



**Ministry of Education and Science of Ukraine  
Ukrainian State University of Science and Technologies**

**Building, architecture and infrastructure**

(faculty/TRC)

**Transport infrastructure**

(department)

**Explanatory Note  
to Master's Thesis  
Master  
(higher education degree)**

on the topic: «The reconstruction project of the railway overpass in Chernihiv»  
according to educational curriculum Bridges and vehicular traffic tunnels

in the Specialization: 192 Building and civil engineering

(Specialization and its code )

Done by the student of the group: MT2326 / Kostiantyn BILTSAN  
(name, surname)

Scientific Supervisor: / Senior Lect. Vitalii MIROSHNYK/  
(position, name, surname)

Normative controller : / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /  
(position, name, surname)

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Магістр»

Освітня програма: «Мости і транспортні тунелі»

Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»

Олексій ГЮТЬКІН

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата \_\_\_\_\_

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Більцану Костянтинові Миколайовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема дипломної роботи: «Проект реконструкції залізничного шляхопроводу в м. Чернігів».

Керівник роботи: Мірошник Віталій Анатолійович  
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від «16» лютого 2024 р. № 157ст

2. Строк подання студентом роботи: «15» січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Технічний звіт з обстеження шляхопроводу через автодорогу по вул. Любецькій у м. Чернігові

Вступ. Розділ 1. Коротка характеристика шляхопроводу і умов проектування .

Розділ 2. Дефекти штучної споруди

Розділ 3. Розробка техніко-економічного порівняння варіантів реконструкції

Розділ 4. Розрахунок прогонової будови

Розділ 5. Реконструкція автодорожньої розв'язки

Розділ 6. Аналіз застосування БМП

Висновки. Перелік посилань

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 10...12 слайдів).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання вихідних даних. Розробка варіантів і техніко-економічне порівняння	02.09.2024 – 29.09.2024	30%
2	Розрахунок існуючої прогонової будови	30.09.2024– 03.11.2024	40%
3	Розрахунок нової прогонової будови	04.11.2024– 05.12.2024	60%
4	Технологія реконструкції, наукова робота	09.12.2024– 12.01.2025	100%
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2025	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	22.01.2025	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Костянтин БІЛЬЦАН**

\_\_\_\_\_

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Віталій МІРОШНИК**

\_\_\_\_\_

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

84 стор., 20 табл., 26 рис., 30 джерел., 1 додаток

Об'єкт розробки – залізничний шляхопровід, автодорожня транспортна розв'язка.

Мета роботи – обґрунтування вибору варіанту реконструкції шляхопроводу і транспортної розв'язки та проєктування обраного варіанту.

Метод дослідження – метод варіантного проєктування, метод граничних станів, аналіз.

В магістерській роботі виконано проєкт реконструкції залізничного залізобетонного шляхопроводу під три колії через автодорогу. В рамках проєкту проведено техніко-економічне порівняння можливих варіантів капітального ремонту, що передбачають ремонт зі збереженням одного зі стоянів та старої прогонової будови, ремонт за новою схемою з застосуванням сучасних прогонових будов за старою поперечною схемою., а також ремонт за новою схемою з використанням нових прогонових будов та розташування їх за новою суцільною схемою впоперек мосту.

Для обраного варіанту виконано розрахунок і проєктування плити прогонової будови, та палі – елементу нового стояна. Для варіанту розроблено технологію реконструкції, що передбачає почергове перекриття залізничних колій і, таким чином, безперервну роботу залізниці.

Також виконано аналіз застосування віброізоляційних матів на мостах під безбаластне мостове полотно. За результатами аналізу визначено перспективність такого методу і позитивний вплив його на поведінку прогонової будови та мостового полотна. Подано рекомендацію щодо застосування таких матів для обраного варіанту реконструкції

Ключові слова: ШЛЯХОПРОВІД, ЗАЛІЗОБЕТОН, РЕКОНСТРУКЦІЯ, БУРО-СІЧНІ ПАЛІ, БМП, ВІБРОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТИ.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	5
ЗМІСТ .....	6
ВСТУП.....	8
1 ОПИС ІСНУЮЧОГО ШЛЯХОПРОВОДУ .....	10
1.1 Опис шляхопроводу .....	10
1.2 Опис вулиці .....	11
1.3 Характеристика географічного розташування та природних умов .....	13
2 ВИЗНАЧЕННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ ...	15
2.1 Розрахункова схема балки, визначення зусиль .....	15
2.2 Розрахунок на міцність за згинальним моментом .....	19
2.3 Перевірка перерізу за витривалістю за згинальним моментом .....	20
2.4 Розрахунок на тріщиностійкість за згинальним моментом .....	22
2.5 Перевірка на міцність за поперечною силою .....	23
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРІАНТІВ РЕКОНСТРУКЦІЇ ШЛЯХОПРОВОДУ	26
3.1 Постановка проблеми .....	26
3.2 Загальні проєктні рішення з реконструкції вулиці .....	26
3.3 Варіант реконструкції шляхопроводу №1 .....	27
3.4 Варіант реконструкції шляхопроводу №2 .....	30
3.5 Варіант реконструкції шляхопроводу №3 .....	33
3.6 Порівняння варіантів.....	36
4 РОЗРОБКА ОБРАНОГО ВАРІАНТУ .....	37
4.1 Розрахунок нової прогонової будови 13,5 м. ....	37
4.2 Розрахункова схема балки, визначення зусиль .....	37
4.2 Підбір робочої арматури.....	41
4.3 Розрахунок на міцність за згинальним моментом .....	42
4.4 Перевірка перерізу за витривалістю за згинальним моментом .....	43
4.5 Розрахунок на тріщиностійкість за згинальним моментом .....	46
4.6 Перевірка на міцність за поперечною силою .....	47
4.7 Проєктування опори.....	49

5 ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ З РЕКОНСТРУКЦІЇ ВУЛИЦІ.....	52
6 ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВНИЦТВА .....	55
6.1 Технологічна послідовність виконання робіт .....	55
6.2 Технологічні вимоги до залізобетонних конструкцій .....	62
6.3 Вантажно-розвантажувальні роботи .....	64
6.4 Виконання робіт на автодорозі .....	66
7 ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРОІЗОЛЮЮЧИХ МАТІВ В ЯКОСТІ ОСНОВИ БЕЗБАЛАСТНОЇ КОЛІЇ НА МОСТАХ.....	68
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	76
Додаток А Розрахунок буро-січних паль .....	80

## ВСТУП

Розширення залізничного шляхопроводу є складним інженерним завданням, яке часто виникає під час реконструкції вулиць, особливо в містах з розвиненою транспортною інфраструктурою. Такий захід зазвичай необхідний для збільшення пропускної здатності дороги, покращення умов руху та підвищення безпеки дорожнього руху.

Необхідність у розширенні виникає через наступні чинники:

- Зростання кількості автомобілів та інших транспортних засобів, що вимагає розширення проїжджої частини;
- Розширення може включати додаткові смуги для поворотів, велосипедні доріжки та пішохідні зони, що підвищує безпеку руху.

До проблем таких робіт відносять:

- Висока вартість: Розширення шляхопроводу – це дорогий проект, який вимагає значних фінансових інвестицій.
- Тривалість робіт: Будівельні роботи можуть зайняти тривалий час, що може призвести до тимчасових обмежень руху транспорту.
- Вплив на навколишнє середовище: Будівельні роботи можуть негативно вплинути на навколишнє середовище, тому необхідно вживати заходів для мінімізації цього впливу.
- Координація з іншими учасниками процесу: Необхідно узгодити дії з залізничною компанією, міською адміністрацією, іншими будівельними організаціями та місцевими жителями.

Важливо зазначити, що кожен проект розширення шляхопроводу є унікальним і вимагає індивідуального підходу.

Оцінка ефективності розширення залізничного шляхопроводу є комплексним процесом, який дозволяє визначити, наскільки успішно реалізований проект та чи досяг він поставлених цілей.

Основні критерії оцінки ефективності:

Зменшення транспортних заторів:

- Порівняння середньої швидкості руху транспортних засобів до та після розширення.
- Аналіз кількості транспортних засобів, що проїжджають за певний період часу.
- Оцінка частоти виникнення заторів

#### Підвищення безпеки руху:

- Аналіз кількості дорожньо-транспортних пригод до та після розширення.
- Оцінка ефективності встановлених засобів безпеки (огорожі, освітлення тощо).

#### Зменшення рівня шуму та вібрації:

- Проведення акустичних вимірювань в житлових районах, розташованих поблизу шляхопроводу.
- Оцінка впливу вібрації на будівлі та споруди.

#### Економічна ефективність:

- Порівняння фактичних витрат на будівництво з кошторисними.
- Розрахунок терміну окупності інвестицій.
- Оцінка впливу розширення на розвиток економіки регіону.

#### Соціальний ефект:

##### Опитування громадської думки щодо задоволеності змінами.

- Аналіз впливу розширення на якість життя місцевих жителів.
- Оцінка впливу на розвиток громадського транспорту та пішохідної інфраструктури.

#### Екологічний ефект:

- Оцінка впливу будівельних робіт на навколишнє середовище.
- Аналіз рівня забруднення повітря, води та ґрунту.

## 1 ОПИС ІСНУЮЧОГО ШЛЯХОПРОВОДУ

### 1.1 Опис шляхопроводу

Залізничний шляхопровід, що знаходиться на км 103 ПК0+77 головної колії їзди поверху перегону Чернігів-Північний – Чернігів напрямку Новобілиця-Чернігів знаходиться в м. Чернігів і перетинає вул. Любецьку.

Повна довжина мосту – 26,510 м. Він знаходиться на прямій в плані.

Відстань від краю насипу до кінця мосту складає 3,020 м. Висота насипу складає 6,2 м. Відстань між шафовими стінками стоянів 9,90 м.

Ділянка не електрифікована, по даній ділянці проходять головна колія №1 та під'їзні колії №3, 8; рейки Р-65 на залізобетонних шпалах та щебеневому баласті. Також знаходяться стрілочні переводи №№7, 9, 11, 15 та маневрові сигнали №№11, 9, 15. Відстані між осями колій 5300 мм, ухил 0,5/300 ‰.

Шляхопроводом проходять три колії, відстань між якими складає 5300 мм.

Міст однопрогоновий. Прогін складається з трьох прогонових будов, під одну колію кожна. Прогонова будова двоблочна, повною довжиною 9,85 м і розрахунковою довжиною у 9,25 м. Будівельна висота – 0,95 м. Прогонові будови залізобетонні зі звичайного залізобетону, виконані за типовим проектом 3.501-108 і розраховані під навантаження С-14. Мостове полотно на баласті.

Деформаційні шви перекриті металевими листами.

Тротуари шляхопроводу збірні, на металевих консолях. Покриття тротуарів - залізобетонними плитами. Перильне огородження металеве. Висота перильного огородження шляхопроводу 1,1 м.

Стояни шляхопроводу, прийняті №0 і №1 за нумерацією, виконані з бутової кладки і облицьовані гранітом, роздільні під кожну колію. Стояни виконані на ґрунтовій основі з глибиною залягання фундаментів 2,06 і 2,03 м від обрізу відповідно.

Підферменні блоки збірні, залізобетонні.

Опорні частини металеві, тангенційні заводські (рухомі та нерухомі) виконані за типовим проектом 3.501-26 (Інв. №577).

Конуси насипів укріплено збірними залізобетонними плитами розмірами 50x50 см. По низу конусу тіла насипу влаштовані підпірні стінки з бетонних блоків ФБС.

Шляхопровід побудовано у 1917 році. У 1990 році було виконано заміну прогонових будов на існуючі та улаштовано нові залізобетонні підферменники.

Розрахунковим навантаженням зазначено С-14.

Ширина підмостового габариту – 8,5 м, висота габариту – 5,0 м.

Схему мосту приведено на рис. 1.1, положення мосту на мапі м. Чернігова приведено на рис. 1.2.

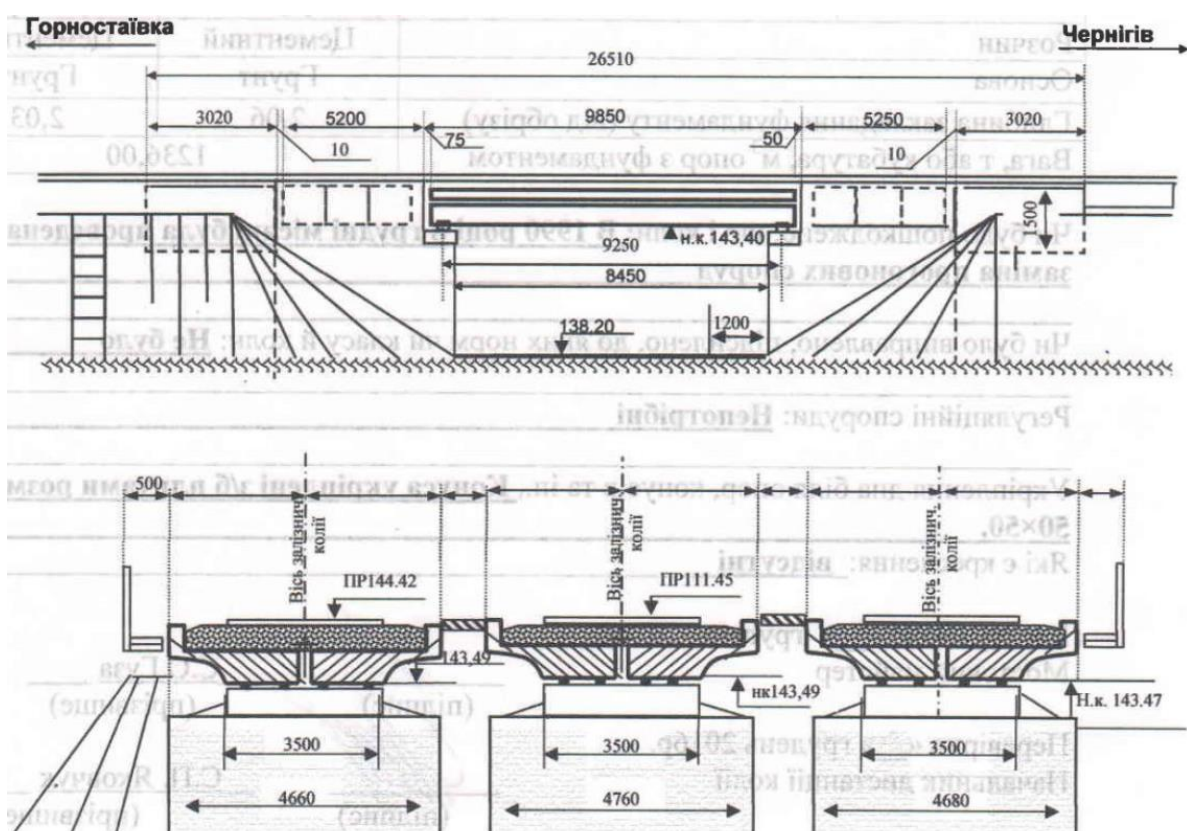


Рисунок 1.1 – Загальна схема шляхопроводу (викопіювання з картки мосту)

## 1.2 Опис вулиці

У відповідності до паспорта дороги, вул. Любецька Новозаводського району м. Чернігова за технічною класифікацією відноситься до магістральних вулиць районного значення без розділової смуги. Кількість полос руху – 2 смуги (по одній в кожному напрямку). Ширина тротуарів по парній стороні 3-5 м, по непарній 4-6 м. Розміщується в межах вулиць Щорса та Елеваторної. Тип

водовідведення по вулиці – змішаний. Даною ділянкою дороги користуються автомобільний транспорт та тролейбуси.

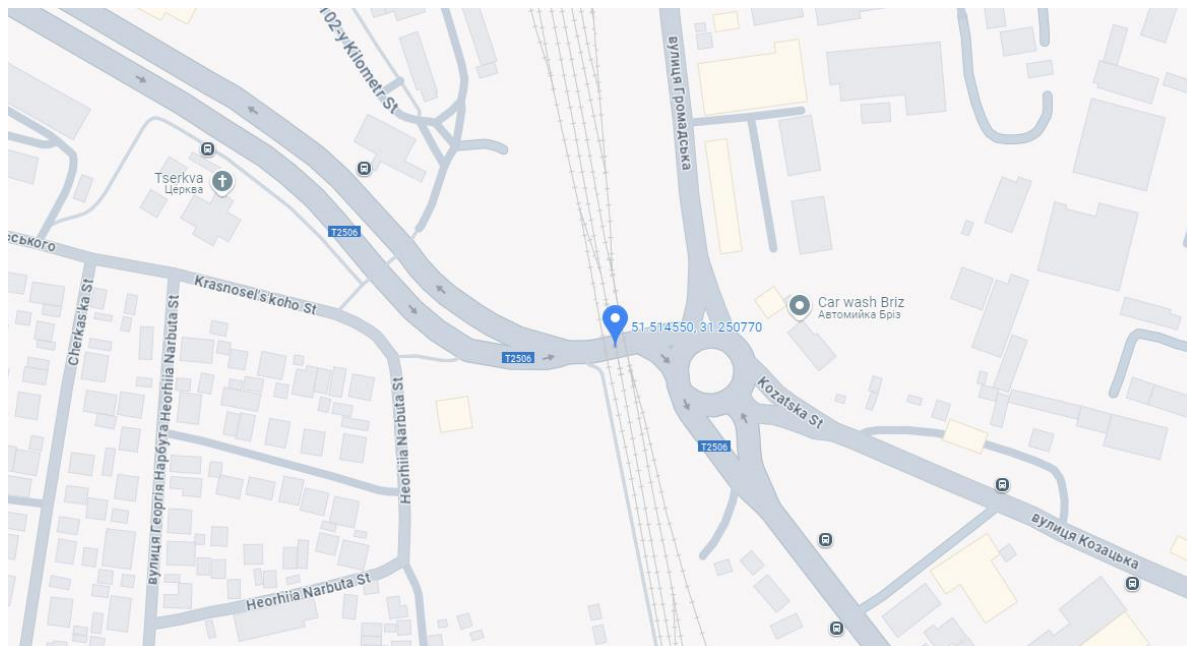


Рисунок 1.2 – Розташування шляхопроводу на мапі м. Чернігова (викопіювання з google maps)

Інтенсивність руху автотранспорту та тролейбусів: середня – 1312 авт./год; максимальна – 1372 авт./год.

Середній склад руху: вантажівки більше 5 т – 3%; вантажівки 2,5 – 5,0 т – 24%; вантажівки до 2,5 т – 21%; автобуси – 2%; тролейбуси – 1%; легковий автотранспорт – 48%; причеми – 0,5%; інші – 0,5%.

Фактична швидкість руху – 48 км/год.

Ширина вулиці в межах забудови: середня – 23,0 м, мінімальна – 19,0 м.

Покриття проїжджої частини – асфальтобетон по щебенево-піщаній основі.

Бордюрні камені бетонні та залізобетонні.

Покриття тротуарів – асфальтобетон та бетонні плити.

Вуличне освітлення двостороннє через 35-40 м до ПК 33+00, одностороннє через 40-45 м від ПК33+00 до ПК50+78.

Кріплення контактної мережі тролейбусів здійснено на гнучких поперечинах по залізобетонних опорах освітлення.

Вулиця проходить під залізничним шляхопроводом, має по одній смузї руху в кожному напрямку.

Кріплення контактної мережі тролейбуса до низу прогонових будов здійснюється через закладні деталі зі встановленням ізоляторів.

### 1.3 Характеристика географічного розташування та природних умов

Земельна ділянка, що відведена під будівництво, розташована в м. Чернігів, Новозаводський район.

В адміністративному відношенні район будівництва розташований на території м. Чернігів, Чернігівська область.

Відповідно до даних, наведених у ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія», знаходиться у І кліматичному районі – Північно- західному.

Клімат району континентальний, який характеризується високою амплітудою температури повітря, малою сумою опадів і слабкими вітрами.

Середньорічна температура повітря становить плюс 7,0°C. Середньомісячна температура січня – мінус 5,9 °С, липня – плюс 19,2 °С. Абсолютна мінімальна температура –31°C. Найспекотніший місяць липень має середньомісячну температуру +27,0°C.

Вітри в теплий період – південний, східний і північно-західний , в холодний – південний і південно-східний.

По Чернігівській області згідно ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010 «Будівельна кліматологія» середні місячні та річні температури повітря наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Середні місячні температури повітря в Чернігівській області

Місяць	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Сер.
Темп., °С	-5,9	-4,9	-1,0	+7,3	+13,7	+17,0	+18,5	+17,4	+12,2	+6,2	+0,2	-4,0	+6,3

Тривалість періоду з середньодобовою температурою повітря нижче 0° (зима) на території області за рік становить в середньому 104-119 днів, а вище 0° – 246-261 день.

Протягом року найбільше опадів випадає у липні (71 мм), найменше – у лютому та березні (36 мм).

Річна кількість опадів наведена в таблиці 1.2.

Місяць	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	За рік.
Середня кількість опадів, мм	37	36	36	43	54	67	71	63	53	43	48	44	595

Переважаючий напрямок вітру влітку – північний, взимку – південний, південно-західний та східний. Переважний напрямок вітрів у січні – південно-західний/західний (повторюваність 20%). Переважний напрямок вітрів в липні – західний (повторюваність 21%).

Вологість повітря протягом року в середньому становить 78%. Найбільших значень вона сягає у листопаді-грудні (в середньому 88%), найменших — у травні (67%).

Характеристика значень навантажень і впливів, згідно з Додатком Е (ДБН В.1.2-2: 2006), складають:

- снігове навантаження,  $S_0$  – 1720 Па
- вітрове навантаження,  $W_0$  – 410Па;
- товщина стінки ожеледі,  $B$  – 16 мм;
- вітрове навантаження при ожеледі,  $W_B$  – 160Па.

Глибина промерзання ґрунтів максимальна 1,2 м, середня – 0,8 м.

Інженерно-геологічні умови території будівництва належать до II (середньої складності) категорії складності.

Згідно схеми сейсмічного районування за шкалою MSK-64 та карти загального сейсмічного районування (ОСР 2004-А) території України, Чернігівська область відноситься до 5-ти бальної зони, а категорія ґрунтів за сейсмічними властивостями – III.

## 2 ВИЗНАЧЕННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ

Прогонові будови залізобетонні зі звичайного залізобетону, виконані за типовим проєктом 3.501-108 у 1990 році і розраховані під навантаження С-14. Таким чином, класифікація прогонової будови, в цілому, не має сенсу. Натомість, варто врахувати зміни до умов проєктування і експлуатації мостів, що набули чинності з моменту будівництва мосту. Наприклад, ДБН В.1.2-14-2009 було введено коефіцієнт надійності за призначенням, що для даного мосту складатиме 1,25. Тому, в навчальних цілях, виконаємо розрахунок даної прогонової будови під навантаження С14 з урахуванням сучасних вимог для визначення можливості її подальшого застосування після реконструкції.

### 2.1 Розрахункова схема балки, визначення зусиль

В якості розрахункової схеми приймаємо балку на двох опорах прогоном 9,2 м, яку завантажено постійними і тимчасовими навантаженнями. Лінії впливу моментів і поперечних сил в перерізах балки приведено нижче.

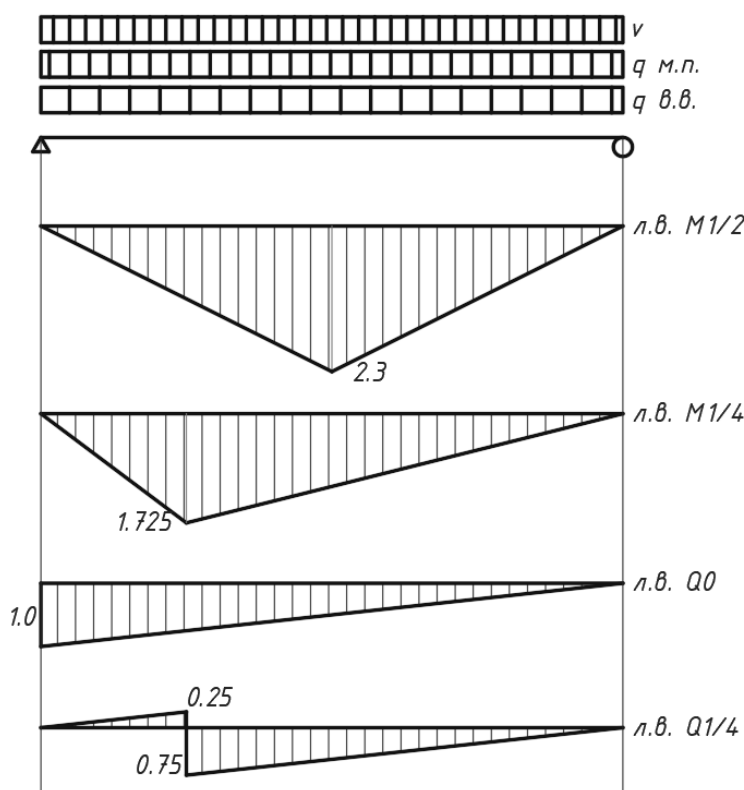


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема та лінії впливу балкової прогонової будови

Площі ліній впливу наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Площі та параметри ліній впливу

Л.в.	ордината	Довжина	площа	$\alpha$
M1/2	2.3	9.2	10.57	0,5
M1/4	1.725	9.2	7.935	0,25
Q0	1	9.2	4.6	0
Q1/4	-0.25	2.3	-0.288	0
Q1/4	0.75	6.9	2.588	0

## 2.1.1 Розрахунок інтенсивності постійного навантаження

Задаємося перерізом балки за типовим проєктом:

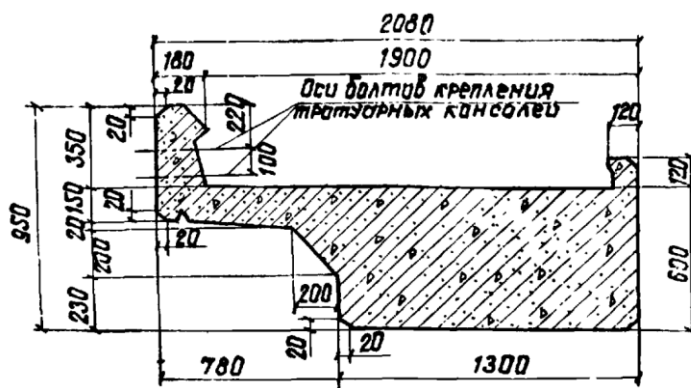


Рисунок 2.2 – Переріз блоку прогонової будови за опалубкою

Об'єм бетону на балку – 19,6 м<sup>3</sup>.

Нормативна інтенсивність навантаження від власної ваги балки:

$$q_{66}^n = \frac{V \cdot \gamma_b}{L} = \frac{19.6 \cdot 0.5 \cdot 24.5}{9.2} = 26.10 \text{ кН/м.} \quad (2.1)$$

Нормативне значення інтенсивності навантаження від ваги баласту з частинами колії:

$$q_b^n = B_1 \cdot d_b \cdot \gamma_b = 2.08 \cdot 0.5 \cdot 19.6 = 20.4 \text{ кН/м} \quad (2.2)$$

Нормативне значення інтенсивності навантаження від ваги плити тротуару та перил

$$q_{mp}^n = 4.7 \text{ (кН/м); } q_n^n = 0.7 \text{ кН/м} \quad (2.3)$$

Розрахункові значення інтенсивності кожної складової постійного навантаження для розрахунків на міцність, витривалість, тріщиностійкість визначаємо у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення інтенсивності постійного навантаження за компонентами

Компоненти навантаження	Значення для розрахунку на тріщиностійкість та витривалість, кН/м	Коефіцієнт надійності	Значення для розрахунку на міцність
Вага баласту з частинами колії	20,4	1,3	26,52
Вага плити тротуарної консолі	4,7	1,1	5,17
Вага перил тротуарної консолі	0,7	1,1	0,77
Вага ребра головної балки	26,10	1,1	28,71
Загалом	51,90		61,17

Зусилля в плиті від постійних навантажень приведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Зусилля від постійних навантажень

зусилля	Площа л.в.	Навантаження нормативне	Навантаження розрахункове	Коеф.	Зусилля нормативне	Зусилля розрахункове
$M_{1/2}$	10.57	51,90	61,17	1,25	685.73	808.21
$M_{1/4}$	7.935	51,90	61,17	1,25	514.78	606.73
$Q_0$	4.6	51,90	61,17	1,25	298.43	351.73
$Q_{1/4}$	2,3	51,90	61,17	1,25	149.21	175.86

2.1.2 Розрахунок тимчасових нормативних і розрахункових навантажень на балку

Нормативне значення еквівалентного тимчасового навантаження визначається для кожної лінії впливу окремо, використовуючи табличне значення  $v^T$ , згідно [2], додаток Б:

$$v^T = \frac{1}{2} v^T \quad (2.4)$$

Розрахунки зведемо у табл. 2.4-2.6.

Таблиця 2.4 – Нормативні значення тимчасового навантаження

Лінія впливу	Параметри лінії впливу		Нормативне значення навантаження $V_T$
	$\lambda, \text{м}$	$\alpha$	
$M_{1/2}$	9,2	0.5	108,96
$M_{1/4}$	9,2	0.25	116,75
$Q_0$	9,2	0	124,53
$Q_{1/4}$	6.75	0	133,0

Таблиця 2.5 – Розрахункові значення тимчасового навантаження на міцність

Лінія впливу	Нормативне значення навантаження $v^H$	Коефіцієнт надійності $\gamma_v$	Динамічний коефіцієнт $1+\mu$	значення навантаження для розрахунку на міцність, кН/м
$M_{1/2}$	108,96	1,272	1.342	186.00
$M_{1/4}$	116,75	1,272	1.342	199.30
$Q_0$	124,53	1.272	1.342	212.58
$Q_{1/4}$	133,0	1.272	1.342	227.03

Таблиця 2.6 – Розрахункові значення тимчасового навантаження на витривалість

Лінія впливу	Нормативне значення навантаження $v^H$	Коефіцієнт $\epsilon$	Динамічний коефіцієнт $1+2/3\mu$	Обмежуюча умова $\epsilon(1+2/3\mu)>1$	значення навантаження для розрахунку на витривалість, кН/м
$M_{1/2}$	108,96	0.874	1.228	1.073	116.94
$M_{1/4}$	116,75	0.874	1.228	1.073	125.30
$Q_0$	124,53	0.874	1.228	1.073	133.65
$Q_{1/4}$	133,0	0.874	1.228	1.073	142.75

У розрахунках на тріщиностійкість використовуються нормативні значення тимчасового навантаження.

За даними табл.2.3-2.6 складаємо таблицю 2.7, в яку заносимо значення розрахункових зусиль в перерізах головної балки. Площі відповідних ліній впливу визначені в табл.2.2

Таблиця 2.7 – Визначення зусиль в прогоновій будові

Зусилля	Коеф. 1,25	Площа лінії впливу	Зусилля від постійного навантаження			тимчасове навантаження			сумарні зусилля		
			на тріщ.	на витр.	на міцн.	на тріщ.	на витр.	на міцн.	на тріщ.	на витр.	на міцн.
M <sub>1/2</sub>	1,25	10.57	51,90	51,90	61,17	108,96	116,94	186,00	2125,4	2230,8	3265,7
M <sub>1/4</sub>	1,25	7.935	51,90	51,90	61,17	116,75	125,30	199,30	1672,8	1757,6	2583,5
Q <sub>0</sub>	1,25	4.6	51,90	51,90	61,17	124,53	133,65	212,58	1014,5	1066,9	1574,1
Q <sub>1/4</sub>	1,25	2,3	51,90	51,90	61,17	133,0	142,75	227,03	531,6	559,6	828,6

## 2.2 Розрахунок на міцність за згинальним моментом

Розрахунок перерізів у прогоні на міцність проводиться на найбільший додатній та, якщо мається, від'ємний момент.

Перевірка перерізу проводиться за формулами розрахунку таврових балок.

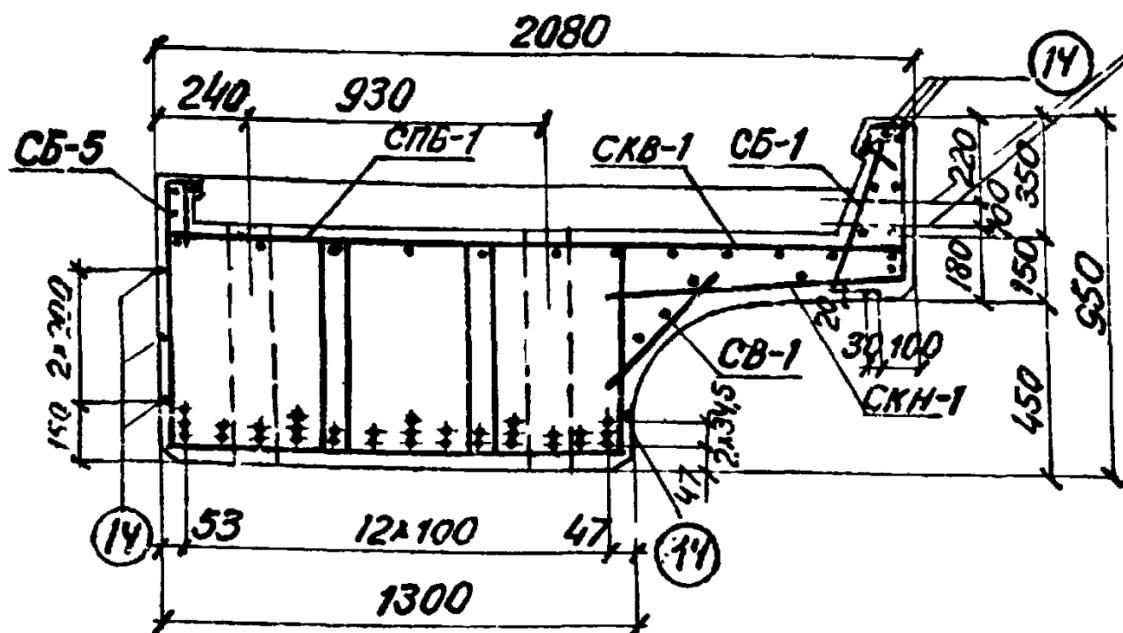


Рисунок 2.3 – Армування блоку; вся робоча арматура – Ø32 АІІІ

Розрахунок таврового перерізу проводиться за формулами:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{b'_f \cdot R_b} \leq h'_f \quad (2.5)$$

- у випадку, коли нейтральна вісь знаходиться в ребрі.

де:

$A'_s = 96,51 \text{ см}^2$  – площа верхньої арматури

$A_s = 249,32 \text{ см}^2$  – площа робочої арматури;

$b'_f = 208$  – ширина плити.

$$x = \frac{33 \cdot 249,32 - 33 \cdot 96,51}{208 \cdot 1,55} = 14,92 \text{ см}$$

Перевірка виконується за формулою:

$$M \leq R_b b'_f x (h_0 - 0,5x) + R_{cs} A'_s (h_0 - a'_s) \quad (2.6)$$

$a'_s = 6,6 \text{ см}$  – захисний шар бетону

$$\begin{aligned} & 2 \cdot 208 \cdot 14,95 \cdot (53,4 - 0,5 \cdot 14,95) + 33 \cdot 96,51 \cdot (53,4 - 4,7) = \\ & = 440717,98 \text{ кН} \cdot \text{см} = 4407,2 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Максимальний згинальний момент на міцність складає 3265,7 кНм

Умова виконується.

### 2.3 Перевірка перерізу за витривалістю за згинальним моментом

Розрахунок на витривалість проводиться з врахуванням пружної роботи матеріалу і складається з визначення напружень в бетоні та розтягнутій арматурі.

Параметри до розрахунку:

$$r = \frac{n'_s \cdot (A_s + A'_s) + (b'_f - b) \cdot h'_f}{b} = \frac{15 \cdot (249,32 + 96,51) + (208 - 130) \cdot 18}{130} = 50,70 \text{ см} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{h_f'^2 \cdot (b'_f - b) + 2n'_s \cdot (A_s \cdot h_0 + A'_s \cdot a'_s)}{b} = \\ & \frac{18^2 \cdot (208 - 130) + 2 \cdot 15 \cdot (249,32 \cdot 53,4 + 96,51 \cdot 4,7)}{130} = 3371,5 \text{ см}^2 \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$x' = -r + \sqrt{r^2 + S} = -50,7 + \sqrt{50,7^2 + 3371,5} = 26,4 \text{ см} > h'_f \quad (2.9)$$

$$I_{red} = \frac{b'_f \cdot (x')^3}{3} - \frac{(b'_f - b) \cdot (x' - h'_f)^3}{3} + n'_s \cdot A'_s \cdot (x' - a'_s)^2 + n'_s \cdot A_s \cdot (h_0 - x')^2 \quad (2.10)$$

де

$I_{red}$  - момент інерції приведенного перерізу;

$x'$  - висота сжатої зони із розрахунку на витривалість.

$$I_{red} = 4668300.5 \text{ см}^4 \quad (2.11)$$

Напруження в арматурі та бетоні визначаються за формулами:

$$\sigma_s = n'_s \cdot \frac{M'}{I_{red}} \cdot (h - x' - a_u)^2 \leq m_{as1} \cdot R_s \quad (2.12)$$

$$\sigma_b = \frac{M'}{I_{red}} \cdot x'^2 \leq m_{b1} \cdot R_b \quad (2.13)$$

де

$n'_s = \frac{E_s}{E_b} = 15$  – умовне відношення модулів пружності арматури і бетону.

Коефіцієнт асиметрії циклу змінних напружень визначається за формулою:

$$\rho_b = \rho_s = \rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = \frac{M'_{1-1,\min}}{M'_{1-1,\max}} = \frac{685.7}{2230.8} = 0,307 \quad (2.14)$$

$m_{b1}$ ,  $m_{as1}$  - коефіцієнти умов роботи, які враховують асиметрію циклу напружень відповідно у бетоні та арматурі.

$$m_{b1} = 0,6 \cdot \beta_b \cdot \varepsilon_b = 0,6 \cdot 1,31 \cdot 1,1 = 0,865 \quad (2.15)$$

$\beta_b$  - коефіцієнт, який враховує зростання міцності бетону з часом і в залежності від класу бетону приймається за табл. 25;  $\beta_b = 1,31$

$\varepsilon_b$  - коефіцієнт, який залежить від асиметрії циклу напружень, які повторюються  $\rho_b = \sigma_{b,\min} / \sigma_{b,\max}$ . Цей коефіцієнт приймається згідно з табл. 26.

$$\varepsilon_b = 1,11$$

$$m_{as1} = \varepsilon_{ps} \beta_{pw} = 0,86 \cdot 0,7 = 0,602 \quad (2.16)$$

$\epsilon_{ps}$  – коефіцієнт, який залежить від асиметрії циклу змінювання напружень у арматурі, приймається згідно з табл. 3.15;  $\epsilon_{ps}=0,86$ ;

$\beta_{pw}=0,70$  – коефіцієнт, який враховує вплив на умови роботи арматурних елементів наявності зварних стиків або приварок і приймається згідно з табл. 3.16.

$$h = h_0 + a_s = 60\text{см} \quad (2.17)$$

$$\sigma_s = 15 \cdot \frac{223080}{4668300.5} \cdot (60 - 26.4 - 4,7) = 20.7 \leq 0.602 \cdot 33 = 19.9\text{кН} / \text{см}^2 \quad (2.18)$$

$$\sigma_b = \frac{223080}{4668300.5} \cdot 26.4 = 1,26 \leq 0.865 \cdot 1,55 = 1.34\text{кН} / \text{см}^2 \quad (2.19)$$

Умову не виконано за арматурою з перенапруженням у 4%.

#### 2.4 Розрахунок на тріщиностійкість за згинальним моментом

Залізобетонні балки з не напруженою арматурою повинні задовольняти категорії вимог за тріщиностійкістю 3В. В цьому випадку тріщиностійкість забезпечується за умовою:

$$a_{cr} \leq \Delta_{cr} \quad (2.20)$$

де

$a_{cr}$  - розрахункова ширина тріщини під навантаженням;

$\Delta_{cr} = 0,02\text{см}$  - гранична ширина тріщини.

$$a_{cr} = \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \psi \leq \Delta_{cr} \quad (2.21)$$

де:

$\psi$  - коеф. розкриття тріщин в залежності від радіусу армування;

$E_s$  -модуль пружності арматурної сталі

$\sigma_s$  - напруження в найбільш розтягнутих стержнях продольної арматури.

$$\sigma_s = \frac{M_{mp}}{z \cdot A_s} \cdot \frac{h - x - a_u}{h - x - a_s} \quad (2.22)$$

де

$z$  - плече внутрішньої пари, прийняте з розрахунку на міцність.

$$z = h_0 - \frac{x}{2} \quad (2.23)$$

$$\psi = 0,35R_r \quad (2.24)$$

$$R_r = \frac{A_r}{\sum \beta \cdot n \cdot d} - \text{радіус армування,}$$

$A_r$  - площа зони взаємодії арматури з бетоном;

$\beta = 0,75 \cdot 0,95 = 0,7125$  - коеф., що враховує ступінь зчиплення арматури з бетоном;

$n$  - число арматури з однаковим діаметром;

$d$  - діаметр стержня робочої арматури.

$$A_r = 6 \cdot 3,2 \cdot 130 = 2496 \text{ см}^2 \quad (2.25)$$

$$R_r = \frac{2496}{0,7125 \cdot 3,2 \cdot 31} = 35,3 \text{ см} \quad (2.26)$$

$$\psi = 0,35 \cdot 35,3 = 12,4 \quad (2.27)$$

$$z = h_0 - x / 2 = 60 - 14,92 / 2 = 52,54 \text{ см} \quad (2.28)$$

$$\sigma_s = \frac{212536}{52,54 \cdot 249,32} \cdot \frac{60 - 14,95 - 4,7}{60 - 14,95 - 6,6} = 17,03 \text{ кН/см}^2 \quad (2.29)$$

$$a_{cr} = \frac{17,03}{2,06 \cdot 10^4} \cdot 12,4 = 0,010 \leq 0,02 \quad (2.30)$$

Умова виконується.

## 2.5 Перевірка на міцність за поперечною силою

- перевірка на міцність бетону між тріщинами:

$$Q \leq 0,3 \cdot (1 + \eta \cdot n_1 \cdot \frac{A_{s\omega}}{b \cdot S_\omega}) \cdot (1 - 0,01 \cdot R_b) \cdot R_b \cdot b \cdot h_0 \quad (2.31)$$

де:

$Q$  - поперечна сила на відстані не ближче  $h_0$  від опорного перерізу;

$\eta = 5$  - при вертикальних хомутах;

$$n_1 = \frac{E_s}{E_b} = \frac{206000}{34500} = 5,97 \quad (2.32)$$

$A_{s\omega}$  - площа хомутів в одній площині;

$S_\omega$  - відстань між хомутами;

$b$  - ширина ребра.

Приймаємо діаметр хомутів рівним 8 мм, тоді

$$A_{s\omega} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,8^2}{4} = 3,02 \text{ см}^2 \quad (2.33)$$

$$Q \leq 0,3 \cdot (1 + \eta \cdot n_1 \cdot \frac{A_{s\omega}}{b \cdot S_\omega}) \cdot (1 - 0,01 \cdot R_b) \cdot b \cdot h_0 \quad (2.34)$$

$$1574,1 \leq 0,3 \cdot (1 + 5 \cdot 5,97 \cdot \frac{3,02}{130 \cdot 20}) \cdot (1 - 0,01 \cdot 1,55) \cdot 130 \cdot 53,4 \quad (2.35)$$

$$1574,1 < 2121,4$$

умова виконана.

- розрахунок перерізу на похилі тріщини:

$$Q \leq \sum R_s \cdot A_{si} \cdot \sin \alpha + Q_b + Q_{sw} \quad (2.36)$$

$$Q_b = \frac{2 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c} \quad (2.37)$$

$A_s$ - площа арматурних стержнів, які преретинає тріщина

$$A_s = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 10 \cdot \frac{\pi \cdot 3,2^2}{4} = 80,4 \text{ см}^2 \quad (2.38)$$

$$R_{sw} = 0,8 \cdot R_s = 0,8 \cdot 33 = 26,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad (2.39)$$

$$Q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw} \cdot c}{S_w} = \frac{26,4 \cdot 3,02 \cdot 53,4}{20} = 212,9 \text{кНм} \quad (2.41)$$

$$Q_b = \frac{2 \cdot 0,095 \cdot 130 \cdot 53,4^2}{53,4} = 1319,0 \text{кН} \quad (2.42)$$

$$\sum R_s \cdot A_{si} \cdot \sin \alpha = 80,4 \cdot 26,4 \cdot 0,707 = 1500,6 \quad (2.43)$$

$$1574,0 \leq 1319,0 + 212,9 + 1500,6 = 3032,5 \quad (2.44)$$

умова виконана.

Таким чином, прогонова будов задовольняє більшості сучасних вимог за вантажопідйомністю і може бути застосована після реконструкції за умови деякого підсилення або зниження постійного навантаження.

## **3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРІАНТІВ РЕКОНСТРУКЦІЇ ШЛЯХОПРОВОДУ**

### **3.1 Постановка проблеми**

Існуючий залізничний шляхопровід біля станції Чернігів-Північний, що перетинає вулицю Любецьку у м. Чернігові наразі є вузьминою для транспортного потоку, що рухається від найновішого мікрорайону міста, що активно розбудовується і сьогодні, а саме р-н Масани, і центром міста. Оптимальним шляхом розв'язання проблеми є реконструкція вулиці з розширенням проїзної частини. Критичною точкою цього рішення стане саме розширення залізничного шляхопроводу.

Наразі ширина підмостового габариту 8.45 м, що дозволяє пропуск двох смуг руху. У відповідності до планів реконструкції вулиці, необхідно забезпечити пропуск чотирьох смуг руху разом з пішоходами та велосипедними доріжками, для цього необхідно збільшувати ширину підмостового габариту зміною схеми мосту. Висота підмостового габариту наразі складає 5,2 м, що менше за мінімальну нормативну висоту у 5,5 м. Тож при проведенні реконструкції необхідно збільшувати і висоту габариту.

Головними обмеженнями при реконструкції шляхопроводу виступатимуть переважно обмеження залізниці, а саме – неможливість значної зміни позначки підшви рейки (що ускладнить збільшення габариту), забезпечення безперервності руху поїздів (забезпечується відповідним проектом організації будівництва і конструктивними рішеннями). Також варто відзначити, що сучасні вимоги до залізничних мостів передбачають пропуск прогоновими будовами щебенеочисної машини, що не було передбачено під час спорудження шляхопроводу. Такий пропуск передбачає ширше баластове корито, а також більшу товщину баластового шару під шпалою.

### **3.2 Загальні проєктні рішення з реконструкції вулиці**

По своїм параметрам та технічному стану в теперішній час ділянка вулиці не в повній мірі відповідає існуючій інтенсивності руху транспортних засобів, та не забезпечує достатньої безпеки для всіх учасників дорожнього руху.

Для розв'язання існуючих проблем ділянки вулиці і забезпечення перспективи нормального її функціонування, необхідно виконати наступні проєктні рішення:

- розширення проїзної частини до чотирьох смуг руху, по дві у кожному напрямку;
- перевлаштування підходів в межах ділянки проєктування;
- перевлаштування транспортної розв'язки кільцевого типу;
- влаштування вело-пішохідних доріжок;
- облаштування пішохідних переходів з влаштуванням освітлення;
- перевлаштування контактної мережі тролейбусу;
- влаштування мереж зовнішнього освітлення;
- влаштування мереж дощової та зливової каналізації;
- перевлаштування існуючих мереж;
- реконструкція існуючого залізничного шляхопроводу
- організація дорожнього руху

Намічений комплекс робіт по реконструкції дає можливість збільшити пропускну спроможність ділянки вулиці при зростаючій інтенсивності руху автомобільного транспорту, підвищити безпеку та комфорт руху водіїв і пішоходів.

Розширення проїзної частини під залізничним шляхопроводом заплановано виконати безпосередньо в тілі насипу. Перетин залізничних колій передбачено під кутом  $90\pm 10^\circ$ .

### **3.3 Варіант реконструкції шляхопроводу №1**

Реконструкція за першим варіантом передбачає повторне використання існуючих прогонових будов, що виконані під перспективне навантаження С14 і досі не є морально застарілими. За даним варіантом схема шляхопроводу складатиме 13,5+9,85 м. Нову прогонову будову передбачено виконати за типовим проєктом, аналогічним прогоновій будові існуючій, тобто 3.501-108.

В такому випадку, габарит старої прогонової будови застосовуватиметься для пропуску транспортного потоку по двом смугам руху в одному напрямку, а габарит нової – для пропуску транспорту в зворотному напрямку, пішоходів і велосипедистів.

Схему варіанту наведено на рис. 3.1.

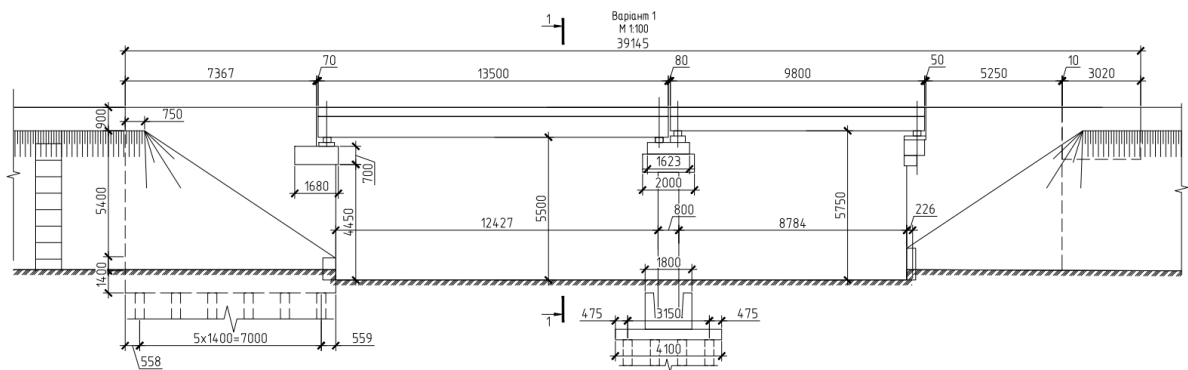


Рисунок 3.1 – Схема реконструкції шляхопроводу за варіантом №1

У варіанті передбачено улаштувати нові стояни №0 (три окремі – по одному під кожен прогонову будову), а також три окремі проміжні стійкові опори зі збірного залізобетону за конструкцією, що базується на типовому проекті 3.501.1-150.0-2.

Фундаменти проміжної опори передбачено виконати на призматичних палях, фундамент нового стояна – на призматичних палях, або на природній основі.

Проблема з пропуском щибенеочисної машини розв'язуються дещо неконвенційно, а саме – улаштуванням БМП, що вкладаються на дерев'яні поперечини, або антивібраційні мати. Таким чином ми повністю позбавляємось баласту в межах шляхопроводу. Для виконання такого мостового полотна необхідно буде цементним розчином забезпечити горизонтальну поверхню блоків прогонових будов для укладання елементів мостового полотна.

Опорні частини призначені металеві тангенційного типу зварні рухомі та нерухомі заводського виготовлення Т1Н та Т1П у відповідності до типового проекту серії 3.501-26 (інв.№577).

Обпирання опорних частин на опорні тумби передбачено через металеві опорні листи індивідуального проектування.

Перекриття зазору між балками прогонових будов кожної колії передбачено за допомогою залізобетонних плит.

По прогоновим будовам передбачено улаштування збірних тротуарів (технологічних проходів) на металевих консолях з покриттям залізобетонними плитами.

Перильне огороження металеве з прокатного металу. Висота перильного огороження становить 1,1 м.

Водовідведення з шляхопроводу передбачено через водовідвідні трубки в балках прогонових будовах з подальшим відведенням за межі шляхопроводу.

Основні роботи для виконання реконструкції за проектними рішення за варіантом:

- Демонтаж стояна №1, тимчасовий демонтаж прогонових будов.
- Улаштування нових необсипних стоянів (3 шт) за типовим проектом;
- Улаштування проміжних опор (3 шт) за типовим проектом;
- Встановлення тангенціальних опорних частин під балки прогонових будов;
- Улаштування трьох нових прогонових будов (по 1 на кожну колію) повною довжиною 13.5 м за типовим проектом 3.501-108;
- Установка старих прогонових будов після їх ремонту;
- Пониження позначки рівня проїзду автодорогою на 0.35 м;
- Технологічні проходи шириною прохідної частини 0,57 м на металевих консолях за типовим проектом 3.501-108;
- Перильне огороження металеве з прокатного металу за типовим проектом 3.501-108;
- Улаштування мостового полотна з їздою на БМП по шару дерев'яних шпал або антивібраційних матів;
- Гідроізоляція прогонових будов;

- Покриття захисними сумішами усіх бетонних поверхонь несучих конструкцій мосту;

- Водовідведення через водовідвідні трубки у відповідності до типового проєкту, з подальшим виведенням за міст.

Таблиця 3.1 – Об’єми характерних робіт за варіантом №1

№ з/п	Найменування роботи	Об’єм	Од. вим.	Вартість од., тис грн.	Вартість заг., тис. грн
1	Демонтаж кладки	510	м <sup>3</sup>	13,0	6 630,0
2	Демонтаж балок	6	шт	20,0	120,0
3	Покриття ремонтними сумішами	801	м <sup>2</sup>	2,5	2 002,5
4	Улаштування призматичних паль	220,5	м <sup>3</sup>	45,0	9 922,5
5	Улаштування нових опор	428	м <sup>3</sup>	35,0	14 980,0
6	Тангенціальні опорні частини	48	шт	2,0	96,0
7	Установка нових балок	12/161	шт/ м <sup>3</sup>	70,0	11 270,0
8	Мостове полотно на БМП	118	пм	23,0	2 714,0
	Всього				47 735,0

### 3.4 Варіант реконструкції шляхопроводу №2

Реконструкція за другим варіантом передбачає фактичну побудову нового мосту на місці існуючого.

Варіант передбачає використання двоблочних залізобетонних прогонових будов повною довжиною 13,5 м, що виконані за інструкцією Укрзалізниці ЦП-289 «Інструкція з проектування залізобетонних прогонових будов для залізничних мостів з балок типу БПС». Такі прогонові будови мають збільшений габарит баластового корита і товщину баласту, і дозволяють пропуск щебенеочисної машини.

Тут в підмостовий габарит під кожною з прогонових будов передбачається пропускати по дві смуги руху, а також пішоходів і велодоріжку у відповідних напрямках.

Схему варіанту наведено на рис. 3.2.



Водовідведення з шляхопроводу передбачено через водовідвідні трубки в балках прогонових будовах з подальшим відведенням за межі шляхопроводу.

Основні роботи для виконання реконструкції за проєктними рішення за варіантом:

- Демонтаж існуючого мосту.
- Улаштування нових необсипних стоянів (6 шт) за типовим проєктом;
- Улаштування проміжних опор (3 шт) за типовим проєктом;
- Встановлення тангенціальних опорних частин під балки прогонових будов;
- Улаштування шести нових двоблочних прогонових будов (по 2 на кожен колію) повною довжиною 13.5 м за інструкцією ЦП-289 «Інструкція з проєктування залізобетонних прогонових будов для залізничних мостів з балок типу БПС»;
- Пониження позначки рівня проїзду автодорогою на 0.9 м;
- Технологічні проходи шириною прохідної частини 0,57 м на металевих консолях за типовим проєктом;
- Перильне огороження металеве з прокатного металу за типовим проєктом;
- Улаштування мостового полотна з їздою на баласті;
- Гідроізоляція прогонових будов;
- Покриття захисними сумішами усіх бетонних поверхонь несучих конструкцій мосту;
- Водовідведення через водовідвідні трубки у відповідності до типового проєкту, з подальшим виведенням за міст.
- Прогонові будови дозволяють пропуск щибенеочисної машини.

Таблиця 3.2 – Об'єми характерних робіт за варіантом №2

№ з/п	Найменування роботи	Об'єм	Од. вим.	Вартість од., тис грн.	Вартість заг., тис. грн
1	Демонтаж кладки	1020	м <sup>3</sup>	13,0	13 260,0
2	Демонтаж балок	6	шт	20,0	120,0
3	Улаштування призматичних паль	353,0	м <sup>3</sup>	45,0	15 885,0

4	Улаштування нових опор	1045	м <sup>3</sup>	35,0	35 575,0
5	Тангенціальні опорні частини	48	шт	2,0	96,0
6	Установка нових балок	12/264	шт/ м <sup>3</sup>	70,0	18 480,0
7	Баластове мостове полотно	280	м <sup>3</sup>	23,0	6 446,0
	Всього				89 862,0

### 3.5 Варіант реконструкції шляхопроводу №3

Реконструкція за третім варіантом передбачає фактичну побудову нового мосту на місці існуючого.

Варіант передбачає використання залізобетонних прогонових будов повною довжиною 13,5 м, що виконані в опалубці за інструкцією Укрзалізниці ЦП-289 «Інструкція з проектування залізобетонних прогонових будов для залізничних мостів з балок типу БПС», аналогічно варіанту №2. Такі прогонові будови мають збільшений габарит баластового корита і товщину баласту, і дозволяють пропуск щебенеочисної машини. Відмінність полягає в тому, що в даному випадку замість трьох окремих прогонових будови буде виконану одну суцільну прогонову будови з семи балок (крайні балки за типовим проектом, в середніх балках обидві консолі – внутрішні), в так званому станційному варіанті. Така конструкція має суцільне мостове полотно для всіх трьох колій і дозволяє, в тому числі, деяке відхилення колій від проектного положення, що спростить узгодження конструкцій і, власне, улаштування колії та зменшить необхідність переулаштування підходів.

Тут в підмостовий габарит під кожною з прогонових будов передбачається пропускати по дві смуги руху, а також пішоходів і велодоріжку у відповідних напрямках.

Схему варіанту наведено на рис. 3.3.

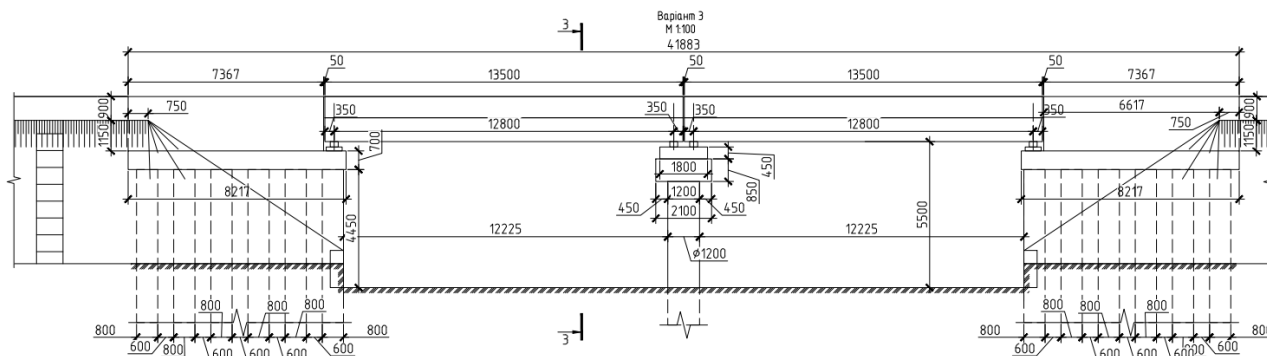


Рисунок 3.3 – Схема реконструкції шляхопроводу за варіантом №3

Варіант передбачає улаштування двох нових необсипних стоянів, що складаються з тіла, улаштованого з буро-січних паль, що одночасно слугуватимуть і фундаментом, і монолітної насадки. Проміжну опору передбачено виконати суцільну під всі плити прогонових будов. Тіло опори виконати нарощуванням буро-набивних паль фундаменту, а оголовок і підферменники – монолітними.

У відповідності до «Інструкції щодо улаштування й конструкції мостового полотна на залізничних мостах» ЦП/0092 та проекту №У7008.01.00 «НКТБ ЦП УЗ», товщина баласту під шпалами на прогонових будовах в підрейковій зоні прийнята не більше 600 мм.

Опорні частини призначені металеві тангенційного типу зварні рухомі та нерухомі заводського виготовлення Т1Н та Т1П у відповідності до типового проекту серії 3.501-26 (інв.№577).

Обпирання опорних частин на опорні тумби передбачено через металеві опорні листи індивідуального проектування.

По прогоновим будовам передбачено улаштування збірних тротуарів (технологічних проходів) на металевих консолях з покриттям залізобетонними плитами.

Перильне огородження металеве з прокатного металу. Висота перильного огородження становить 1,1 м.

Водовідведення з шляхопроводу передбачено через водовідвідні трубки в балках прогонових будовах з подальшим відведенням за межі шляхопроводу.

Основні роботи для виконання реконструкції за проектними рішення за варіантом:

- Демонтаж існуючого мосту.
- Улаштування нових необсипних стоянів (6 шт) із буросічних паль;
- Улаштування проміжної опори на буронабивних палях;
- Встановлення тангенціальних опорних частин під балки прогонових будов;
- Улаштування двох нових прогонових будов з семи блоків повною довжиною 13.5 м індивідуального проектування у опалубці за інструкцією ЦП-289;
- Пониження позначки рівня проїзду автодорогою на 0.9 м;
- Технологічні проходи шириною прохідної частини 0,57 м на металевих консолях за типовим проектом;
- Перильне огороження металеве з прокатного металу за типовим проектом;
- Улаштування мостового полотна з їздою на баласті;
- Гідроізоляція прогонових будов;
- Покриття захисними сумішами усіх бетонних поверхонь несучих конструкцій мосту;
- Водовідведення через водовідвідні трубки у відповідності до типового проекту, з подальшим виведенням за міст.
- Прогонові будови дозволяють пропуск щебенеочисної машини.

Таблиця 3.3 – Об'єми характерних робіт за варіантом №3

№ з/п	Найменування роботи	Об'єм	Од. вим.	Вартість од., тис грн.	Вартість заг., тис. грн
1	Демонтаж кладки	1020	м <sup>3</sup>	13,0	13 260,0
2	Демонтаж балок	6	шт	20,0	120,0
3	Улаштування буронабивних паль	1189,0	м <sup>3</sup>	45,0	53 505,0
4	Улаштування нових опор	305,0	м <sup>3</sup>	35,0	10 675,0
5	Тангенціальні опорні частини	56	шт	2,0	112,0
6	Установка нових балок	14/282	шт/ м <sup>3</sup>	70,0	19 740,0

7	Баластове мостове полотно	483	м <sup>3</sup>	23,0	11 109,0
	Всього				108 521,0

### 3.6 Порівняння варіантів

В рамках даного дипломного проекту було розраховано об'єми та вартість лише для тих робіт, що відрізняються між варіантами, що дозволяє нам виконати техніко-економічне порівняння варіантів. Результати його зведено до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Основні техніко-економічні показники варіантів ремонту

№ з/п	Показник	Варіант №1	Варіант №2	Варіант №3
1	Схема мосту, м	13,5+9,8	13,5+13,5	13,5+13,5
2	Повна довжина мосту, м	39,145	41,883	41,883
3	Об'єм монолітного бетонування опор, м <sup>3</sup>	-	164	259
4	Ремонт бетонних поверхонь, м <sup>2</sup>	801	-	-
5	Нові опорні частини, шт	48	48	56
6	Встановлення нових балок, шт	6+6	12	14
7	Об'єм залізобетону, м <sup>3</sup>	810	1662	1776
10	Навантаження на міст після ремонту	C14	C14	C14
12	Орієнтовна вартість унікальних робіт, тис. грн	47 735	89 862	108 521
13	Орієнтована загальна вартість на основі аналогічних проєктів	97 873	140 000	158 689

## 4 РОЗРОБКА ОБРАНОГО ВАРІАНТУ

Для виконання реконструкції приймаємо перший варіант, а саме підсилення існуючої прогонової будови, ремонт одного з існуючих стоянів, улаштування нової проміжної опори та нового стояна.

### 4.1 Розрахунок нової прогонової будови 13,5 м.

В навчальних цілях виконаємо перерахунок та підбір робочої арматури для прогонової будови довжиною 13,5 м. Розрахунок виконуємо аналогічно такому, що описаний в розділі 2.

### 4.2 Розрахункова схема балки, визначення зусиль

В якості розрахункової схеми приймаємо балку на двох опорах прогоном 12,8 м, яку завантажено постійними і тимчасовими навантаженнями. Лінії впливу моментів і поперечних сил в перерізах балки приведено нижче.

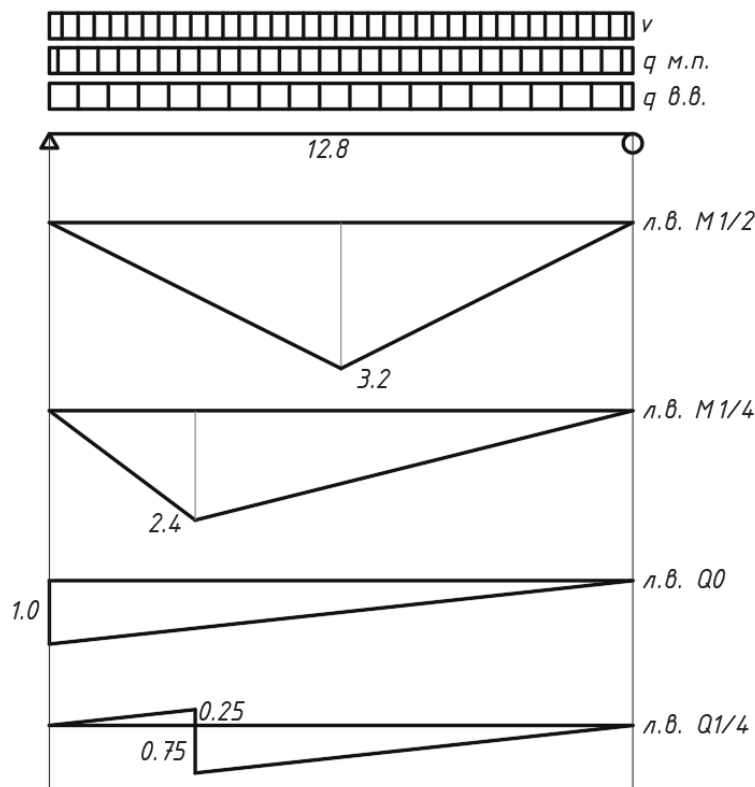


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема та лінії впливу балкової прогонової будови

Площі ліній впливу наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Площі та параметри ліній впливу

Л.в.	ордината	Довжина	площа	$\alpha$
M1/2	3.2	12.8	20.48	0,5
M1/4	2.4	12.8	15.36	0,25
Q0	1	12.8	6.4	0
Q1/4	-0.25	3.2	-0.4	0
Q1/4	0.75	9.6	3.6	0

#### 4.1.1 Розрахунок інтенсивності постійного навантаження

Задаємося перерізом балки за типовим проєктом, прибираючи внутрішній бортик:

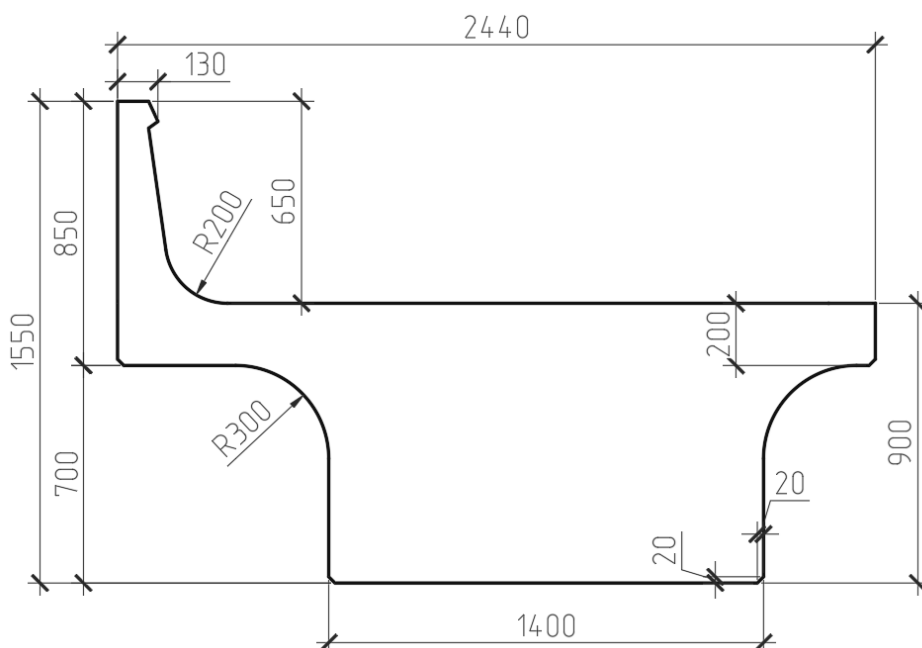


Рисунок 4.2 – Переріз блоку прогонової будови за опалубкою

Площа перерізу плити – 1,619 м<sup>2</sup>.

Нормативна інтенсивність навантаження від власної ваги балки:

$$q_{вв}^н = A \cdot \gamma_{б} = 1.619 \cdot 24,5 = 39.67 \text{ кН/м.} \quad (4.1)$$

Нормативне значення інтенсивності навантаження від ваги БМП та підстиляючих шпал або матів:

$$q_{б}^н = q_{м.п} + q_{шт} = 22,7 + 0,6 = 23,3 \text{ кН/м} \quad (4.2)$$

Нормативне значення інтенсивності навантаження від ваги плити тротуару та перил

$$q_{mp}^n = 4,7 \text{ кН/м}; q_n^h = 0.7 \text{ кН/м} \quad (4.3)$$

Розрахункові значення інтенсивності кожної складової постійного навантаження для розрахунків на міцність, витривалість, тріщиностійкість визначаємо у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Значення інтенсивності постійного навантаження за компонентами

Компоненти навантаження	Значення для розрахунку на тріщиностійкість та витривалість, кН/м	Коефіцієнт надійності	Значення для розрахунку на міцність
Вага мостового полотна	23,30	1,1	25,63
Вага плити тротуарної консолі	4,70	1,1	5,17
Вага перил тротуарної консолі	0,70	1,1	0,77
Вага плити	39,67	1,1	46,64
Загалом	68,37		78,21

Зусилля в плиті від постійних навантажень приведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Зусилля від постійних навантажень

зусилля	Площа л.в.	Навантаження нормативне	Навантаження розрахункове	Коеф.	Зусилля нормативне	Зусилля розрахункове
$M_{1/2}$	20.48	68.37	78.21	1,25	1750.27	2002.18
$M_{1/4}$	15.36	68.37	78.21	1,25	1312.70	1501.63
$Q_0$	6.4	68.37	78.21	1,25	546.96	625.68
$Q_{1/4}$	3.2	68.37	78.21	1,25	273.48	312.84

4.1.2 Розрахунок тимчасових нормативних і розрахункових навантажень на балку

Нормативне значення еквівалентного тимчасового навантаження визначається для кожної лінії впливу окремо, використовуючи табличне значення  $\gamma^T$ , згідно [2], додаток Б:

$$v^T = \frac{1}{2} v^T \quad (4.4)$$

Розрахунки зведемо у табл. 4.4-4.6.

Таблиця 4.4 – Нормативні значення тимчасового навантаження

Лінія впливу	Параметри лінії впливу		Нормативне значення навантаження $v^T$
	$\lambda, \text{м}$	$\alpha$	
$M_{1/2}$	12,8	0.5	100,71
$M_{1/4}$	12,8	0.25	108,55
$Q_0$	12,8	0	115,79
$Q_{1/4}$	9,6	0	123,39

Таблиця 4.5 – Розрахункові значення тимчасового навантаження на міцність

Лінія впливу	Нормативне значення навантаження $v^H$	Коефіцієнт надійності $\gamma_{fv}$	Динамічний коефіцієнт $1+\mu$	значення навантаження для розрахунку на міцність, кН/м
$M_{1/2}$	100,71	1,262	1,305	165.86
$M_{1/4}$	108,55	1,262	1,305	178.77
$Q_0$	115,79	1,262	1,305	190.70
$Q_{1/4}$	123,39	1,262	1,305	203.21

Таблиця 4.6 – Розрахункові значення тимчасового навантаження на витривалість

Лінія впливу	Нормативне значення навантаження $v^H$	Коефіцієнт $\epsilon$	Динамічний коефіцієнт $1+2/3\mu$	Обмежуюча умова $\epsilon(1+2/3\mu) > 1$	значення навантаження для розрахунку на витривалість, кН/м
$M_{1/2}$	100,71	0.85	1.203	1.023	102.98
$M_{1/4}$	108,55	0.85	1.203	1.023	111.00
$Q_0$	115,79	0.85	1.203	1.023	118.40
$Q_{1/4}$	123,39	0.85	1.203	1.023	126.17

У розрахунках на тріщиностійкість використовуються нормативні значення тимчасового навантаження.

За даними табл.4.3-4.6 складаємо таблицю 4.7, в яку заносимо значення розрахункових зусиль в перерізах головної балки. Площі відповідних ліній впливу визначені в табл.4.2

Таблиця 4.7 – Визначення зусиль в прогоновій будові

Зусилля	Коеф. 1,25	Площа лінії впливу	постійне навантаження			тимчасове навантаження			сумарні зусилля		
			на тріщ.	на витр.	на міцн.	на тріщ.	на витр.	на міцн.	на тріщ.	на витр.	на міцн.
M <sub>1/2</sub>	1,25	20.48	60,97	60,97	67,07	100,71	102.98	165.86	4328.45	4386.56	6248.19
M <sub>1/4</sub>	1,25	15.36	60,97	60,97	67,07	108,55	111.00	178.77	3396.86	3443.90	4934.02
Q <sub>0</sub>	1,25	6.4	60,97	60,97	67,07	115,79	118.40	190.70	1473.28	1494.16	2151.28
Q <sub>1/4</sub>	1,25	3.2	60,97	60,97	67,07	123,39	126.17	203.21	767.04	778.16	1125.68

### 4.3 Підбір робочої арматури

Опалубне креслення перерізу наведено на рис. 4.2. Тоді повна висота перерізу складатиме 900 мм, а ширина – 2120 мм.

Оціночна робоча висота плити складатиме:

$$h_0 = 0.8 \cdot h = 0.8 \cdot 90 = 72 \text{ см} \quad (4.5)$$

Тоді оціночна площа арматури з розрахунку на міцність:

$$A_s = \frac{M}{0,88 \cdot h_0 \cdot R_s} = \frac{624819}{0,88 \cdot 72 \cdot 33} = 298.8 \text{ см}^2 \quad (4.6)$$

Оціночна площа арматури з розрахунку на витривалість:

$$A_s = \frac{M'}{0,88 \cdot h_0 \cdot R'_s} = \frac{438656}{0,88 \cdot 72 \cdot 30,4} = 227.7 \text{ см}^2 \quad (4.7)$$

Тоді підбираємо арматуру з умови міцності. При діаметрі стрижня 32 мм, і площі у 8,04 см<sup>2</sup>, кількість стрижнів складатиме:

$$n = \frac{A_s}{A_{s1}} = \frac{298.8}{8.04} = 37.2 \text{ см}^2 \quad (4.8)$$

Приймаємо 38 стрижнів. Попередньо робоча арматура наведена на рис. 4.3.

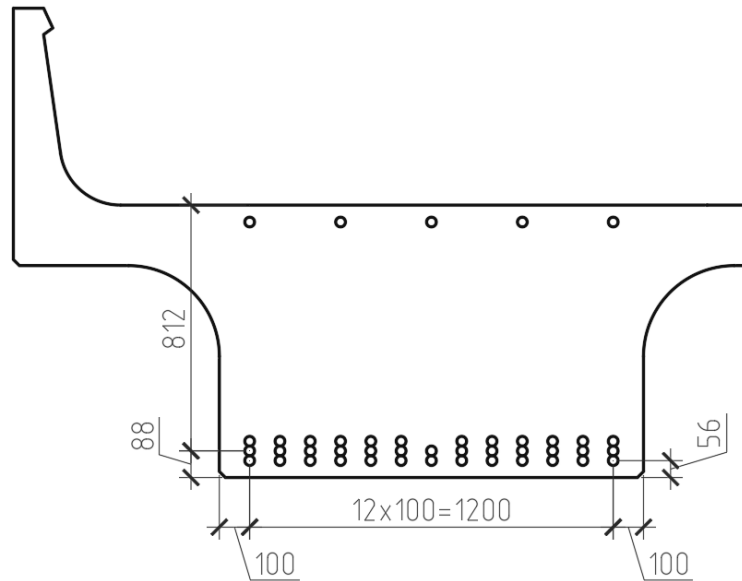


Рисунок 4.3 – Робоча арматура нової балки

#### 4.4 Розрахунок на міцність за згинальним моментом

Розрахунок перерізів у прогоні на міцність проводиться на найбільший додатній та, якщо мається, від'ємний момент.

Перевірка перерізу проводиться за формулами розрахунку таврових балок. Армвання наведено на рис. 4.3.

Розрахунок таврового перерізу проводиться за формулами:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{b'_f \cdot R_b} \leq h'_f \quad (4.9)$$

- у випадку, коли нейтральна вісь знаходиться в плиті.

де:

$A'_s = 40.2 \text{ см}^2$  – площа верхньої арматури

$A_s = 305.52 \text{ см}^2$  – площа робочої арматури;

$b'_f = 212$  – ширина плити.

Вищенаведені величини розраховані далі.

$$A'_s = A_{s1} \cdot n' = 8.04 \cdot 5 = 40.2 \text{ см}^2 \quad (4.10)$$

$$A_s = A_{s1} \cdot n = 8.04 \cdot 38 = 305.52 \text{ см}^2 \quad (4.11)$$

$$x = \frac{33 \cdot 305.52 - 33 \cdot 40.20}{212 \cdot 1.55} = 26.65 \text{ см} \quad (4.12)$$

При приведеній висоті плити у 23 см, грань стиснутої зони знаходиться у ребрі. Перераховуємо висоту стиснутої зони:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s - R_b \cdot (b_f - b) \cdot h_f}{b \cdot R_b} = \frac{33 \cdot 305.52 - 33 \cdot 40.20 - 1.55(212 - 140) \cdot 23}{140 \cdot 1.55} = 28.52 \text{ см} \quad (4.12)$$

Перевірка виконується за формулою:

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_b (b'_f - b) h'_f (h_0 - 0.5h'_f) + R_{sc} A'_s (h_{01} - a'_s) \quad (4.13)$$

$a'_s = 5,6 \text{ см}$  – захисний шар бетону

$$1,55 \cdot 140 \cdot 28,52 \cdot (81,2 - 0,5 \cdot 28,52) + 1,55 \cdot (212 - 140) \cdot 23 \cdot (212 - 23 / 2) + 33 \cdot 40,20 \cdot (81,2 - 5,6) = 1029215,3 \text{ кН} \cdot \text{см} = 10292,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Максимальний згинальний момент на міцність складає 6248,2 кНм

Умова виконується.

#### 4.5 Перевірка перерізу за витривалістю за згинальним моментом

Розрахунок на витривалість проводиться з врахуванням пружної роботи матеріалу і складається з визначення напружень в бетоні та розтягнутій арматурі.

Параметри до розрахунку:

$$r = \frac{n'_s \cdot (A_s + A'_s) + (b'_f - b) \cdot h'_f}{b} = \frac{15 \cdot (305,52 + 40,20) + (212 - 140) \cdot 23}{140} = 48,87 \text{ см} \quad (4.14)$$

$$S = \frac{h_f'^2 \cdot (b'_f - b) + 2n'_s \cdot (A_s \cdot h_0 + A'_s \cdot a'_s)}{b} = \frac{23^2 \cdot (212 - 140) + 2 \cdot 15 \cdot (305,52 \cdot 81,2 + 40,20 \cdot 5,6)}{140} = 5636,3 \text{ см}^2 \quad (4.15)$$

$$x' = -r + \sqrt{r^2 + S} = -48,9 + \sqrt{48,9^2 + 5636,3} = 40,7 \text{ см} > h'_f \quad (4.16)$$

$$I_{red} = \frac{b'_f \cdot (x')^3}{3} - \frac{(b'_f - b) \cdot (x' - h'_f)^3}{3} + n'_s \cdot A'_s \cdot (x' - a'_s)^2 + n'_s \cdot A_s \cdot (h_0 - x')^2 \quad (4.17)$$

де

$I_{red}$  - момент інерції приведенного перерізу;

$x'$  - висота сжатої зони із розрахунку на витривалість.

$$I_{red} = 12891040,2 \text{ см}^4 \quad (4.18)$$

Напруження в арматурі та бетоні визначаються за формулами:

$$\sigma_s = n'_s \cdot \frac{M'}{I_{red}} \cdot (h - x' - a_u)^2 \leq m_{as1} \cdot R_s \quad (4.19)$$

$$\sigma_b = \frac{M'}{I_{red}} \cdot x'^2 \leq m_{b1} \cdot R_b \quad (4.20)$$

де

$n'_s = \frac{E_s}{E_b} = 15$  – умовне відношення модулів пружності арматури і бетону.

Коефіцієнт асиметрії циклу змінних напружень визначається за формулою:

$$\rho_b = \rho_s = \rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = \frac{M_{1-1,\min}^e}{M_{1-1,\max}^e} = \frac{1750,3}{4386,5} = 0,399 \quad (4.21)$$

$m_{b1}$ ,  $m_{as1}$  - коефіцієнти умов роботи, які враховують асиметрію циклу напружень відповідно у бетоні та арматурі.

$$m_{b1} = 0,6 \cdot \beta_b \cdot \varepsilon_b = 0,6 \cdot 1,31 \cdot 1,15 = 0,904 \quad (4.22)$$

$\beta_b$  - коефіцієнт, який враховує зростання міцності бетону з часом і в залежності від класу бетону приймається за табл. 3,8;  $\beta_b = 1,31$

$\varepsilon_b$  - коефіцієнт, який залежить від асиметрії циклу напружень, які повторюються  $\rho_b = \sigma_{b,\min} / \sigma_{b,\max}$ . Цей коефіцієнт приймається згідно з табл. 3,9.

$\varepsilon_b = 1,15$

$$m_{as1} = \varepsilon_{ps} \beta_{pw} = 0,70 \cdot 0,75 = 0,525 \quad (4.23)$$

$\epsilon_{ps}$  – коефіцієнт, який залежить від асиметрії циклу змінювання напружень у арматурі, приймається згідно з табл. 3.15;  $\epsilon_{ps}=0,70$ ;

$\beta_{pw}=0,75$  – коефіцієнт, який враховує вплив на умови роботи арматурних елементів наявності зварних стиків або приварок і приймається згідно з табл. 3.16.

$$\sigma_s = 15 \cdot \frac{438650}{12891040} \cdot (90 - 40,7 - 5,6) = 22,3 \leq 0,525 \cdot 33 = 17,3 \text{ кН / см}^2 \quad (4.19)$$

Оскільки умова не виконується, додаємо 6 стрижнів.

$$A'_s = A_{s1} \cdot n' = 8,04 \cdot 7 = 56,28 \text{ см}^2 \quad (4.10)$$

$$A_s = A_{s1} \cdot n = 8,04 \cdot 44 = 353,76 \text{ см}^2 \quad (4.11)$$

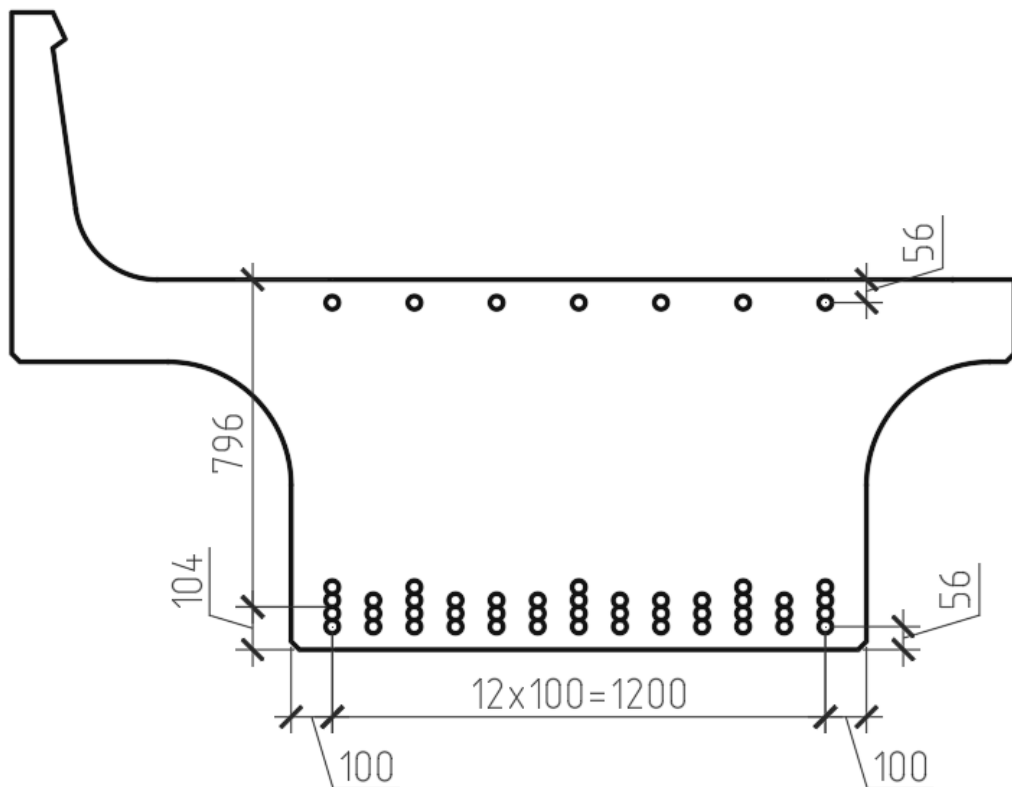


Рисунок 4.4 – Виправлена робоча арматура плити

$$r = \frac{n'_s \cdot (A_s + A'_s) + (b'_f - b) \cdot h'_f}{b} = \frac{15 \cdot (353,76 + 56,28) + (212 - 140) \cdot 23}{140} = 55,8 \text{ см} \quad (4.14)$$

$$S = \frac{h_f'^2 \cdot (b_f' - b) + 2n_s' \cdot (A_s \cdot h_0 + A_s' \cdot a_s')}{b} =$$

$$\frac{23^2 \cdot (212 - 140) + 2 \cdot 15 \cdot (353,76 \cdot 79,6 + 56,28 \cdot 5,6)}{140} = 6373,7 \text{ см}^2 \quad (4.15)$$

$$x' = -r + \sqrt{r^2 + S} = -55,8 + \sqrt{55,8^2 + 6373,7} = 41,6 \text{ см} > h_f' \quad (4.16)$$

$$I_{red} = \frac{b_f' \cdot (x')^3}{3} - \frac{(b_f' - b) \cdot (x' - h_f')^3}{3} + n_s' \cdot A_s' \cdot (x' - a_s')^2 + n_s' \cdot A_s \cdot (h_0 - x')^2 \quad (4.17)$$

$$I_{red} = 18252977,2 \text{ см}^4$$

$$\sigma_s = 15 \cdot \frac{438650}{18252977} \cdot (90 - 41,6 - 5,6) = 15,4 \leq 0,525 \cdot 33 = 17,3 \text{ кН / см}^2 \quad (4.19)$$

$$\sigma_b = \frac{438650}{18252977} \cdot 41,6 = 1,0 \leq 0,904 \cdot 1,55 = 1,40 \text{ кН / см}^2 \quad (4.24)$$

Умову виконано з запасом у 10%.

#### 4.6 Розрахунок на тріщиностійкість за згинальним моментом

Залізобетонні балки з не напруженою арматурою повинні задовольняти категорії вимог за тріщиностійкістю 3В. В цьому випадку тріщиностійкість забезпечується за умовою (див. розділ 2):

$$a_{cr} \leq \Delta_{cr}$$

де

$a_{cr}$  - розрахункова ширина тріщини під навантаженням;

$\Delta_{cr} = 0,02 \text{ см}$  - гранична ширина тріщини.

$$a_{cr} = \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \psi \leq \Delta_{cr}$$

де:

$\psi$  - коеф. розкриття тріщин в залежності від радіусу армування;

$E_s$  -модуль пружності арматурної сталі

$\sigma_s$  - напруження в найбільш розтягнутих стержнях поздовжньої арматури.

$$\sigma_s = \frac{M_{mp}}{z \cdot A_s} \cdot \frac{h - x - a_u}{h - x - a_s}$$

де

$z$  - плече внутрішньої пари, прийняте з розрахунку на міцність.

$$z = h_0 - \frac{x}{2}$$

$$\psi = 0,35R_r$$

$$R_r = \frac{A_r}{\sum \beta \cdot n \cdot d} - \text{радіус армування,}$$

$A_r$  - площа зони взаємодії арматури з бетоном;

$\beta = 0,75 \cdot 0,95 = 0,7125$  - коеф., що враховує ступінь зчіплення арматури з бетоном;

$n$  - число арматури з однаковим діаметром;

$d$  - діаметр стержня робочої арматури.

$$A_r = (6 \cdot 3,2 + 15,2) \cdot 140 = 4816 \text{ см}^2$$

$$R_r = \frac{4816}{0,7125 \cdot 3,2 \cdot 44} = 48,0 \text{ см}$$

$$\psi = 0,35 \cdot 48,0 = 16,8$$

$$z = h_0 - x / 2 = 79,6 - 28,52 / 2 = 62,34 \text{ см}$$

$$\sigma_s = \frac{432845}{62,34 \cdot 353,76} \cdot \frac{90 - 28,52 - 5,6}{90 - 28,52 - 10,4} = 21,47 \text{ кН/см}^2$$

$$a_{cr} = \frac{21,47}{2,06 \cdot 10^4} \cdot 16,8 = 0,018 \leq 0,02$$

Умова виконується.

#### 4.7 Перевірка на міцність за поперечною силою

- перевірка на міцність бетону між тріщинами (див. розділ 2):

$$Q \leq 0,3 \cdot (1 + \eta \cdot n_1 \cdot \frac{A_{s\omega}}{b \cdot S_\omega}) \cdot (1 - 0,01 \cdot R_b) \cdot R_b \cdot b \cdot h_0$$

де:

$Q$  - поперечна сила на відстані не ближче  $h_0$  від опорного перерізу;

$\eta = 5$  - при вертикальних хомутах;

$$n_1 = \frac{E_s}{E_b} = \frac{206000}{34500} = 5,97$$

$A_{s\omega}$  - площа хомутів в одній площині;

$S_\omega$  - відстань між хомутами;

$b$  - ширина ребра.

Приймаємо діаметр хомутів рівним 10 мм, тоді

$$A_{s\omega} = 8 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 8 \cdot \frac{\pi \cdot 1^2}{4} = 6,28 \text{ см}^2$$

$$Q \leq 0,3 \cdot (1 + \eta \cdot n_1 \cdot \frac{A_{s\omega}}{b \cdot S_\omega}) \cdot (1 - 0,01 \cdot R_b) \cdot b \cdot h_0$$

$$2151,3 \leq 0,3 \cdot (1 + 5 \cdot 5,97 \cdot \frac{6,28}{140 \cdot 20}) \cdot (1 - 0,01 \cdot 1,55) \cdot 140 \cdot 79,6$$

$$2151,3 < 3511,7$$

умова виконана.

- розрахунок перерізу на похилі тріщини:

$$Q \leq \sum R_s \cdot A_{si} \cdot \sin \alpha + Q_b + Q_{sw}$$

$$Q_b = \frac{2 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c}$$

$A_s$ - площа арматурних стержнів, які преретинає тріщина

$$A_s = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 10 \cdot \frac{\pi \cdot 3,2^2}{4} = 80,4 \text{ см}^2$$

$$R_{sw} = 0,8 \cdot R_s = 0,8 \cdot 33 = 26,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

$$Q_{s\omega} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw} \cdot c}{S_w} = \frac{26,4 \cdot 6,28 \cdot 79,6}{20} = 659,6 \text{ кНм}$$

$$Q_b = \frac{2 \cdot 0,095 \cdot 140 \cdot 79,6^2}{79,6} = 2117,4 \text{ кН}$$

$$\sum R_s \cdot A_{si} \cdot \sin \alpha = 80,4 \cdot 26,4 \cdot 0,707 = 1500,6$$

$$2151,3 \leq 2117,4 + 659,6 + 1500,6 = 4277,6$$

умова виконана.

Таким чином, плита задовольняє нормативним вимогам.

#### 4.8 Проєктування опори

У відповідності до Варіанту №1, передбачено виконати масивний необсипний стоян на фундаменті глибокого закладення з забивних призматичних паль. Зведення такого стояна під час операції залізниці (див. розділ б) передбачає, що нові стояни будуть споруджуватись в тілі насипу діючої колії залізниці. Це передбачає, що на час робіт необхідно улаштувати загородження між стояном на діючій колії і тим, що будується, для утримання насипу.

Для вирішення цієї проблеми прийнято рішення змінити конструкцію нового стояна на аналогічну варіанту №3, тобто виконати тіло стояна з буросічних паль з блоком-насадкою. Таким чином, за умови улаштування паль до розбирання ґрунту, можливе суттєве зменшення об'єму тимчасових підтримуючих конструкцій. При цьому умовна вартість варіанту збільшиться на 12,5 млн грн, що залишає його найвигіднішим.

При цьому найбільшим навантаженням на палі буде бічне навантаження від ґрунту насипу та рухомого складу. Тому виконано розрахунок армування боро-

січної бічної стінки та передньої грані стояна на навантаження від насипу та рухомого складу.

Розрахункову схему зображено на рис. 4.5, де  $e_h$  – навантаження від ґрунту вище рівня верху палі,  $e_a$  – активний тиск ґрунту за палею,  $e_v$  – навантаження від рухомого складу.

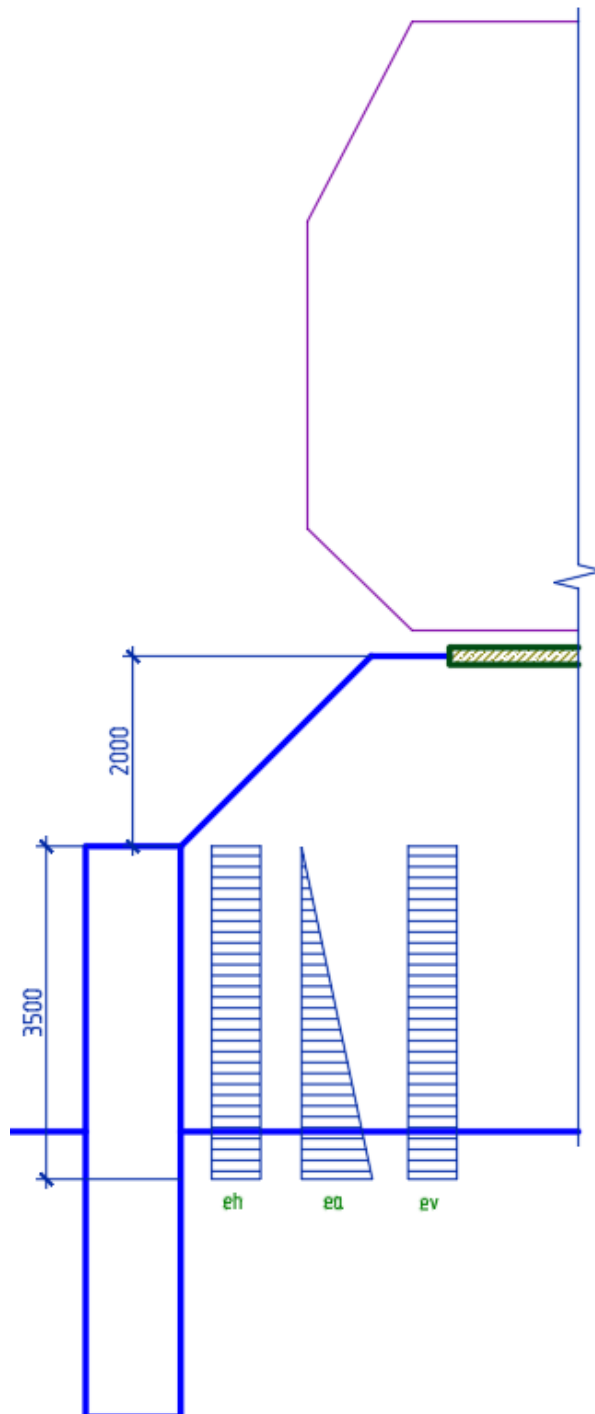


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема буро-січної палі.

Розрахунок виконано у ПК MathCAD і приведено у Додатку А. Умовно для розрахунку прийнято точку зацімлення палі на 0,5 м нижче за очікуваний рівень ґрунта при розробці насипу. Навантаження прийнято постійні від насипу та тимчасові від рухомого складу.

У відповідності до результатів розрахунку, при прийнятому діаметрі палі у 800 мм, необхідне армування складає 16 стрижнів по 22 мм арматури А400С. Висота палі визначається розрахунками несної здатності по вертикальному навантаженню від опори, прогонової будови та рухомого складу, а також розрахунком стійкості на перекидання від горизонтальних навантажень, наведених вище. Схему армування палі в поперечному перерізі приведено на рис. 4.6.

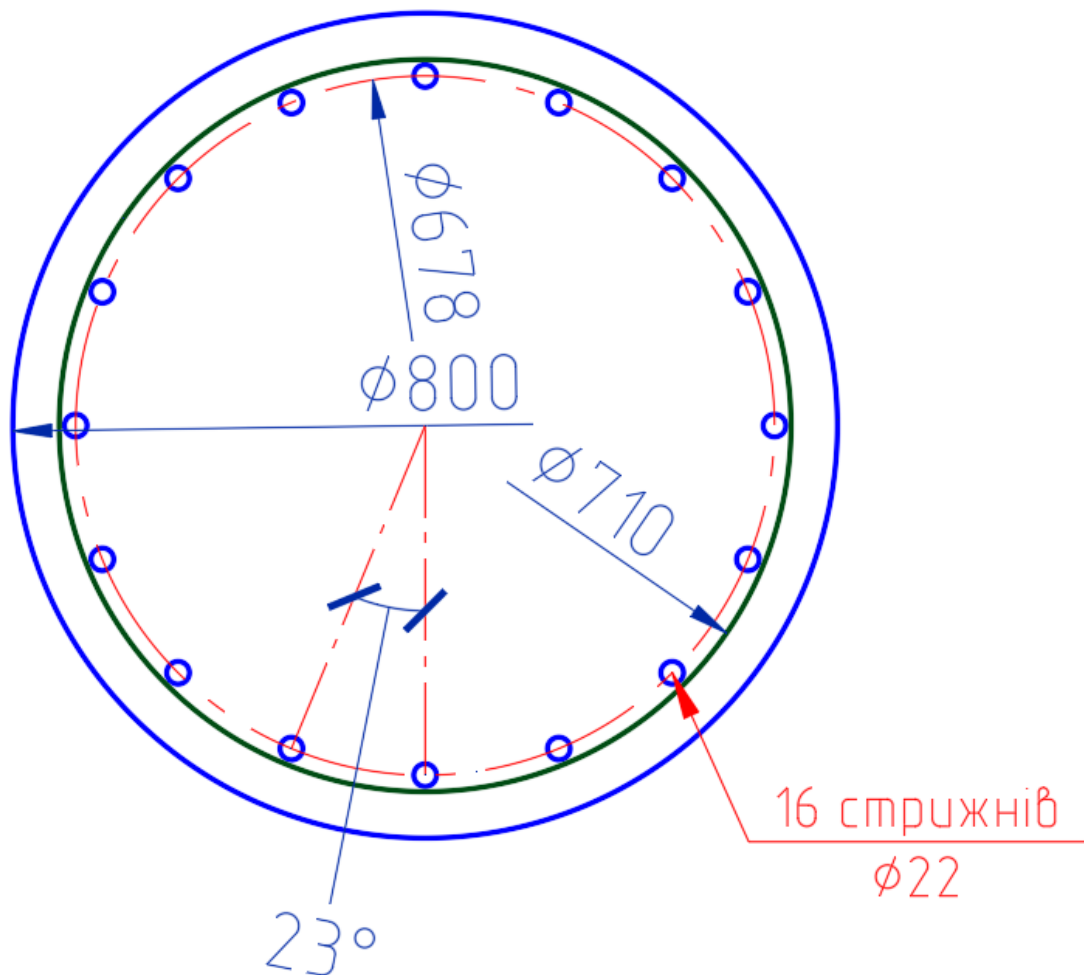


Рисунок 4.6 – Поперечний переріз буро-набивної армованої палі

## 5 ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ З РЕКОНСТРУКЦІЇ ВУЛИЦІ

По своїм параметрам та технічному стану в теперішній час ділянка вулиці не в повній мірі відповідає існуючій інтенсивності руху транспортних засобів, та не забезпечує достатньої безпеки для всіх учасників дорожнього руху.

Проєктом передбачається наступне:

- розширення проїзної частини до чотирьох смуг руху, по дві у кожному напрямку;
- перевлаштування підходів в межах ділянки проєктування;
- перевлаштування транспортної розв'язки кільцевого типу;
- влаштування вело-пішохідних доріжок;
- облаштування пішохідних переходів з влаштуванням освітлення;
- перевлаштування контактної мережі тролейбусу;
- влаштування мереж зовнішнього освітлення;
- влаштування мереж дощової та зливової каналізації;
- перевлаштування існуючих мереж;
- організація дорожнього руху.

Типовий поперечний переріз вулиці приведено на рис. 5.1.

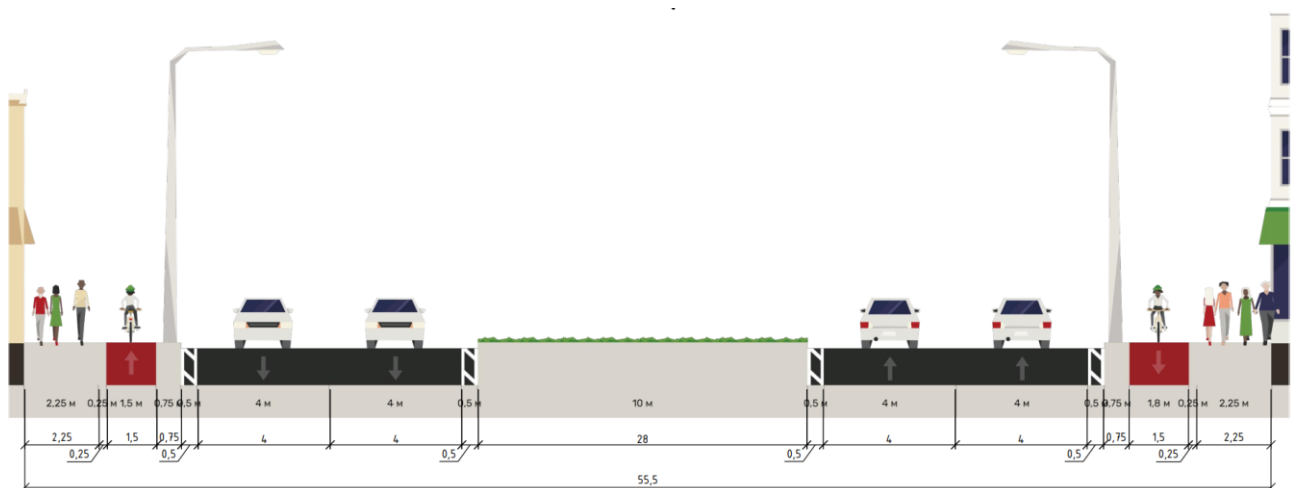


Рисунок 5.1 – Типовий поперечний переріз на кільцевій ділянці вулиці

У порівнянні з поперечним перерізом вулиці, для підмостового простору передбачається звуження смуг проїзду та пішохідної ділянки для пропуску двох смуг руху у старий прогон 9.8 м

Дорожній одяг має наступну конструкцію:

- верхній шар з асфальтобетону АСГ.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 товщиною 5 см по шару бітумної емульсії ЕКШ-50 та АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І.БНД 70/100 товщиною 10 см по шару бітумної емульсії ЕКШ-50;
- верхній шар основи ЩПС.Кр.Ц.М40 товщиною шару 15 см;
- нижній шар основи ЩПС.С5 товщиною шару 21 см;
- підстилаючий шар основи із піску середньої крупності товщиною шару 20 см з вкладанням розділяючого нетканого геосинтетичного матеріалу типу ГТ.Н.Т-2.

Проблемою переулаштування дорожнього покриття під шляхопроводом може стати питання водовідведення – у зв'язку з необхідністю збільшення підмостового габариту для забезпечення актуальних нормативних вимог. Оскільки можливість підняття низу конструкції прогонових будов є обмеженою через критичний ухил залізниці, важливими також стають мінімізація висоти мостового полотна (див. розділ 7), або пониження рівня автопроїзду.

При цьому, у випадку пониження рівня автопроїзду, необхідно приділити значну увагу системам водовідведення, адже ділянка пониження рельєфу стане місцем збору води, яка, у випадку неналежного її відведення, призведе до швидкого руйнування асфальтобетонного покриття та неможливості проїхду чи проходу під шляхопроводом в цілому. Тому необхідно передбачити системи водозбору (ухили, лотки) та водовідведення до існуючих каналізаційних колодязів.

Передбачається влаштування роздільної велосипедно-пішохідної доріжки з розділовою смугою шириною 0,25 м в одному рівні. Ширина пішохідної частини складає 2,25 м, ширина велосипедної доріжки складає 1,5 м.

Вело-пішохідну доріжку запроєктовано односхилою з нормативним похилом у бік проїзної частини, і розміщеною в один рівень з верхом бордюру, що відділяє вело-пішохідну зону від автодороги та знаходиться на 15 см вище неї.

Сполучення дорожнього одягу проїзної частини з велосипедно-пішохідною доріжкою здійснюється за допомогою бортового каменю та встановленням гранітного бортового каменю. В місцях пішохідних переходів та велопереїздів передбачено пониження бортового каменю, доріжка переходить у пандус з нормативним ухилом.

Велосипедно-пішохідна доріжка має наступну конструкцію:

1) Пішохідна частина

- верхній шар покриття із бетонних неармованих виробів (ФЕМ) без фаски товщиною 6 см та влаштуванням попереджувального тактильного покриття із тактильної плитки із конусоподібним рифленням шириною смуги 60 см та поздовжнім рифленням шириною смуги 30 см товщиною 6 см,;

- основа з щебенево-піщаної суміші без використання в'язучих товщиною 15 см та підстиляючого шару товщиною 4 см із цементно-піщаної суміші виготовленої змішуванням на місці.

- передбачено встановлення бетонного бортового каменю та встановлення гранітного бортового каменю на основу із монолітного бетону;

2) Велосипедна частина

- верхній шар з асфальтобетону АСГ.Пщ.Щ.Г.НП.І.БНД 70/100 товщиною 5 см;

- основа з щебенево-піщаної суміші С7 товщиною 20 см з найбільшим номінальним розміром зерен 40 мм без використання в'язучих.

- передбачено встановлення бетонного бортового каменю на основу із монолітного бетону.

Також в рамках реконструкції вулиці необхідно виконати переулаштування контактної мережі тролейбуса з кріпленням її до прогонових будови в місці перетину вулиці шляхопроводом, переулаштування мережі зовнішнього освітлення з монтажем нових опор та сучасних ліхтарів, виконати організацію дорожнього руху, а саме нанесення дорожньої розмітки та установка знаків дорожнього руху.

## **6 ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВНИЦТВА**

Роботи з капітального ремонту шляхопроводу виконуються на автомобільній дорозі та на залізниці. При цьому передбачається виконання робіт таким чином, щоб забезпечити неперервний транспортний потік залізницею. Для цього роботи на коліях передбачається виконувати по чергово, а саме:

- Етап II – виконання робіт на одній колії (№1).
- Етап II – виконання робіт на двох коліях (№3, №8) з можливим застосуванням роботи «у вікна» для подачі матеріалів або виконання окремих робіт на працюючій залізничній колії;

Роботи на автомобільній дорозі передбачається виконувати з повним перекриттям руху на час виконання робіт з переулаштування вулиці, а також для окремих робіт на шляхопроводі.

### **6.1 Технологічна послідовність виконання робіт**

До особливостей робіт, які впливають на технологію та тривалість виконання робіт, відносяться:

- виконання робіт передбачається виконувати в стиснутих умовах забудованої частини міста;
- наявність на території будівельного майданчика розгалуженої мережі існуючих підземних та надземних комунікацій;
- наявність житлових будинків, нежитлових будівель та споруд, що зберігаються, в безпосередній близькості від місця робіт;
- виконання робіт в межах діючих залізничних колій;
- виконання робіт при русі поїздів;
- виконання робіт в зимовий період та період з підвищеною температурою навколишнього середовища

Розширення проїзної частини під залізничним шляхопроводом на км 103 ПК1 станції Чернігів – Північний передбачено виконувати у дві захватки з по черговим перекриттям колій в наступній послідовності:

- до початку робіт провести трасування діючих кабелів сигналізації та зв'язку, силових кабелів регіональної філії «Південно-Західна залізниця» АТ «Укрзалізниця». Виконання будь-яких земляних робіт передбачено за письмовим дозволом у відповідності до технічних вимог та в присутності представників балансоутримувачів комунікацій!

- закриття колії №1 та демонтаж рейко-шпальних решіток залізничним краном УК-25 ланками;

- шурфування та винесення електромереж із зони виконання робіт;

- вирізання бульдозером щебеневого баласту;

- демонтаж існуючих прогонових будов з вивезенням їх до ремонтного майданчику;

- демонтаж стояна №0 шляхопроводу I захватки (рис. 6.1);

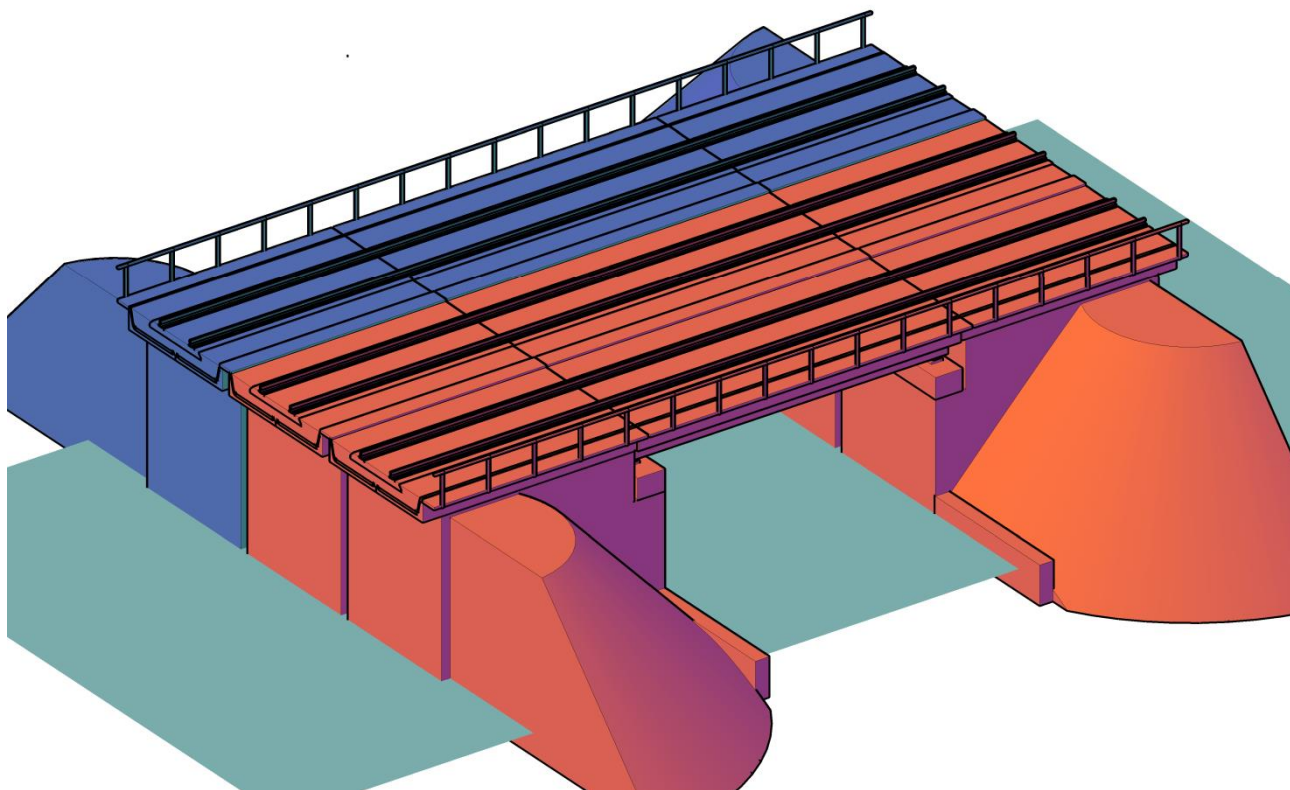


Рисунок 6.1 – Схема демонтажа на I етапі

Демонтажні роботи планується виконувати з використанням пневматичних або електричних інструментів та засобів малої механізації. Будівельне сміття вантажиться екскаватором та вручну на автосамоскиди й вивозиться у відвал. Всі роботи з розбирання існуючих споруд необхідно виконувати відповідно до

проекту виконання робіт, розробленого підрядною організацією з дотриманням вимог ДБН А.3.2-2-2009.

- влаштування нових фундаментів та опор I захватки (рис. 6.2, 6.3);

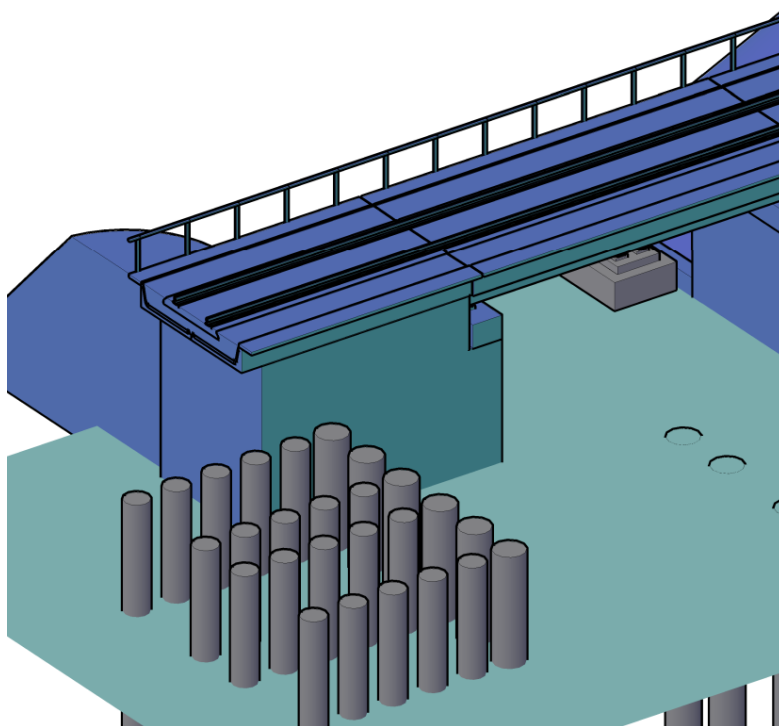


Рисунок 6.2 – Улаштування паль нових стоянів

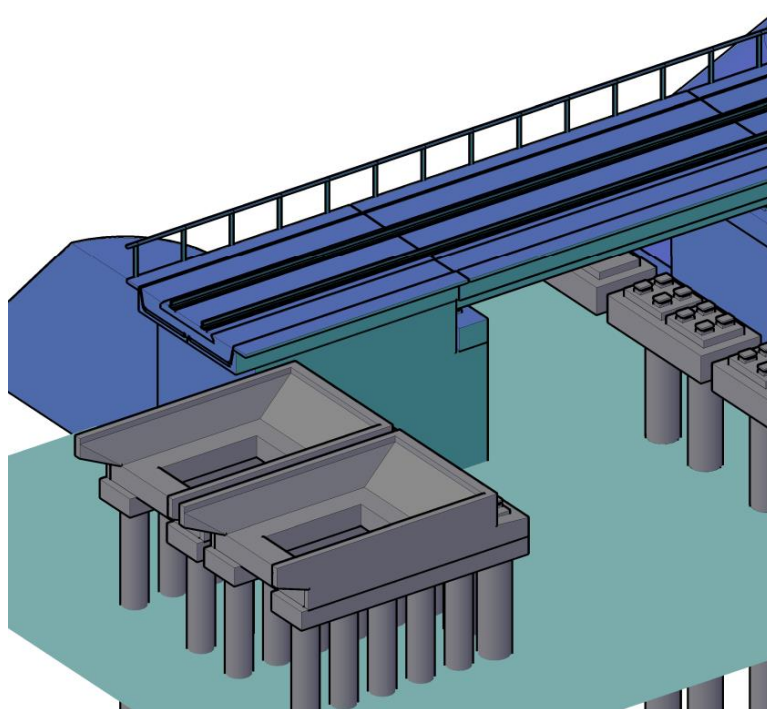


Рисунок 6.3 – Улаштування елементів нових стоянів

- влаштування нових прогонових будов I захватки (рис. 6.4);

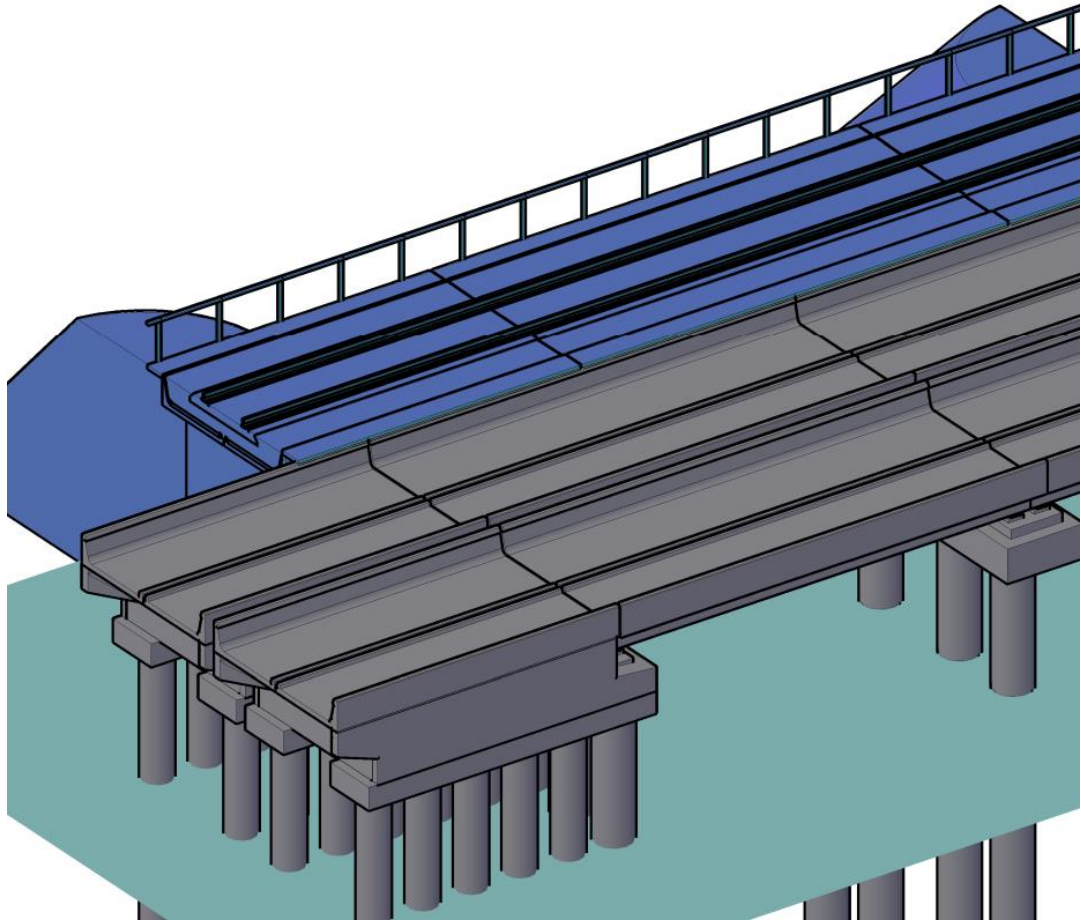


Рисунок 6.4 – Улаштування нових прогонових будов

- влаштування тротуарів та перильного огороження на шляхопроводі;
- влаштування основ мостового полотна;
- влаштування БМП, рейок та контррейок;
- оформлення відкриття колії №1;
- оформлення закриття колій №№3, 8 та демонтаж рейко-шпальних решіток залізничним краном УК-25 ланками;
- шурфування та винесення електромереж із зони виконання робіт;
- вирізання бульдозером щебеневого баласту;
- демонтаж існуючих прогонових будов з вивезенням їх до ремонтного майданчику;
- демонтаж стояна №0 шляхопроводу II захватки (рис. 6.5);

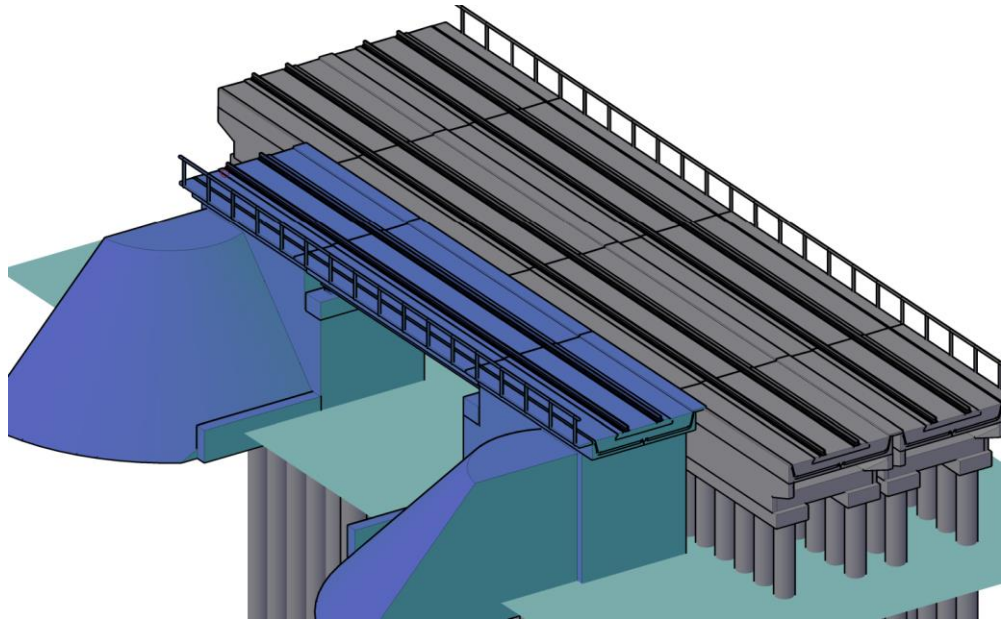


Рисунок 6.5 – Демонтаж конструкцій на II етапі робіт

- влаштування нових фундаментів та опор II захватки (рис. 6.6, рис. 6.7);

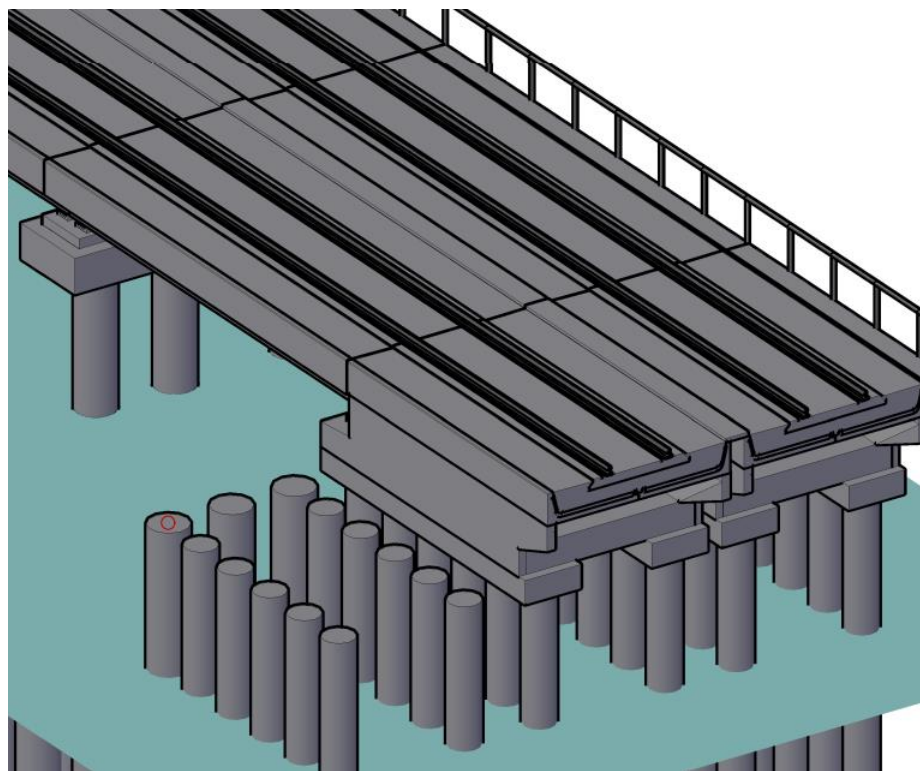


Рисунок 6.6 – Улаштування паль на II етапі робіт

- влаштування нових прогонових будов II захватки (рис. 6.8);
- влаштування тротуарів та перильного огороження на шляхопроводі;
- влаштування основ мостового полотна;
- влаштування БМП, рейок та контррейок;

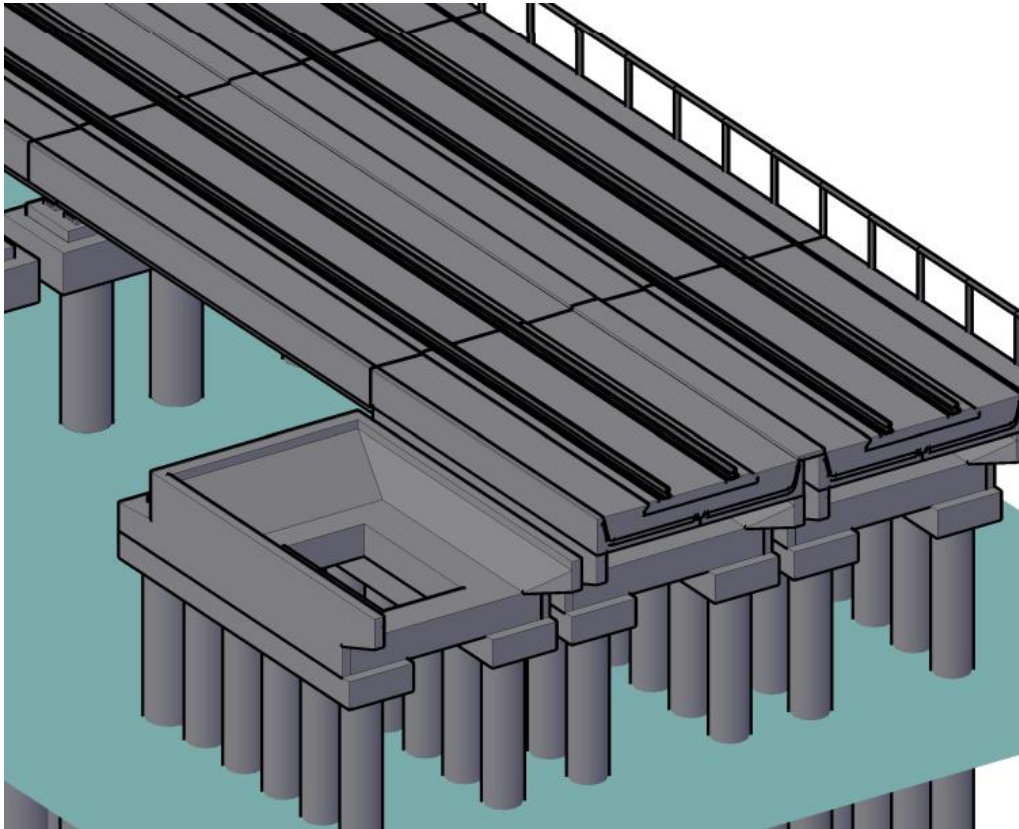


Рисунок 6.7 – Улаштування елементів опор на II етапі

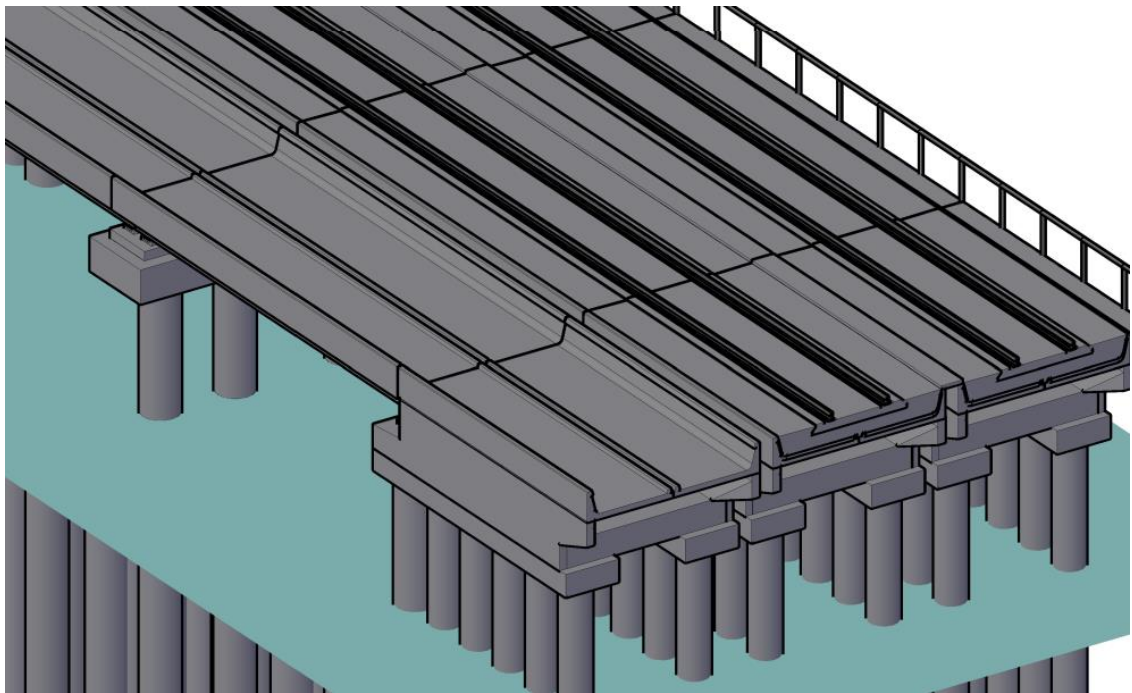


Рисунок 6.8 – Улаштування нових прогонових будов на II етапі

- оформлення відкриття колії №3, 8.

Виконання всього комплексу робіт по демонтажу балок прогонових будов в межах залізничних колій дозволяється після отримання дозволу на початок

виконання робіт і з суворим дотриманням вимог, передбачених ПОБ та ПВР погодженим з РФ «Південно-західна залізниця» АТ «Укрзалізниця» та затвердженими в установленому порядку!

- влаштування сходових маршів з перильним огородженням;
- кріплення відкосів конусів насипу залізобетонними плитами;
- влаштування основ автодорожнього проїзду під шляхопроводом;
- влаштування дорожнього покриття та тротуарів під шляхопроводом по дві смуги руху в кожному напрямку;
- влаштування вело-пішохідних доріжок;
- влаштування необхідних технічних засобів організації дорожнього руху, а саме:
  - знаків дорожніх;
  - розмітки дорожньої;
  - однобічного та двобічного огородження бар'єрного типу.
- виконується монтаж нових опор освітлення;
- виконується влаштування контактної мережі тролейбусів;
- виконується встановлення всіх необхідних покажчиків розміщення інженерних мереж;
- виконується демонтаж плит облаштування будівельних майданчиків та тимчасових будівельних майданчиків під встановлення бурової;
- виконується демонтаж тимчасових будинків та споруд;
- розбирається технологічне огородження будівельного майданчика;
- виконується благоустрій ділянки розміщення майданчиків тимчасових будинків і споруд з відновленням покриття.
- виконується оформлення та отримання всіх дозвільних документів для введення в експлуатацію об'єкта;
- оформлюється в установленому порядку відкриття руху по шляхопроводу та під шляхопроводом.

## **6.2 Технологічні вимоги до залізобетонних конструкцій**

Всі арматурні роботи повинні задовольняти вимоги ДСТУ 3760:2019 «Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій», ДСТУ-Н Б А.3.1-34:2016 «Настанова з виробництва бетонних і залізобетонних виробів» і ДСТУ-Н Б В.2.3-34:2016 «Настанова з виконання робіт при будівництві мостів та труб». Клас бетонів за міцністю на стиск, марки бетонів за морозостійкістю і водонепроникністю вказано в проектній документації. У всіх конструкціях необхідно застосовувати важкий бетон з середньою щільністю 2200-2500кг/м<sup>3</sup> (згідно до ДСТУ 9208:2022). Підбір складу бетону виконується згідно з ДСТУ Б В.2.7-215:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу».

Виготовлення та транспортування бетонних сумішей виконується згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-96-2000. «Суміші бетонні. Технічні умови». Всі матеріали, що використовуються для виготовлення бетону, повинні суворо відповідати вимогам обов'язкового додатку ДСТУ-Н Б В.2.3-34:2016 «Настанова з виконання робіт при будівництві мостів та труб».

Бетонну суміш вкладати у відповідності до технологічних карт. При цьому, бетонну суміш вкладати горизонтальними шарами без технологічних розривів з напрямком вкладання в один бік в усіх шарах. Допускається вкладати і ущільнювати бетонну суміш похилими шарами, створюючи горизонтальну випереджуючу ділянку довжиною 1,5-2,0 м в кожному шарі. Кут нахилу до горизонту поверхні вкладеного шару бетонної суміші перед її ущільненням не повинен перевищувати 30°. Після вкладання і розрівнювання бетонної суміші по всій площі шару, ущільнення глибинними вібраторами розпочинати з випереджаючої ділянки. Перед початком ущільнення суміш рівномірно розрівняти по всій площі поперечного перерізу конструкції, що бетонується кожного шару, що укладається в монолітні конструкції бетону. При бетонуванні вирівнюючого шару, бетонну суміш спершу ущільнити глибинними вібраторами, а потім віброрейкою. Не допускається використовувати глибинні вібратори з метою перерозподілу і розрівнювання у шарі бетонної суміші, що укладається. Бетонну суміш у вкладеному шарі

ущільнювати тільки після закінчення розподілу і розрівнювання на площині, що бетонується. Глибинні вібратори встановлюються по можливості у вертикальному положенні. Переставляючи вібратор в інше місце на відстані від 45 до 75 см від минулого положення, виконувати операції плавним рухами і повільно витягувати його робочу частину з бетону. Оптимальна швидкість занурення вібратора 2-3 см в секунду. Щоб забезпечити гладку поверхню бетону по закінченні зняття опалубки, потрібно занурювати вібратор поблизу опалубки на відстані близько 10 см. Час роботи вібратора в одному положенні повинен складати від 5 до 15 секунд. По завершенні процесу близько вібратора має з'явитись цементне молочко, а також характерний звук роботи приладу.

Бетонну суміш, яка втратила, на момент вкладання, задану рухливість, подавати в конструкцію забороняється. Забороняється відновлювати рухливість бетонної суміші шляхом додавання води на місці вкладання. Наступний шар бетонної суміші необхідно вкладати до початку схоплення бетону в попередньому вкладеному шарі. Якщо перерив в бетонуванні перебільшив час початку схоплювання бетону у вкладеному шарі (бетон втратив властивість до тиксотропного розрідження при наявних засобах віброущільнення), необхідно влаштувати робочий шов. Термін відновлення вкладання бетону після перерви визначається лабораторією. Перед початком відновлення вкладання бетону, поверхню затверділого бетону обробити матеріалом для покращення зчеплення, обезпилити і змочити водою.

В процесі вкладання бетонної суміші необхідно постійно слідкувати за станом опалубки. При виявленні деформацій або зміщень окремих елементів опалубки, слід прийняти термінові заходи з їх ліквідації і, в разі необхідності, припинити роботи на цій ділянці. Технологічні вимоги, які необхідно виконувати при виконанні бетонних робіт і перевіряти при операційному контролі, а також об'єм, методи і засоби контролю наведені ДСТУ-Н Б В.2.3-34:2016 «Настанова з виконання робіт при будівництві мостів та труб». Відкриті поверхні свіжовкладеного бетону після закінчення бетонування (в

тому числі і при перервах у вкладанні) надійно захистити від випаровування води.

Свіжовкладений бетон захистити від потрапляння атмосферних опадів. Забезпечити захист відкритих поверхонь бетону протягом терміну, поки бетон не набере не менше 70% проектної міцності. Постачання монолітного бетону на будівельний майданчик виконується міксерами. В зв'язку з тим, що при постачанні монолітного бетону міксерами інколи суттєво змінюються технічні характеристики бетонної суміші необхідно, щоб час постачання не перевищував 1,5 години. При цьому, в місцях вимушених зупинок, необхідно збільшувати швидкість перемішування від 2 до 24 об/хв. Забороняється перевозити бетонну суміш без перемішування. В бетонну суміш, яка використовується для бетонування монолітних конструкцій категорично забороняється додавання води на буд майданчику після її транспортування. Рекомендується бетонну суміш подавати до місця вкладання бетононасосами. Марки бетону прийнято відповідно до ДБН В.2.3.-14:2006 «Споруди транспорту».

### **6.3 Вантажно-розвантажувальні роботи**

Вантажно-розвантажувальні роботи повинні проводитися під керівництвом посадової особи або працівника, відповідального за безпечне проведення цих робіт. Посадова особа або працівник, відповідальний за безпечне проведення вантажно-розвантажувальних робіт, повинен:

- визначити спосіб навантаження і розвантаження;
- зробити розміщення робочої сили;
- перевірити справність пристосувань і засобів індивідуального захисту;
- встановити порядок обміну умовними сигналами між стропальником, що подає сигнали, і машиністом підйомально-транспортного устаткування при провадженні робіт механічним способом;
- провести інструктаж працівникам перед початком робіт.

Перед підйомом і переміщенням вантажів потрібно перевірити:

- справність вантажозахоплювальних пристроїв;
- наявність на них клейм, етикеток з позначенням дати випробування і вантажопідймальності;
- стійкість вантажу і правильність його стропування;
- відсутність предметів, які перешкоджають переміщенню вантажів.

Місця стропування, положення центра ваги та величина маси вантажу повинні бути позначені підприємством-виготовлювачем продукції або відправником вантажу. Стропування великогабаритних вантажів (металевих, залізобетонних конструкцій) необхідно проводити за спеціальні пристрої, стропувальні вузли або позначені місця залежно від положення центра ваги і маси вантажу.

При переміщенні вантажу підйимально-транспортним устаткуванням перебування працівників на вантажі та під вантажем, а також у зоні його можливого падіння забороняється. Також забороняється переміщення вантажу над приміщеннями і транспортними засобами, де перебувають працівники. Особи, не пов'язані з виконанням вантажно-розвантажувальних робіт, не повинні перебувати у місцях їх провадження та у зоні дії вантажопідймальних механізмів.

Після закінчення та у перерві між роботами, вантаж, вантажозахоплювальні пристрої та механізми не повинні залишатися в піднятому положенні. Спосіб укладання і кріплення вантажів повинен забезпечувати їх стійкість при транспортуванні і складуванні, розвантаженні транспортних засобів і розбиранні штабелів, а також можливість механізованого навантаження-розвантаження. Маневрування транспортних засобів з вантажами після зняття кріплення з вантажів забороняється. При виникненні небезпечних і шкідливих виробничих факторів внаслідок впливу метеорологічних умов на фізико-хімічні властивості вантажу вантажно-розвантажувальні роботи повинні бути припинені. При проведенні вантажно-розвантажувальних робіт забороняється кантувати, волочити, захоплювати залізними гаками і скидати вантаж з висоти.

Для керування та обслуговування стрілових самохідних кранів роботодавець повинен призначити кранівників, які мають посвідчення на право керування краном визначеного типу. Керування автомобільним краном може бути доручено шоферу після його навчання та атестації в кваліфікаційній комісії. Навчання та атестація зазначених працівників проводиться в порядку, встановленому законодавством.

На кожній ділянці робіт вантажопідіймальних кранів для обв'язування, зачіплювання або підвішування вантажів роботодавець повинен призначити стропальників із числа працівників, які пройшли навчання в установленому порядку.

#### **6.4 Виконання робіт на автодорозі**

Розбирання щибеневої основи передбачено виконати механізованим способом з застосуванням киркувальника на базі трактора та автогрейдера. Матеріал, отриманий від розбирання щибеневої основи, навантажується на самоскиди та транспортується на звалище для утилізації.

Планування земполотна виконати грейдерами. В разі необхідності переміщення ґрунту більше ніж на 50 м, його навантажують на самоскиди екскаваторами та перевозять. Зайвий ґрунт отриманий від виправлення профілю ділянки автомобільної дороги вивозиться в резерв з подальшим використанням на присипні узбіччя. Ущільнення ґрунту земполотна виконується котками на пневмоколісному ході за шість проходів.

Для ущільнення асфальтобетонної суміші застосовуються гладковальцеві самохідні котки легкого типу масою 5-8 т; важкого типу масою 10-18 т; самохідні котки на пневматичних шинах масою 16 і 30 т; віброкотки масою 4 і 8 т. В залежності від типу і виду котків і ступеня попереднього ущільнення суміші слід проводити: попереднє ущільнення спочатку котком масою 5-8 т з гладкими вальцями (до 6 проходів по одному сліду), потім котком на пневматичних шинах (8-10 проходів), остаточна укочення катком масою 10-18 т з гладкими вальцями (4-6 проходів).

Ущільнення високощербенистих сумішей рекомендується проводити спочатку котками на пневматичних шинах (10-12 проходів), а потім котком масою 10-18 т з гладкими вальцями (2-4 проходи). Укочування проводиться від упорного бруса до середини смуги, перекриваючи кожен попередній слід на 20-25 см.

Щоб уникнути прилипання під час укочування асфальтобетонної суміші до вальців катка, їх змащують водою. У місцях, недоступних укоченню, проводять ретельне трамбування суміші нагрітими металевими трамбівками і вигладжування поверхні гарячими прасками.

Робоча швидкість руху котків при ущільненні повинна бути на початку ущільнення 1,5-2 км / год, після 5-6 проходів по одному сліду - 3-5 км / год для гладковальцевих котків, 2-3 км / год - для вібраційних котків і 5-8 км / год - для котків на пневматичних шинах.

В процесі робіт по влаштуванню покриття забороняється:

- заправляти катки та автомобілі на свіжоукладеному і перекриваємому асфальтобетонному покритті. Для заправки виводити механізми на узбіччя, бічні виїзди або воротні заїзди;
- зупиняти катки на свіжоукладеному покритті. У разі аварійної зупинки вжити термінових заходів до виводу катка із зони робіт;
- перемикати швидкості при різкому гальмуванні на ущільненому покритті;
- виробляти повороти на ущільненому покритті. Для зміни напрямку руху катки слід виводити на ущільнену частину покриття;
- залишати катки на свіжоукладеному покритті після закінчення робіт.

## 7 ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРОІЗОЛЮЮЧИХ МАТІВ В ЯКОСТІ ОСНОВИ БЕЗБАЛАСТНОЇ КОЛІЇ НА МОСТАХ

Віброізолюючі мати – це спеціальні матеріали, які використовуються в залізничному будівництві для поліпшення стабільності колій, зменшення вібрацій та шуму. Їх зазвичай розміщують під плитами безбаластної колії.

Основними функціями таких матів є:

- **Віброізоляція:** Створюючи пружний шар між бетонною плитою та землею, мати значно зменшують передачу вібрацій, що виникають під час руху поїздів. Це особливо важливо в міських районах та поблизу чутливих будівель, таких як будинки та тунелі.
- **Зменшення шуму:** Зменшуючи вібрації, мати також допомагають знизити рівень шуму, роблячи поїздки комфортними для пасажирів та зменшуючи забруднення шумом навколишнього середовища.
- **Поліпшення стабільності колій:** Мати сприяють створенню більш стабільної конструкції колії, що покращує загальну якість руху та зменшує ризик пошкодження колії.
- **Збільшення довговічності:** Розподіляючи навантаження більш рівномірно, мати допомагають продовжити термін служби бетонної плити та всієї колійної інфраструктури.

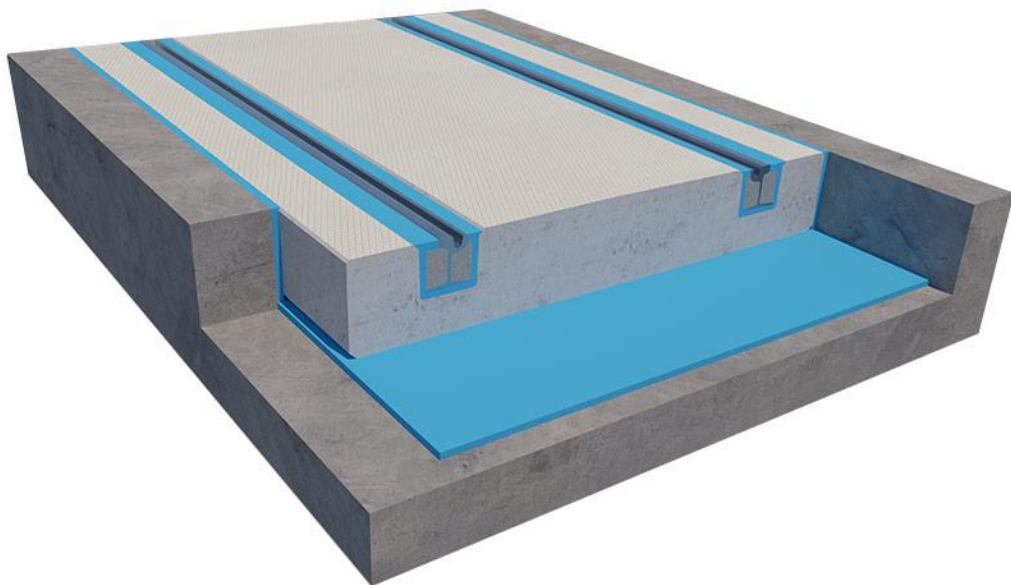


Рисунок 7.1 – Віброізоляційні мати під збірними плитами БМП

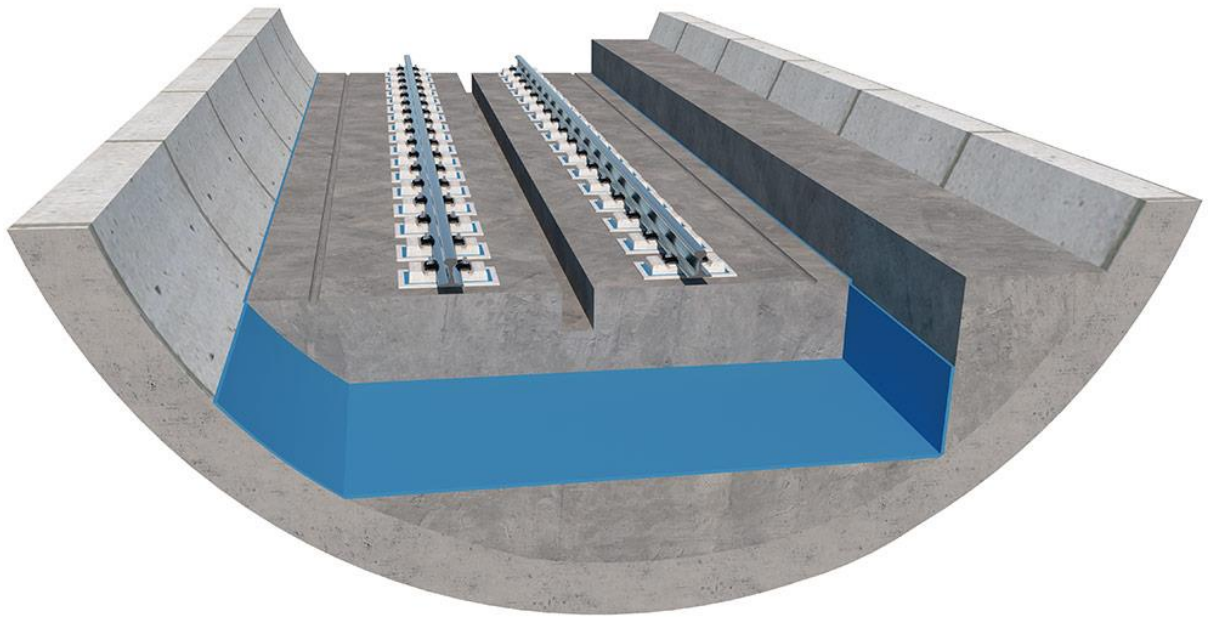


Рисунок 7.2 – Віброізоляційні мати під монолітним безбаластовим полотном

Сьогодні такі мати використовуються в більшості метрополітенів та систем легкорейкового транспорту по всьому світу, особливо в місцях, де тунелі чи мости створюють наземний шум[17].

При цьому, мати можна додатково поділити за матеріалами (гума, поліуретанові композити та ін.), а також за призначенням. Наприклад, є підбаластні мати [18], а під безбаластову колію – такі, що вкладаються під збірні плити (рис. 7.1) та під монолітний бетон (рис. 7.2) [19].

Крім застосування на залізницях, наявні випадки застосування таких матів для мостових споруд, в першу чергу – для легких поїздів та поїздів метро, але і для інших навантажень також. Такі мати мають допомагати як в зниженні рівня шуму навколо залізниці, так і в зменшенні вібрацій, що передаються на конструкцію.

Наприклад, для ефективного вирішення проблеми супутнього шуму від метрополітену, було проведено натурний експеримент на естакадних ділянках лінії метро 1 в Ханчжоу [20]. Було оцінено ефект зниження шуму еластичних матів та двох типів шумових екранів для залізничних ліній метро на естакадах, а також проаналізовано механізми цих заходів протидії.

Результати показують, що еластичні мати ефективно зменшують передачу вібраційної енергії від колеса до рейки в міст, тим самим зменшуючи мостову вібрацію. Відмінний ефект зниження шуму був досягнутий в зоні під мостом і поблизу його нижньої частини, тоді як збільшення шуму спостерігалось поблизу зони над рейками та поблизу їх поверхні.

Також, виконано дослідження в 2015 році на високошвидкісній залізничній системі Ченду-Дуцзян'янь, де еластичні гумові мати - єдиний захід протидії, який в даний час застосовується для зменшення вібрації та шуму на високошвидкісних естакадних залізничних системах в Китаї – були встановлені у вересні 2010 року [21].

Результати вказують, що мати мають незначний вплив на вертикальні сили колесо-рейка, комфорт поїздки та внутрішній шум у транспортному засобі. Однак, незважаючи на це, вони значно зменшують вібрацію плити, мосту та землі під матами. Крім того, їхній ефект контролю впливу на навколишнє середовище та вібрацію оцінювався у вересні 2010 року та вересні 2015 року, що показало, що мати можуть ефективно мінімізувати вібрацію навколишнього середовища та мосту після п'яти років практичної експлуатації.

Дослідження вказують, що раціональне розташування ізоляційного шару може покращити деформаційні поведінки безбаластних колій, укладених на мостах[25, 26].

- Для плит БМП, укладених на жорсткому фундаменті, такому як мости, без урахування попереднього стиснення ізоляційного шару, на межі шарів елементів безбаластних колій і мосту можуть утворюватися зазори та порожнечі.

- Застосування гумових матів зменшує ймовірність утворення зазорів та порожнеч на межах шарів. Водночас застосування гумового мата незначно впливає на розподіл напружень у безбаластній колії, але безпека та надійність безбаластних колій може бути збільшена.

- За умов звичайної експлуатації гумові мати все ще перебувають у пружному робочому стані, а міжшарові деформації безбаластних колій добре

простежуються. Розтягуючі та стискаючі деформації ізоляційних шарів з гумових матів є більш очевидними, ніж у геотекстильних ізоляційних шарів (як альтернативне прокладення).

Аналогічні дослідження для довгопрогонових мостів [22] підтверджують або показують, що:

- Шари віброізоляційних матів змінюють вібраційні характеристики плити колії. Введення гумового ізоляційного шару в безбаластну колію значно зменшує вібрацію плити колії, а також змінює вібраційні характеристики плити колії.
- Ізоляційні шари впливають на характеристики передачі вібрацій у безбаластних коліях. Крім того, вібрації плит колії в безбаластних коліях з геотекстильними або гумовими ізоляційними шарами зменшуються на 30% або 60%, що є значним ефектом.
- Застосування гумового ізоляційного шару призводить до концентрації діапазонів збуджених частот вібрацій безбаластних колій. Крім того, загасання вібрацій безбаластних колій з гумовими ізоляційними шарами є стабільним.
- У процесі вертикальної передачі вібрацій у безбаластних коліях з різними типами ізоляційних шарів закони загасання дещо відрізняються в частотній області. Швидкість загасання вібрацій безбаластної колії з гумовими ізоляційними шарами приблизно в десять разів більша, ніж у безбаластної колії з геотекстильними ізоляційними шарами, а зменшення вібрацій при вертикальній передачі в безбаластній колії з гумовими ізоляційними шарами є очевидним.

Також такі мати покращують вплив прогонової будови на безбаластове мостове полотно, наприклад, при місцевих деформаціях[23]: порожнечі та просідання не утворюються на прокладних шарах безбаластних колій з гумовими ізоляційними шарами завдяки попередньому стисненню гумового матеріалу. Однак цілком можливо утворення деяких дефектів, таких як порожнечі та просідання, на міжшарових шарах безбаластної колії з

геотекстильними ізоляційними шарами. Крім того, є можливим використовувати еластичний ізоляційний шар для покращення міжшарових деформаційних характеристик, оскільки на міжшарових шарах безбаластної колії забезпечується певний еластичний буфер.

Також, використання гумових матів позитивно впливає на роботу мостового полотна на витривалість і стабільність роботи під повторюваними навантаженнями[27].

При чому, обмеження в технології виготовлення і матеріалі є незначними, так, застосування більш широко розповсюджених баластних матів можливе і для безбаластної колії, і також показує гарні демпфуючі властивості і можливість довготривалого використання [28].

Важливою також є екологічність даних виробів: використання гумових матів з перероблених шин сприяє зменшенню кількості відходів та знижує витрати на виробництво порівняно з поліуретановими матеріалами. Дослідження [30] показали, що такі мати є адекватною заміною вже існуючим технологіям.

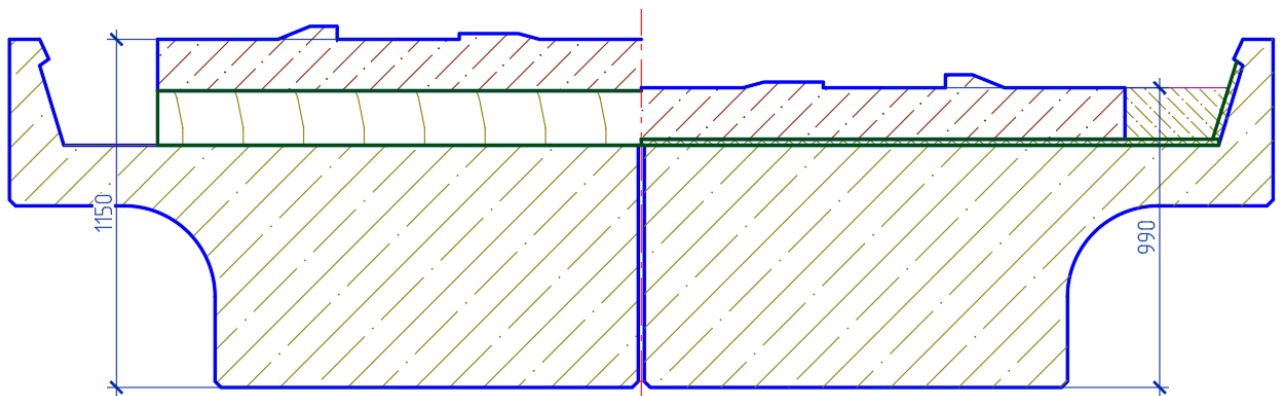


Рисунок 7.3 – Порівняння будівельної висоти при використанні дерев'яних шпал та баластних матів.

Таким чином, дерев'яні шпали, що передбачалися у якості підкладки під безбаластне мостове постове полотно для розроблюваного проєкту можуть бути замінені на спеціальні віброізолюючі мати, що гарно впливатиме як на роботу мостового полотна, так і на роботу прогонових будов, а також дозволить додатково збільшити підмостовий габарит (рис. 7.3).

Відкритим питанням залишається детальне вивчення роботи таких матів за умови застосування безбаластного мостового полотна, а також підбір конкретних параметрів, як матеріал та товщина, від яких залежатимуть демпфуючі [30] та деформаційні їх властивості.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В даному дипломному проєкті було розглянуто залізничний шляхопровід під три колії на км 103 ПК1 станції Чернігів-Північний регіональної філії «Південно-західна залізниця» АТ «Укрзалізниця», а також транспортну розв'язку по вул. Любецькій біля нього. Однопрогоновий шляхопровід має ширину підмостового габариту 8,5 м і висоту 5 м, чого недостатньо для адекватного пропуску транспортного потоку в умовах розвитку міста в цілому і особливо нового району Масани, до якого веде вулиця Любецька.

Для реконструкції вулиці було передбачено розширення проїзної частини з двох смуг до чотирьох (по дві в кожную сторону), переулаштування кільцевої транспортної розв'язки, влаштування вело-пішохідних доріжок та вказано на необхідність переулаштування контактної мережі тролейбуса і мережі зовнішнього освітлення, улаштування з особливою увагою дощової каналізації та водовідведення, організація дорожнього руху.

Для шляхопроводу існуючі прогонові будови, що було влаштовано у 1990 році під навантаження С14, було перераховано за сучасними вимогами до надійності і визначено, що вони можуть бути застосовані повторно після незначного підсилення.

Було розроблено три варіанти реконструкції шляхопроводу:

1. Ремонт одного зі стоянів та існуючих прогонових будов. Улаштування проміжної опори і нового стояна аналогічної старому конструкції та нової прогонової будови довжиною у 13,5 м, часткове звуження габариту вулиці для пропуску під існуючою прогоновою будовою. Передбачено безбаластне мостове полотно.
2. Повний демонтаж існуючого шляхопроводу та улаштування на його місці нового з двома прогоновими будовами по 13,5 м за старою поперечною схемою ( $2 \times 3 = 6$  плит), стоянами конструкції, аналогічній існуючій та мостовим полотном на баласті з можливістю пропуску щебенеочисної машини.

3. Повний демонтаж існуючого шляхопроводу та улаштування на його місці нового з двома прогоновими будовами по 13,5 м за «станційною» поперечною схемою (7 плит під 3 колії). Для цього передбачалось улаштування суцільних стоянів і проміжних опор на всю ширину шляхопроводу. Мостове полотно на баласті з можливістю пропуску щибенеочисної машини.

Для обраного варіанту №1 було розраховано робочу арматуру нової прогонової будови, прийнято рішення про заміну конструкції нового стояна на конструкцію на основі буро-січних паль, розраховано таку палю за умови запропонованої технології робіт із забезпеченням безперервної роботи залізниці та почерговим перекриттям колій. Описано основні принципи технології і організації таких робіт з реконструкції шляхопроводу. Крім того, було розглянуто і запропоновано застосовувати віброізоляційні мати у якості підкладки під безбаластне мостове полотно.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]: ДБН В.2.3-14:2006 / затв.: наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-коменального господарства (Мінбуд України) від "06" травня 2006 р. № 160 / Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства. – К., 2006.
2. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи [Текст]: ДБН В.1.2-15:2009 / затв.: наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 11.11.2009 р. № 484 / Мінрегіонбуд України. – К., 2009.
3. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст]: ДБН В.2.3-22:2009 / затв.: наказ Мінрегіонбуду України від 11.11.2009 № 484 / Мінрегіонбуд України. – К., 2009.
4. . ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво
5. ДБН В.2.3-20-2008. Мости та труби. Виконання та приймання робіт.
6. ДБН В.2.6-98-2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення
7. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови
8. ДСТУ Б В.2.7-129:2013 Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови
9. ДСТУ 9177-2:2022 Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 2. Матеріали неукріплені
10. ДСТУ Б В.2.7-32:1995 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови
11. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобильные дороги. Применение геосинтетических материалов в дорожных конструкциях. Основные требования

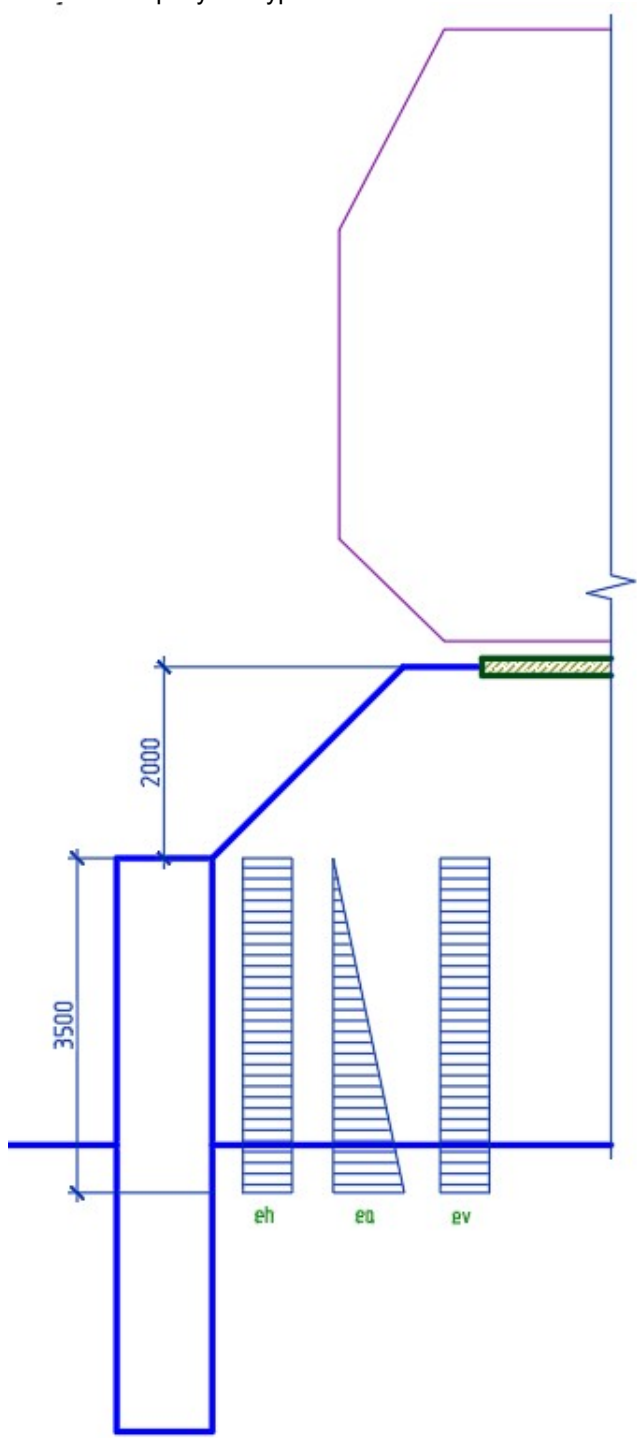
12. Борщев В.І., Загора О.Л. Мости і труби. У 4т. –Д: Вид-во Дніпропет. Нац. ун-ту залізн. транс. ім. акад. В. Лазаряна,-2012.,-т.2: у 2 ч. ч.1: Залізобетонні мости і труби-2012, - 434с.
13. Борщев В.І., Мости і труби; підручник: у 4т. ( В.І. Борщев, О.Л. Загора,- Д: Вид-во Дніпропет. нац. ун-т залізн. транс. Ім. акад. В.Лазаряна,- 2012;-т2: у 2ч ч2. Залізобетонні мости і труби. - 456с.
14. Лучко Й. Й. Конструкції будівель і споруд : Підручник / Лучко Й.Й., Назаревич Б.Л., Ковальчук В.В. – Львів : Каменяр , 2018 – 745 с.
15. Распопов О.С. Техніко-економічне порівняння варіантів залізобетонного моста. Методичні вказівки для курсового та дипломного проектування О.С. Распопов., В.Е.Артьомов., М.М. Попович.-Д.:2010.-23с.
16. Борщев В.І., Загора О.Л., Попович М. М. Розрахунок залізобетонної прогінної будівлі з каркасно-зварною арматурою під залізницю. Навчальний посібник – Д. ДІТ – 1999, 56 с.
17. Електронний ресурс. Tiantie group. Режим доступу: <https://www.tiantiegroup.com/products/track-mats/>
18. Sol-Sánchez, M. & Moreno-Navarro, Fernando & Gámez, Ma. (2015). The use of elastic elements in railway tracks: A state of the art review. Construction and Building Materials. 75. 10.1016/j.conbuildmat.2014.11.027.
19. Електронний ресурс. TINES Rail. Режим доступу: <https://tinesrail.com/ua/>
20. Zhao, Caiyou & Ping, Wang. (2018). Minimizing noise from metro viaduct railway lines by means of elastic mats and fully closed noise barriers. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 232. 095440971775220. 10.1177/0954409717752200.
21. Zhao, Caiyou & Ping, Wang. (2018). Effect of elastic rubber mats on the reduction of vibration and noise in high-speed elevated railway systems. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 232. 095440971775220. 10.1177/0954409717752201.
22. Zheng, Weiqi & Sheng, Xingwang & Zhu, Zhihui & Luo, Tianjing & Liu, Zecheng. (2020). Experimental Study on Vibration Characteristics of Unit-

- Plate Ballastless Track Systems Laid on Long-Span Bridges Using Full-Scale Test Rigs. *Sensors*. 20. 1744. 10.3390/s20061744.
23. Sheng, Xingwang & Zheng, Weiqi & Wu, Jianxian & Zhang, Handong. (2020). Influence of Local Deformation Mode of Cable-Stayed Bridge on Unballasted Tracks: Experimental Research. *Advances in Civil Engineering*. 2020. 10.1155/2020/2316524.
24. Zheng, Weiqi & Sheng, Xingwang & Zhu, Zhihui & He, Hongqiang. (2020). Experimental study on deformation characteristics of ballastless tracks under downward bending deformation of long-span cable-stayed bridge. *Engineering Structures*. 210. 10.1016/j.engstruct.2020.110363.
25. Zheng, Weiqi & Sheng, Xingwang & He, Hongqiang & Xu, Hongyi & Yang, Ying. (2020). Use of Rubber Mat to Improve Deformation Behaviors of Ballastless Tracks Laid on Bridges. *Advances in Civil Engineering*. 2020. 10.1155/2020/8821402.
26. Cai, Jiasheng & Chen, J.-J & Wang, Jianxi & Shi, Xianfeng & Wang, Rui & Yang, Yadi. (2023). Research on the Influence of Geotextile and Elastic Cushion on the Static Performance of Ballastless Track on Long-Span Cable-Stayed Bridges. *Applied Sciences*. 13. 13110. 10.3390/app132413110.
27. Sheng, Xingwang & Zheng, Weiqi & Zhu, Zhihui. (2019). Mechanical Behaviors and Fatigue Performances of Ballastless Tracks Laid on Long-Span Cable-Stayed Bridges with Different Arrangements. *Sensors*. 19. 4195. 10.3390/s19194195.
28. Sheng, Xing-Wang & Zheng, Weiqi & Zhu, Zhihui & Luo, Tian-Jing & Zheng, Yan-Huang. (2020). Properties of rubber under-ballast mat used as ballastless track isolation layer in high-speed railway. *Construction and Building Materials*. 240. 10.1016/j.conbuildmat.2019.117822.
29. Wang, Rui & Jing, Guoqing & Wang, Bo & Nateghi, Yekta. (2023). Under ballast mat – A review of recent developments, limitations, and future prospects. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F*:

- Journal of Rail and Rapid Transit. 237. 095440972211504.  
10.1177/09544097221150494.
30. Kraśkiewicz, Cezary & Zbiciak, Artur & Pelczynski, Jan & Al Sabouni-Zawadzka, Anna. (2023). Experimental and numerical testing of prototypical under ballast mats (UBMs) produced from deconstructed tires – The effect of mat thickness. Construction and Building Materials. 369. 130559. 10.1016/j.conbuildmat.2023.130559.

### Додаток А

Розрахунок буросічних палів



Визначаємо горизонтальні навантаження на палю:

Активний тиск ґрунту в рівні палі:

Умовно приймемо щільність всього ґрунту насипу та ВБК у 2,0 т/м<sup>3</sup>. Також приймемо кут внутрішнього тертя ґрунту насипу, у відповідності до нормативів, у 30 градусів.

$$\gamma := 20 \text{ кН/м} \quad - \text{ щільність ґрунту}$$

$$\varphi := 30 \quad - \text{ кут внутрішнього тертя}$$

$$H := 3.5 \text{ м} \quad - \text{ висота палі від точки зацімлення (умовно прийнято 0,5 м нижче рівня ґрунта)}$$

$$e_a := \gamma \cdot H \cdot \tan\left(\frac{45 - 0.5 \cdot \varphi}{180} \cdot \pi\right)^2 = 23.333 \text{ кН/м}$$

Навантаження від ґрунту над палею:

$$H_1 := 2 \text{ м} \quad \text{Сумарна висота ґрунту і ВБК}$$

$$e_h := \gamma \cdot H_1 \cdot \tan\left(\frac{45 - 0.5 \cdot \varphi}{180} \cdot \pi\right)^2 = 13.333$$

Навантаження від рухомого складу:

$$v := 338.3 \text{ кН/м} \quad - \text{ навантаження як для ділянки у 3м}$$

$$\gamma_v := 1.3 \quad \mu := 0$$

$$\text{При розподіленні навантаження на ширину:} \quad b := 3.2 + H_1 \cdot 2 = 7.2 \text{ м}$$

$$\text{горизонтальне навантаження складатиме:} \quad q := \frac{v \cdot \gamma_v \cdot (1 + \mu)}{b} = 61.082 \text{ кН/м}$$

тоді вертикальне розподілене навантаження складатиме:

$$e_v := q \cdot \tan\left(\frac{45 - 0.5 \cdot \varphi}{180} \cdot \pi\right)^2 = 20.361 \text{ кН/м}$$

Поперечні сили від навантажень:

$$E_h := e_h \cdot H = 46.667 \text{ кН}$$

$$E_a := e_a \cdot \frac{H}{2} = 40.833 \text{ кН}$$

$$E_v := e_v \cdot H = 71.262 \text{ кН}$$

Згинальні моменти від навантажень:

$$M_h := E_h \cdot \frac{H}{2} = 81.667 \quad \text{кНм}$$

$$M_a := E_a \cdot \frac{H}{3} = 47.639 \quad \text{кНм}$$

$$M_v := E_v \cdot \frac{H}{2} = 124.709 \quad \text{кНм}$$

Тоді розрахунковий згинальний момент складатиме:

$$M := 1.4 \cdot (M_h + M_a + M_v) = 355.62$$

Поздовжнє зусилля складатиметься з власної ваги стінки. При ширині у 800 мм власна вага на п.м. складатиме:

$$a := 0.8 \quad \text{м - ширина стінки}$$

$$\gamma_b := 24.5 \quad \text{кН/м - питома вага бетону}$$

$$N := a \cdot 1 \cdot \gamma_b \cdot 1.25 = 24.5 \quad \text{кН}$$

З умови розташування паль через 700 мм (з урахуванням січення), збираємо навантаження на одну палю з ділянки:

$$l := 2 \cdot 0.7 = 1.4 \quad \text{м}$$

Тоді зусилля:

Постійна поздовжня сила:

$$N_1 := N \cdot l = 34.3 \quad \text{кН}$$

Постійний згинальний момент:

$$M_1 := 1.4 \cdot (M_h + M_a) \cdot l = 253.439 \quad \text{кНм}$$

Тимчасовий згинальний момент:

$$M_t := 1.4 \cdot M_v \cdot l = 244.43 \quad \text{кНм}$$

Виконуємо розрахунок позакентровано стиснутого круглого перерізу

$$M := M_t + M_1 = 497.868 \quad \text{кНм}$$

$$e := \frac{100M}{N} = 2.032 \times 10^3 \quad \text{см}$$

$$D := 80 \quad \text{см} \quad \text{- діаметр палі} \quad h := D$$

$$R_b := 15.5 \quad \text{МПа} \quad \text{- міцність бетону В30}$$

$$R_s := 330 \quad \text{МПа} \quad \text{- міцність арматури А400С}$$

$$\gamma_{b2} := 0.9$$

$$\gamma_{b3} := 0.85$$

$$R_{bw} := R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma_{b3} = 11.857 \text{ - міцність бетону з урахуванням нерівномірності вертикального бетонування}$$

$$d := 2.2 \text{ см - діаметр арматурних стрижнів (ітераційно)}$$

$$n := 16 \text{ - кількість стрижнів по колу}$$

$$10 \frac{\pi \cdot D}{n} = 157.08 \text{ мм - відстань між арматурними стрижнями (орієнтовно)}$$

$$A_1 := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3.801 \text{ см}^2 \text{ - площа одного стрижня}$$

$$n \cdot A_1 = 60.821 \text{ см}^2 \text{ - площа всіх арматурних трижнів}$$

$$E_s := 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа - модуль пружності арматури}$$

$$E_b := 32.5 \cdot 10^3 \text{ МПа - модуль проужності бетону}$$

$$n_1 := \frac{E_s}{E_b} \text{ - відношення модулів пружності}$$

$$A_b := \frac{3.1416 \cdot D^2}{4} = 5.027 \times 10^3 \text{ см}^2 \text{ - площа бетонної частини}$$

$$I_b := \frac{3.1416 \cdot D^4}{64} = 2.011 \times 10^6 \text{ см}^4 \text{ - момент інерції бетонної частини}$$

$$I_s := 2n \cdot n_1 \cdot A_1 \cdot \left(\frac{h}{4}\right)^2 = 3.144 \times 10^5 \text{ см}^4 \text{ - момент інерції арматури}$$

$$A_w := \frac{3.1416 \cdot D^2}{4} + n_1 \cdot 2n \cdot A_1 = 5.813 \times 10^3 \text{ см}^2 \text{ - приведена площа}$$

$$I := \frac{3.1416 \cdot D^4}{64} + 2n \cdot n_1 \cdot A_1 \cdot \left(\frac{h}{4}\right)^2 = 2.325 \times 10^6 \text{ см}^4 \text{ - приведений момент інерції}$$

$$W := \frac{I}{\frac{h}{2}} = 5.813 \times 10^4 \text{ см}^3 \text{ - приведений момент опору}$$

$$r := \frac{W}{A} = 10 \text{ см - радіус ядра}$$

$$e_1 := \frac{100M}{N} = 2.032 \times 10^3$$

$r < e_1$  - необхідний розрахунок за міцністю

$$\varphi_1 := \frac{M_1}{M} = 0.509 \quad \varphi_p := 1 \quad - \text{коефіцієнти до розрахунку}$$

$$l_0 := 100H = 350 \quad \text{см}$$

$$\delta := \frac{e_1}{h} = 25.401 \quad \delta_{\min} := 0.5 - 0.01 \cdot \frac{l_0}{h} - 0.01R_b = 0.338$$

$$\delta := \delta$$

$$N_{cr} := \frac{6.4 \times 0.1 \cdot E_b}{l_0^2} \left[ \frac{I_b}{\varphi_1} \left( \frac{0.11}{0.1 + \frac{\delta}{\varphi_p}} + 0.1 \right) + n_1 \cdot I_s \right] = 4.149 \times 10^5 \quad \text{кН} \quad - \text{критична Ейлерова сила}$$

$$\eta := \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} = 1$$

Перевірка по п. 3.71

$$e_c := \frac{l_0}{400} = 0.875 \quad \text{см} \quad - \text{випадковий ексцентриситет}$$

$$e := e_1 - \frac{h}{4} = 2.012 \times 10^3$$

$$e_0 := e + (\eta - 1)(e_1 + e_c) = 2.012 \times 10^3$$

$$\xi_{cir} := \frac{N + 0.1R_s \cdot A_1 \cdot n}{0.1 \cdot R_b \cdot A_b + 2.7 \cdot 0.1 \cdot R_s \cdot A_1 \cdot n} = 0.179 \quad \text{Считаем по ф. 3,38}$$

$$r_m := \frac{D}{2} \quad r_s := \frac{D - 10}{2} = 35$$

$$N \cdot e_0 \cdot \eta = 4.93 \times 10^4$$

■ < ■

$$(0.1 \cdot R_b \cdot A_b \cdot r_m + 0.1 \cdot R_s \cdot A_1 \cdot n \cdot r_s) \cdot \frac{\sin(\pi \cdot \xi_{cir})}{\pi} + 0.1 \cdot R_s \cdot A_1 \cdot n \cdot r_s \cdot (1 - 1.7 \xi_{cir})(0.2 - 1.3 \cdot \xi_{cir}) = 5.069 \times 10^4$$

**Умова міцності виконується**