних вимірювань
для залізничних об'єктів

Метод	Точність	Продуктивність	Основні переваги	Основні обмеження
<i>Тахеометрія</i>	1-2 мм (на 100 м)	2-10 точок/хв	Висока точність, локальні вимірювання	Потреба в прямій видимості, низька продуктивність
<i>GNSS (RTK)</i>	1-3 см (план), 2-5 см (висота)	10-20 точок/хв	Висока продуктивність, глобальна прив'язка	Залежність від супутникового сигналу, обмеження в умовах затінення
<i>Наземне лазерне сканування</i>	2-5 мм (на відстані до 100 м)	До 1 млн. точок/с	Висока щільність даних, детальне моделювання	Висока вартість, великий обсяг даних
<i>Фотограмметрія</i>	5-20 мм	Висока (знімання за 10-30 хв)	Доступність, швидкість, візуалізація	Залежність від умов освітлення, менша точність
<i>Геометричне нівелювання</i>	0,5-1 мм/км	Низька	Найвища точність визначення висот	Лише для висотних вимірювань, низька продуктивність

В Україні питання геодезичного моніторингу мостових споруд досліджували В. Староверов та О. Адаменко. У їхніх роботах розглядається організація геодезичного моніторингу мостів та необхідність отримання достовірної інформації про просторові зміщення конструкцій [30].

Сучасні дослідження підтверджують ефективність поєднання GNSS із традиційними геодезичними методами для визначення горизонтальних і вертикальних зміщень інженерних споруд та формування цифрових моделей їхнього стану [17].

Досвід геодезичного забезпечення ремонту мостів в Україні. Важливий внесок у розвиток методики інженерно-геодезичного забезпечення мостових споруд зробили А. Г. Батракова та В. І. Кузьмін, які розглянули питання геодезичних робіт при будівництві мостів у навчальному посібнику «Інженерно-геодезичний моніторинг і контроль у будівництві». Видання

систематизує питання створення геодезичної основи, виконання розмічувальних робіт, геодезичного контролю та моніторингу мостових споруд [10].

Практичний досвід виконання інженерно-геодезичних робіт під час реконструкції мостів в Україні також представлений у кваліфікаційних роботах. Зокрема, у роботі С. Пілінського розглянуто геодезичне забезпечення реконструкції мосту із застосуванням GPS-приймача, електронного тахеометра, наземного лазерного сканування та 3D-моделювання. Такий комплекс методів є близьким за технологічною логікою до завдань дослідження капітального ремонту залізничного шляхопроводу [21].

Подібну структуру має магістерське дослідження геодезичного забезпечення ремонтно-будівельних робіт при реконструкції мостів, у якому розглянуто топографо-геодезичне знімання, характеристики геодезичних приладів, опрацювання тахеометричних вимірювань та створення тривимірної моделі мосту [29].

Висновки. Проведений аналіз нормативних документів та наукових досліджень дозволяє зробити такі висновки:

1. Нормативна база геодезичних робіт при капітальному ремонті залізничних шляхопроводів є комплексною та включає загальнобудівельні норми (ДБН В.1.3-2:2010, ДБН В.1.2-14:2018, ДБН В.2.3-6:2009) та галузеві документи (ЦП-0269, ПТЕ). Вона визначає основні вимоги до точності, складу та обсягу геодезичних робіт, проте не містить єдиного уніфікованого підходу до геодезичного забезпечення саме капітального ремонту залізничних шляхопроводів.

2. Сучасні методи геодезичних вимірювань (GNSS, електронна тахеометрія, наземне лазерне сканування, фотограмметрія) мають різні точностні та продуктивні характеристики. Найвищу точність забезпечують тахеометричні методи та геометричне нівелювання, проте вони є менш продуктивними. GNSS-методи забезпечують високу продуктивність і глобальну прив'язку, але поступаються за точністю висотних вимірювань.

Лазерне сканування та фотограмметрія дозволяють отримувати щільну просторову інформацію, проте потребують значного обсягу обчислювальних ресурсів. Оптимальним підходом є інтеграція різних методів для виконання конкретних завдань на різних етапах ремонту.

3. Незважаючи на значну кількість досліджень, недостатньо вивченим залишається питання комплексної організації геодезичних робіт саме під час капітального ремонту залізничного шляхопроводу з одночасним контролем геометрії колії, конструктивних елементів споруди та відповідності фактичних параметрів проєктним рішенням. Також відсутній системний підхід до вибору методів і засобів вимірювань для різних етапів капітального ремонту з урахуванням конкретних умов об'єкта.

4. З огляду на виявлені прогалини, доцільним є проведення дослідження на конкретному об'єкті – ділянці Помічна–Колосівка, 1135 км ПК 1, у м. Вознесенську. Практичне спрямування роботи полягає у визначенні оптимальної послідовності геодезичних робіт, виборі відповідних методів вимірювань, оцінюванні точності отриманих результатів та формуванні геодезичного забезпечення, придатного для контролю виконання робіт із капітального ремонту шляхопроводу.

Таким чином, аналіз наукових і нормативних джерел показує, що сучасне геодезичне забезпечення капітального ремонту транспортних споруд повинно базуватися на комплексному використанні геодезичних методів. Традиційні тахеометричні та нівелірні вимірювання забезпечують високу точність локального контролю, GNSS-технології дають можливість визначати положення об'єктів у єдиній просторовій системі координат, а наземне лазерне сканування та 3D-моделювання забезпечують детальне просторове представлення конструкції. Для залізничного шляхопроводу особливого значення набуває поєднання контролю геометричних параметрів колії з визначенням просторового положення та деформацій конструктивних елементів споруди.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОБІТ ТА ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ШЛЯХОПРОВОДУ

2.1 Фізико-географічна характеристика району робіт

Виконання геодезичних робіт під час капітального ремонту залізничного шляхопроводу потребує попереднього вивчення фізико-географічних та інженерно-географічних умов району розташування об'єкта. Природні умови території, характер рельєфу, гідрографічна мережа, геологічна будова, ґрунтовий покрив, кліматичні особливості та характер сучасного землекористування безпосередньо впливають на організацію польових геодезичних робіт, вибір місць розташування пунктів геодезичної основи, умови виконання вимірювань та забезпечення необхідної точності результатів.

Досліджувана територія розташована в межах міста Вознесенська Миколаївської області. Місто Вознесенськ розташоване у західній частині Миколаївської області, у районі впадіння річки Мертвовод у Південний Буг, приблизно за 89 км від обласного центру м. Миколаєва. Місто є важливим транспортним вузлом регіону, через який проходять автомобільні та залізничні сполучення.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є залізничний шляхопровід, розташований на 1135 км ПК 1 діляниці Помічна–Колосівка в межах міста Вознесенська. Картографічне положення об'єкта наведено на рис. 2.1. На схемі показано взаємне розташування міста Вознесенська, залізничної лінії, автомобільної дорожньої мережі, річки Мертвовод та безпосередньої ділянки розміщення шляхопроводу.

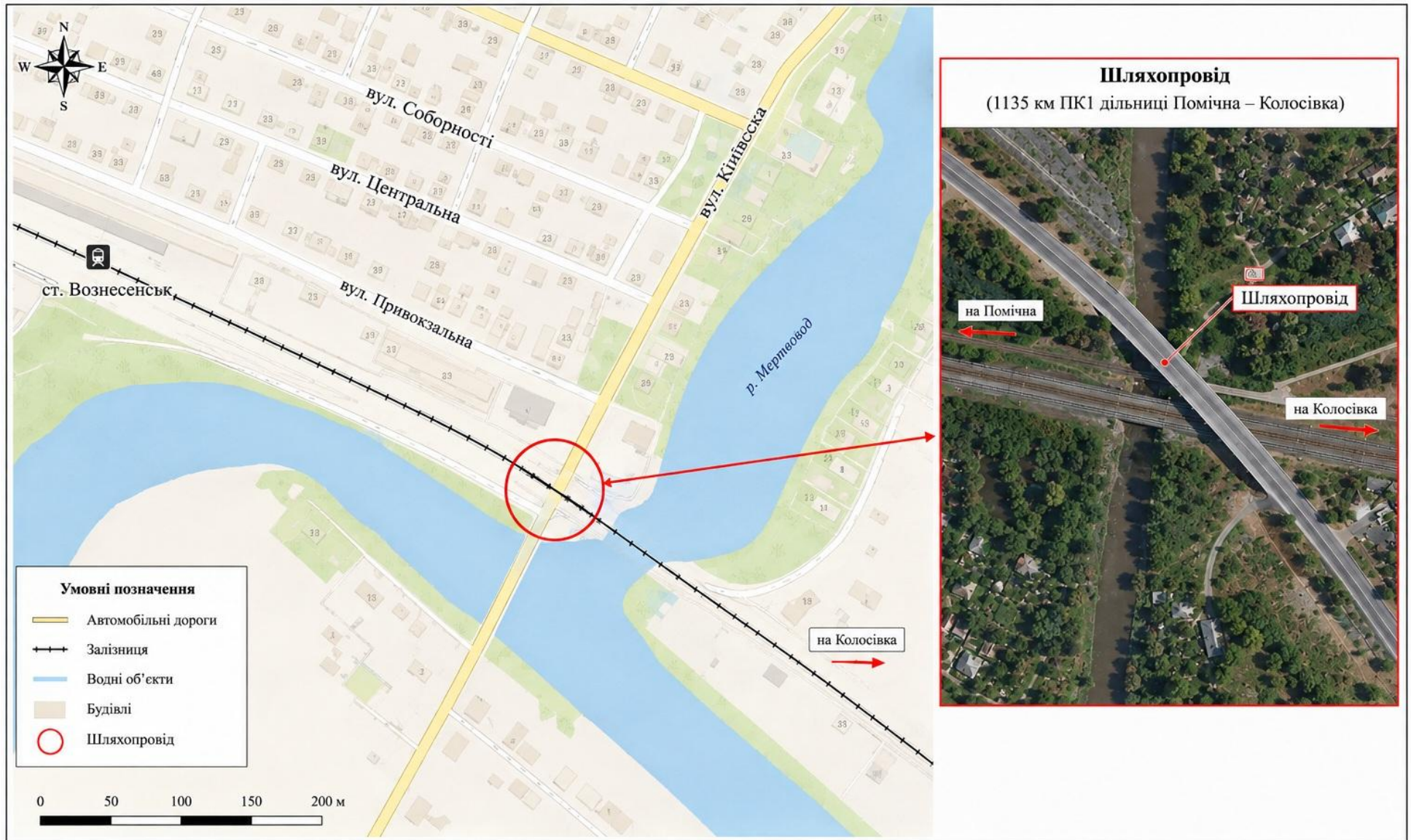


Рисунок 2.1 – Місцезорешування залізничного шляхопроводу на 1135 км ПК 1 дільниці Помічна–Колосівка

Розташування об'єкта в межах міської території визначає специфіку виконання геодезичних робіт. На відміну від відкритих ділянок залізничної мережі, територія в районі шляхопроводу характеризується поєднанням природних та антропогенних елементів: автомобільної дороги, залізничної колії, контактної мережі, інженерних комунікацій, забудови та інших техногенних об'єктів. Така ситуація потребує попереднього обстеження території перед виконанням геодезичних вимірювань та врахування можливих обмежень видимості, доступу і безпечного розміщення геодезичного обладнання.

Рельєф та геоморфологічні умови. Територія міста Вознесенська розташована в межах південної частини Придніпровської височини та прилеглих до неї рівнинних територій. Основними рельєфоутворювальними чинниками є денудаційні процеси, а також ерозійно-аккумулятивна діяльність місцевих річок та водойм. Для району характерний хвилястий рівнинний рельєф, розчленований долинами річок, балками та ярами. У межах Вознесенського району поверхня представлена переважно хвилястою лесовою рівниною з широкими долинами, балками та ярами; місцями трапляються вузькі каньйоноподібні долини. Ділянка вишукувань розташована на верхніх алювіальних терасах міжріччя Південного Бугу та Мертвоводу. Рельєф території пологий, а майданчик частково сформований насипними ґрунтами.

Такі особливості рельєфу необхідно враховувати під час виконання геодезичних робіт, оскільки перепади висот та нахили поверхні можуть впливати на вибір місць розташування пунктів геодезичної мережі, умови взаємної видимості між пунктами та методику виконання висотних вимірювань.

При цьому безпосередня геометрія конструктивних елементів шляхопроводу та їхні висотні характеристики розглядаються окремо в п. 2.2, а результати геодезичних вимірювань – у розділі 3.

Гідрографічні умови. Важливою природною особливістю району є розташування міста Вознесенська в межах басейну Південного Бугу. Безпосередньо поблизу об'єкта проходить річка Мертвовод, яка є лівою притокою Південного Бугу. Довжина річки становить 114 км, площа водозбірного басейну – 1774 км². Долина річки переважно трапецієподібна, її ширина місцями досягає 3 км, а заплава в нижній течії розширюється до 1–1,5 км.

Гідрографічний фактор необхідно враховувати під час організації польових геодезичних робіт, оскільки водотік, заплавні ділянки та пов'язані з ними особливості рельєфу можуть впливати на доступність окремих ділянок, умови прокладання геодезичних ходів та вибір місць закріплення геодезичних пунктів. Крім того, розташування шляхопроводу в районі перетину транспортних комунікацій з природними елементами території підвищує вимоги до організації геодезичного контролю просторового положення конструктивних елементів споруди.

Кліматичні умови. Район м. Вознесенська характеризується помірно континентальним кліматом, властивим степовій частині півдня України. Для території характерні тепле літо, відносно м'яка зима та нерівномірний розподіл атмосферних опадів впродовж року. Середньорічна температура повітря становить +9,1°C, середня температура найтеплішого місяця (липня) – +21,5°C, найхолоднішого (січня) – (–3,8°C). Річна кількість опадів становить 420–450 мм. Переважним напрямком вітру взимку є північний, а влітку – північно-західний. Середня швидкість вітру становить 2,2 м/с улітку та 2,9 м/с узимку.

Метеорологічні умови необхідно враховувати під час організації польових геодезичних робіт. Температура повітря, опади, вітер та видимість можуть впливати на умови виконання вимірювань і роботу геодезичного обладнання. Особливо це стосується високоточних тахеометричних та висотних вимірювань, які виконуються на відкритих ділянках транспортної інфраструктури. За несприятливих погодних умов доцільним є перенесення

окремих високоточних вимірювань або виконання повторних спостережень після стабілізації умов.

Рослинність та характер сучасного землекористування. Район міста Вознесенська належить до степової природної зони. Природна рослинність території значною мірою трансформована господарською діяльністю. У долинах річок та на схилах збереглися ділянки лучної та степової рослинності, а також окремі лісові масиви. У межах міста переважають антропогенно змінені території: житлова забудова, вулично-дорожня мережа, промислові та комунальні об'єкти, залізнична інфраструктура та зелені насадження.

Для геодезичних робіт характер рослинності має значення насамперед через її вплив на взаємну видимість між пунктами та можливість виконання вимірювань. Деревна рослинність, окремі будівлі та інженерні споруди можуть обмежувати лінії візування та ускладнювати доступ до окремих ділянок. Остаточний вибір місць розташування робочих і контрольних пунктів тому повинен здійснюватися з урахуванням результатів рекогносрування території.

Транспортна та інженерна характеристика району робіт. М. Вознесенськ має важливе транспортне значення для регіону. Через місто проходять автомобільні маршрути, а також залізнична інфраструктура, до складу якої входить дільниця Помічна–Колосівка.

Безпосередньо в районі досліджуваного об'єкта поєднуються залізнична та автомобільна інфраструктура. Шляхопровід забезпечує їх перетин у різних рівнях. Досліджувана ділянка розташована в умовах міської забудови, що визначає підвищені вимоги до організації польових геодезичних робіт.

У зоні шляхопроводу наявні залізнична колія, контактна мережа, автомобільна дорога, кабельні лінії сигналізації та зв'язку, а також система відведення поверхневих вод. Наявність таких об'єктів необхідно враховувати

при плануванні польових геодезичних робіт, виборі місць встановлення приладів і організації безпечного доступу до точок вимірювання.

Окреме значення має те, що геодезичні роботи виконуються в зоні функціонування залізничного транспорту. Тому під час проведення польових вимірювань необхідно забезпечити безпеку геодезичної бригади, недопущення перешкоджання руху транспорту та збереження встановлених геодезичних пунктів.

Вплив фізико-географічних умов території на організацію геодезичних робіт. Узагальнюючи характеристику району, можна зазначити, що умови розташування шляхопроводу визначають низку вимог до організації геодезичного забезпечення. Узагальнений вплив основних природних і техногенних факторів на організацію геодезичних робіт наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – *Вплив фізико-географічних умов території на виконання геодезичних робіт*

Фактор	Характеристика району	Вплив на геодезичні роботи
Рельєф	Хвиляста рівнинна поверхня, долини, балки	Впливає на висотні вимірювання та вибір пунктів
Гідрографія	Річка Мертвовод та її долина	Обмеження доступу, необхідність контролю висот
Забудова	Урбанізована територія Вознесенська	Обмеження видимості та доступу
Залізнична інфраструктура	Електрифікована залізниця	Підвищені вимоги до організації польових робіт
Автомобільна мережа	Перетин із автомобільною дорогою	Необхідність забезпечення безпеки
Інженерні мережі	Контактна мережа, кабелі зв'язку та сигналізації	Необхідність попереднього рекогностування
Рослинність	Зелені насадження, окремі лісові ділянки	Можливі перешкоди для візування
Ґрунтові умови	Переважно чорноземні ґрунти	Необхідність стабільного закріплення пунктів
Клімат	Помірно континентальний	Вплив погодних умов на точність та організацію вимірювань

Таким чином, район розташування досліджуваного залізничного шляхопроводу характеризується поєднанням природних і техногенних

факторів, які необхідно враховувати під час виконання геодезичних робіт. Особливістю об'єкта є його розташування в межах міської території та одночасно в зоні функціонування залізничної й автомобільної інфраструктури. Це обумовлює необхідність попереднього рекогносцювання території, ретельного вибору місць розташування геодезичних пунктів, забезпечення їхньої стабільності та організації безпечного виконання польових вимірювань.

2.2 Конструктивна характеристика існуючого залізничного шляхопроводу

Досліджуваний об'єкт є залізничним залізобетонним шляхопроводом, розташованим на 1135 км ПК 1 ділянки Помічна–Колосівка в межах міста Вознесенська Миколаївської області. Споруда є складовою залізничної інфраструктури та забезпечує перетин залізничної колії з міською автомобільною дорогою в різних рівнях. Шляхопровід перетинає вул. Михайлівську та розташований на прямій ділянці залізничної колії. Перетин залізничної колії з автомобільною дорогою здійснюється практично перпендикулярно в плані, а поздовжній ухил колії в межах споруди становить 7,1 ‰.

Конструктивні та геометричні характеристики існуючого шляхопроводу визначено за матеріалами технічного обстеження та проєктної документації. Їх аналіз є необхідним для встановлення фактичної схеми споруди, визначення її основних конструктивних елементів та обґрунтування подальшого геодезичного контролю під час виконання капітального ремонту.

Конструктивна схема існуючого шляхопроводу. За конструктивною схемою шляхопровід є двопрогоною залізобетонною спорудою на трьох опорах – № 0, № 1 та № 2. Крайні опори № 0 і № 2 є береговими, а опора № 1 – проміжною. Таким чином, кожна з двох прогонових конструкцій спирається з одного боку на крайню, а з іншого – на проміжну опору. Основними конструктивними елементами споруди є: фундаментні частини,

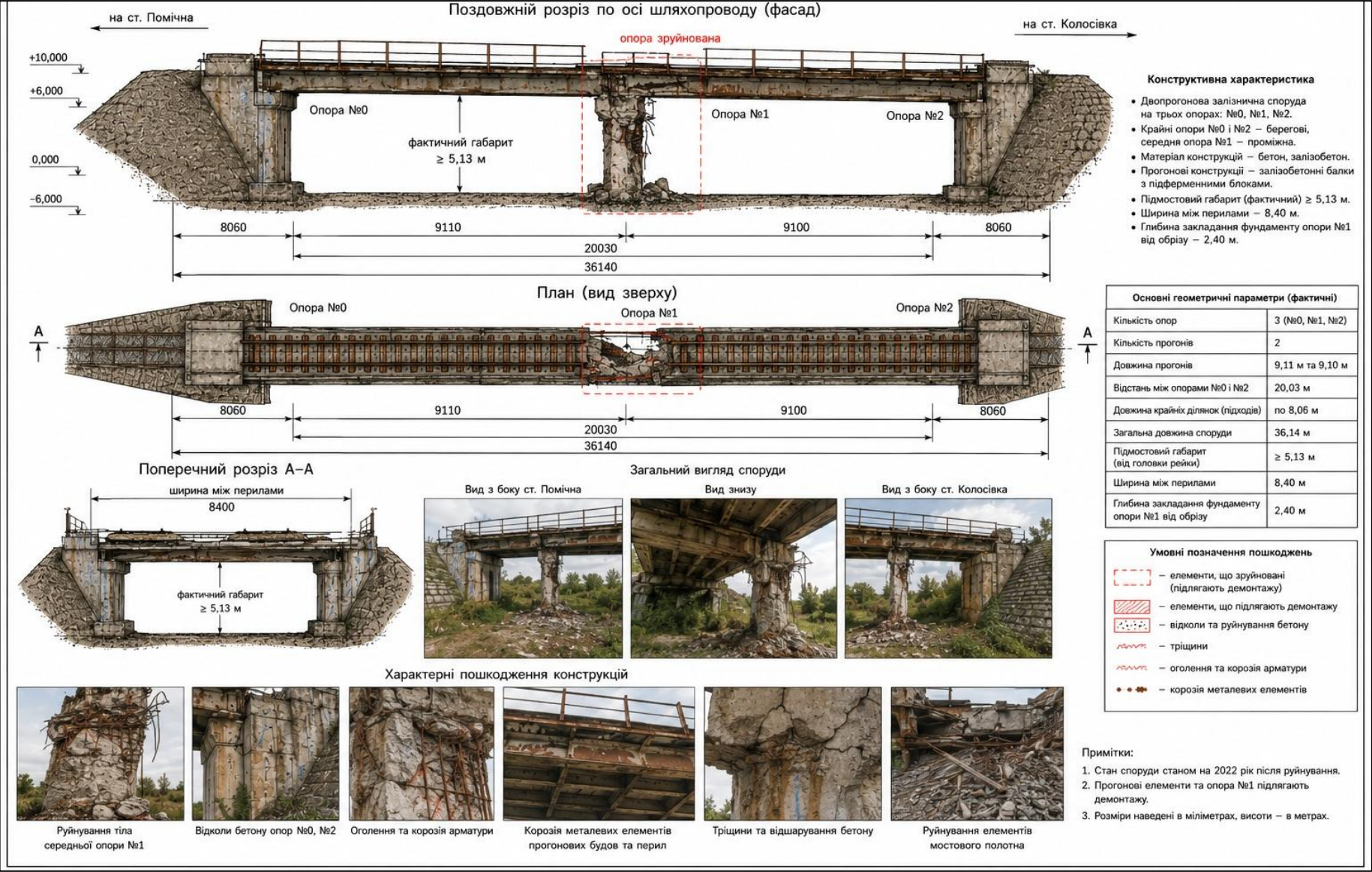
крайні опори № 0 та № 2, проміжна опора № 1, підферменні блоки, опорні частини, прогонові конструкції, мостове полотно, залізнична колія, елементи огороження та супутні конструкції.

Збережені конструктивні елементи шляхопроводу, їхнє взаємне положення та фактичний стан наведені на рис. 2.2. Для узагальнення основних вихідних характеристик існуючого шляхопроводу в табл. 2.2 наведено його основні конструктивні та геометричні параметри.

Таблиця 2.2 – Основні геометричні характеристики існуючого шляхопроводу

Показник	Значення
Тип споруди	Двопрогоновий залізобетонний шляхопровід
Кількість прогонів	2
Кількість опор	3
Номери опор	№ 0, № 1, № 2
Розрахункова схема	2 × 9,25 м
Фактична довжина окремої прогонової конструкції	≈ 9,85 м
Фактичні довжини прогонових ділянок за кресленням існуючого стану	≈ 9,11 м та 9,10 м
Відстань між крайніми опорами за кресленням	≈ 20,03 м
Будівельна висота залізобетонної плити	0,98 м
Підмостовий габарит за висотою	5,13 м
Висота від підосви рейок до обрізу фундаменту	6,46 м
Висота над верхом підферменника	1,32 м
Висота над низом ферми	1,10 м
Поздовжній ухил залізничної колії	7,1 ‰
Глибина закладання фундаментів	2,40 м

Примітка. Геометричні параметри 9,25 м, 9,85 м, 9,11 м та 9,10 м наведені відповідно до матеріалів проєктної документації, технічного обстеження та креслення існуючого стану; вони характеризують різні елементи або способи визначення геометрії споруди і не повинні безпосередньо ототожнюватися.



Джерело: за матеріалами проєктної документації та технічного обстеження.

Рисунок 2.2 – Загальний вигляд та конструктивна схема існуючого залізничного шляхопроводу

Наведені в табл. 2.2 характеристики є вихідними параметрами існуючої споруди, які надалі використовуються для аналізу її конструктивного стану та порівняння з результатами геодезичних вимірювань.

Крайні опори №0 та №2 забезпечують спирання прогонових конструкцій та передають навантаження від споруди на основу. Проміжна опора №1 розташована між двома прогоновими конструкціями та виконує функцію проміжного опорного елемента. Конструкція опор включає надземну частину та фундамент, виконаний на природній основі. Глибина закладання фундаментів становить 2,40 м від обрізу.

Характеристика прогонових конструкцій. Існуючі прогонові конструкції виконані із залізобетонних плит двоблокового типу за типовим проєктом № 557. За матеріалами обстеження довжина окремої прогонової конструкції становить близько 9,85 м, при цьому розрахунковий прогін прийнятий 9,25 м. Будівельна висота залізобетонної плити становить 0,98 м. Зазначені величини характеризують різні геометричні параметри споруди. Значення 9,25 м відповідає розрахунковому прогону, прийнятому в конструктивній схемі, тоді як 9,85 м характеризує фактичну довжину окремої прогонової конструкції за матеріалами обстеження. Тому ці значення не слід безпосередньо ототожнювати. Водночас на кресленні існуючого стану споруди наведено фактичні відстані між конструктивними елементами: загальна відстань між крайніми опорами становить близько 20,03 м, а довжини окремих прогонових ділянок – приблизно 9,11 та 9,10 м. Ці величини характеризують геометричні параметри, визначені безпосередньо за відповідним кресленням існуючого стану, і тому в подальшому повинні розглядатися як окремі вихідні дані виконавчої геодезичної перевірки.

Саме наявність таких відмінностей між розрахунковими, конструктивними та фактичними геометричними параметрами обґрунтовує необхідність виконання інструментальних геодезичних вимірювань під час капітального ремонту.

Опори та фундаментні конструкції. Опори шляхопроводу виконані як масивні конструкції з бутобетонної кладки, фундаменти – на природній основі. Глибина закладання фундаментів від обрізу становить 2,40 м. Опорні частини передбачені тангенціального типу Т1Н та Т1П. За матеріалами технічного обстеження на момент дослідження частина опорних конструкцій була відсутня внаслідок руйнування або демонтажу. Особливе значення для подальшого ремонту має проміжна опора № 1, оскільки саме вона зазнала найбільшого пошкодження. При цьому фундамент проміжної опори істотних пошкоджень не зазнав, що створює передумови для його подальшого використання та відновлення надфундаментної частини відповідно до проєктних рішень. Для геодезичного забезпечення ремонту опори є відповідальними конструктивними елементами, оскільки їх просторове положення визначає положення прогонових конструкцій, залізничної колії та взаємне розташування основних елементів споруди.

Мостове полотно та залізнична колія. Залізнична колія є функціонально та геометрично пов'язаною з прогоновими конструкціями шляхопроводу. Мостове полотно включає баластну призму, залізобетонні шпали та рейки. У межах споруди застосовувалися рейки типу Р65 довжиною 25 м. Ділянка колії в межах споруди є прямою, а її поздовжній ухил становить 7,1 ‰.

За результатами технічного обстеження встановлено, що на момент обстеження мостове полотно в межах шляхопроводу було повністю зруйноване, а залізнична колія на підходах до споруди зазнала пошкоджень. Крім того, на підходах було зафіксовано порушення планового та профільного положення колії. Зазначені обставини мають безпосереднє значення для подальшого геодезичного забезпечення капітального ремонту, оскільки після відновлення прогонових конструкцій і мостового полотна необхідно забезпечити відповідність фактичного положення залізничної колії проєктним геометричним параметрам.

Технічний стан шляхопроводу до проведення капітального ремонту.

Технічне обстеження шляхопроводу проводилося з метою визначення фактичного стану конструкцій, оцінювання можливості їх відновлення, уточнення геометричних параметрів та отримання вихідних даних для розроблення проєктних рішень.

Основною причиною необхідності проведення капітального ремонту стало значне руйнування основних несучих конструкцій шляхопроводу. За матеріалами технічного звіту, внаслідок бойових дій були зруйновані прогонові споруди, опорні частини та проміжна опора № 1. Руйнування проміжної опори відбулося внаслідок вибуху у верхній її частині під прогоновою спорудою. У результаті опора була зруйнована приблизно на половину висоти, а її бетонна частина зазнала значних пошкоджень.

Прогонові споруди були знищені, а мостове полотно в межах шляхопроводу повністю зруйноване. Залізнична колія на підходах до споруди також зазнала пошкоджень. Водночас кінцеві опори-стояни та фундамент проміжної опори № 1 істотних пошкоджень не зазнали. За результатами технічного обстеження експлуатаційний стан споруди визначено як V – непрацездатний, що зумовило необхідність відновлення основних несучих конструкцій.

Серед пошкоджень опор зафіксовано руйнування проміжної опори № 1 приблизно до половини її висоти, силові тріщини та пошкодження бетонної частини. На кінцевих опорах виявлено руйнування захисного шару бетону, недостатню висоту бортів стоян та інші дефекти. Окремо встановлено зміщення блока підферменника відносно шафової стінки на 4 см, яке виникло внаслідок удару прогонової конструкції під час її падіння. Зазначене зміщення є важливою вихідною характеристикою для геодезичного дослідження, оскільки демонструє фактичне порушення просторового положення конструктивного елемента. У зв'язку з цим під час капітального ремонту необхідно передбачити інструментальний контроль планового та висотного положення відповідальних конструкцій.

Таким чином, конструктивний стан шляхопроводу зумовлює необхідність застосування комплексного геодезичного забезпечення, яке охоплює вихідні вимірювання, створення або використання геодезичної основи, розмічувальні роботи, контроль монтажу конструкцій та виконавче знімання.

2.3 Інженерно-геологічні умови ділянки розташування шляхопроводу

Інженерно-геологічні умови ділянки розташування залізничного шляхопроводу є важливою складовою вихідних даних для оцінювання стану споруди, планування ремонтно-відновлювальних робіт та обґрунтування відповідних технічних рішень. Геологічна будова основи, склад і фізико-механічні властивості ґрунтів, гідрогеологічні умови та можливі несприятливі фізико-геологічні процеси безпосередньо впливають на умови роботи фундаментів та опор шляхопроводу.

Для району м. Вознесенська характерне поширення лесових рівнин, розчленованих долинами річок, балками та ярами. У межах Вознесенського району поширені, зокрема, лесові та лесоподібні відклади, а серед корисних копалин зазначаються вапняки, граніти та піски. Ґрунтовий покрив переважно чорноземний.

Для безпосередньої ділянки розташування досліджуваного об'єкта основним джерелом інформації про інженерно-геологічні умови є матеріали інженерно-геологічних вишукувань, виконаних у межах підготовки проєкту капітального ремонту. На відміну від загальної характеристики природних умов району, наведеної в п. 2.1, у цьому пункті розглядаються результати досліджень безпосередньо на майданчику розташування шляхопроводу.

Інженерно-геологічні вишукування на ділянці. У ході польових робіт було виконано рекогносцирувальне обстеження території, ручне буріння двох розвідувальних свердловин СВ-1 та СВ-2 діаметром 127 мм загальною

довжиною 14 пог. м, відбір проб ґрунту порушеної та непорушеної структури, а також планову прив'язку свердловин.

Розташування свердловин визначалося з урахуванням конструктивної схеми шляхопроводу та необхідності отримання інформації про ґрунтову товщу в межах досліджуваної ділянки. Висотні відмітки гирл свердловин становлять 10,30 м для СВ-1 та 10,40 м для СВ-2. Ці дані надалі можуть використовуватися як вихідна інформація під час формування локальної планово-висотної геодезичної основи об'єкта.

Геологічна будова досліджуваної ділянки. Для району робіт характерні четвертинні відклади, серед яких значне поширення мають лесові та лесоподібні суглинки. У регіональному масштабі такі ґрунти можуть характеризуватися зміною фізико-механічних властивостей залежно від вологості та умов навантаження. У зв'язку з цим під час капітального ремонту існуючого шляхопроводу необхідно враховувати можливість нерівномірної деформації основи конструктивних елементів. Особливу увагу слід приділяти ділянкам розташування опор та фундаментів, оскільки зміна їх просторового положення може впливати на геометрію всієї споруди.

За результатами інженерно-геологічних досліджень на майданчику виділено два стратиграфо-генетичні комплекси:

- 1) насипні ґрунти;
- 2) четвертинні алювіальні піски, супіски та суглинки.

Відповідно до матеріалів вишукувань, виділено п'ять інженерно-геологічних елементів (ІГЕ-II–ІГЕ-V), характеристики яких наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні характеристики ґрунтів у межах досліджуваної ділянки

ІГЕ	Літологічна характеристика	Потужність шару, м	Модуль деформації Е, МПа	φ, град.
ІГЕ-II	Пісок мілкий, суглинистий, жовто-бурий	1,7–2,3	20	30
ІГЕ-III	Суглинок легкий, алювіальний	0,4–0,6	9	19
ІГЕ-IV	Супісок алювіальний, пластичний	2,7	5	20
ІГЕ-V	Пісок середньої крупності, водонасичений	до 1,0	30	35

Джерело: складено автором за матеріалами інженерно-геологічних вишукувань.

Наведені характеристики свідчать про неоднорідність ґрунтової товщі в межах досліджуваної ділянки. Зокрема, виділені інженерно-геологічні елементи відрізняються за літологічним складом, потужністю, деформаційними характеристиками та значеннями кута внутрішнього тертя.

Найменше значення модуля деформації встановлено для ІГЕ-IV – пластичного алювіального супіску, для якого Е становить 5 МПа. Найбільше значення серед наведених елементів характерне для ІГЕ-V – водонасиченого піску середньої крупності, для якого Е становить 30 МПа.

Для умов експлуатації та ремонту шляхопроводу зазначена неоднорідність ґрунтів має значення при оцінюванні роботи фундаментів і можливого перерозподілу деформацій у ґрунтовій основі.

Інженерно-геологічні властивості ґрунтів. За результатами проведених досліджень встановлено, що ґрунти досліджуваного майданчика не мають просадних властивостей від власної ваги. Несприятливих фізико-геологічних процесів у межах досліджуваної ділянки не виявлено. Ця

обставина є позитивним фактором для подальшої експлуатації та відновлення споруди, оскільки відсутність встановленої просадності ґрунтів від власної ваги зменшує ймовірність виникнення деформацій основи, пов'язаних саме з цим процесом.

Водночас неоднорідність літологічного складу ґрунтової товщі та різні значення модулів деформації необхідно враховувати під час виконання ремонтно-відновлювальних робіт у зоні фундаментів. Особливої уваги потребує проміжна опора № 1, яка зазнала значних конструктивних пошкоджень і підлягає відновленню. При цьому остаточна оцінка несучої здатності та деформаційних характеристик основи повинна виконуватися відповідно до матеріалів інженерно-геологічних вишукувань та проєктних розрахунків. У межах цієї кваліфікаційної роботи зазначені дані розглядаються як вихідна інформація для організації геодезичного забезпечення ремонту.

Гідрогеологічні умови. Гідрогеологічні умови безпосередньої ділянки визначені за результатами буріння двох свердловин. Ґрунтові води виявлено на глибині 5,4–5,6 м від поверхні землі, при цьому абсолютні відмітки рівня ґрунтових вод становили 4,80–4,90 м. Орієнтовні сезонні коливання рівня ґрунтових вод оцінюються в межах $\pm 1,0$ м від зафіксованого рівня. Водомісткими ґрунтами є супіски ПЕ-IV. За хімічним складом ґрунтові води характеризуються як слабоагресивні щодо бетону марки W4 за вмістом сульфатів та слабоагресивні за вмістом хлоридів.

Наявність ґрунтових вод необхідно враховувати під час виконання робіт поблизу фундаментів, особливо у разі розкриття ґрунтової товщі, проведення земляних робіт або виконання заходів, пов'язаних із відновленням фундаментних конструкцій. Гідрогеологічні умови також мають значення для оцінювання стабільності ґрунтової основи та організації геодезичного контролю під час ремонту. Зміни вологості ґрунту, сезонні коливання рівня ґрунтових вод і проведення земляних робіт потенційно

можуть впливати на стабільність окремих точок, розташованих у зоні будівельних робіт.

Умови основи існуючого шляхопроводу. Інженерно-геологічні умови необхідно розглядати у взаємозв'язку з конструктивною схемою існуючого шляхопроводу. Особливе значення має зона розташування проміжної опори № 1, яка зазнала значного руйнування та підлягає відновленню. Фундамент проміжної опори, за матеріалами технічного обстеження, істотних пошкоджень не зазнав. Це дозволяє розглядати його як один із конструктивних елементів, стан якого необхідно враховувати під час подальшого відновлення опори. Водночас фактичний стан основи та фундаменту повинен оцінюватися в комплексі з результатами інженерно-геологічних вишукувань і технічного обстеження.

Для кваліфікаційної роботи важливим є те, що геологічні умови основи необхідно враховувати і під час організації геодезичних спостережень. Пункти, які використовуються для створення локальної геодезичної мережі, повинні розташовуватися поза межами зон, де виконання земляних робіт, влаштування котлованів, переміщення важкої будівельної техніки або зміна водонасичення ґрунтів можуть спричинити їх переміщення. Саме тому перед використанням будь-яких вихідних точок необхідно оцінити їх стабільність та забезпечити можливість повторного контролю їх положення.

Значення інженерно-геологічних умов для геодезичного забезпечення ремонту. Інженерно-геологічні умови досліджуваної ділянки мають безпосереднє значення для організації геодезичних робіт під час капітального ремонту шляхопроводу. Неоднорідність ґрунтової товщі, наявність водонасичених ґрунтів, сезонні коливання рівня ґрунтових вод та проведення будівельно-монтажних робіт необхідно враховувати при виборі та закріпленні пунктів локальної геодезичної мережі.

Особливо важливо не розміщувати основні геодезичні пункти безпосередньо в зоні майбутніх земляних робіт або можливого переміщення ґрунтового масиву. У разі використання планової та висотної прив'язки

свердловин СВ-1 і СВ-2 як вихідної інформації необхідно враховувати їх фактичне положення та можливість стабільного повторного визначення координат. Самі свердловини при цьому розглядаються передусім як елементи інженерно-геологічних вишукувань, а не як геодезичні пункти.

Такий підхід дозволяє забезпечити взаємну узгодженість інженерно-геологічних та геодезичних даних і створити необхідні передумови для контролю просторового положення конструкцій шляхопроводу в процесі капітального ремонту.

Таким чином, за результатами інженерно-геологічних вишукувань ділянка розташування досліджуваного шляхопроводу характеризується неоднорідною ґрунтовою товщею, представленою насипними ґрунтами та четвертинними алювіальними пісками, супісками і суглинками.

РОЗДІЛ 3

ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ШЛЯХОПРОВОДУ

3.1 Проєктні рішення та організація капітального ремонту залізничного шляхопроводу

Капітальний ремонт досліджуваного залізничного шляхопроводу на 1135 км ПК 1 ділянки Помічна–Колосівка, розташованого в межах м. Вознесенська Миколаївської області, передбачає комплекс взаємопов'язаних будівельно-монтажних та відновлювальних заходів, спрямованих на відновлення експлуатаційної придатності споруди, забезпечення її конструктивної надійності та безпечного пропуску залізничного транспорту. Вихідною основою для визначення складу ремонтних робіт є проєктна документація, яка встановлює конструктивну схему споруди, геометричні параметри основних конструктивних елементів, їх взаємне положення та проєктні висотні характеристики.

З урахуванням проєктних рішень основними об'єктами капітального ремонту є крайні та середня опори, фундамент середньої опори № 1, підферменні блоки, прогонові конструкції, залізнична колія, елементи мостового полотна, водовідвідні конструкції, огороження та окремі елементи залізничної інфраструктури. Паспорт шляхопроводу та робочі креслення використовуються як основні джерела інформації для встановлення геометричних параметрів конструкцій та формування вихідних даних для подальшого геодезичного забезпечення ремонтних робіт.

За проєктним рішенням шляхопровід має двопрогонову конструктивну схему та спирається на три опори: крайню опору № 0, середню опору № 1 та крайню опору № 2. Довжина кожного проєктного прогону становить 9,850 м. Середня опора № 1 забезпечує спирання двох суміжних прогонових конструкцій, у зв'язку з чим її положення має визначальне значення для формування проєктної геометрії всієї споруди.

Основні геометричні параметри проєктного рішення наведено на рисунку 3.1.

Відповідно до креслень, відстань між осями крайніх опор № 0 та № 2 становить 20,020 м, довжина кожного прогону – 9,850 м, а загальна довжина споруди разом із крайніми ділянками становить 36,140 м. Довжина кожної крайньої ділянки від межі споруди до відповідної опори становить 8,060 м. При цьому відстань між осями крайніх опор і довжина двох прогонів є різними геометричними параметрами та під час подальшого контролю повинні розглядатися окремо.

Проєктом передбачено габарит під шляхопроводом не менше 7,10 м, а ширина споруди між перилами становить 8,40 м. Зазначені величини належать до основних проєктних параметрів, відповідність яких підлягає перевірці під час виконання та після завершення ремонтних робіт.

У поперечному розрізі А–А на рисунку 3.1 показано конструктивне розташування залізничної колії на прогоновій будові, положення залізобетонних конструкцій та опорних елементів. Наведений переріз також характеризує просторове співвідношення між колією, несучими конструкціями та прилеглими насипами.

З геодезичної точки зору наведені на кресленні параметри формують систему вихідних проєктних величин, з якими надалі повинні порівнюватися результати фактичних вимірювань. До таких параметрів належать координатне положення осей опор, довжини прогонів, висотні відмітки конструкцій, положення осі залізничної колії, габарит під спорудою та ширина конструкції.

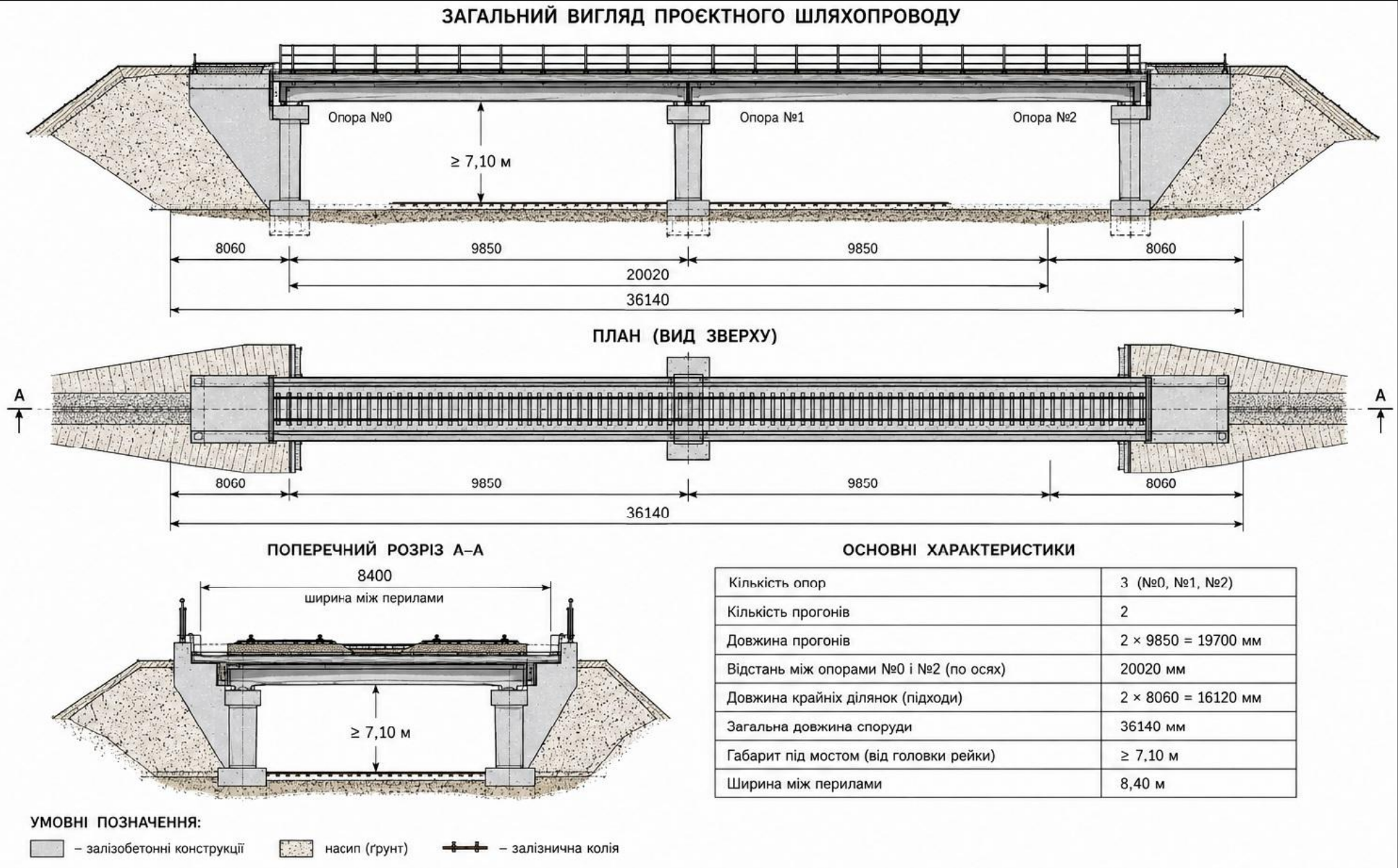


Рисунок 3.1 – Загальна конструктивна схема проєктного залізничного шляхопроводу

Організація основних ремонтних робіт. Одним із найбільш відповідальних елементів капітального ремонту є відновлення середньої опори № 1 та її фундаментної частини. Проектною документацією передбачено виконання робіт, пов'язаних із влаштуванням фундаменту, армуванням, установленням анкерних і закладних елементів та відновленням конструктивної частини опори. Просторове положення середньої опори визначає взаємне положення двох прогонових конструкцій, тому її відновлення повинно здійснюватися відповідно до проектних осей, координат та висотних відміток.

Після підготовки та відновлення опорних зон передбачається монтаж двох прогонових конструкцій. Проектна довжина кожного прогону становить 9,850 м. При їх установленні повинно бути забезпечено відповідне положення відносно осей крайніх і середньої опор, а також проектного положення залізничної колії. Взаємне положення опор і прогонових конструкцій є одним із основних геометричних факторів, що визначають просторову відповідність споруди проектному рішенню.

Наступним етапом є відновлення залізничної колії та елементів мостового полотна. Проектна документація передбачає конструктивне розміщення колії на прогонових будовах. Після виконання ремонтних робіт положення колії повинно відповідати проектним параметрам у плані та за висотою, а також забезпечувати встановлений габарит під спорудою.

Окрему групу робіт становить улаштування та відновлення допоміжних конструкцій, до яких належать водовідвідні елементи та огороження. Для водовідвідних конструкцій важливим є забезпечення їх проектного положення та ухилів, а для огорожень – відповідного планового положення, висоти та взаємного розташування конструктивних елементів. Проектні рішення щодо цих елементів наведені у відповідних кресленнях та специфікаціях.

Крім конструктивних елементів самого шляхопроводу, передбачається відновлення окремих пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ). Їх просторове положення повинно бути узгоджене з відновленими конструкціями шляхопроводу та залізничною колією.

Загальну технологічну послідовність виконання основних ремонтних заходів можна представити у такому вигляді:

- 1) підготовка будівельного майданчика та організація робочої зони;
- 2) виконання передбачених проєктом демонтажних робіт;
- 3) реконструкція фундаменту середньої опори № 1;
- 4) відновлення тіла опори та підферменних блоків;
- 5) підготовка опорних зон до монтажу прогонових конструкцій;
- 6) монтаж прогонових балок БПС;
- 7) улаштування та відновлення елементів мостового полотна;
- 8) відновлення залізничної колії;
- 9) влаштування водовідвідних конструкцій та огороження;
- 10) відновлення пристроїв СЦБ;
- 11) виконання виконавчих геодезичних знімачь;
- 12) контроль відповідності фактичних геометричних параметрів проєктним значенням.

Виконання наведених технологічних операцій потребує постійного геодезичного супроводу. На різних етапах ремонту геодезичні роботи забезпечують винесення в натуру основних проєктних осей і відміток, контроль положення конструктивних елементів, перевірку їх геометричних параметрів та виконання виконавчого знімання. При цьому конкретні методи, прилади, порядок побудови локальної геодезичної мережі та способи оцінювання точності розглядаються у наступних пунктах розділу.

Таким чином, проєктні рішення щодо капітального ремонту залізничного шляхопроводу передбачають відновлення його основних несучих і допоміжних конструкцій із формуванням двопрогонової схеми на трьох опорах. Основними геометрично значущими елементами для

подальшого геодезичного забезпечення є осі опор, прогонові конструкції, залізнична колія, фундамент та тіло середньої опори № 1, а також габаритні та висотні параметри споруди. Встановлені проєктною документацією геометричні характеристики використовуються як вихідні величини для розроблення локальної планово-висотної геодезичної мережі, виконання розмічувальних робіт та подальшого виконавчого контролю.

3.2 Проєктування та формування локальної планово-висотної геодезичної мережі

Геодезичне забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу передбачає створення надійної планово-висотної геодезичної основи, яка забезпечує єдність просторової системи координат на всіх етапах виконання робіт. Така основа необхідна для виконання геодезичного розмічування, визначення положення конструктивних елементів, контролю їх геометричних параметрів, перенесення проєктних рішень у натуру та виконання виконавчого геодезичного знімання.

З урахуванням особливостей розташування досліджуваного залізничного шляхопроводу запропоновано організувати геодезичне забезпечення за принципом «регіональна GNSS-мережа → вихідна GNSS-станція → локальна планово-висотна мережа → робочі та контрольні пункти → конструктивні елементи шляхопроводу. Такий підхід дає можливість забезпечити просторовий зв'язок об'єкта не лише з однією постійно діючою GNSS-станцією, а з регіональним GNSS-обґрунтуванням, що підвищує надійність визначення координат та дозволяє виконувати контроль отриманих результатів.

Формування проєктної GNSS-мережі району робіт. Для забезпечення єдності координатного простору під час виконання геодезичних робіт з капітального ремонту залізничного шляхопроводу передбачається формування проєктної GNSS-мережі району робіт. Її основним призначенням є створення просторового зв'язку між досліджуваним об'єктом та постійно

діючими референцними GNSS-станціями, координати яких визначені в прийнятій системі координат.

Необхідність формування такої мережі обумовлена тим, що локальна геодезична мережа безпосередньо на об'єкті повинна мати надійний зв'язок із зовнішньою координатною основою. Використання лише однієї референцної станції не дає можливості повноцінно оцінити узгодженість її координат із регіональною GNSS-інфраструктурою. Тому в проєкті передбачено залучення декількох постійно діючих GNSS-станцій, розташованих у межах Миколаївської області та прилеглого району.

За наданими вихідними матеріалами для формування GNSS-обґрунтування розглянуто такі станції:

- VZSK 15843M001 – м. Вознесенськ, System.NET;
- HRYH – с. Григорівка, UA-EUPOS/ZAKPOS;
- PIBR – с. Піщаний Брід, UA-EUPOS/ZAKPOS;
- ARBZ – смт. Арбузинка, UA-EUPOS/ZAKPOS;
- BASH 15523M001 – м. Баштанка, System.NET;
- PERV 15529M001 – м. Первомайськ, System.NET.

До регіонального GNSS-обґрунтування також можуть бути залучені інші доступні станції, наведені у вихідному переліку, зокрема BERT, KOZR, MIKL 12335M001, MKOL 15834M001, NIKL, NKTS та PART. Їх фактичне використання визначатиметься на етапі підготовки та виконання GNSS-спостережень з урахуванням доступності даних, тривалості спостережень та геометрії мережі.

Основною референчною станцією для безпосереднього геодезичного забезпечення досліджуваного об'єкта прийнято VZSK 15843M001, розташовану в м. Вознесенськ. Її вибір зумовлений насамперед територіальною близькістю до залізничного шляхопроводу.

Проектну схему розташування референчних GNSS-станцій наведено на рисунку 3.2.



Джерело: розроблено автором за матеріалами GNSS-мережі та вихідними матеріалами дослідження.

Рисунок 3.2 – Проектна GNSS-мережа району виконання робіт та схема прив'язки об'єкту

Як видно з рисунка 3.2, станція VZSK розташована безпосередньо в м.Вознесенськ, у районі розміщення досліджуваного залізничного шляхопроводу. Інші станції формують регіональне GNSS-оточення об'єкта та можуть бути використані для контролю координатного забезпечення основної референцної станції.

При цьому графічні зв'язки між станціями на рисунку відображають проєктовану структуру GNSS-мережі, а не фактично виконані польові GNSS-вектори. Остаточні параметри геодезичних зв'язків визначатимуться за координатами станцій та результатами GNSS-спостережень. Основною метою створення регіональної GNSS-мережі є не перенесення координат від кожної станції окремо, а виконання взаємного контролю та підвищення надійності координатного забезпечення.

Для підвищення надійності координатного забезпечення передбачається виконати уточнення координатного положення VZSK шляхом спільного опрацювання GNSS-спостережень із декількома станціями регіональної мережі. Проєктом передбачається формування GNSS-векторів: VZSK–HRYH, VZSK–PIBR, VZSK–ARBZ, VZSK–BASH, VZSK–PERV.

За результатами спільного опрацювання цих векторів передбачається виконати контроль узгодженості координат VZSK із координатним положенням залучених референцних станцій. У разі виявлення розбіжностей передбачається проаналізувати їх можливі причини, до яких можуть належати похибки вихідних координат, результати GNSS-спостережень, параметри систем координат і трансформацій, а також умови виконання супутникових вимірювань. Таким чином, координатне положення VZSK передбачається контролювати за сукупністю взаємопов'язаних GNSS-векторів, а не за одним окремим зв'язком. Це підвищує надійність зовнішнього координатного забезпечення об'єкта.

Прив'язка локальної мережі до GNSS-обґрунтування. Після встановлення або уточнення координатного положення VZSK передбачається виконати прив'язку вихідних точок локальної мережі – CB-1

та СВ-2. Точки СВ-1 та СВ-2 прийнято як вихідні точки локальної планово-висотної мережі на підставі матеріалів інженерно-геологічних вишукувань. При цьому вони не розглядаються як пункти державної геодезичної мережі, а використовуються як вихідні точки локальної геодезичної основи об'єкта.

Прив'язку СВ-1 та СВ-2 до VZSK передбачається виконувати методом GNSS RTK. За результатами спостережень координатно-висотне положення вихідних точок уточнюється та використовується для подальшого формування локальної геодезичної мережі. За прийнятими координатами відстань від VZSK до СВ-1 становить близько 0,426 км, а до СВ-2 – близько 0,406 км, що створює сприятливі умови для виконання короткобазисних RTK-визначень.

Таким чином, вихідні точки СВ-1 та СВ-2 виконують роль проміжної ланки між регіональною GNSS-основою та локальною геодезичною мережею шляхопроводу. Проектну схему переходу від референцної GNSS-станції до локальної мережі об'єкта наведено на рисунку 3.2.

Формування локальної планово-висотної мережі. На основі вихідних точок СВ-1 та СВ-2 проєктується локальна планово-висотна геодезична мережа, до складу якої входять чотири проєктні пункти – П1, П2, П3 та П4. Пункти розміщуються навколо зони розташування шляхопроводу з урахуванням необхідності забезпечення сприятливих умов для виконання тахеометричних вимірювань, розмічувальних робіт та контролю положення основних конструктивних елементів. Пункти П1 і П2 передбачається використовувати як основні робочі пункти для виконання розмічувальних та контрольних вимірювань, а П3 і П4 – як контрольні (рис.3.3). Таке розділення дозволяє виконувати незалежну перевірку отриманих результатів та контролювати стабільність локальної мережі.

Рисунок 3.3 – Проєкт локальної планово-висотної геодезичної мережі залізничного шляхопроводу

Координати проєктних пунктів наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – *Каталог пунктів локальної планово-висотної мережі*

№	Позначення пункту	Призначення пункту	Координати, м			Джерело даних
			X	Y	H	
1	СВ-1	вихідний пункт (свердловина № 1)	5 531 998,247	3 343 187,596	10,30	матеріали інженерно-геологічних вишукувань
2	СВ-2	вихідний пункт (свердловина № 2)	5 532 018,207	3 343 189,995	10,40	матеріали інженерно-геологічних вишукувань
3	П1	проектний робочий пункт	5 532 000,944	3 343 198,562	10,33	графічний розрахунок за топографічним планом
4	П2	проектний робочий пункт	5 532 003,051	3 343 176,782	10,67	графічний розрахунок за топографічним планом
5	П3	проектний контрольний пункт	5 532 016,156	3 343 203,235	10,28	графічний розрахунок за топографічним планом
6	П4	проектний контрольний пункт	5 532 018,845	3 343 175,520	10,23	графічний розрахунок за топографічним планом

Примітка. Координати СВ-1 та СВ-2 прийняті за наданими матеріалами інженерно-геологічних вишукувань. Координати та висотні відмітки П1–П4 є проєктними та визначені графічно-розрахунковим способом за топографічним планом. Остаточне планово-висотне положення пунктів П1–П4 підлягає уточненню за результатами фактичних польових геодезичних вимірювань.

Розрахунок вихідного базису локальної мережі. Для оцінювання геометричних характеристик локальної мережі за вихідний плановий базис приймається лінія СВ-1–СВ-2. За координатами, наведеними в таблиці 3.1, різниці координат між вихідними точками становлять:

$$\Delta X = X_{\text{СВ}2} - X_{\text{СВ}1}, \Delta Y = Y_{\text{СВ}2} - Y_{\text{СВ}1} \quad (3.1)$$

$$\Delta X = 5532018,207 - 5531998,247 = 19,960 \text{ м},$$

$$\Delta Y = 3343189,995 - 3343187,596 = 2,399 \text{ м.}$$

Горизонтальна довжина базису визначається за формулою:

$$S_{CB1-CB2} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (3.2)$$

Отже, розрахункова довжина вихідного базису СВ-1–СВ-2 становить 20,104 м. Наявність двох вихідних точок дозволяє використовувати базис не лише для передавання координат на локальну мережу, а й для контролю її орієнтації та стабільності під час повторних геодезичних спостережень. Отримана довжина базису використовується як вихідна геометрична величина для попереднього графічно-розрахункового формування положення проєктних пунктів П1–П4.

Перевірка геометрії проєктної локальної мережі. Для оцінювання проєктної конфігурації локальної мережі виконано перевірку основних довжин та взаємного положення пунктів. Отримані результати свідчать про геометричну узгодженість прийнятої конфігурації. Для замкнутого контуру П1–П2–П4–П3 сума внутрішніх кутів становить $360,01^\circ$, при теоретичному значенні 360° . Графічно-розрахункова кутова нев'язка становить близько $0,01^\circ$. Зазначений результат характеризує геометричну узгодженість саме проєктної схеми, побудованої за матеріалами топографічного плану. Він не є оцінкою точності фактичних польових вимірювань.

Таким чином, запропонована схема забезпечує послідовне формування геодезичної основи від регіонального GNSS-рівня до безпосереднього геодезичного забезпечення конструкцій шляхопроводу.

3.3 Методика виконання геодезичних робіт під час капітального ремонту

Після формування локальної планово-висотної геодезичної мережі, наступним етапом геодезичного забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу є виконання комплексу польових робіт, спрямованих на перенесення проєктних рішень у натуру, геодезичний

супровід ремонтно-будівельних процесів та отримання вихідних даних для подальшого виконавчого контролю.

Геодезичні роботи на об'єкті повинні виконуватися послідовно, відповідно до технологічних етапів ремонтних робіт. Основою для їх виконання є затверджена проєктна документація та координати й висотні відмітки пунктів локальної геодезичної мережі П1–П4, а також вихідні точки СВ-1 та СВ-2.

Геодезичне забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу передбачається здійснювати поетапно – від перевірки вихідної планово-висотної основи до виконання виконавчого геодезичного знімання та оформлення відповідної документації. Такий порядок забезпечує безперервний геодезичний супровід робіт – від підготовчого етапу до остаточного контролю відремонтованої споруди. Технологічна послідовність основних геодезичних операцій наведена на рисунку 3.4.

Як видно з рисунка 3.4, геодезичне забезпечення ремонтних робіт має послідовний характер. На початковому етапі здійснюється контроль вихідних точок СВ-1 та СВ-2 і локальної планово-висотної мережі. Після підтвердження стабільності геодезичної основи виконується розмічування осей споруди та окремих конструктивних елементів. У процесі виконання будівельно-монтажних робіт здійснюється поточний геодезичний контроль, а після завершення відповідних етапів — виконавче знімання та порівняння фактичних параметрів із проєктними.

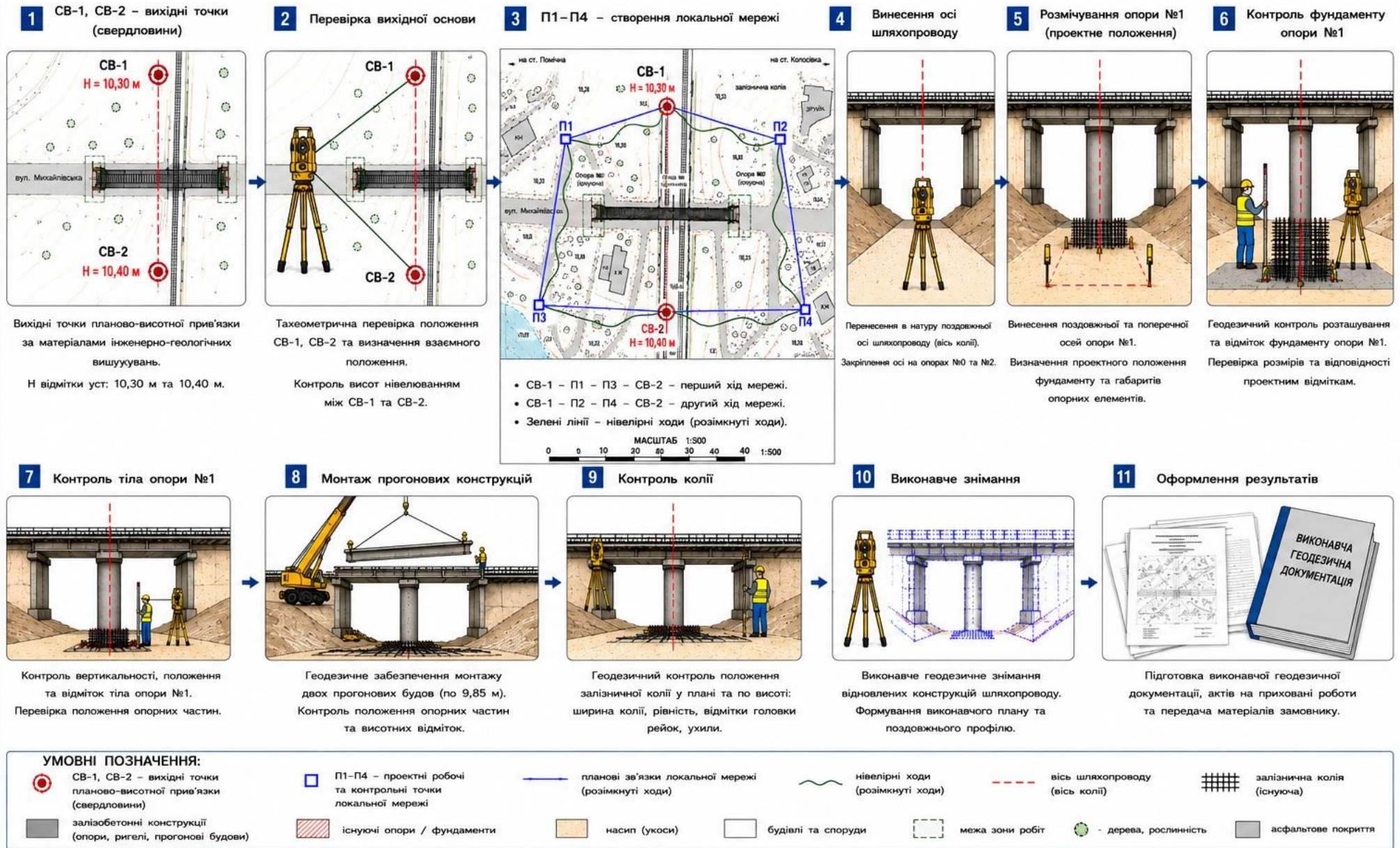


Рисунок 3.4 – Технологічна послідовність геодезичних робіт під час капітального ремонту залізничного шляхопроводу

Контроль вихідної геодезичної мережі. Перед початком основних ремонтних робіт необхідно виконати контроль стабільності пунктів локальної геодезичної мережі. Це обумовлено тим, що пункти П1–П4 розташовані поблизу зони виконання будівельно-монтажних робіт і можуть зазнавати механічного впливу, вібрацій або зміщень ґрунту.

Особливу увагу необхідно приділити взаємному положенню робочих і контрольних пунктів. Пункти П1 та П2 використовуються для основних вимірювань, тоді як П3 і П4 доцільно використовувати для незалежного контролю. У разі виявлення зміщення пунктів, що перевищує встановлену допустиму величину, відповідний пункт не повинен використовуватися як вихідний до встановлення причин зміщення та його повторного визначення.

Контроль передбачається виконувати шляхом повторних вимірювань між пунктами мережі та порівняння отриманих результатів із прийнятими проєктними значеннями. Для планового контролю можуть використовуватися горизонтальні напрямки та відстані між пунктами, а для висотного – перевищення, отримані геометричним нівелюванням.

Підготовка проєктних даних до розмічування. Перед виконанням розмічувальних робіт здійснюється підготовка проєктних геодезичних даних. До переліку даних, необхідних для винесення проєктних рішень у натуру, належать: координати основних осей споруди; координати осей опор № 0, № 1 та № 2; координати характерних точок фундаменту опори № 1; проєктні висотні відмітки; координати характерних точок прогонових конструкцій; положення осі залізничної колії; проєктні параметри мостового полотна; координати та відмітки інших елементів, передбачених проєктом.

Проєктні дані передаються до пам'яті електронного тахеометра SOKKIA SET 610, що дозволяє виконувати безпосереднє порівняння проєктного та фактичного положення точок під час польових робіт.

Винесення проєктних осей та точок у натуру. Розмічувальні роботи виконуються від пунктів локальної мережі П1–П4 із використанням електронного тахеометра.

Перед початком розмічування здійснюється контрольне визначення положення пункту стояння приладу та перевіряється його орієнтування за відомим напрямком. Винесення проєктної точки виконується полярним способом за горизонтальним напрямком та відстанню до точки.

Для визначення напрямку на проєктну точку використовується різниця дирекційних кутів:

$$\beta = \alpha_{AP} - \alpha_{AB} \quad (3.3)$$

де α_{AP} – дирекційний кут напрямку від станції до проєктної точки;

α_{AB} – дирекційний кут вихідного орієнтирного напрямку.

Горизонтальна відстань до точки визначається за координатами:

$$S = \sqrt{(X_P - X_A)^2 + (Y_P - Y_A)^2} \quad (3.4)$$

Фактичне положення точки після винесення перевіряється повторним вимірюванням із контрольної точки або з іншої станції локальної мережі.

Основними елементами, положення яких підлягає винесенню в натуру, є: осі крайніх опор № 0 та № 2; вісь середньої опори № 1; характерні точки фундаменту середньої опори; осі та грані опор; положення підферменних блоків; опорні частини прогонових конструкцій; осі прогонових будов; положення залізничної колії; характерні точки елементів мостового полотна.

Під час розмічування необхідно забезпечити взаємну узгодженість положення окремих конструктивних елементів. Особливо важливим є положення середньої опори № 1, оскільки вона визначає взаємне положення двох прогонових конструкцій. Після винесення проєктних точок у натуру виконується їх незалежна перевірка шляхом повторного вимірювання координат або контрольних відстаней.

Геодезичний супровід відновлення опори № 1. Особливим етапом капітального ремонту є відновлення проміжної опори № 1, яка відповідно до матеріалів технічного обстеження є зруйнованою. Крайні опори № 0 та № 2 залишаються основними елементами існуючої споруди. Геодезичний

супровід відновлення опори передбачається виконувати послідовно відповідно до технологічних етапів її спорудження.

На першому етапі здійснюється винесення в натуру поздовжньої та поперечної осей опори. Перетин цих осей визначає її основне планове положення. Після винесення осей здійснюється геодезичний супровід: підготовки основи; влаштування фундаменту; встановлення арматурного каркаса; встановлення опалубки; бетонування; формування тіла опори; влаштування підферментного блока; встановлення опорних елементів.

На кожному етапі геодезичні вимірювання виконуються для забезпечення відповідності фактичного положення елементів проєктним осям та відміткам. Особлива увага приділяється взаємному положенню нової опори № 1 та існуючих опор № 0 і № 2, оскільки їх просторове положення визначає геометрію двопрогенової конструкції. Проєктним рішенням передбачено два прогони довжиною по 9,85 м. Тому під час відновлення опори необхідно забезпечити її положення, яке відповідає прийнятій проєктній схемі.

Геодезичний супровід монтажу прогонових конструкцій. Після завершення робіт з відновлення опори та підготовки опорних частин здійснюється монтаж прогонових конструкцій.

Геодезичний супровід монтажу передбачається виконувати на основних технологічних етапах: до початку монтажу; під час установлення прогонової конструкції; після її попереднього встановлення; перед остаточним закріпленням; після остаточного закріплення.

Під час монтажу геодезист забезпечує контроль положення конструкції відносно проєктних осей шляхопроводу та положення опорних частин. Контроль здійснюється з пунктів П1–П4 локальної геодезичної мережі. Характерні точки прогонової конструкції доцільно визначати на початку прогону, у місцях опирання, у центральній частині та в кінці прогону.

Основним завданням геодезичного супроводу на цьому етапі є своєчасне виявлення можливого зміщення конструкції до її остаточного закріплення.

Геодезичне забезпечення робіт із залізничною колією. Після завершення монтажу прогонових конструкцій та виконання відповідних ремонтних робіт здійснюється геодезичне забезпечення відновлення та контролю залізничної колії. Геодезичні роботи включають: визначення положення осі колії; винесення необхідних проєктних точок; визначення висотних відміток; контроль взаємного положення колії та прогонової конструкції; контроль проєктного габариту під шляхопроводом.

Визначення положення характерних точок колії виконується тахеометричним методом від пунктів П1–П4, а висотне забезпечення – методом геометричного нівелювання. За проєктними рішеннями габарит під спорудою повинен становити не менше 7,10 м, а ширина між перилами – 8,40 м. Геодезичне забезпечення повинно передбачати визначення цих параметрів після завершення відповідних будівельно-монтажних робіт.

Виконавче геодезичне знімання. Після завершення окремих етапів ремонтних робіт виконується виконавче геодезичне знімання. Його основним призначенням є фіксація фактичного положення конструкцій та формування вихідних матеріалів для подальшого контролю їх відповідності проєктним рішенням. Виконавчому зніманню підлягають: опори № 0, № 1 та № 2; фундаменти; підферменні блоки; опорні частини; прогонові конструкції; елементи мостового полотна; залізнична колія; водовідвідні конструкції; огороження; інші конструктивні елементи, положення яких нормується проєктом.

Планове положення характерних точок визначається тахеометричним способом, а висотне – геометричним нівелюванням. Результатом виконавчого знімання є масив координат і висот характерних точок, виконавчі схеми та вихідні дані для визначення відхилень фактичних геометричних параметрів від проєктних.

Отже, розроблена методика передбачає поетапне виконання геодезичних робіт – від контролю стабільності вихідної геодезичної основи та підготовки проєктних даних до розмічування, супроводу відновлення опори № 1, монтажу прогонових конструкцій, робіт із залізничною колією та виконання виконавчого геодезичного знімання.

3.4 Геодезичний контроль геометричних параметрів шляхопроводу та оцінювання точності виконаних робіт

Геодезичний контроль геометричних параметрів є завершальною складовою системи геодезичного забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу. Його основним завданням є визначення фактичного просторового положення конструктивних елементів споруди, залізничної колії та інших елементів, що підлягають контролю, з подальшим порівнянням отриманих результатів із проєктними значеннями.

На відміну від розмічувальних робіт, під час яких проєктні координати та геометричні параметри переносяться на місцевість, виконавчий геодезичний контроль передбачає визначення фактичного положення вже виконаних або відновлених конструкцій. Отримані результати дають можливість встановити величини відхилень від проєктного положення та оцінити відповідність виконаних робіт установленим вимогам.

Для досліджуваного залізничного шляхопроводу геодезичний контроль має особливе значення у зв'язку з необхідністю відновлення проміжної опори № 1, яка за матеріалами технічного обстеження є зруйнованою. Крайні опори № 0 та № 2 зберігають своє положення та використовуються як елементи, відносно яких контролюється геометрія відновленої конструктивної схеми. Відповідно до проєктного рішення, відстань між крайніми опорами становить близько 20,02 м, а довжина кожного з двох нових прогонів – 9,85м. Загальна довжина двох прогонів становить 19,70 м. Саме ці параметри доцільно використовувати як основні проєктні величини під час виконавчого контролю.

Основні параметри, що підлягають геодезичному контролю. З урахуванням конструктивної схеми досліджуваного об'єкта та характеру передбачених ремонтних робіт геодезичному контролю доцільно піддавати такі групи параметрів: планове положення осі шляхопроводу; положення осей опор № 0, № 1 та № 2; відстані між осями опор; планове та висотне положення фундаменту відновленої опори № 1; положення та вертикальність тіла опори № 1; висотне положення опорних частин; висотні відмітки прогонових конструкцій; довжини прогонів; положення осі залізничної колії; висотні відмітки головок рейок; поздовжній профіль колії; поперечне положення колії; габарит під шляхопроводом; ширина споруди; взаємне просторове положення основних конструктивних елементів. .

Такий комплексний підхід дає можливість контролювати не окремий елемент споруди, а взаємне просторове положення її основних конструктивних компонентів.

Особливе значення має контроль взаємного положення опор № 0, № 1 та № 2, оскільки проміжна опора № 1 є центральним елементом двопрогонової конструктивної схеми. За вихідними матеріалами, фактична відстань між крайніми опорами існуючої споруди становила приблизно 20,03 м, а довжини фактичних прогонових ділянок близько 9,11 та 9,10 м. Ці значення характеризують існуючий стан споруди до виконання передбачених ремонтних заходів і можуть використовуватися для порівняння з проєктною схемою.

Таким чином, під час геодезичного контролю необхідно визначати не лише координати окремих точок, а й оцінювати відповідність взаємного положення конструктивних елементів прийнятій проєктній схемі.

Визначення планових відхилень конструктивних елементів. Планове положення характерних точок споруди визначається електронним тахеометром SOKKIA SET 610 із використанням пунктів локальної геодезичної мережі.

Відповідно до проєктної схеми локальної мережі, точки П1 та П2 використовуються як основні робочі пункти, а П3 та П4 – як контрольні. Вихідними точками мережі є СВ-1 та СВ-2, координатно-висотна інформація щодо яких використовується для формування локальної геодезичної основи.

Для кожної контрольованої точки визначаються фактичні координати: X_f , Y_f , H_f . Проєктні координати відповідних точок позначаються: X_p , Y_p , H_p . Відхилення фактичного положення точки ΔX , ΔY за координатними осями визначаються за формулами:

$$\Delta X = X_f - X_p; \Delta Y = Y_f - Y_p \quad (3.5)$$

де X_f , Y_f – фактичні координати; X_p , Y_p – проєктні координати.

Планове лінійне відхилення ΔXY визначається за формулою:

$$\Delta XY = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (3.6)$$

Отримане значення ΔXY характеризує просторове відхилення фактичного положення точки від її проєктного положення в горизонтальній площині. Для оцінювання результатів контрольних вимірювань величина отриманого відхилення порівнюється з допустимим значенням, установленим проєктною та нормативною документацією.

Контроль висотного положення конструкцій. Висотний контроль виконується від вихідних висотних точок локальної мережі. У розробленій схемі як вихідні точки прийнято місця свердловин СВ-1 та СВ-2, абсолютні відмітки яких у Балтійській системі висот становлять відповідно 10,30 та 10,40 м.

Для визначення висот контрольованих точок використовується геометричне нівелювання. У матеріалах проєкту передбачено застосування нівеліра SOKKIA C330, для якого прийнято точність нівелювання до 2 мм на 1 км подвійного ходу.

Перевищення між двома точками визначається:

$$h_{AB} = a - b \quad (3.7)$$

де a – відлік по задній рейці, мм; b – відлік по передній рейці, мм.

Висотна відмітка наступної точки визначається:

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (3.8)$$

Висотне відхилення ΔH кожної контрольної точки визначається за формулою:

$$\Delta H = H_f - H_p \quad (3.9)$$

Знак отриманої величини має важливе значення: додатне значення свідчить про перевищення фактичної відмітки над проєктною, а від'ємне – про її заниження.

Оцінювання точності нівелювання. Під час виконання геометричного нівелювання обов'язково здійснюється контроль нев'язки ходу. Для нівелірного ходу фактична нев'язка визначається за формулою:

$$f_h = \sum h_{\text{вим}} - \Delta H_{\text{теор}} \quad (3.10)$$

де $\sum h_{\text{вим}}$ – сума виміряних перевищень;

$\Delta H_{\text{теор}}$ – теоретична різниця висот між початковою та кінцевою точками.

Для наведених вихідних точок теоретична різниця висот становить:

$$H_{\text{СВ-2}} - H_{\text{СВ-1}} = +0,10 \text{ м.}$$

Отже, під час контролю висотного ходу сума виміряних перевищень повинна відповідати величині $+0,10$ м з урахуванням допустимої нев'язки. Абсолютна величина нев'язки визначається як $|f_h|$. Якщо вона не перевищує допустимого значення, результати нівелювання можуть бути використані для передачі висот на робочі та контрольні точки.

Контроль геометричних параметрів прогонових конструкцій. Одним із найбільш важливих завдань виконавчого геодезичного контролю є перевірка геометричних параметрів прогонових конструкцій. Проєктним рішенням передбачено два прогони довжиною:

$$L_1 = L_2 = 9,85 \text{ м.}$$

Загальна довжина двох прогонів:

$$\Sigma L = L_1 + L_2, \Sigma L = 9,85 + 9,85 = 19,70 \text{ м.}$$

Виконавчими вимірюваннями фактична довжина кожного прогону визначається за координатами характерних точок або безпосереднім тахеометричним вимірюванням.

Відхилення довжини прогону визначається:

$$\Delta L = L_f - L_p \quad (3.11)$$

де L_f – фактична довжина прогону; L_p – проєктна довжина.

Аналогічно може контролюватися відстань між осями опор. Для проєктної схеми вона становить близько 20,02 м. Такий контроль дозволяє встановити, наскільки фактичне положення відновленої опори відповідає проєктній геометрії споруди.

Контроль вертикальності відновленої опори №1. Для відновленої проміжної опори №1 важливим геометричним параметром є її вертикальність. Контроль може виконуватися тахеометричним методом за координатами характерних точок, визначених у нижній та верхній частинах опори. Нехай координати нижньої точки становлять X_1, Y_1 , а верхньої – X_2, Y_2 . Тоді горизонтальне відхилення осі опори визначається:

$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (3.12)$$

За відомої висоти опори H величина нахилу може бути оцінена відношенням:

$$i = \frac{d}{H} \quad (3.13)$$

У практичному вигляді нахил може бути представлений як відхилення у міліметрах на один метр висоти:

$$i_{\text{мм/м}} = \frac{d \cdot 1000}{H} \quad (3.14)$$

Такий показник дає можливість оцінити просторову вертикальність конструкції та порівняти її з допустимими значеннями, установленими проєктом.

Оцінювання точності тахеометричних вимірювань. Для виконання планових вимірювань використовується електронний тахеометр SOKKIA

SET 610. У розробленій схемі локальної мережі зазначено точність вимірювання відстаней до 5 мм, а горизонтальних кутів – до 6".

Середня квадратична похибка визначення координат може оцінюватися за результатами повторних вимірювань. Для серії з n вимірювань координати середнє значення визначається:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.15)$$

а середня квадратична похибка одиничного вимірювання:

$$m_X = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}} \quad (3.16)$$

Аналогічно визначаються m_Y та m_H .

Загальна планова похибка положення точки може бути оцінена:

$$m_{XY} = \sqrt{m_X^2 + m_Y^2} \quad (3.17)$$

Такий підхід дозволяє не обмежуватися паспортною характеристикою геодезичного приладу, а оцінювати фактичну точність отриманих результатів за результатами польових спостережень.

Контроль положення залізничної колії. Після завершення основних ремонтних робіт на шляхопроводі передбачається виконання геодезичного контролю геометричного положення залізничної колії. З цією метою визначаються координати характерних точок осі колії та висотні відмітки головок рейок. За результатами вимірювань формується фактичний планово-висотний профіль колії.

Особливе значення має контроль положення колії відносно відновлених конструкцій шляхопроводу. Такий контроль дозволяє встановити можливі зміщення осі колії, зміни її висотного положення та порушення взаємного положення колії і прогонових конструкцій унаслідок виконання ремонтних робіт.

Під час контролю визначаються: відхилення осі колії у плані; відхилення рейок за висотою; поздовжні ухили; поперечні відхилення; взаємне положення осі колії та прогонових конструкцій шляхопроводу.

Отримані результати підлягають зіставленню з проєктними параметрами та відповідними нормативними вимогами до геометричного положення залізничної колії.

Порівняння проєктних та фактичних параметрів. Для узагальнення результатів геодезичного контролю та оцінювання відповідності геометричних параметрів шляхопроводу прийнятим проєктним рішенням виконано порівняння основних контрольованих величин. До порівняння включено як лінійні параметри конструктивних елементів споруди, так і параметри, що характеризують положення залізничної колії та габаритні характеристики шляхопроводу. Результати порівняння проєктних і розрахунково-контрольних значень наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняння проєктних та розрахунково-контрольних геометричних параметрів шляхопроводу

Контрольований параметр	Проектне значення	Розрахунково-контрольне значення	Відхилення	Висновок
Відстань між крайніми опорами	20,020 м	20,030 м	+0,010 м	відповідає проєктному рішенням
Довжина прогону № 1	9,850 м	9,852 м	+0,002 м	відповідає
Довжина прогону № 2	9,850 м	9,848 м	−0,002 м	відповідає
Відхилення осі колії від проєктного положення	0 мм	+4 мм	+4 мм	відповідає
Габарит під спорудою	≥ 7,100 м	7,112 м	+0,012 м	відповідає
Ширина між перилами	8,400 м	8,396 м	−0,004 м	відповідає

Примітка. Розрахунково-контрольні значення наведено на основі наданих графічних матеріалів, проєктних параметрів споруди та прийнятої схеми локальної планово-висотної геодезичної мережі. Наведені значення не є заміною результатів фактичного виконавчого геодезичного знімання. Остаточна оцінка відповідності геометричних параметрів конструкцій проєктним рішенням здійснюється за результатами польових вимірювань.

Аналіз наведених у таблиці 3.2 результатів показує, що розрахунково-контрольні значення основних геометричних параметрів шляхопроводу характеризуються незначними відхиленнями від прийнятих проєктних значень. Відхилення відстані між крайніми опорами становить $+0,010$ м, тоді як відхилення довжин окремих прогонів не перевищують $0,002$ м.

Розрахункове відхилення положення осі залізничної колії від проєктного положення становить 4 мм. Контроль габариту під спорудою показує значення $7,112$ м при мінімальному проєктному значенні $7,100$ м. Таким чином, розрахунковий габарит перевищує прийняте мінімальне значення на $0,012$ м. Ширина між перилами становить $8,396$ м при проєктному значенні $8,400$ м, а відповідне відхилення складає $-0,004$ м. Наведені результати характеризують незначну розбіжність між прийнятими проєктними та розрахунково-контрольними параметрами.

Слід зазначити, що наведені результати мають розрахунково-контрольний характер і використовуються для демонстрації запропонованої методики оцінювання геометричного положення споруди. Під час фактичного виконання робіт аналогічні показники визначаються за результатами тахеометричних, GNSS- та нівелірних вимірювань, виконаних із пунктів П1–П4 локальної геодезичної мережі. Отримані координати та висотні відмітки порівнюються з проєктними значеннями, після чого визначаються величини та напрямки відхиле

Отже, запропонована система геодезичного контролю забезпечує комплексну перевірку планового та висотного положення основних конструктивних елементів залізничного шляхопроводу та геометричного положення залізничної колії. Використання пунктів П1–П4 як робочої та контрольної геодезичної основи дозволяє виконувати вимірювання з різних точок спостереження, здійснювати взаємний контроль результатів та своєчасно виявляти можливі відхилення конструкцій від проєктного положення.

Розрахунково-контрольне порівняння показало, що прийнята схема дозволяє оцінювати як лінійні та габаритні параметри споруди, так і планове положення залізничної колії. Таким чином, сформована локальна планово-висотна геодезична мережа може бути використана як основа для виконання розмічувальних, контрольних та виконавчих геодезичних робіт під час капітального ремонту шляхопроводу.

Формування виконавчої геодезичної документації. Результати геодезичного контролю повинні бути систематизовані у складі виконавчої геодезичної документації, яка відображає фактичне просторове положення конструкцій після завершення відповідних етапів ремонтних робіт.

Для досліджуваного об'єкта до складу такої документації доцільно включити:

- виконавчу схему положення опор;
- каталог координат характерних точок;
- результати нівелювання;
- відомість фактичних відміток;
- таблицю відхилень від проєктних значень;
- виконавчу схему положення прогонових конструкцій;
- виконавчу схему осі залізничної колії;
- результати контролю габариту;
- матеріали фотофіксації;
- результати оцінювання точності геодезичних вимірювань.

Таким чином, виконавча геодезична документація є не лише підтвердженням виконання вимірювань, а й основою для оцінювання якості ремонтно-відновлювальних робіт.

Проведений аналіз показує, що геодезичний контроль капітального ремонту досліджуваного шляхопроводу повинен здійснюватися за комплексом планових, висотних та просторових параметрів. Основними об'єктами контролю є відновлена проміжна опора №1, прогонові конструкції, крайні опори, залізнична колія та характерні геометричні параметри споруди.

Запропонована система контролю передбачає послідовне визначення фактичних координат і висот характерних точок, розрахунок їх відхилень від проєктних значень, оцінювання точності вимірювань та формування виконавчої геодезичної документації.

У пункті розроблено систему геодезичного контролю геометричних параметрів залізничного шляхопроводу під час капітального ремонту. Визначено основні конструктивні та геометричні параметри, що підлягають контролю, зокрема положення опор, довжини прогонових конструкцій, висотне положення опорних частин, вертикальність відновленої опори № 1, геометрію залізничної колії та габарит під спорудою.

3.5 Рекомендації щодо підвищення надійності та ефективності геодезичного забезпечення капітального ремонту залізничного шляхопроводу

За результатами проведеного дослідження, аналізу конструктивних особливостей шляхопроводу, проєктування локальної планово-висотної геодезичної мережі та розроблення технології геодезичного контролю сформовано рекомендації щодо підвищення надійності та ефективності геодезичного забезпечення капітального ремонту споруди.

1. *Забезпечення багаторівневої структури геодезичної основи.* Для досліджуваного об'єкта доцільно зберігати послідовний зв'язок між регіональною GNSS-мережею, референчною GNSS-станцією, вихідними точками СВ-1 та СВ-2 і локальними робочими та контрольними пунктами П1–П4. Така структура дозволяє уникнути залежності геодезичного забезпечення лише від однієї вихідної точки та створює можливість незалежного контролю координат.

2. *Періодична перевірка стабільності вихідних пунктів геодезичної мережі.* Перед початком основних ремонтних робіт та після завершення відповідальних технологічних операцій доцільно виконувати контрольні GNSS- або тахеометричні вимірювання. Особливу увагу необхідно приділяти

стабільності положення СВ-1, СВ-2 та пунктів П1–П4, оскільки зміщення вихідної основи безпосередньо впливає на результати подальших розмічувальних і виконавчих робіт.

3. *Використання надлишкових вимірювань під час контролю відповідальних конструктивних елементів.* Положення опор, прогонових конструкцій та осі залізничної колії доцільно визначати не з одного пункту, а з декількох пунктів локальної мережі. Це дає можливість порівняти незалежні результати та виявити можливі систематичні або випадкові похибки.

4. *Поєднання GNSS-вимірювань, електронної тахеометрії та геометричного нівелювання.* GNSS-технології доцільно використовувати переважно для координатного забезпечення та прив'язки локальної мережі, тахеометричні вимірювання – для детального визначення планового положення конструкцій, а геометричне нівелювання – для контролю висотних відміток опор, прогонових конструкцій і залізничної колії. Комплексне застосування методів дозволяє компенсувати обмеження кожного окремого способу вимірювань.

5. *Виконання геодезичного контролю поетапно,* а не лише після завершення ремонту. Контроль доцільно здійснювати перед початком робіт, під час відновлення фундаментів та опор, після встановлення прогонових конструкцій, під час відновлення мостового полотна та після завершення робіт із залізничною колією. Такий підхід дозволяє своєчасно виявляти відхилення та усувати їх на відповідному технологічному етапі.

6. *Обов'язкове виконання виконавчого геодезичного знімання після завершення основних ремонтних робіт.* За результатами знімання необхідно визначати координати та висотні відмітки характерних точок конструкцій, положення осі залізничної колії, габаритні параметри та інші контрольовані характеристики. Отримані результати повинні порівнюватися з відповідними проєктними значеннями.

7. *Формування єдиного цифрового масиву результатів геодезичного контролю.* Доцільно забезпечити зберігання координат, висотних відміток, результатів вимірювань, схем мережі та виконавчих матеріалів у єдиній цифровій системі. Це спрощує повторні вимірювання, аналіз динаміки положення конструкцій та подальше експлуатаційне спостереження за спорудою.

8. *Застосування повторних контрольних вимірювань після виконання відповідальних монтажних операцій.* Особливо це стосується відновленої проміжної опори № 1 та прогонових конструкцій. Повторне визначення координат і висот дозволяє встановити фактичне положення елементів після завершення монтажу та порівняти його з проєктним.

9. *Забезпечення контролю не тільки абсолютного положення конструкцій, а й їх взаємного просторового положення.* Для шляхопроводу важливо оцінювати взаємне положення опор, прогонових конструкцій та осі залізничної колії. Саме такий підхід дозволяє комплексно оцінити геометричний стан споруди після ремонту.

10. *Створення можливості повторного використання локальної геодезичної мережі в період експлуатації споруди.* За умови збереження пунктів П1–П4 вони можуть бути використані не тільки під час капітального ремонту, але й для подальших контрольних та моніторингових спостережень за деформаціями та змінами просторового положення конструктивних елементів.

Таким чином, підвищення надійності геодезичного забезпечення капітального ремонту досліджуваного шляхопроводу доцільно забезпечувати за рахунок: багаторівневої структури геодезичної основи; використання декількох GNSS-станцій для контролю координатного забезпечення; застосування двох вихідних точок СВ-1 і СВ-2; використання робочих та контрольних пунктів П1–П4; поєднання GNSS, тахеометричних і нівелірних вимірювань; виконання поетапного геодезичного контролю; застосування надлишкових і повторних вимірювань; обов'язкового виконавчого

геодезичного знімання; цифрового накопичення та опрацювання результатів; збереження локальної геодезичної мережі для подальшого моніторингу споруди.

Запропоновані рекомендації дозволяють підвищити достовірність результатів геодезичних вимірювань, своєчасно виявляти відхилення конструктивних елементів від проєктного положення та забезпечити послідовний геодезичний супровід капітального ремонту від підготовчого етапу до завершення робіт.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі досліджено та обґрунтовано комплекс геодезичних робіт при капітальному ремонті залізничного шляхопроводу на 1135 км ПК 1 ділянці Помічна–Колосівка в місті Вознесенську Миколаївської області. На основі аналізу нормативних, проєктних, технічних та інженерно-геодезичних матеріалів розроблено послідовність геодезичного забезпечення об'єкта від формування вихідної координатної основи до контролю геометричних параметрів відновленої споруди.

1. *Проаналізовано нормативну та науково-методичну основу виконання геодезичних робіт під час будівництва, реконструкції та капітального ремонту інженерних споруд.* Встановлено, що геодезичне забезпечення повинно охоплювати створення та контроль геодезичної основи, розмічувальні роботи, визначення просторового положення конструкцій, поточний геодезичний контроль і виконавче геодезичне знімання.

2. *Досліджено природні та інженерно-геологічні умови району робіт,* а також конструктивні особливості залізничного шляхопроводу. Встановлено, що споруда є двопрогоною та спирається на три опори: крайню опору № 0, проміжну опору № 1 та крайню опору № 2. Особливого геодезичного контролю потребує відновлення проміжної опори № 1, яка за матеріалами технічного обстеження зазнала значного руйнування.

3. *Визначено основні конструктивні елементи, які підлягають геодезичному супроводу та контролю.* До них віднесено опори та фундаментні конструкції, підферменні блоки, прогонові конструкції, залізничну колію, елементи мостового полотна, водовідвідні конструкції та огороження. Такий склад об'єктів контролю забезпечує комплексну оцінку просторового положення споруди.

4. *Обґрунтовано структуру геодезичного забезпечення об'єкта за принципом послідовного переходу від регіональної GNSS-мережі до локальної планово-висотної геодезичної мережі.* Основною референчною

станцією прийнято VZSK 15843M001, розташовану в м. Вознесенську. Для підвищення надійності координатного забезпечення передбачено можливість контролю її положення за даними інших референцних GNSS-станцій регіональної мережі.

5. *Сформовано проєкт локальної планово-висотної геодезичної мережі* на основі вихідних точок СВ-1 та СВ-2. При цьому точки СВ-1 та СВ-2 розглядаються як вихідні точки локальної геодезичної основи, а не як пункти державної геодезичної мережі. Їх координатно-висотне положення передбачається уточнювати за результатами GNSS RTK-вимірювань.

6. *Запроєктовано чотири пункти локальної мережі – П1, П2, П3 та П4.* Пункти П1 і П2 передбачається використовувати як основні робочі пункти, а П3 і П4 – як контрольні. Такий розподіл забезпечує можливість виконання основних розмічувальних і контрольних робіт із одночасною незалежною перевіркою отриманих результатів.

7. *Розроблено технологічну послідовність геодезичних робіт під час капітального ремонту.* Передбачено контроль вихідної геодезичної основи, GNSS RTK-прив'язку вихідних точок, перевірку локальної мережі, розмічування осей споруди, геодезичний супровід відновлення проміжної опори № 1, контроль монтажу прогонових конструкцій, контроль положення залізничної колії та виконання виконавчого геодезичного знімання.

8. *Обґрунтовано застосування комплексу геодезичних методів.* GNSS-технології доцільно використовувати для забезпечення зв'язку локальної мережі з регіональною координатною основою, електронну тахеометрію – для детального визначення планового положення конструктивних елементів і виконання розмічувальних робіт, а геометричне нівелювання – для контролю висотних параметрів та положення залізничної колії.

9. *Розроблено підхід до геодезичного контролю відновленої споруди.* Контролю підлягають координатне положення осей опор, довжини прогонів, висотні відмітки конструкцій, положення осі залізничної колії, габарит під спорудою та ширина конструкції. Для залізничної колії передбачено

визначення планового та висотного положення, поздовжніх ухилів і взаємного положення колії та прогонових конструкцій.

10. *Виконано розрахунково-контрольне порівняння основних геометричних параметрів шляхопроводу.* Для прийнятої моделі контролю розглянуто відстань між крайніми опорами, довжини прогонів, положення осі колії, габарит під спорудою та ширину між огорожувальними конструкціями. Отримані розрахункові відхилення мають незначний характер і демонструють можливість виявлення відхилень геометричних параметрів за допомогою запропонованої системи геодезичного контролю.

11. *Визначено практичну значущість запропонованої системи.* Формування взаємопов'язаної регіональної GNSS- та локальної планово-висотної мережі забезпечує єдність координатного простору, а використання робочих і контрольних пунктів дозволяє підвищити надійність розмічувальних та виконавчих робіт. Запропонована схема може бути використана як методична основа для геодезичного супроводу аналогічних ремонтних робіт на залізничних штучних спорудах.

12. *Сформовано рекомендації щодо підвищення надійності та ефективності геодезичного забезпечення,* які передбачають багаторівневу побудову геодезичної основи, використання надлишкових і повторних вимірювань, комплексне застосування GNSS, тахеометричних та нівелірних методів, поетапний контроль відповідальних конструкцій, виконання виконавчого геодезичного знімання та збереження локальної геодезичної мережі для подальшого контролю технічного стану споруди.

Отже, запропонована система геодезичного забезпечення формує послідовний зв'язок між регіональною GNSS-основою, локальною планово-висотною мережею та безпосереднім геодезичним контролем конструктивних елементів шляхопроводу і залізничної колії. Її застосування створює необхідні передумови для своєчасного виявлення просторових відхилень, підвищення надійності ремонтних робіт та забезпечення відповідності відновленої споруди проєктним рішенням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Akpınar B., Güla E. Multisensor Railway Track Geometry Surveying System. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2012. Vol. 61, No. 1. P. 190–197. URL: <https://salolli/190778f>
2. Akpınar B., Güla E. Railway track geometry determination using adaptive Kalman filtering model. *Measurement*. 2013. Vol. 46, No. 1. P. 639–645. URL: <https://salolli/0aa4b79>
3. Gogoliński W., Uznański A. Badanie geometrii osi torów kolejowych techniką RTK GPS. *Geodezja*. 1999. Vol. 5, No. 1. P. 89–99. URL: <https://salolli/a7dD9C5>
4. Koc W., Specht C., Chrostowski P., Palikowska K. The accuracy assessment of determining the axis of railway track basing on the satellite surveying. *Archives of Transport*. 2012. Vol. 24, No. 3. P. 307–320. URL: <https://salolli/67bBb80>
5. Olaszek P., Wyczalek I., Sala D., Kokot M., Świercz A. Monitoring of the Static and Dynamic Displacements of Railway Bridges with the Use of Inertial Sensors. *Sensors*. 2020. Vol. 20, No. 10. 2767. URL: <https://salolli/4952ddB>
6. Psimoulis P., Stiros S., Moschas F. Identification of soil-structure interaction effects based on geodetic monitoring of a railway bridge. *2nd International Conference on Bridges “Innovations on Bridges and Soil-Bridge Interaction”*. Athens, 2014. URL: <https://salolli/c17563A>
7. Skibicki J., Wilk A., Koc W., Chrostowski P. et al. A Multi-Receiver GNSS System Geometry Control Algorithm in Mobile Measurement of Railway Track Axis Position. *Remote Sensing*. 2025. Vol. 17, No. 14. 2461. URL: <https://salolli/9Af5CA9>
8. Wilk A., Koc W., Specht C. et al. Innovative mobile method to determine railway track axis position in global coordinate system using position measurements performed with GNSS and fixed base of the measuring vehicle. *Measurement*. 2021. Vol. 175. URL: <https://salolli/befC3aC>

9. Wyczalek I., Olaszek P., Sala D., Kokot M. Monitoring of the static and dynamic displacements of railway bridges with the use of the total station and set of the electronic devices. 2018. URL: <https://salolj/A7307e4>
10. Батракова А. Г., Кузьмін В. І. Інженерно-геодезичний моніторинг і контроль у будівництві. Ч. 1: Геодезичні роботи при будівництві мостів. Харків: ХНАДУ, 2018. 115 с. URL: <https://salolj/C5DDcE4>
11. Бачишин Б. Геодезичний моніторинг короткоперіодичних деформацій мосту в м. Рівне. *Просторовий розвиток*. 2023. № 5. С. 258–267. URL: <https://salolj/0D78812>
12. ДБН А. 2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва. [Чинний від 2015-06-30]. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Державне підприємство «Український державний головний науково-дослідний і виробничий інститут інженерно-технічних і екологічних вишукувань» «УкрНДІПНТБ», 2014. URL: <https://salolj/9e3C333>.
13. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2018-08-02]. К.: Мінрегіонбуд України, 2018. 35 с. URL: <https://salolj/5Cb60C1>
14. ДБН В.1.3-2:2010. Геодезичні роботи у будівництві. [Чинний від 2010-09-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 65 с. URL: <https://salolj/a24FA57>
15. ДБН В.2.3-19:2018. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування. [Чинний від 2019-04-01]. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Український державний університет залізничного транспорту, Мінрегіон України, 2018. URL: <https://salolj/ecE1896>
16. ДБН В.2.3-6:2009. Мости та труби. Обстеження і випробування. Чинний від 2009-11-11]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 36 с. URL: <https://salolj/a953C0d>

17. Дем'яненко Р., Аннеков А., Медведський Ю., Ніколайко С. Аспекти розвитку та імплементації ГНСС-технологій у контексті сучасного геодезичного моніторингу стану та динаміки інженерних споруд. *Містобудування та територіальне планування*, 2025. №90. С. 438–451. URL: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.90.438-451>
18. ДСТУ 2393-94. Геодезія. Терміни та визначення [Чинний від 1995-01-01]. К.: Держстандарт України, 1994. URL: <https://salo.li/1a17126>
19. ДСТУ ISO 17123-8:2018 Оптика та оптичні прилади. Процедури польових випробувань геодезичних та топографічних приладів. Частина 8. Приймачі ГНСС, що працюють у режимі вимірювань у реальному часі (RTK) [Чинний від 2020-01-01]. К. : ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2018. URL: <https://salo.li/A7E1372>
20. Нормативно-правові акти в сфері геодезії та картографії. Інформаційно-довідковий ресурс GeoGuide.com.ua. URL: <https://salo.li/1116CeF>
21. Пілінський С. О. Геодезичне забезпечення реконструкції інженерних споруд (мостів): кваліфікаційна робота освітнього рівня бакалавр. Біла Церква: БНАУ, 2025. 61 с. URL: <https://salo.li/e1B9B8c>
22. Правила технічної експлуатації залізниць України: Наказ Міністерства транспорту України від 20.12.1996р. № 411. Дата оновлення: 14.11.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97#Text>
23. Про залізничний транспорт: Закон України від 04.07.1996 № 273/96-ВР. Дата оновлення: 31.10.2025. URL: <https://salo.li/89b3fC7>
24. Про затвердження Порядку утримання і обслуговування залізничних під'їзних колій до військових частин, установ та організацій Збройних Сил України: Наказ Міністерства оборони України та Міністерства інфраструктури України від 30.07.2020р. № 258/431. URL: <https://salo.li/4698195>

25. Про метрологію та метрологічну діяльність: Закон України від 05.06.2014 № 1314-VII. Дата оновлення: 15.11.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>
26. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність: Закон України від 23.12.1998р. №353-XIV. Дата оновлення: 08.06.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>.
27. Про транспорт: Закон України від 10.11.1994р. № 232/94-ВР. Дата оновлення: 28.05.2024. URL: <https://salo.li/27ce145>
28. Ратушняк Г.С., Панкевич О.Д., Бікс Ю.С., Вовк Т.Ю. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 1: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2014. 98 с.
29. Рябков О. В. Геодезичне забезпечення ремонтно-будівельних робіт при реконструкції мостів: кваліфікаційна робота. Кременчуцький національний університет, 2024. URL: <https://salo.li/bdA8D82>
30. Староверов В., Адаменко О. Геодезичний моніторинг мостів. *Геодезія, архітектура та будівництво: матеріали IV Міжнародної конференції молодих учених GAC-2011*. Львів, 2011. С. 168–171. URL: <https://salo.li/92E6A5E>
31. Топографо-геодезична та картографічна діяльність (законодавчі та нормативні акти). Частина I. *Головне управління геодезії, картографії та кадастру*. Київ: 2000. 405 с.
32. Хільчевський В.О., Гнатишин М.С., Полянський В.В. Геодезичні роботи при будівництві та реконструкції лінійних споруд. К.: КНУБА, 2014.
33. ЦП-0269. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. [Чинний від 2012-05-01]. Дніпро: Дніпропетровський Національний Університет Залізничного Транспорту, 2012. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82294