

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»  
(назва факультету/ННЦ)

«Транспортна інфраструктура»  
(повна назва кафедри)

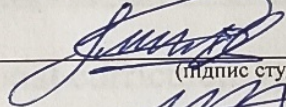
Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
ОС «магістр»  
(ступінь вищої освіти)

на тему: «Обґрунтування вибору варіанту капітального ремонту автодорожнього залізобетонного мосту».

за освітньою програмою «Мости і транспортні тунелі»

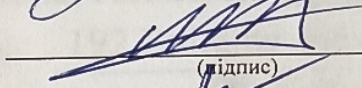
зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: МТ2226

  
(підпис студента)

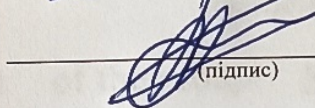
/ Дмитро МІЛІЕР  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

  
(підпис)

/ст. викл Віталій МІРОШНИК /  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

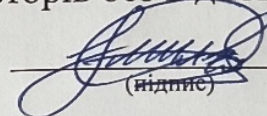
Нормоконтролер:

  
(підпис)

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

  
(підпис)

**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: «Substantiation of the choice of the capital repair option of the road reinforced concrete bridge»  
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: MT2121 / Dmytro MILLER  
(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**

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

на кваліфікаційну роботу

студенту \_\_\_\_\_

Міллеру Дмитрові Володимировичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема дипломної роботи: «Обґрунтування вибору варіанту капітального ремонту автодорожнього залізобетонного мосту».

Керівник роботи: Мірошник Віталій Анатолійович

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом від

«13» лютого 2023 р.

№ 156ст

2. Строк подання студентом роботи:

«15» січня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Технічний звіт з обстеження технічного стану шляхопроводу через залізницю по вул. Лермонтова у м. Марганець Дніпропетровської області

Вступ. Розділ 1. Коротка характеристика автодорожнього мосту .

Розділ 2. Дефекти штучної споруди

Розділ 3. Розробка техніко-економічного порівняння варіантів ремонту мосту

Розділ 4. Розрахунок плити прогонової будови

Розділ 5. Розрахунок балки прогонової будови

Розділ 6. Визначення НДС балки при підсиленні

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	27.11.2023 – 03.12.2023	30%
2	Розрахунок плити прогонової будови	04.12.2023– 18.12.2023	50%
3	Розрахунок балки прогонової будови	19.12.2023– 24.12.2023	60%
4	Визначення НДС балки при підсиленні	25.12.2023– 08.01.2024	80%
5	Реферат. Висновки. Оформлення	09.01.2024– 11.01.2024	100%
6	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	14.01.2024– 15.01.2024	
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	16.01.2024	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	24.01.2024	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Дмитро МІЛЛЕР

\_\_\_\_\_

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Віталій МІРОШНИК

\_\_\_\_\_

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

90 стор., 14 табл., 51 рис., 20 джерел., 2 додатки

Об'єкт розробки – автодорожній шляхопровід.

Мета роботи – обґрунтування вибору варіанту капітального ремонту шляхопроводу та проєктування обраного варіанту.

Метод дослідження – метод варіантного проєктування, метод граничних станів, метод скінчених елементів.

В магістерській роботі виконано проєкт капітального ремонт автодорожнього залізобетонного шляхопроводу через залізницю. В рамках проєкту проведено техніко-економічне порівняння можливих варіантів капітального ремонту, що передбачають ремонт за старою схемою з ремонтом всіх конструктивних елементів мосту, ремонт за старою схемою із заміною балок прогонових будов на нові, а також ремонт за новою схемою з використанням нових балок та будівництвом нових проміжних опор.

Для обраного варіанту виконано розрахунок і проєктування плити проїзної частини та балки прогонової будови. В рамках розрахунки балки виконано перевірку прийнятої конструкції металеві обійми для ремонту залізобетонних бетонних елементів.

Також розроблено скінчено-елементну модель балки для визначення напружено-деформованого стану під час сумісної роботи балки з елементами підсилення за умови різного контакту металеві обійми з бетонною балкою: за проєктної роботи з'єднання, часткового розлагодження з'єднання елементів, повного розлагодження з'єднання елементів.

Ключові слова: ШЛЯХОПРОВІД, ЗАЛІЗОБЕТОН, КАПІТАЛЬНИЙ РЕМОНТ, ПІДСИЛЕННЯ, МЕТОД СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	5
ЗМІСТ .....	6
ВСТУП .....	8
1 ВИХІДНІ ДАНІ .....	10
1.1 Загальні дані .....	10
1.2 Прогонові будови .....	11
1.3 Опорні частини .....	12
1.4 Опори .....	12
1.5 Мостове полотно .....	14
1.6 Результати обстеження .....	15
1.7 Геодезичні вишукування .....	16
1.8 Відомість дефектів .....	17
2 ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ ПРОГОНОВИХ БУДОВ .....	21
2.1 Загальні дані .....	21
2.2 Розрахунок прогонової будови 14.06 м для пропуску сучасного тимчасового навантаження .....	22
2.3 Розрахунок навантаження, яке спроможна пропускати прогонова будова 14.06 м. ....	32
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ .....	36
3.1 Варіант №1 .....	36
3.2 Варіант №2 .....	39
3.3 Варіант №3 .....	42
3.4 Порівняння варіантів .....	45
4 ПРОЄКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ .....	48
5 ПРОЄКТУВАННЯ БАЛКИ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ .....	52
5.1 Конструктивні рішення .....	52
5.2 Навантаження на прогонову будову .....	53
5.3 Розрахунок навантаження на балку .....	56
6 АНАЛІЗ СУМІСНОЇ РОБОТИ БАЛОК З ЕЛЕМЕНТАМИ ПІДСИЛЕННЯ ...	63

ВИСНОВОК.....	71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73
Додаток А Розрахунок плити проїзної частини.....	75
Додаток Б Розрахунок балки прогонової будови .....	83

## ВСТУП

При капітальному ремонті балкового залізобетонного автодорожнього шляхопроводу виникає питання вибору раціональних рішень та застосування адекватних конструкцій та матеріалів.

Вибір оптимальних рішень для капітального ремонту шляхопроводу може залежати від наступних факторів:

1. Визначення технічного стану споруди на основі обстеження;
2. Результати інженерно-геологічних досліджень;
3. Результати інженерно-геодезичних досліджень;
4. Доступність будівельних матеріалів;
5. Умови і обмеження виконання робіт;
6. Економічна або технологічна доцільність.

Вибір рішення щодо капітального ремонту в даному курсовому проєкті включає вибір типу прогонових будов та рішення щодо ремонту старих, можливі підсилення існуючих конструкцій та конкретні методи підсилення. До актуальних методів підсилення можна віднести:

- додавання додаткових рядів арматури,
- використання накладної плити,
- застосування шпренгелів,
- підсилення металевою обіймою,
- підсилення розтягнутих зон вуглеволокном,
- застосування композитних матеріалів.

При цьому підсилення металевою обіймою вирішує проблему як підсилення, працюючи як зовнішня арматура, так і ремонту залізобетонних балок, працюючи як незнімна опалубка для ремонтних сумішей

У випадку підсилення балок прогонових будов, або заміни їх на нові, критичними елементами, що визначатимуть вантажопідйомність мосту стають опори та фундаменти. При цьому, якщо підсилення опор не вимагає складних технологічних рішень, то саме фундаменти можуть обмежити можливості з підвищення вантажопідйомності мосту через високу вартість або складну

технологію їх підсилення. Звертати увагу на несну здатність фундаментів важливо навіть у випадку лише відновлення проєктної вантажопідйомності, у зв'язку с сучасними конструктивними вимогами до мостів, а саме використання монолітної об'єднуючої плити на всіх прогонових будовах із збірними балками.

Із врахуванням вищесказаного, як правило розробляються варіанти капітального ремонту шляхопроводу і оптимальне рішення приймається на основі техніко-економічного порівняння розроблених варіантів.

## 1 ВИХІДНІ ДАНІ

### 1.1 Загальні дані

Шляхопровід, що обстежувався, розташований на вул. Лермонтова у м. Марганець і перетинає залізничні колії лінії Долгинцево – Волноваха Придніпровської залізниці.

Поздовжня вісь шляхопроводу перетинає залізничні колії під прямим кутом. Залізничні колії розташовані в прогонах 2-3 і 3-4. У прогоні 2-3 шляхопроводу проходить не електрифікована під'їзна залізнична колія до Грушевського марганцевого кар'єру, а у прольоті 3-4 – магістральна електрифікована залізнична колія Придніпровської залізниці лінії Долгинцево – Волноваха.

Тип споруди – балкова розрізна, із збірного залізобетону. Отвір шляхопроводу перекрито за схемою  $2 \times 11,36 + 14,06 + 11,36$  м. Повна довжина шляхопроводу –  $L_{\text{п}} = 48,70$  м. У профілі шляхопровід розташований на вертикальній випуклій кривій радіусом біля 7000 м з ухілами підходів 12‰ у бік м. Марганець та – 56‰ у бік м. Нікополь. Підходи до шляхопроводу розташовані на штучних насипах висотою біля стоянів 6,5 м.

Ширина проїзної частини 9,0 м плюс два тротуари по 1,5 м. Габарит забезпечує пропуск автотранспорту по двох смугах руху  $b=4,5$  м у кожному напрямку. Загальна ширина шляхопроводу – 12,0 м.

Проектні розрахункові навантаження Н13 і НГ-60, натовп на тротуарі 300 кг/м<sup>2</sup>.

Шляхопровід побудовано Мостозагоном № 12 і введено у постійну експлуатацію у 1962 році за проектом інституту "Укрніипроєкт" відповідно до нормативних вимог ПиУ-48 Гушосдор МВС.

Дорожні знаки, які б обмежували швидкість руху чи вантажопідйомність на шляхопроводі та на підходах відсутні.

Перед стояном № 1 під шляхопроводом проходить газова труба діаметром 30 см.

На рис. 1.1 наведено загальний вид шляхопроводу, а на рис. 1.2 вказане його місцеположення на карті м. Марганець Дніпропетровської області.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд шляхопроводу

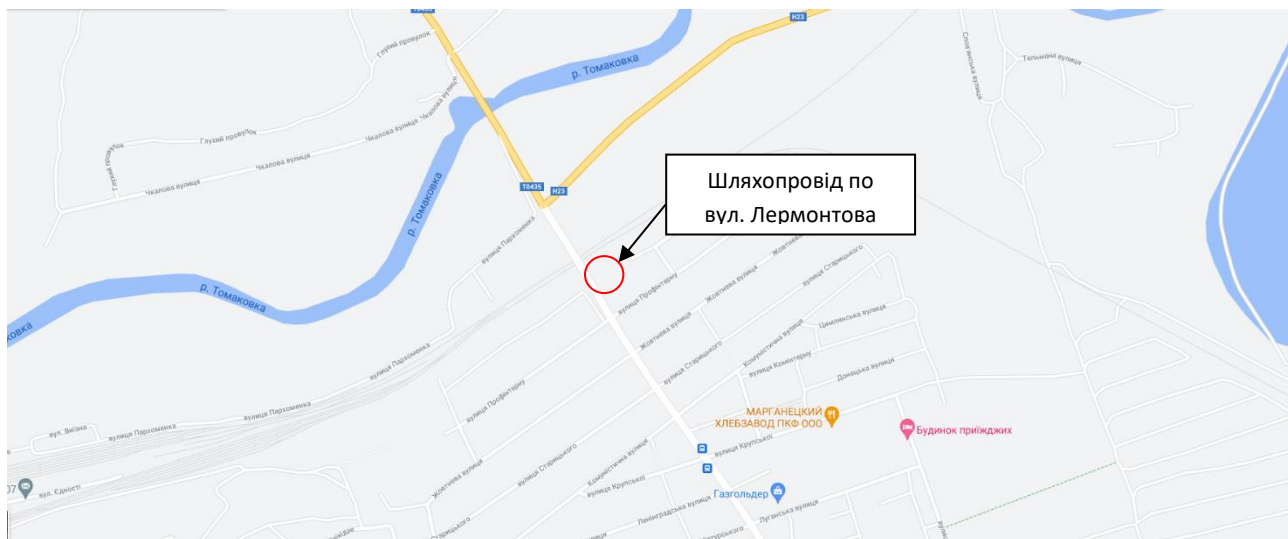


Рисунок 1.2 – Викопіювання із карти м. Марганець Дніпропетровської області

## 1.2 Прогонові будови

Прогонові будови – балкові розрізи, із збірного залізобетону. Балки залізобетонні з каркасною арматурою з діафрагмами виконані імовірно за типовим проектом випуск 56 Союздорпроекту під тимчасове навантаження Н-13 та НГ-60.

У прогонах 1-2, 2-3 і 4-5 встановлені прогонові будови повною довжиною  $l_n=11,36$  м, розрахунковою довжиною  $l_p=10,5$  м, а в прогоні 3-4 – повною довжиною  $l_n=14,06$  м, розрахунковою довжиною  $l_p=13,8$  м.

У кожному прогоні у поперечному напрямку встановлено 8 залізобетонних балок, об'єднаних між собою діафрагмами. У прогонах 1-2, 2-3 і 4-5 діафрагми у кількості 5 шт, а у прогоні 3-4 – у кількості 6 шт. Діафрагми встановлені з кроком 2,7 м.

На рисунку 1.3 наведено вид на прогонову будову знизу.



Рисунок 1.3 – Прогонова будова 3-4. Вид на опору ОП 3

### **1.3 Опорні частини**

Опорні частини металеві, тангенціального типу. Встановлені під балки на ригелі опор.

### **1.4 Опори**

Проміжні опори шляхопроводу ОП2...ОП4 – збірні, залізобетонні, одностовпчасті. Стовпи опор центрифуговані, круглого перерізу, діаметром  $\varnothing 60$  см виконані за типовим проектом ЛТМП 1960 р. В поперечному напрямку встановлено 6 стовпів з відстанню 1,8 м між осями. Стовпи поверху об'єднані

залізобетонним ригелем перерізом  $0,5 \times 1,0$  м. Ригелі опор ОП2 і ОП3 складаються з двох елементів, об'єднаних посередині прогону за допомогою випусків арматури і омонолічені бетоном. Ригель опори № 4 монолітний по усій довжині.

Загальний вид проміжної опори №3 наведено на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Загальний вид на проміжну опору ОП3 з боку опори ОП4

Стояни шляхопроводу ОП1 і ОП5 стійкові, збірно-монолітні, полегшеного типу, обсіпні. В поперечному напрямку мають 6 стійок перерізом  $41 \times 72$  см які поверху об'єднаних монолітним ригелем (насадкою) перерізом  $101 \times 50$  см. На ригель встановлено шафований блок, на який опираються перехідні залізобетонні плити довжиною 1,5 м.

На рис. 1.5 наведено загальний вид стояна ОП1.



Рисунок 1.5 – Загальний вид на стоян ОП1

### **1.5 Мостове полотно**

Габарит проїзної частини Г9,0 м плюс два тротуари по 1,5 м. Габарит забезпечує пропуск автотранспорту по двох смугах руху  $b=4,5$  м у кожному напрямку. Загальна ширина шляхопроводу – 12,0 м.

Вид на проїзну частину шляхопроводу зі сторони м. Марганець наведено на рис.1.5.



Рисунок 1.6 – Вид на проїзну частину шляхопроводу зі сторони м. Марганець

На проїзній частині укладено асфальтобетонне мостове полотно.

Тротуари збірні, залізобетонні, накладні, ширина тротуарної плити 165 см, тротуар у проясненні 150 см.

Автопроїзд на шляхопроводі відокремлений від пішохідних тротуарів залізобетонними бордюрними блоками висотою 15...17 см. Конструкція цих блоків за проектом забезпечувала висоту бордюру 26 см і ширину пішохідного тротуару 1,50 м.

Покриття пішохідних тротуарів виконане із асфальтобетону.

Освітлення на шляхопроводі відсутнє.

Поручнева огорожа на шляхопроводі влаштована із залізобетонних стовпчиків перерізом 16×6 см і поручневого заповнення із металевих труб діаметром Ø 60 мм. Висота огорожі 110 см.

По лінії поручневої огорожі з обох боків тротуарів встановлено металеві захисні щити розміром 1,5×2,0 м у кількості по 4 шт. над дротами контактної мережі.

Відведення води із шляхопроводу забезпечується поздовжніми і поперечними ухилами. Водовідвідні трубки відсутні.

Деформаційні шви металеві, закритого типу.

### **1.6 Результати обстеження**

Під час обстеження на конструкціях шляхопроводу визначена низка дефектів та недоліків, які негативно впливають на загальний експлуатаційний стан споруди в цілому.

За роки існування споруди (а це майже 50 років) на конструкціях та елементах споруди з'явилися пошкодження які вимагають негайного проведення відновлювальних робіт.

До цих пошкоджень слід віднести: відколювання захисного шару бетону на головних балках прогонових будов, тротуарних блоках, односторонні стики балок по діафрагмам за допомогою металевих накладок, неякісна гідроізоляція а також тріщини на стійках опор, ригелях проміжних опор.

Ці пошкодження являються наслідком постійного зволоження бетонних поверхонь елементів водою, яка безперешкодно фільтрує через тротуарні плити та деформаційні шви з проїзної частини.

Найбільш серйозним дефектом, що знижує довговічність опор є утворення вертикальних тріщин у верхній частині стійок та відколювання захисного шару на ригелях опор.

Значні пошкодження у вигляді відколів захисного шару бетону, виникли біля опорних перерізах головних балок прогонових будов. Подальший розвиток цього процесу знижує загальну стійкість опорного перерізу який безпосередньо приймає опір від постійного та тимчасового навантаження розташованого на прогоні.

Тротуарні блоки на фасадних поверхнях руйнуються від вивітрювання та розморожування що приводить до зниження безпеки руху пішоходів..

Безпека руху автотранспорту по прогонових будовах мосту порушено у зв'язку з тим, що діюча висота бордюроної огорожі значно нижча за потрібну.

Порушення у стані конусів, їх розмив по передній грані стоянів №1 та №5, відбувається поступове повільне витискання ґрунту з-під насадок, що приводить до просідання перехідних плит з утворенням передмостових ям.

Значну кількість дефектів та недоліків визначених на елементах споруди під час обстеження можливо було б уникнути у разі належного поточного утримання штучної споруди.

### **1.7 Геодезичні вишукування**

У поздовжньому напрямку, профіль ділянки переходу має повільну випуклу форму з радіусом кривизни біля 7000 м з верхівкою розташованою над опорою №1.

На шляхопроводі поздовжній профіль автодороги має загальний ухил 25,8‰ у бік м. Нікополь, Що забезпечує безперешкодний відвід стічної води з поверхні автопроїзду.

Слід означити, що прогони шляхопроводу по даним інструментальних вимірювань має незначні від'ємні величини будівельних „підйомів” у до1 см,

тоді як на прогоні 3-4 та 4-5 спостерігається загальне просідання середини прогону на величину до 2 см.

Ділянки обох підходів до шляхопроводу розташовані з уклонами у бік від споруди й дорівнюють відповідно 12,1‰ і 56,6‰.

У поперечному напрямку профілі автопроїзду у перерізах, що розглядаються мають переважно двосхилий напрямок і безперешкодно забезпечують відвід води до узбіччя.

## 1.8 Відомість дефектів

Основні дефекти конструкцій приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Відомість дефектів

№ з\п	Місце розташування дефектів	Тип і опис дефектів	Вплив на експлуатаційні характеристики	Заходи з усунення дефектів
<b>Прогонові будови</b>				
1	Балки Б1...Б8 ПБ 1-2...ПБ 4-5	Суцільний білий колір бетону знизу плити проїзної частини усіх прогонових будов з брудними патьоками, проти природнього сірого (фізична корозія бетону)	Знижує довговічність, надійність і несучу здатність конструкції	Видалити слабкий бетон, очистити арматуру від продуктів корозії, покрити захисними сумішами, відновити захисний шар і пофарбувати
2	Балки Б1...Б8 ПБ 1-2...ПБ 4-5	Корозія закладних деталей в об'єднаннях діафрагм між балками прогонових будов	Знижує довговічність і надійність конструкції	Видалити продукти корозії з металу закладних деталей, зачистити, покрити захисними сумішами і закрити бетоном
3	Балки Б1 і Б8 ребро, ПБ 1-2...ПБ 4-5	Руйнування бетону по ребру балок з оголенням і корозією арматури	Знижує довговічність і надійність конструкції	Видалити слабкий бетон, очистити арматуру від корозії, обробити бетон і арматуру спеціальними захисними сумішами, відновити захисний шар і пофарбувати
4	Балки Б1...Б8, діафрагми Д1...Д5, ПБ 1-2...ПБ 4-5	Неякісне омоноличування бетоном об'єднання діафрагм	Знижує довговічність і надійність конструкції	Виконати об'єднання закладними деталями з двох сторін діафрагм
5	Трогуарна консоль, ПБ 1-2...4-5	Руйнування бетону і корозія арматури тротуарної консолі з обох сторін мосту	Знижує безпеку руху пішоходів	Видалити слабкий бетон, очистити арматуру від корозії, обробити бетон і арматуру спеціальними захисними сумішами, відновити захисний шар і пофарбувати

6	Балки Б1...Б8, діафрагми Д1, Д5 та Д6, ПБ 1-2...ПБ 4-5	Руйнування захисного шару бетону по діафрагмам з оголенням і корозією арматури у місці деформаційних швів	Знижує довговічність і надійність конструкції	Видалити слабкий бетон, очистити арматуру від корозії, обробити бетон і арматуру спеціальними захисними сумішами, відновити захисний шар і пофарбувати
7	ПБ 1-2, балки Б1 і Б8	Руйнування бетону в опорному перерізі з оголенням і корозією робочої арматури до 10 % її перерізу	Зменшує несучу здатність і впливає на їх надійність	Замінити балки
8	Балка Б8, опорний переріз низ ребра, ПБ 1-2	В нижній частині балки біля опорної частини, на відстані 50 см від торцю балки робоча арматура оголена, та розрізана на довжині 13 см	Зменшує несучу здатність і впливає на їх надійність	Замінити балку
9	Балка Б5, плити проїзної частини в місці поздовжнього шва між балками Б5 і Б6, ПБ 1-2	Відшарування захисного шару бетону та оголенням і корозією поздовжньої арматури	Знижує довговічність і надійність конструкції	Видалити слабкий бетон, очистити арматуру від корозії, обробити бетон і арматуру спеціальними захисними сумішами, відновити захисний шар і пофарбувати.
10	Балка Б7, низ ребра ПБ 1-2 та 2-3	Відшарування захисного шару бетону та оголення і корозією арматури	Знижує довговічність і надійність конструкції	Видалити слабкий бетон, очистити арматуру від корозії, обробити бетон і арматуру спеціальними захисними сумішами, відновити захисний шар і пофарбувати.
11	Балки Б1...Б8, плити проїзної частини в місці поздовжнього шва між балками, ПБ 2-3, 3-4 та 4-5	Відшарування захисного шару бетону та оголенням і корозією поздовжньої арматури	Знижує довговічність і надійність конструкції	Видалити слабкий бетон, очистити арматуру від корозії, обробити бетон і арматуру спеціальними захисними сумішами, відновити захисний шар і пофарбувати.
12	Балки Б1...Б8, низ ребра ПБ 3-4	Руйнування захисного шару бетону з оголення і корозією робочої арматури	Знижує довговічність і несучу здатність конструкції	Замінити балки
13	Балки Б1, Б2 та Б8, ПБ 4-5	Руйнування захисного шару бетону та оголенням і корозією робочої арматури по низу та по стінці ребра балок	Знижує довговічність і надійність конструкції	Замінити балки
14	Балка Б1, опорний переріз над опорою №5, ПБ 4-5	Руйнування бетону в опорному перерізі балки Б1 з оголенням і корозією арматури	Знижує надійність і вантажопідйомність конструкції	Замінити балку
15	Балка Б8, опорний переріз над опорою №5, ПБ 4-5	Силове сколювання бетону в опорному перерізі балки Б8	Знижує надійність і вантажопідйомність конструкції	Замінити балки
<b>Опори</b>				

1	Стійки і ригелі опор №1, 2, 3, 4 і 5	Суцільний білий колір бетону з брудними і зеленкуватими патьоками, проти природнього сірого (фізична і біологічна корозія бетону)	Знижує довговічність і надійність конструкції	Видалити слабкий бетон, очистити арматуру від продуктів корозії, покрити захисними сумішами, відновити захисний шар і пофарбувати
2	Поверхні ригелів опор №1, 2, 3, 4 і 5	Руйнування захисного шару бетону з оголенням і корозією робочої арматури по верхній та нижній поверхні ригелів	Знижує довговічність і надійність конструкції	Замінити ригелі
3	Стоян №1	Порожнина між шафовою стінкою і насипом на стояні №1	Знижує довговічність і надійність конструкції перехідної плити	Перевлаштувати сполучення мосту із насипом
4	Стояни №1 та №5	На ригелях обох стоянів шляхопроводу опорні перерізи балок та їх опорні частини засипані сміттям та ґрунтом. Деформаційний зазор між балками та шафовою стінкою ~ 3÷5 см також засипано ґрунтом та щебенем	Знижує довговічність і надійність конструкції	Розчистити та відновити рухливість опорних частин
5	Опора №2	Відбувається руйнування стику омонолічування посередині ригелю та оголення і корозія арматури	Знижує довговічність і надійність конструкції	Замінити ригель
6	Опора №2, стійки С1, С4, С5 та С6	Біля сполучення їх з ригелем спостерігаються тріщини розкриттям 0,5÷1 мм	Знижує довговічність і надійність конструкції	Видалити слабкий бетон, зачистити арматуру і захистити від корозії. Далі влаштувати залізобетонну рубашку та покрити захисними сумішами.
7	Опора №3, стійки С2, С4,	Біля сполучення їх з ригелем спостерігаються тріщини розкриттям 2÷3 мм	Знижує довговічність і надійність конструкції	Видалити слабкий бетон, зачистити арматуру і захистити від корозії. Далі влаштувати залізобетонну рубашку та покрити захисними сумішами.
8	Опора №4, стійки С3, С4, С5	У верхній частині тріщини розкриттям біля 0,2÷0,4 мм і довжиною біля 0,5÷0,7 м	Знижує довговічність і надійність конструкції	Видалити слабкий бетон, зачистити арматуру і захистити від корозії. Далі влаштувати залізобетонну рубашку та покрити захисними сумішами.
<b>Мостове полотно</b>				
1	Проїзна частина	Поперечні тріщини у асфальтобетонному покритті від бордюру до середини проїзної частини	Знижує безпеку руху автотранспорту	Заміна дорожнього покриття проїзної частини
2		Вибійни і ями в асфальтобетонному покритті проїзної частини	Знижує безпеку руху автотранспорту	Заміна дорожнього покриття проїзної частини

3		Поперечні тріщини у асфальтобетонному покритті проїзної частини в місці установки деформаційних швів	Знижує безпеку руху автотранспорту	Заміна дорожнього покриття проїзної частини
4	Проїзна частина	Пошкодження гідроізоляції проїзної частини	Знижує довговічність і несучу здатність конструкцій мосту	Ремонт і відновлення гідроізоляції
5	Деформаційні шви	Розладнання у роботі деформаційних швів і просочування води на ригелі опор	Знижує довговічність і несучу здатність конструкцій мосту	Заміна деформаційних швів на сучасну конструкцію
6	Тротуар	Пролом в тротуарній плиті прогонової будови ПБ 4-5 ліворуч проїзної частини	Знижує безпеку руху пішоходів	Замінити дефектний тротуарний блок
7		Тріщини в покритті тротуарів на стиках тротуарних плит	Знижує безпеку руху пішоходів	Замінити покриття
8	Поручнева огорожа	Поручнева огорожа не відповідає нормам і знаходиться в аварійному стані та становить небезпеку для пішоходів	Знижує безпеку руху пішоходів	Замінити перильне огородження
9	Проїзна частина	Наноси сміття і землі, що поросла травою біля бордюрного каменю праворуч і ліворуч проїзної частини	Знижує безпеку руху автотранспорту	Прибрати сміття і землю
<b>Підходи та підмостова зона</b>				
1	Підходи	Тріщини у асфальтобетоні, вибоїни, ями	Знижує безпеку руху автотранспорту	Заміна дорожнього покриття проїзної частин підходів
2	Підходи зі сторони м. Нікополь, бар'єрна огорожа	Луцнення фарби, відсутні секцій та корозія усіх елементів	Знижує безпеку руху автотранспорту	Заміна огородження
3	Конуси насипів	Відсутнє укріплення конусів насипів	Знижує довговічність і надійність	Влаштувати укріплення конусів

## 2 ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ ПРОГОНОВИХ БУДОВ

### 2.1 Загальні дані

Визначення вантажопідйомності прогонових будов моста визначалося розрахунковим шляхом (з урахуванням їх стану) відповідно до вимог і положень ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 «Настанови з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів», ДБН В.1.2-15:2009 «Мости та труби навантаження і впливи», ВСН 32-89.

Розрахунок вантажопідйомності прогонових будов виконується на основі реальних розмірів елементів споруди, механічних характеристик матеріалів та опису наявних дефектів, зафіксованих у результаті обстеження.

Вантажопідйомність прогонових будов встановлюють порівнянням зусиль у перерізах елементів з граничними значеннями. Повинна задовольнятися нерівність:

$$S_{zp} \geq S_{тим} \quad (2.1)$$

де  $S_{zp}$  - граничне зусилля (несуча здатність) перерізу на дію тимчасового рухомого навантаження;

$S_{тим}$  - зусилля від тимчасових рухомих навантажень, що розглядаються.

Граничне зусилля  $S_{zp}$  визначається за формулою:

$$S_{zp} = S - S_{пост} \quad (2.2)$$

Де  $S$  - повне граничне зусилля, що визначене на основі натурних розмірів елементів споруди, механічних характеристик матеріалів та з урахуванням наявних дефектів;

$S_{пост}$  - зусилля від всіх постійних та додаткових проектних навантажень.

Якщо нерівність не задовольняється, тобто  $S_{zp} < S_{тим}$ , то обчислюється величина зниження вантажопідйомності  $\delta$  (у відсотках), за якою класифікується експлуатаційний стан.

Значення  $\delta$  обчислюється за формулою:

$$\delta = \left(1 - \frac{S_{zp}}{S_{тим}}\right) \cdot 100 \quad (2.3)$$

Вантажопідйомність прогонової будови:

$$P = \frac{S_{zp} - S_{пост} - S_{тр}}{S_{тим}} \cdot H \quad (2.4)$$

## **2.2 Розрахунок прогонової будови 14.06 м для пропуску сучасного тимчасового навантаження**

Збірна залізобетонна балка прогонової будови мосту за типовим проектом Союздорпроект. Випуск 56 має розрахункову довжину  $L = 13600$  мм, висота від низу ребра до верху плитної частини - 850 мм. В поперечному перерізі прогонова будова складається з 8-ми балок шириною 1390 мм. Поздовжня арматура головних балок 6 ненапружуваних стрижнів  $\varnothing 32$  ГОСТ 5781-53 і  $2\varnothing 16$  ГОСТ 5781-53, бетон В20.

Згідно результатів обстеження мосту зафіксовано наступні дефекти прогонової будови, що безпосередньо впливають на її вантажопідйомність:

- корозійне пошкодження поздовжньої робочої арматури до 2% розрахункового перерізу;
- корозійне пошкодження поперечної арматури балок прогонової будови до 2% розрахункового перерізу.

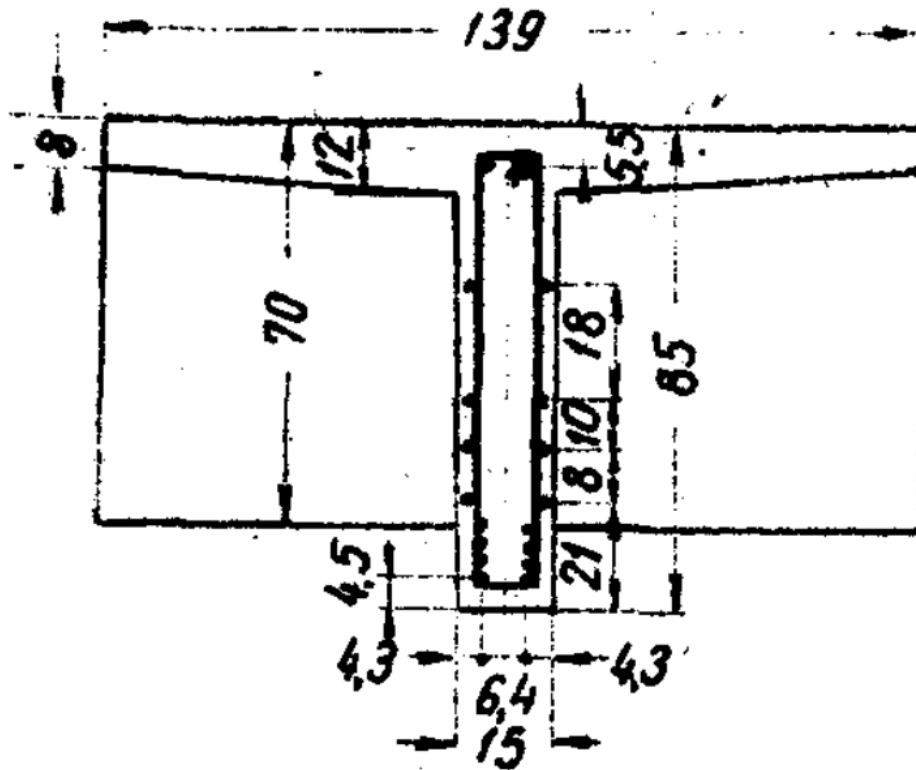


Рисунок 2.1 – Розрахунковий переріз прогонової будови

Розрахункова схема прогонової будови – однопрогонова балка з розрахунковим прольотом  $l_p = 13,6$  м

Клас бетону за значенням поверхневої міцності – **B20**.

Визначення несучої здатності залізобетонної плити

Висота стисненої зони бетону:

$$x = \frac{R_p \cdot A_p}{R_b \cdot b'_f} \quad (2.5)$$

де  $A_s$  – площа поздовжньої арматури,

$$A_p = 52,276 \text{ см}^2;$$

Оскільки корозійні втрати за період експлуатації становлять 2% проектної площі,

$$A_p^f = A_p(1 - 0,02) = 51,231 \text{ см}^2 \quad (2.6)$$

Висота стисненої зони за ф-ю (2.5)

$$x = \frac{R_p \cdot A_p^f}{R_b \cdot b'_f} = \frac{260 \cdot 51,231}{10,5 \cdot 139} = 9,126 \text{ см}$$

$$x=9,126 \text{ см} \leq h'_f=10,0 \text{ см}$$

нейтральна вісь знаходиться в плиті, тоді:

Несна здатність за згинальним моментом дорівнює

$$\begin{aligned} M &= R_b \cdot b \cdot x(h_0 - 0,5x) = 1,05 \cdot 139 \cdot 9,13 \cdot (74,5 - 0,5 \cdot 9,13) = \\ &= 96311 \text{ кН} \cdot \text{см} = 963,11 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Визначення несучої здатності залізобетонної балки за поперечною силою

Визначаємо зусилля, що сприймають хомути, з урахуванням корозійних втрат

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}^f}{S_{sw}} = \frac{21 \cdot 1,005(1-0,02)}{25} = 0,828 \text{ кН/см} \quad (2.8)$$

Зусилля в конструкціях від тимчасового навантаження визначається відповідно до вказівок чинних норм на проектування мостів щодо порядку завантаження проїзної частини. Згідно ДБН В.1.2-15:2009 коефіцієнти  $s_1$  по смугам приймаються:

Для розподіленого навантаження АК:

- першої смуги –  $s_1 = 1,0$ ;
- другої смуги і всі наступні –  $s_1 = 0,6$ .

Для тандемів навантаження АК:

- першої і другої смуги –  $s_1 = 1,0$ .

Для навантажень Н30, Н40:

- першої смуги –  $s_1 = 1,0$ ;
- другої смуги –  $s_1 = 0,9$ .

де перша смуга – це смуга навантаження якої створює найбільш несприятливий ефект.

Сучасні навантаження для мосту на дорогах IV категорії складає:

- розподілене навантаження А-11;
- одиночне навантаження НК-80.

Розрахункові значення інтенсивності постійних навантажень  $q_n$  на балки прогонових будов мосту повною довжиною  $l_n=14,06$  м визначалися з урахуванням коефіцієнтів надійності і фактичної товщини дорожнього одягу, яка дорівнює 22,5 см.

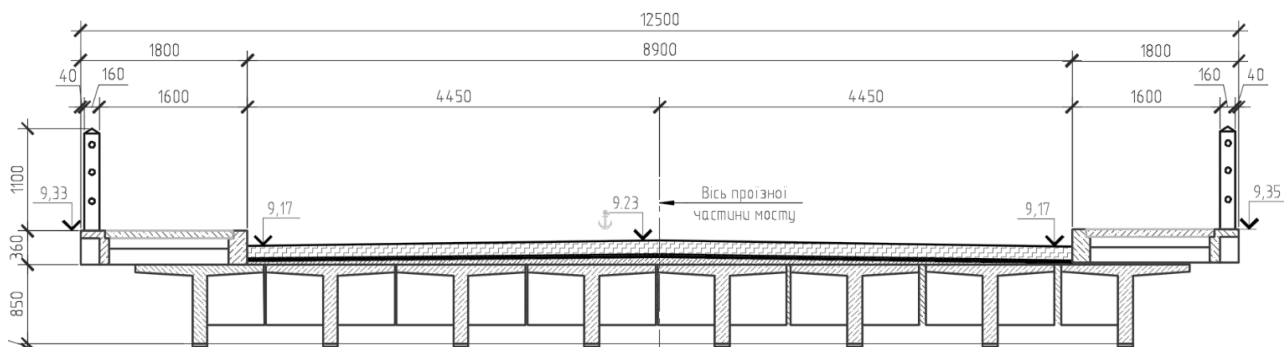


Рисунок 2.2 – Фактичний переріз прогонової будови

Коефіцієнти надійності за навантаженням  $\gamma_f$  для постійних навантажень і впливів приймаються згідно з таблицею 6.2 ДБН В.1.2-15:2009.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти до постійних навантажень

Навантаження та впливи	Коефіцієнт надійності за навантаженням, $\gamma_f$
	для автодорожніх мостів
Всі навантаження та впливи, крім наведених нижче в даній таблиці	1,25
Вага покриття їздового полотна і тротуарів автодорожніх і міських мостів	2,0

Підрахунок інтенсивності постійного навантаження на крайню балку прогонової будови шляхопроводу наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Інтенсивність постійного навантаження

№ з/п	Вид навантаження	Нормативне навантаження	Коефіцієнт надійності	Розрахункове навантаження $kH/m$
1	Асфальтобетон $h=14$ см; $0,14 \times 23 \times 8,95 \times 1$	28,819	2	57,638
2	Захисний шар бетону $h=3$ см; $0,03 \times 22 \times 8,95 \times 1$	5,907	2	11,814
3	Гідроізоляція $h=1$ см; $0,01 \times 15 \times 8,95 \times 1$	1,343	2	2,686
4	Зрівнювальний шар $h_{\text{ср}}=4,5$ см	8,861	2	17,722

	0,045×22×8,95×1			
5	Тротуари за проектними аналогами 4,4×2	8,800	1,25	11,000
6	Металева перильна огорожа (проект) 2,5×2	5,000	1,25	6,250
7	Вага балок прогону [(0,16×0,8)+(0,2×0,615)]×25××8+5,2107	55,411	1,25	69,264
8	Повне постійне розрахункове навантаження на прогін			G=176,374 кН/м

Коефіцієнти надійності за відповідальністю приймаємо для класу наслідків СС2 та категорії відповідальності А, а саме 1,1 при розрахунку за першою групою граничних станів.

Розрахункове постійне навантаження на одну балку:

$$q_{пн} = \frac{G}{8} = \frac{176.374}{8} = 22.05 \text{ кН/м} \quad (2.9)$$

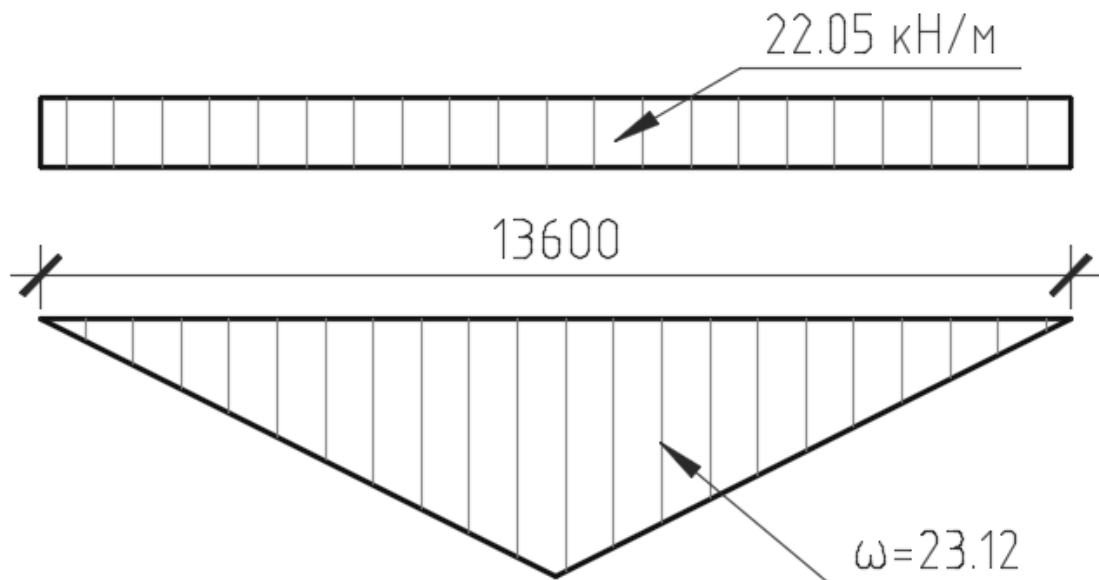


Рисунок 2.3 – Завантаження лінії впливу згинаючого моменту в середині прогону постійним навантаженням

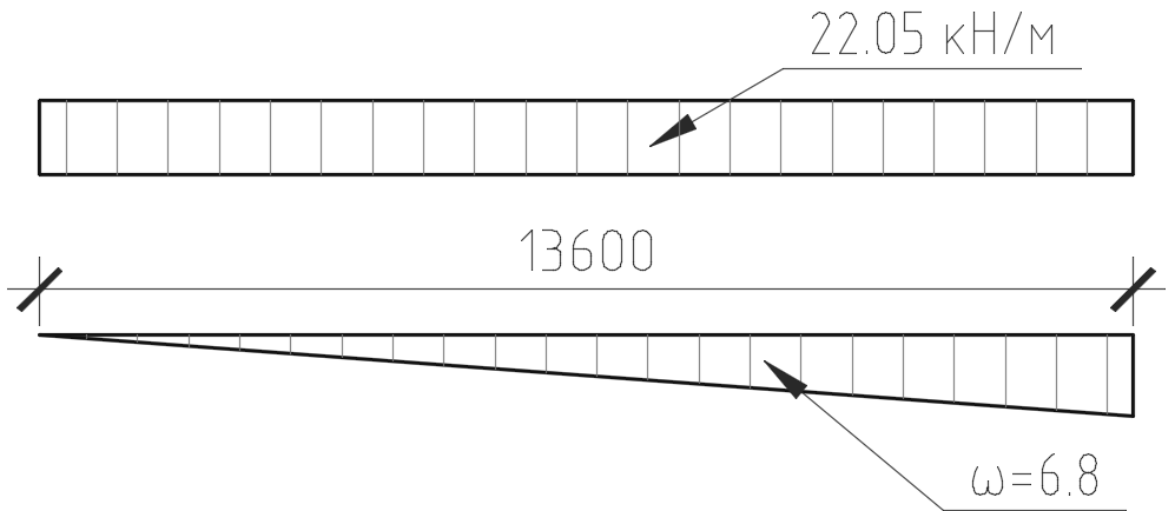


Рисунок 2.4 – Завантаження лінії впливу поперечної сили на опори постійним навантаженням

Площі ліній впливу становлять:

$$\omega_M = \frac{L_p^2}{8} = \frac{13,6^2}{8} = 32,12 \text{ м}^2 \quad (2.10)$$

$$\omega_Q = 1 \cdot \frac{L_p}{2} = 1 \cdot \frac{13,6}{2} = 6,8 \text{ м}^2 \quad (2.11)$$

Розрахункове зусилля згинаючого моменту від постійного навантаження

$$M_{\text{пост}} = \gamma_n \cdot q_{\text{розр.}}^{66} \cdot \varpi_{\text{л.в}} = 1,10 \cdot 22,05 \cdot 23,12 = 560,8 \text{ кНм} \quad (2.12)$$

Розрахункове зусилля поперечної сили від постійного навантаження

$$Q_{\text{пост}} = \gamma_n \cdot q_{\text{розр.}}^{66} \cdot \varpi_{\text{л.в}} = 1,10 \cdot 22,05 \cdot 6,8 = 164,9 \text{ кН} \quad (2.13)$$

Граничний згинаючий момент в прогоні та поперечна сила на опорі типової балки прогонової будови  $l_p=14,6 \text{ м}$  за з урахуванням дефектів складає:

$$M_{\text{гр}} = 963,1 \text{ кНм} \quad / \quad Q_{\text{гр}} = 333,1 \text{ кН}$$

Коефіцієнти поперечного розподілу для навантажень А11, Н-30 та Н-40 визначалися за методом позацентрового стиску, оскільки прогонові будови жорстко об'єднані діафрагмами. При цьому колони вантажівок розташовувались по ширині проїзної частини мосту за експлуатаційним та ремонтним варіантами.

За експлуатаційним варіантом вісь першої смуги навантаження розташовувалась на відстані щонайменше  $\Pi+0,55+1,9/2=2,45$  м від краю бордюру, а вісь другої смуги розташовувалась на відстані 3 м від першої смуги. За ремонтним варіантом вісь першої смуги розташовувалась на відстані 1,5 м від бордюру.

Завантаження одиночним навантаженням НК виконується за відсутності інших рухомих навантажень на мосту. Навантаження НК встановлюється тільки в одне місце вздовж напрямку руху, в межах габариту проїзду. Вісь екіпажу встановлюється не ближче 1,75 м від полоси безпеки, тобто 2,70 м від краю бордюру.

Коефіцієнти надійності по навантаженню для мостів під автомобільне та пішохідне навантаження визначаються згідно з таблицею 16.2 ДБН В.1.2-15:2009, значення цих коефіцієнтів приведені нижче в табл.2.3.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти надійності до тимчасових навантажень

Навантаження	Розрахунки елементів мостів та труб від навантажень	Коефіцієнт $\gamma_f$
Розподілене АК	-	1,50
Тандем АК	-	1,50
Екіпаж НК	-	1,00
Натовп	вертикальних на тротуари при врахуванні разом з іншими навантаженнями	1,20

Для мостів під автомобільне навантаження динамічний коефіцієнт при відсутності вибоїн та інших нерівностей визначається згідно з таблицею 17.2 ДБН В.1.2-15:2009.

Таблиця 2.4 – Динамічні коефіцієнти до тимчасових навантажень

Навантаження	Характеристика мостових споруд та елементів	Динамічний коефіцієнт
Тандем АК	Для всіх елементів, крім наданих нижче	$1 + \mu = 1,3$

Розподілене АК Екіпаж НК Натовп	Те саме	$1 + \mu = 1,0$
---------------------------------------	---------	-----------------

Схема розташування навантажень поперек мосту, а також лінія впливу тиску у середині прогону та на опорі приведена нижче:

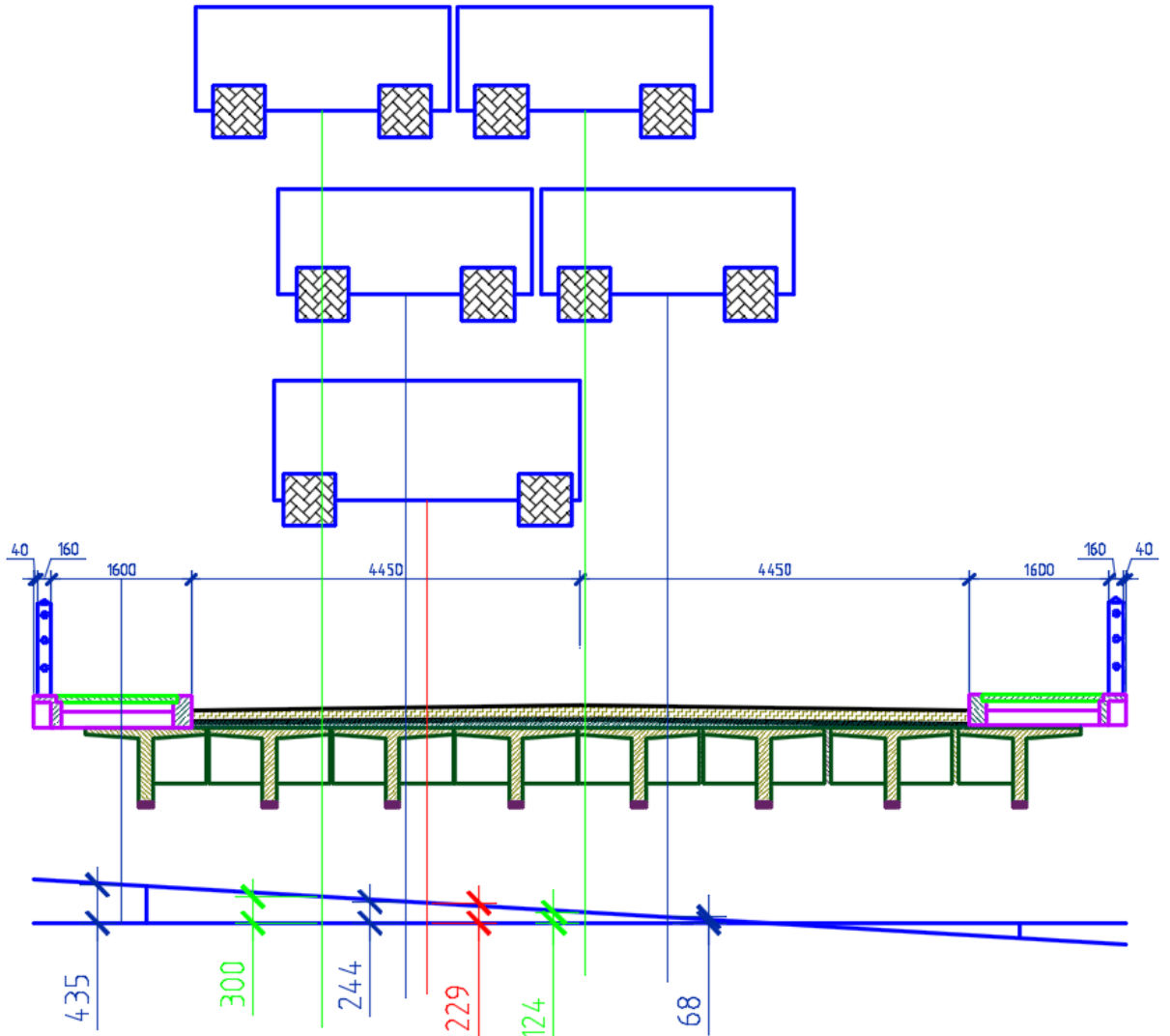


Рисунок 2.5 – Лінія впливу КПУ для визначення згинального моменту

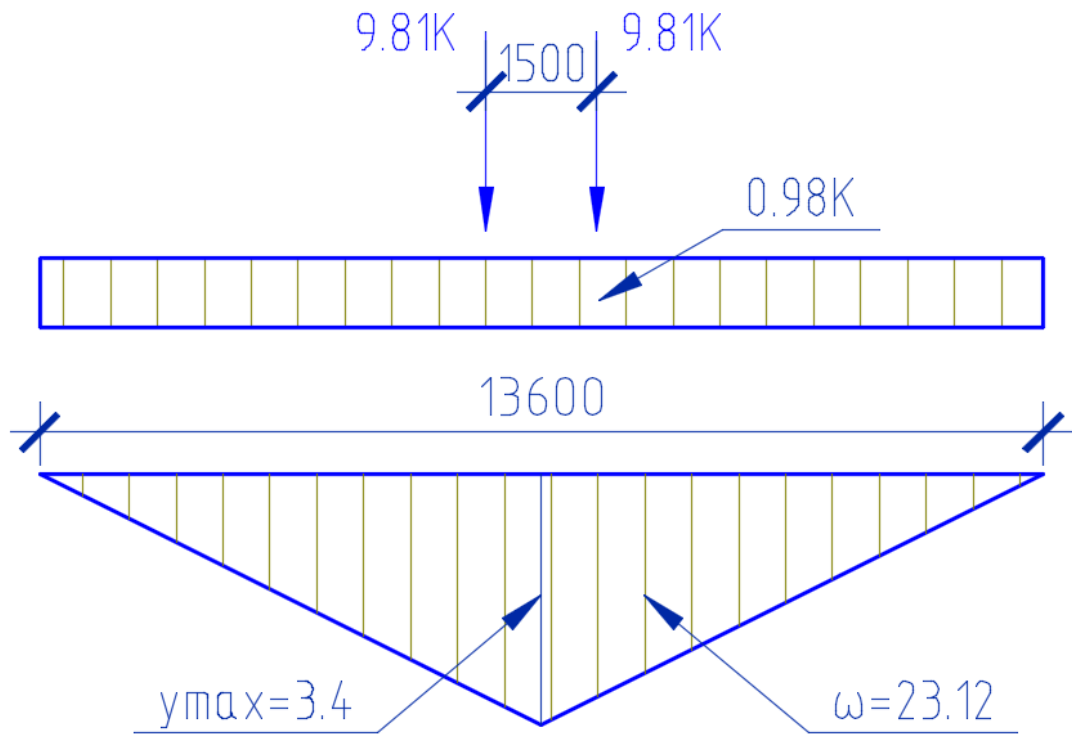


Рисунок 2.6 – Завантаження лінії впливу згинаючого моменту в середині прогону навантаженням А11 вздовж прогону будови

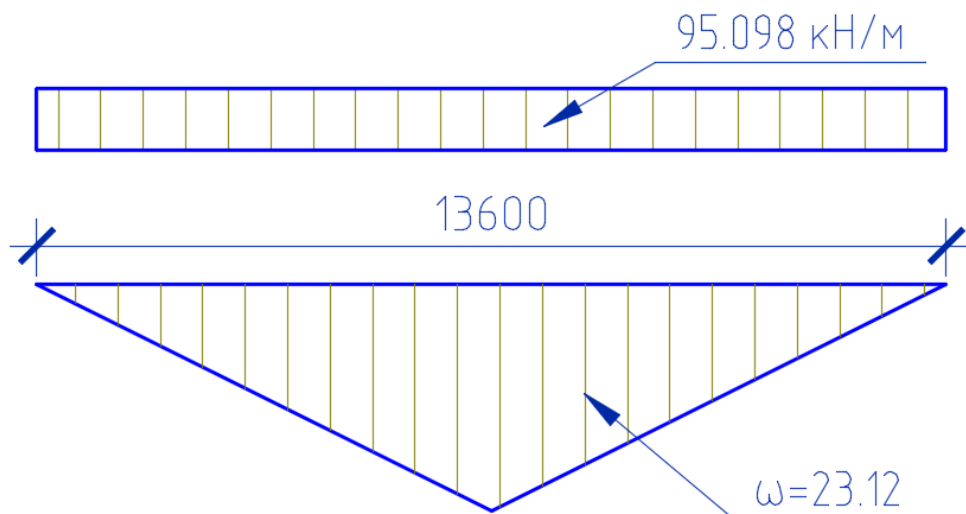


Рисунок 2.7 – Завантаження лінії впливу згинаючого моменту в середині прогону еквівалентним навантаженням НК80 (за СН-200-62) вздовж прогону будови

Розрахункові зусилля від тимчасових навантажень:

- для експлуатаційного варіанту А11:

$$M_{\text{експл.}}^{A11} = 1,10 \cdot (0,98 \cdot 11 \cdot 23,12 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot (0,244 + 0,6 \cdot 0,068) + 9,81 \cdot 11 \cdot 3,025 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 1,5 \cdot (0,244 + 0,068)) = 554,0 \text{ кНм} \quad (2.14)$$

Натовп

$$M_{\text{експл.}}^{\text{нат.}} = 1,1 \cdot 1,96 \cdot 1,6 \cdot 23,12 \cdot 1,0 \cdot 1,20 \cdot 0,435 = 37,8 \text{ кНм} \quad (2.15)$$

- для ремонтного варіанту А11:

$$M_{\text{експл.}}^{\text{А11}} = 1,10 \cdot (0,98 \cdot 11 \cdot 23,12 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot (0,300 + 0,6 \cdot 0,124) + 9,81 \cdot 11 \cdot 3,025 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 1,5 \cdot (0,300 + 0,124)) = 747,7 \text{ кНм} \quad (2.16)$$

- для навантаження від НК80:

$$M_{\text{тимч.}}^{\text{НК80}} = \gamma_n \cdot (v \cdot w) \cdot (1 + \mu) \cdot \gamma_f \cdot K_{\text{нр}}^{\text{НК80}} \quad (2.17)$$

$$M_{\text{тимч.}}^{\text{НК80}} = 1,1 \cdot (95,098 \cdot 23,12) \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,229 = 609,2 \text{ кНм}$$

Допустиме зусилля від тимчасового навантаження для балки прогонової будови складає:

$$M_{\text{тим}}^{\text{дон}} = M_{\text{зр}} - M_{\text{пост}} = 963,1 - 560,8 = 402,3 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (2.18)$$

Відповідно нерівність перевірки за вантажопідйомністю має вигляд:

- для експлуатаційного варіанту А11:

$$S_{\text{тим}}^{\text{дон}} = 402,3 \text{ кН} \cdot \text{м} \leq S_{\text{експл.}}^{\text{АК}} + S_{\text{експл.}}^{\text{нат.}} = 554,0 + 37,8 = 591,8 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (2.19)$$

Умова не виконана, вантажопідйомність не забезпечена.

- для ремонтного варіанту А11:

$$S_{\text{тим}}^{\text{дон}} = 402,3 \text{ кН} \cdot \text{м} < S_{\text{рем.}}^{\text{АК}} = 747,7 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (2.20)$$

Умова не виконана, вантажопідйомність не забезпечена.

- для навантаження від НК80:

$$S_{\text{тим}}^{\text{дон}} = 402,3 \text{ кН} \cdot \text{м} < S_{\text{тимч.}}^{\text{НК80}} = 609,2 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (2.21)$$

Умова не виконана, вантажопідйомність не забезпечена.

Величина зниження вантажопідйомності:

*Ремонт. варіант А11:*

$$\delta = \left(1 - \frac{S_{тим}^{доп}}{S_{рем.}^{AK}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{402.3}{747.7}\right) \cdot 100 \approx 46.2\% \quad (2.22)$$

Навантаження НК-80:

$$\delta = \left(1 - \frac{S_{тим}^{доп}}{S_{рем.}^{AK}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{402.3}{609.2}\right) \cdot 100 \approx 34.0\% \quad (2.23)$$

Відповідно до табл. 5.2 ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 стан прогонової будови за вантажопідйомністю – **непрацездатний ( $\delta > 40\%$ )**.

### **Пропуск по мосту сучасного навантаження А11 та НК80.**

Допустиме навантаження за схемою НК:

$$\frac{402.3}{609.2} \cdot 80 \approx 52.8$$

### **2.3 Розрахунок навантаження, яке спроможна пропускати прогонова будова 14.06 м.**

Зусилля в конструкціях від тимчасового навантаження Н-30 або Н-40 визначається відповідно до вказівок чинних норм на проектування мостів щодо порядку завантаження проїзної частини. Динамічний коефіцієнт  $(1 + \mu)$ , коефіцієнт надійності  $\gamma_f$  та коефіцієнт дії тимчасового навантаження з декількох смуг  $s$  застосовуються у вигляді множників до зусилля від характеристичного навантаження. Значення цих коефіцієнтів приймаються за таблицею Б.1 ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. При завантаженні декількох смуг руху за розрахункове слід брати максимальне значення з усіх можливих варіантів, які визначені з відповідними коефіцієнтами дії тимчасового навантаження з декількох смуг.

Таблиця 2.5 – Коефіцієнти до тимчасових навантажень Н-30 і Н-40

Параметр	Значення параметра
Динамічний коефіцієнт $(1 + \mu)$	Для Н-30, Н-40
$1 + \mu = 1 + \frac{81 - \lambda}{135}$ ,	$(1 + \mu) = 1,233$

Коефіцієнт надійності для тимчасового навантаження $\gamma_f$	Для Н-30 - 1,3 Для Н-40 - 1,2
Коефіцієнт кількості смуг руху, $s$	$s_1 = 1,0; s_2 = 0,9;$ $s_3 = 0,8; s_4 = 0,7$

Допустиме зусилля поперечної сили на опорі від тимчасового навантаження для балки прогонової будови складає:

$$M_{тим}^{доп} = M_{сп} - M_{пост} = 402.3 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (2.24)$$

Розрахункові зусилля від тимчасових навантажень для трьохвісних вантажівок в колоні типу Н30 та для п'ятивісних вантажівок в колоні типу Н40 визначаються далі.

### 2.3.1 для трьохвісних вантажівок в колоні:

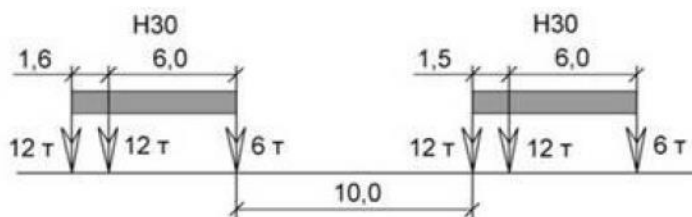


Рисунок 2.8 – Схема навантаження Н-30

Завантаження лінії впливу згинаючого моменту в середині прогону від еквівалентного навантаження Н30 (за СН-200-62) вздовж прогонової будови:

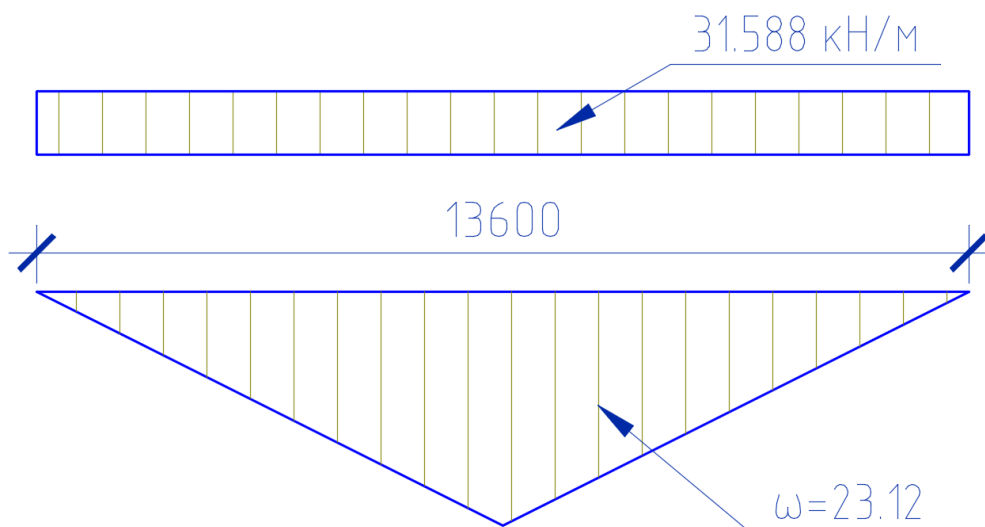


Рисунок 2.9 – Завантаження лінії впливу згинаючого моменту в середині прогону від еквівалентного навантаження Н30 (за СН-200-62) вздовж прогону будови

- для Н30:

$$M_{\text{експл.}}^{H30} = v \cdot \omega \cdot y_2 \cdot (1 + \mu) \cdot \gamma_f \cdot K_{\text{пр}}^{\text{см1}} \cdot \gamma_n \tag{2.24}$$

$$M_{\text{експл.}}^{H30} = 31.588 \cdot 23.12 \cdot 1,233 \cdot 1,3 \cdot (0.244 + 0.9 \cdot 0.068) \cdot 1,1 = 470.5 \text{ кНм}$$

Перевірка за вантажопідйомністю має вигляд:

$$M_{\text{тим}}^{\text{дон}} = 402.3 \text{ кН} \cdot \text{м} < M_{\text{раб.}}^{H30} = 470.5 \text{ кН} \cdot \text{м}, \tag{2.25}$$

Допустиме навантаження:

$$\frac{168.2}{261.5} \cdot 30 \approx 19.3 \text{ т.}$$

### 2.3.2 Для п'ятивісних вантажівок в колоні:

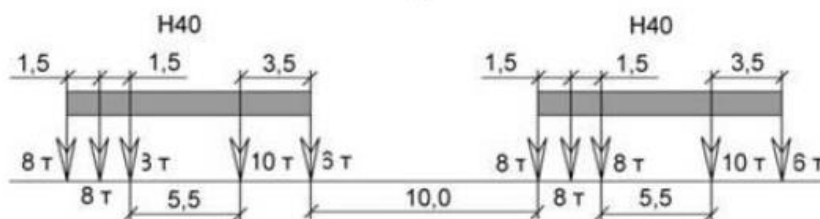


Рисунок 2.10 – Схема завантаження Н-40

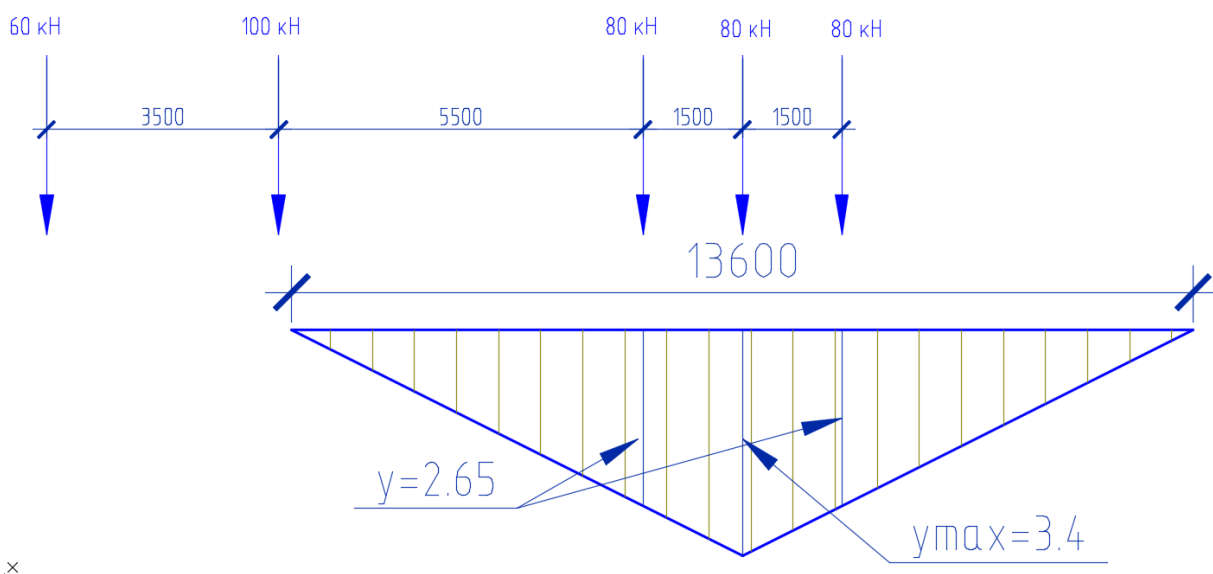


Рисунок 2.11 – Завантаження лінії впливу згинаючого моменту в середині прогону від навантаження Н40 вздовж прогону будови

- для Н40:

$$M_{\text{раб.}}^{H40} = (2 \cdot 80 \cdot y_1 + 80 \cdot y_2) \cdot (1 + \mu) \cdot \gamma_f \cdot K_{\text{пр}}^{\text{см1}} \cdot \gamma_n \quad (2.26)$$

$$\begin{aligned} M_{\text{раб.}}^{H40} &= (2 \cdot 80 \cdot 2.65 + 80 \cdot 3.4) \cdot 1,233 \cdot 1,4 \cdot (0.300 + 0.9 \cdot 0.124) \cdot 1,1 = \\ &= 544.0 \text{ кНм} \end{aligned}$$

Перевірка за вантажопідйомністю має вигляд:

$$M_{\text{тим}}^{\text{дон}} = 402.3 \text{ кН} \cdot \text{м} \leq M_{\text{раб.}}^{H40} = 544.0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (2.27)$$

Умова не виконана, вантажопідйомність не забезпечена.

Допустиме навантаження:

$$\frac{168.2}{352.9} \cdot 40 \approx 19.1 \text{ Т}$$

### 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ

Для визначення способу капітального ремонту шляхопроводу, було розроблено три його варіанти. В навчальних цілях дані варіанти передбачають різні характеристики мосту після ремонту.

#### 3.1 Варіант №1

В рамках першого варіанту передбачається виконати ремонт, залишивши всі основні несні конструкції, а саме опори та прогонові будови. Таким чином, схема мосту залишається 11,36+11,36+14,06+11,36. Для забезпечення проєктної несної здатності передбачається виконати підсилення надземної частини опор з використанням залізобетонної рубашки, та ремонт визначених балок прогонових будов за допомогою металевої обойми з заповненням метилакрилатом, та підсиленням опорних зон металевими листами.

Проїзна частина влаштовується по об'єднуючій температурно-нерозрізній монолітній плиті, що об'єднується з балками прогонової будови за допомогою арматурних анкерів для сумісної роботи. Анкери влаштовуються з забурюванням у існуючі балки. Ширина проїзної частини складає 9 м – для двох смуг руху, також передбачено два тротуари шириною по 1,5 м.

Дорожній одяг – двошаровий, загальною товщиною 110 мм по шару напилувальної гідроізоляції

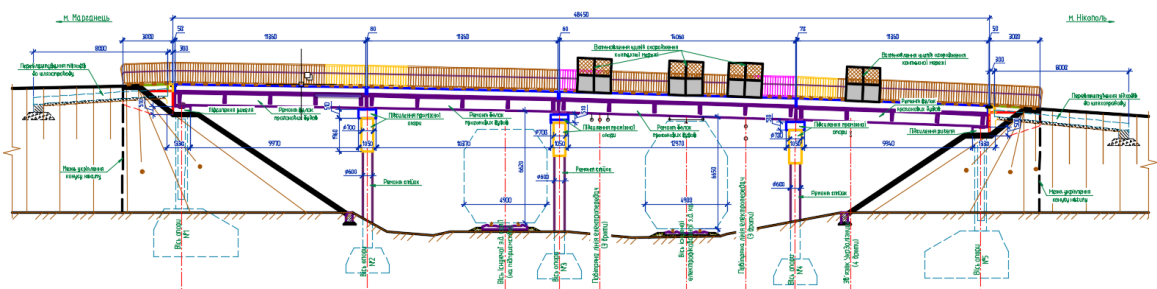


Рисунок 3.1 – Схема капітального ремонту за варіантом №1

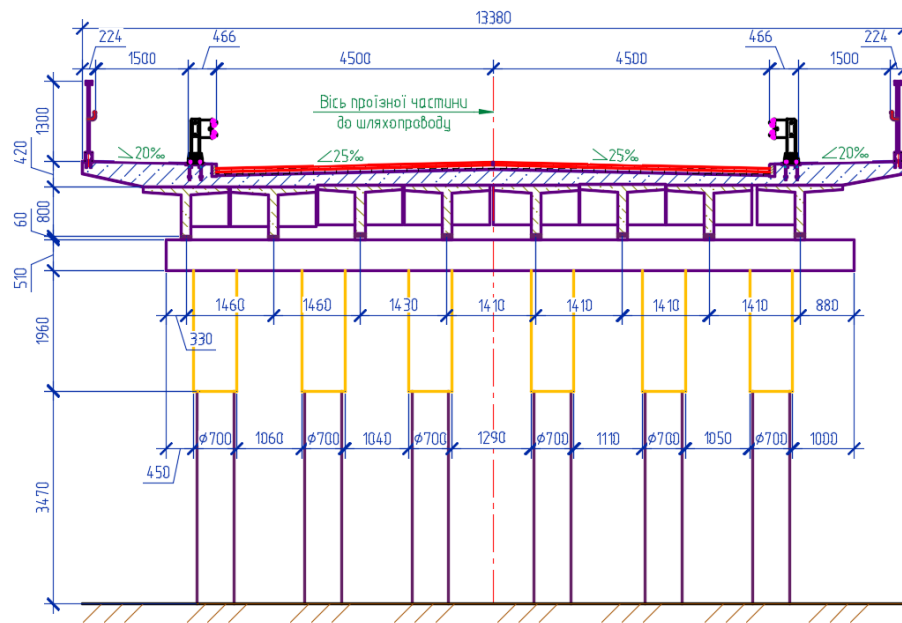


Рисунок 3.2 – Переріз за варіантом №1

В такому випадку балки прогонових будов і опори матимуть змогу пропускати проектне навантаження, тобто Н-13 і НГ-60.

Для виконання капітального ремонту за варіантом передбачається виконати наступні роботи:

- Виконання підготовчих робіт, перекриття руху мостом.
- Фрезування асфальтобетонного покриття;
- Демонтаж гідроізоляції, вирівнюючого та захисного шарів бетону ручним інструментом;
- Демонтаж тротуарних блоків та перильного огородження автокраном.
- Виконання робіт з підсилення опор з риштувань:
  - Розбирання слабого бетону до міцного;
  - Очищення та обезпилення поверхонь бетону та оголеної арматури;
  - Нанесення адгезійного та антикорозійного розчинів;
  - Установка арматурних елементів рубашки;
  - Бетонування рубашки бетоном з додаванням пластифікаторів.
- Ремонт балок з риштувань:
  - Розбирання слабого бетону до міцного;
  - Буріння шпурів для та отворів для анкерування обойми;

- Улаштування хімічних арматурних анкерів на припорних ділянках;
- Встановлення додаткових арматурних елементів на припорних ділянках;
- Очищення та обезпилення поверхонь;
- Нанесення антикорозійного та адгезійного покриттів;
- Установка елементів обійми в проєктне положення, кріплення анкерів та болтів;
- Заливання метилакрилату в обійму для заповнення порожнин.
- Фарбування поверхонь.
- Виконання робіт з переулаштування сполучення мосту з підходами:
  - Розбирання існуючого ґрунту над перехідними плитами;
  - Демонтаж існуючих перехідних плит;
  - Розбирання ґрунту навколо конструкцій стояна;
  - Ремонт та добетонування конструкцій стояна;
  - Зворотня засипка дренажним ґрунтом;
  - Улаштування арматурних елементів та бетонування монолітного лежня та перехідної плити;
  - Улаштування підготовки під дорожній одяг.
- Улаштування монолітної об'єднуючої плити проїзної частини:
  - Установка елементів опалубки;
  - Установка арматурних елементів та закладних деталей;
  - Укладання бетонних сумішей з додаванням пластифікаторів;
  - Розопалублювання монолітної плити.
- Установка деформаційних швів.
- Улаштування гідроізоляції.
- Укладання дорожнього одягу асфальтоукладальником.
- Установка в проєктне положення нового перильного та бар'єрного огорожень
- Організація дорожнього руху та відкриття руху мостом.

Роботи над залізницею передбачається виконувати у **вікно** з окремою розробкою технології.

Укрупнені об'єми унікальних робіт з ремонту наведені в таблиці 3.1

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 з/б	60	м <sup>3</sup>	13,0	780,0
2	Покриття ремонтними сумішами	2085	м <sup>2</sup>	2,5	5 212,5
3	Ремонт балок металевою обоймою	13,1	т	70,0	917,0
4	Улаштування монолітної плити	166	м <sup>3</sup>	35,0	5 810,0
	Всього				12 719,5

### 3.2 Варіант №2

За другим варіантом передбачається виконати капітальний ремонт за старою схемою, але із заміною прогонових будов. Таким чином, схема мосту залишається 11,36+11,36+14,06+11,36. Передбачається виконати підсилення існуючих опор залізобетонною рубашкою. Балки прогонових будов передбачається прийняти І-подібними, довжинами 11,36 і 14,06 в уніфікованій опалубці.

Проїзна частина влаштовується по монолітній температурно-нерозрізній плиті, що об'єднується з балками за допомогою арматурних випусків. Для улаштування монолітної плити передбачається використовувати незнімну залізобетонну опалубку, що також вступає в сумісну роботу з плитою. Ширина проїзної частини складає 9 м – для двох смуг руху, передбачено два тротуари шириною по 1,8 м.

Дорожній одяг – двошаровий, загальною товщиною 110 мм по шару напилювальної гідроізоляції

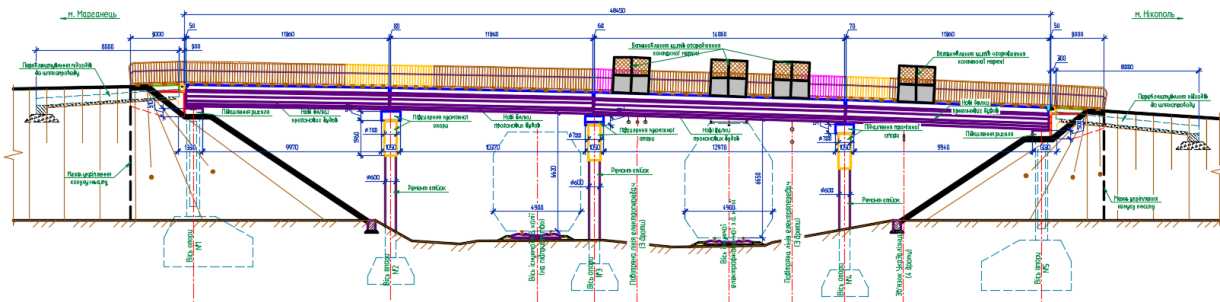


Рисунок 3.3 – Схема капітального ремонту за варіантом №2

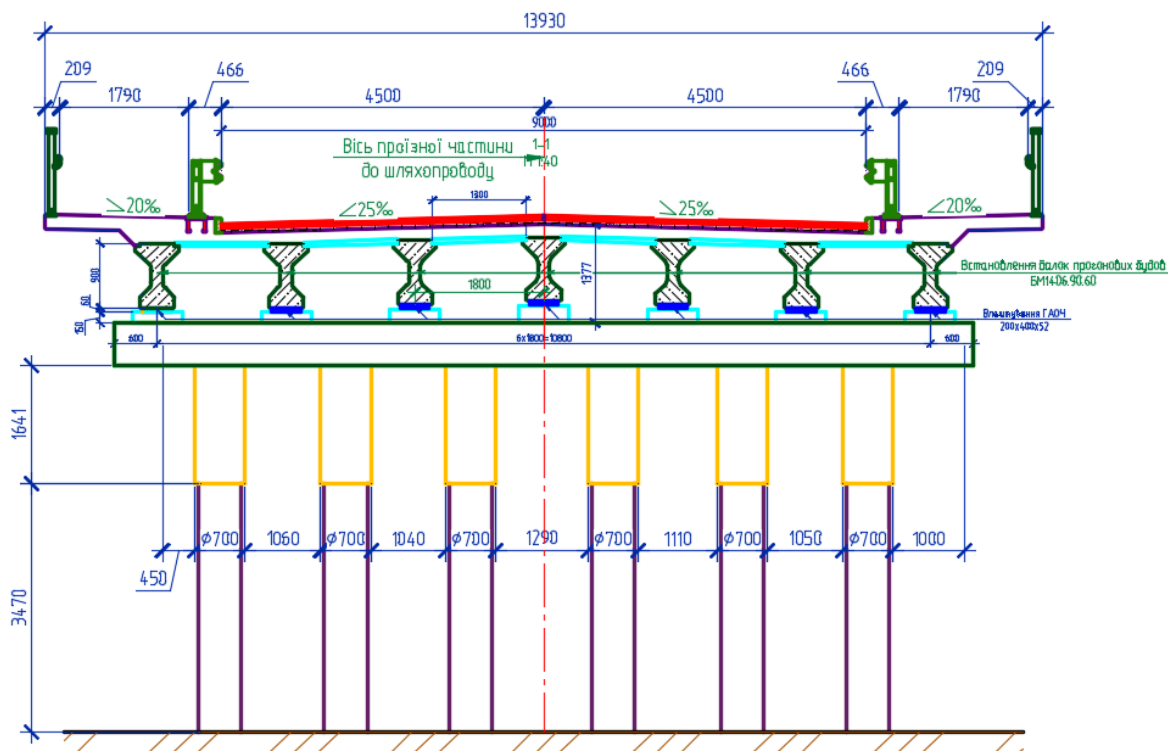


Рисунок 3.4 – Переріз за варіантом №2

В такому випадку прогонові будови здатні пропускати навантаження А15 і НК-100, що відповідає вимогам до перспективного навантаження для відповідної категорії міської дороги. Критичним елементом в такому випадку є фундаменти опор (опори за необхідності можна підсилити по необхідній несній здатності), що були запроектовані під навантаження Н-13 і НГ-60. Таким чином, обмеження для всього мосту також складатимуть такі навантаження. Але, за необхідності, несну здатність всього мосту можна буде збільшити тільки підсиленням фундаментів одним з існуючих для цього способів.

Для виконання капітального ремонту за варіантом передбачається виконати наступні роботи:

- Виконання підготовчих робіт, перекриття руху мостом.
- Фрезування асфальтобетонного покриття;
- Демонтаж гідроізоляції, вирівнюючого та захисного шарів бетону ручним інструментом;
- Демонтаж тротуарних блоків та перильного огородження автокраном.
- Розрізання поздовжніх швів між балками прогонових будов.
- Демонтаж автокраном існуючих балок прогонових будов.
- Виконання робіт з підсилення опор з риштувань:
  - Розбирання слабкого бетону до міцного;
  - Очищення та обезпилення поверхонь бетону та оголеної арматури;
  - Нанесення адгезійного та антикорозійного розчинів;
  - Установка арматурних елементів рубашки;
  - Бетонування рубашки бетоном з додаванням пластифікаторів.
- Виконання робіт з переулаштування сполучення мосту з підходами:
  - Розбирання існуючого ґрунту над перехідними плитами;
  - Демонтаж існуючих перехідних плит;
  - Розбирання ґрунту навколо конструкцій стояна;
  - Ремонт та добетонування конструкцій стояна;
  - Зворотня засипка дренажним ґрунтом;
  - Улаштування арматурних елементів та бетонування монолітного лежня та перехідної плити;
  - Улаштування підготовки під дорожній одяг.
- Установка автокраном нових залізобетонних балок прогонових будов.
- Улаштування монолітної плити проїзної частини:
  - Установка елементів опалубки;
  - Установка арматурних елементів та закладних деталей;
  - Укладання бетонних сумішей з додаванням пластифікаторів;
  - Розопалублювання монолітної плити.
- Установка деформаційних швів.

- Улаштування гідроізоляції.
- Укладання дорожнього одягу асфальтоукладальником.
- Установка в проєктне положення нового перильного та бар'єрного огорожень
- Організація дорожнього руху та відкриття руху мостом.

Роботи над залізницею передбачається виконувати у вікно з окремою розробкою технології.

Укрупнені об'єми унікальних робіт з ремонту наведені в таблиці 3.2

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 з/б	160	м <sup>3</sup>	13,0	2 080,0
2	Демонтаж балок	32	шт	20,0	640,0
3	Покриття ремонтними сумішами	350	м <sup>2</sup>	2,5	875,0
4	Гумо-армовані опорні частини	56	шт	2,0	112,0
5	Установка нових балок	28/105	шт/ м <sup>3</sup>	70,0 / м3	7 350
6	Улаштування монолітної плити	164	м <sup>3</sup>	35,0	5 740
	Всього				16 797,0

### 3.3 Варіант №3

За варіантом №3 передбачається виконати демонтаж існуючих прогонових будов та трьох проміжних опор (№2, 3, 4), після чого улаштувати дві нові проміжні опори на нових осях. Прогонові будови передбачається замінити на нові так, щоб обидва залізничні габарити було перекрито однією прогоновою будовою. Також при цьому передбачається мінімізувати довжину крайніх прогонових будов. Тоді схема мосту складатиме 7,61+33,0+7,61.

Для зменшення підняття рівня проїзду в такому випадку, необхідно використовувати балки 33 м з мінімальною висотою, тому в даному проєкті передбачені І-подібні балки вистою 1200 мм. Балки 7,61 передбачається виконувати в уніфікованій опалубці висотою у 900 мм.

Проїзна частина влаштовується по монолітній температурно-нерозрізній плиті, що об'єднується з балками за допомогою арматурних випусків. Для улаштування монолітної плити передбачається використовувати незнімну залізобетонну опалубку, що також вступає в сумісну роботу з плитою. Ширина проїзної частини складає 9 м – для двох смуг руху, передбачено два тротуари шириною по 1,8 м.

Дорожній одяг – двошаровий, загальною товщиною 110 мм по шару напилувальної гідроізоляції

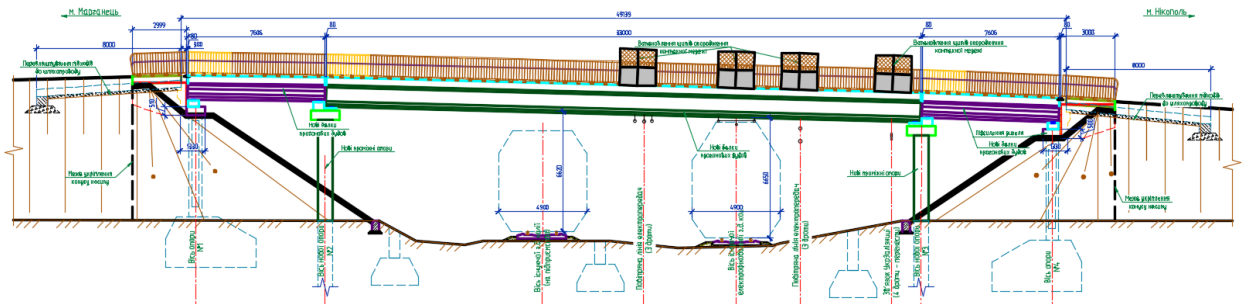


Рисунок 3.5 – Схема капітального ремонту за варіантом №2

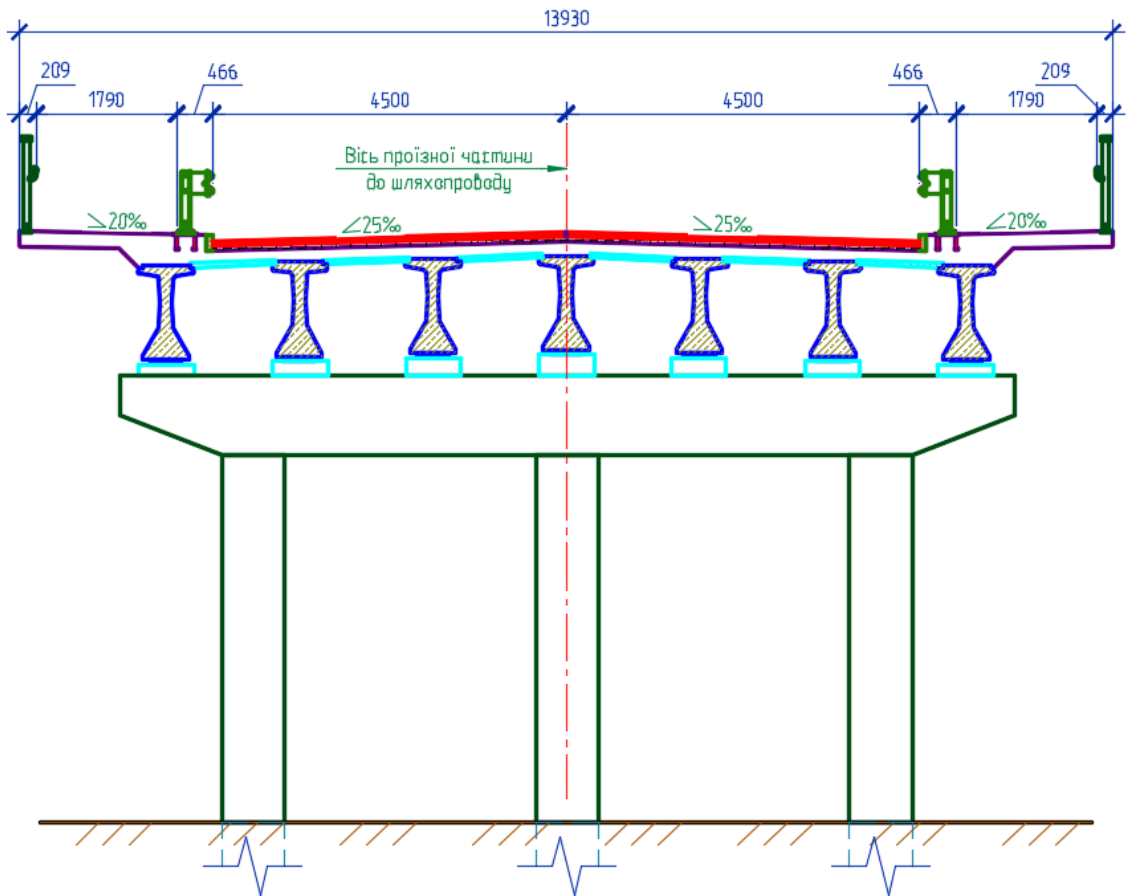


Рисунок 3.6 – Переріз за варіантом №2

В такому випадку і прогонові будови і проміжні опори з їх фундаментами матимуть можливість сприймати навантаження А15 і НК-100. Критичним елементом тоді будуть стояни, що були запроєктовані під навантаження Н-13 і НГ-60 під балки 11,36 м. Фактична вантажопідйомність мосту має бути розрахована за фактичними конструкціями стояна, або порівнянням розрахункових норм з урахуванням зміни довжини крайніх прогонових будов.

Для виконання капітального ремонту за варіантом передбачається виконати наступні роботи:

- Виконання підготовчих робіт, перекриття руху мостом.
- Фрезування асфальтобетонного покриття;
- Демонтаж гідроізоляції, вирівнюючого та захисного шарів бетону ручним інструментом;
- Демонтаж тротуарних блоків та перильного огородження автокраном.
- Розрізання поздовжніх швів між балками прогонових будов.
- Демонтаж автокраном існуючих балок прогонових будов.
- Демонтаж існуючих проміжних опор до рівня ґрунту або нижче.
- Виконання робіт з переулаштування сполучення мосту з підходами:
  - Розбирання існуючого ґрунту над перехідними плитами;
  - Демонтаж існуючих перехідних плит;
  - Розбирання ґрунту навколо конструкцій стояна;
  - Ремонт та добетонування конструкцій стояна;
  - Зворотня засипка дреноючим ґрунтом;
  - Улаштування арматурних елементів та бетонування монолітного лежня та перехідної плити;
  - Улаштування підготовки під дорожній одяг.
- Улаштування нових проміжних опор:
  - Розчищення робочого майданчику;
  - Буріння свердловин та улаштування буронабивних паль фундаменту;

- Армування стовпів опори та укладання бетонної суміші;
- Опалублювання, армування та бетонування ригеля опори.
- Установка автокраном нових залізобетонних балок прогонових будов.
- Улаштування монолітної плити проїзної частини:
  - Установка елементів опалубки;
  - Установка арматурних елементів та закладних деталей;
  - Укладання бетонних сумішей з додаванням пластифікаторів;
  - Розопалублювання монолітної плити.
- Установка деформаційних швів.
- Улаштування гідроізоляції.
- Укладання дорожнього одягу асфальтоукладальником.
- Установка в проектне положення нового перильного та бар'єрного огорожень
- Організація дорожнього руху та відкриття руху мостом.

Роботи над залізницею передбачається виконувати у вікно з окремою розробкою технології.

Укрупнені об'єми унікальних робіт з ремонту наведені в таблиці 3.3

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 з/б	210	м <sup>3</sup>	13,0	2 730,0
2	Демонтаж балок	32	шт	20,0	640,0
3	Покриття ремонтними сумішами	140	м <sup>2</sup>	2,5	350,0
4	Улаштування буронабивних паль	40	м <sup>3</sup>	45,0	1 800,0
5	Улаштування нової опори	55	м <sup>3</sup>	35,0	1 925,0
6	Гумо-армовані опорні частини	42	шт	2,0	84,0
7	Установка нових балок	21/118	шт/ м <sup>3</sup>	70,0	8 260,0
8	Улаштування монолітної плити	164	м <sup>3</sup>	35,0	5 740,0
	Всього				21 529,0

### 3.4 Порівняння варіантів

В рамках даного дипломного проєкту 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. Для виконання відносного порівняння вартостей, прийнято орієнтовану ціну виконання всіх робіт з капітального ремонту, за досвідом проєктування (за проєктом, аналогічним варіанту №1), у розмірі 82 750,0 тис грн.

Таблиця 3.4 – Основні техніко-економічні показники варіантів ремонту

№ з/п	Показник	Варіант №1	Варіант №2	Варіант №3
1	Схема мосту, м	11,36+11,36+14,06+11,36	11,36+11,36+14,06+11,36	7,61+33,0+7,61
2	Повна довжина мосту, м	49,140	49,140	49,140
3	Об'єм монолітного бетонування опор, м <sup>3</sup>	-	164	259
4	Ремонт бетонних поверхонь, м <sup>2</sup>	2085	350	-
5	Нові опорні частини, шт	-	56	42
6	Встановлення нових балок, шт	-	28	21
7	Об'єм збірного залізобетону, м <sup>3</sup>	-	105	118
8	Ремонт балок металевою обіймою, т	13,1	-	-
9	Бетонування монолітної плити, м <sup>3</sup>	166	164	164
10	Навантаження на балки після ремонту	Н-13, НГ-60, або Н-30, НК-80*	A15, НК-100	A15, НК-100
11	Навантаження на опори після ремонту	Н-13, НГ-60, або Н-30, НК-80**	Н-13, НГ-60, або Н-30, НК-80**	A15, НК-100***
12	Орієнтовна вартість унікальних робіт, тис. грн	12 719,5	16 797,0	21 529,0
13	Орієнтовна вартість ремонту, тис. грн	82 750,0	86 827,5	91 559,5

\*Визначається подальшим розрахунком

\*\*Визначається перерахунком опор і фундаментів

\*\*\*Визначається додатковим перерахунком стоянів

Таким чином, найвигіднішим є варіант №1, але з точки зору перспективного розвитку транспортного шляху, найкращим варіантом був би варіант №3. Також, в даному порівнянні варіантів не розраховано працевитрати на виконання робіт, що може зробити варіант №1 ще дешевшим відносно інших. До подальшої розробки приймаємо варіант №1, що передбачає ремонт балок незнімною металевою опалубкою.

#### **4 ПРОЄКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ**

Оскільки балки, що ремонтуються, мають двотавровий переріз з консольними плитами, що об'єднуються між собою омонолічуванням поздовжніх швів, у відповідності до вимог ДБН В.2.3-22:2009, необхідно об'єднати їх монолітною об'єднуючою плитою товщиною щонайменше у 14 см.

В проєкті приймаємо товщину плити від 14 см на крайній балці до 26.7 см по осі проїзної частини. Таким чином, за рахунок зміни висоти шару бетону, забезпечується поперечний ухил проїзної частини у 25%. Таким чином, плита проїзної частини матиме шаровану конструкцією і змінну товщину. Для розрахунку приймаємо переріз з найменшою товщиною. В рамках розрахунку за нижню поперечну арматуру плити прийнято таку, що відповідає типовому проєкту балок прогонової будови (вип. 56). Для неї було виконано перевірки за міцністю, витривалістю та тріщиностійкістю. Верхню поперечну арматуру було підібрано з аналогічних умов.

Згідно з ДБН 2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проєктування», під час капітального ремонту передбачається відновити проєктну вантажопідйомність мосту. Для даного шляхопроводу проєктними навантаженнями є Н-13 та НГ-60, під які має бути виконано розрахунок елементів. Крім того, у відповідності до таких нормативів, величини коефіцієнтів надійності та динамічності для обох навантажень передбачається приймати рівними 1. Але, у зв'язку з моральним застаріванням конструкцій під такі навантаження, в рамках даного проєкту буде зроблено спробу виконати проєктування конструкцій під навантаження Н-30 та НК-80 у відповідності до нормативного документу СН-200-62, що є близьким до вимог вантажопідйомності для мостів на автодорогах IV категорії.

Розрахунок плити виконано на 1 погонний метр довжини прогонової будови. Так було виконано збір постійних навантажень, а також перерахунок навантажень тимчасових з урахуванням розподілення тиску від коліс по товщині асфальтобетонного покриття. За розрахункову схему прийнято жорстко зацімлену балку довжиною, що дорівнює відстані між ребрами балок,

тобто 1,41 м. Постійні навантаження прийнято рівномірно розподіленими по розрахунковій схемі. Тимчасові навантаження прийняті за декількома схемами, для того, щоб визначити найбільш не вигідну модель та положення навантаження. На рис. 4.1 - 4.5 приведено дані схеми розташування коліс транспортних засобів.

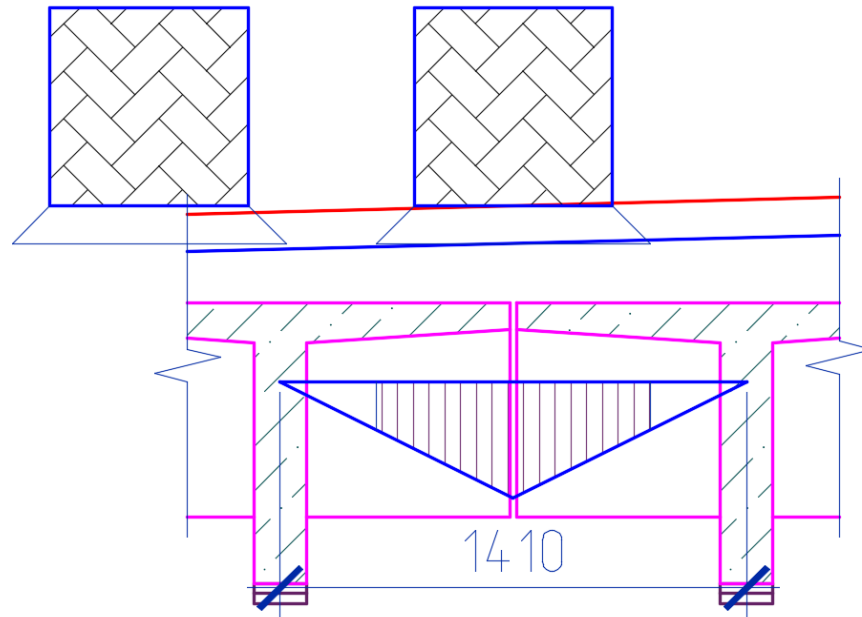


Рисунок 4.1 – Розташування колеса автомобіля за схемою Н-30 в середині прогону плити. Колесо сусіднього автомобіля не потрапляє на розрахункову схему.

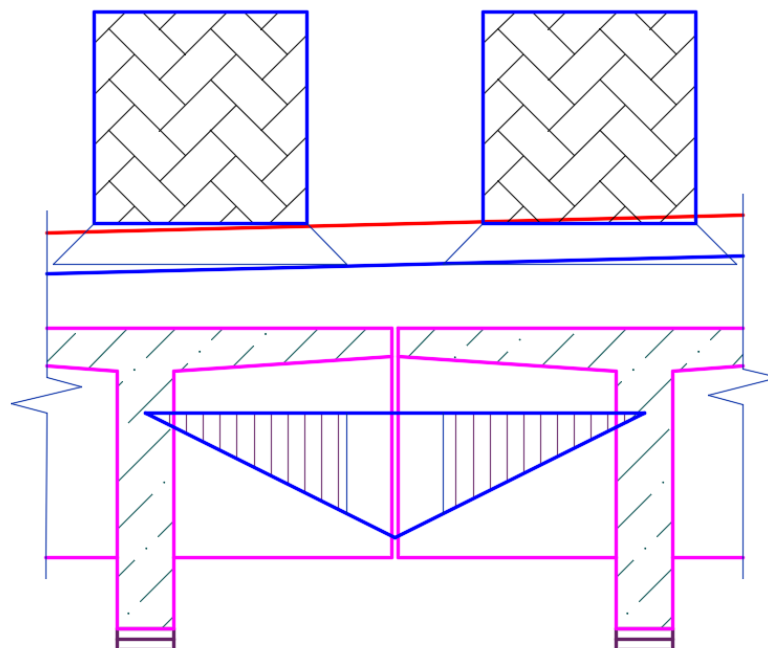


Рисунок 4.2 – Розташування двох коліс автомобіля Н-30 симетрично на розрахунковій схемі.

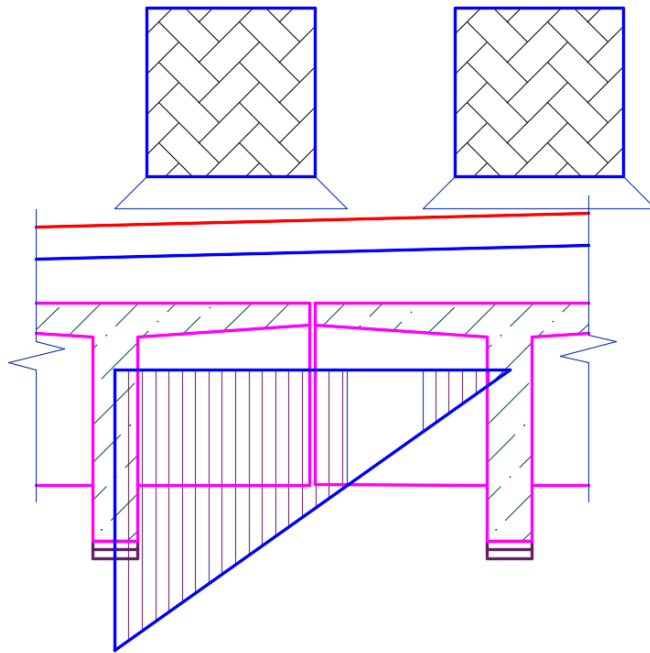


Рисунок 4.3 – Розташування одного з коліс автомобіля за схемою Н-30 на опорному перерізі для максимальної поперечної сили. Друге колесо розташоване на мінімальній дистанції від першого.

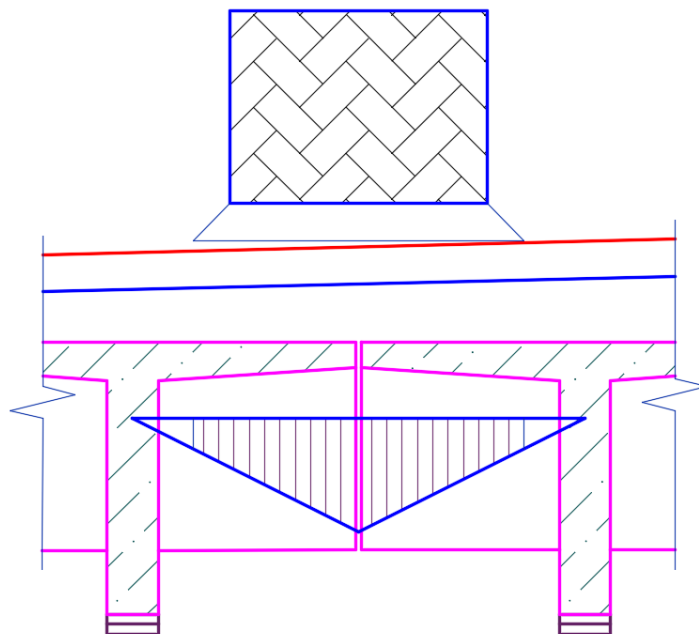


Рисунок 4.4 – Розташування колеса навантаження НК-80 посередині розрахункового прогону.

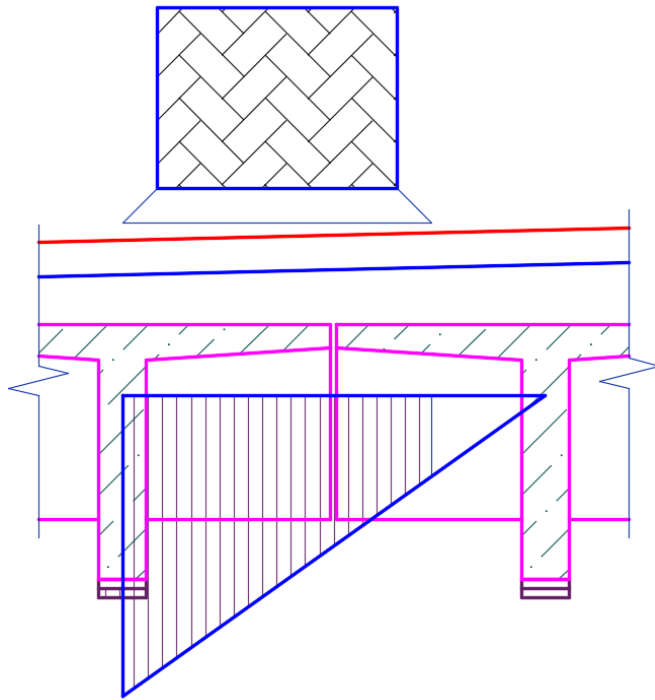


Рисунок 4.5 – Розташування колеса навантаження НК-80 над опорним перерізом для отримання максимальної поперечної сили.

Детальні збір навантажень, розрахунок зусиль та проектування і перевірка перерізів виконано у програмному комплексі MathCAD і наведено у Додатку А.

Зусилля при розрахунку плити, як розрізної шарнірно опертої балки склали:

Таблиця 4.1 – Зусилля у перерізі умовно розрізної плити

Навантаження	Нормативний момент, кНм	Розрахунковий момент на міцність, кНм	Розрахунковий момент на витривалість, кН	Розрахункова поперечна сила, кН
Н-30	17,8	31,7	17,8	94,3
	14,3	22,4	2,0	
НК-80	21,4	22,4	-	60,6

За результатами проектування підтверджено, що нижня поперечна арматура існуючої плити за даної конструкції витримує навантаження Н-30 та НК-80. За мінімальну верхню арматуру прийнято стрижні класу А300С діаметром 14 мм, що ставляться з кроком 125 мм.

## 5 ПРОЄКТУВАННЯ БАЛКИ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ

В рамках даного проєкту було запроєктовано, розраховано та перевірено балку прогонової будови довжиною 14.06 м, що перекриває прогон 3-4.

Наразі прогонова будова за визначенням вантажопідйомності має стан 5 – неприцездатний у зв'язку з відповідною втратою несної здатності у порівнянні з навантаженнями А11 і НК-80 (див. розділ 2), а також за сукупністю дефектів. Вона має обмеження у 19,3 тон для транспортних засобів за схемою Н-30 (тривісні вантажівки) та 52,8 тон за схемою НК-80 (окремі транспортні засоби).

### 5.1 Конструктивні рішення

У відповідності до прийнятих проєктних рішень, існуючі дефекти прогонової будови передбачається відремонтувати установкою металевої обойми – біля опорних перерізах передбачається встановити її по всій висоті ребра прогонової будови, в той час, як на іншій частині довжини балки передбачається установка її лише біля нижньої грані ребра. Таким чином металевий лист виступатиме в ролі як незнімної опалубки для ремонтної метилакрилатної суміші, так і вступатиме в сумісну роботу зі всією балкою за рахунок завдяки спеціально встановленим тяжам, що кріпляться до ребра балки в середині його висоти.

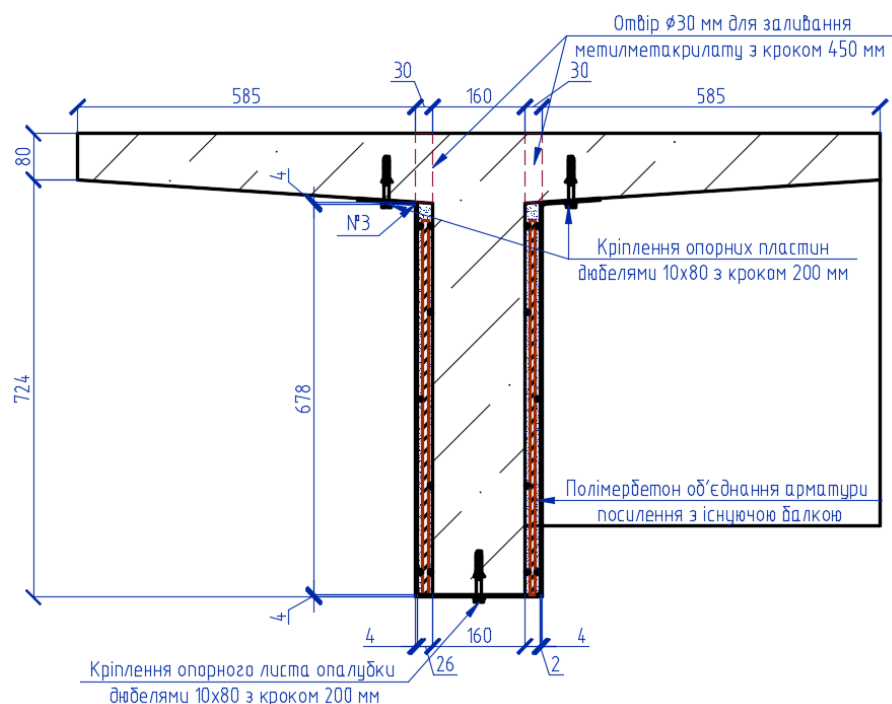


Рисунок 5.1 – Ремонт балки біля опорного перерізу

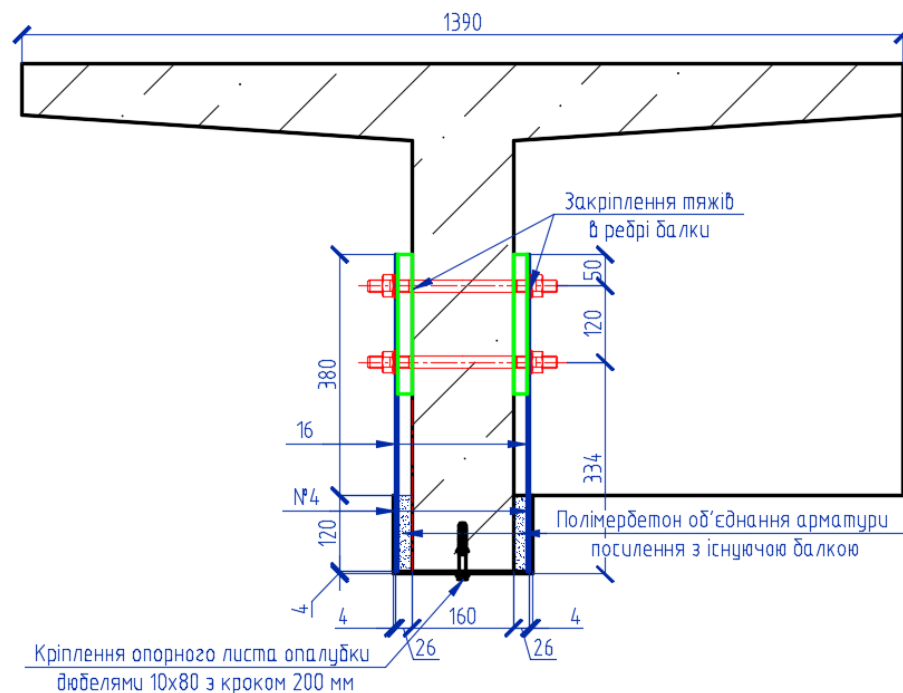


Рисунок 5.2 – Ремонт балок в перерізі посередині

Але оскільки таке рішення передбачається застосувати лише для крайніх балок прогонових будов, на підвищення вантажопідйомності впливатиме, в першу чергу, монолітна об'єднуюча плита товщиною від 14 см, яку було запроектовано в попередньому розділі.

## 5.2 Навантаження на прогонову будову

Навантаження Н-30 прийняте згідно з вимогами СН 200-62 "Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб" і складається із колони триосних вантажівок масою 30 Тс кожна, що рухаються з інтервалом 10 м (рис. 5.3). У поперечному напрямку на проїзну частину встановлюється стільки колон, скільки дозволяє ширина проїзної частини та скільки потрібно для виникнення максимального зусилля у обраному перерізі; при цьому габарит автомобіля не повинен виходити за межі проїзної частини (габарит проїзду), а відстань між бортами сусідніх автомобілів повинна становити не менше 0,1 м. З умов дорожнього руху на мосту та підходах до нього міст завантажуються трьома колонами Н-30.

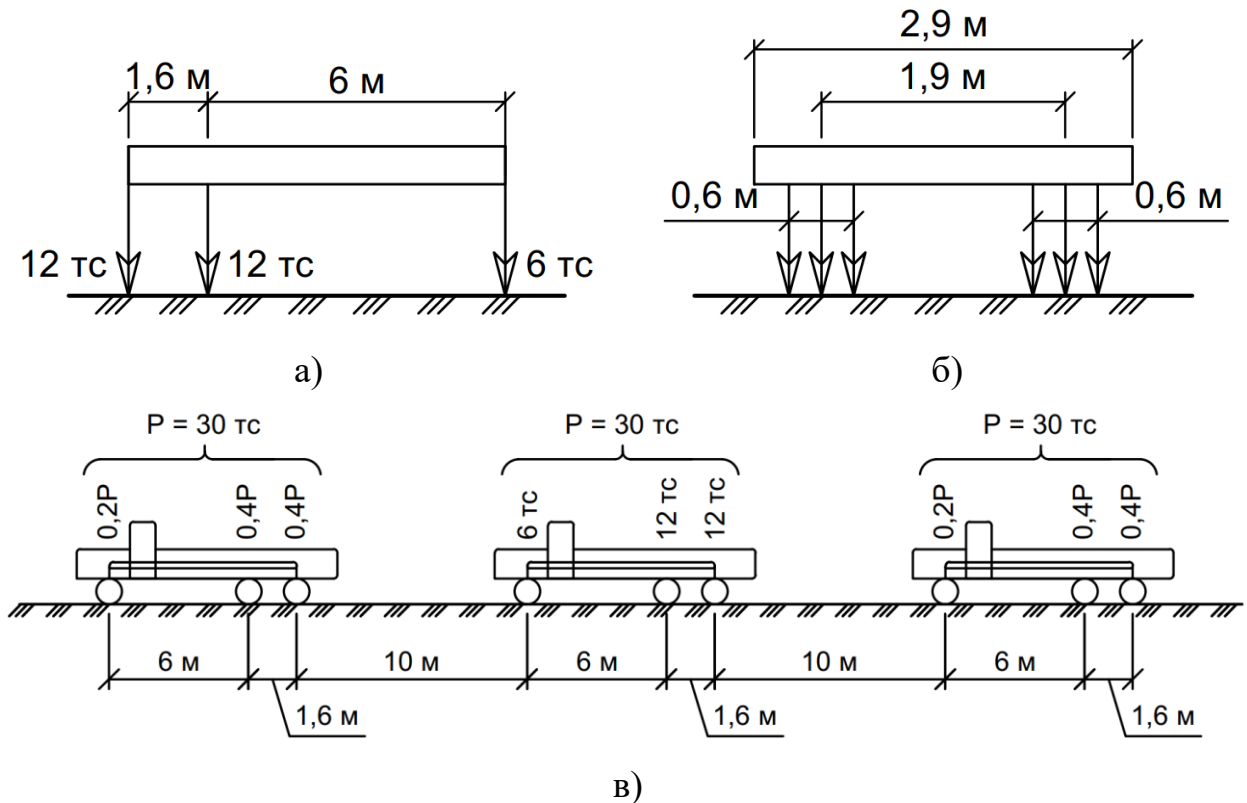


Рисунок 5.3 – Поздовжня (а) та поперечна (б) проєкції навантаження Н-30 та вид колони навантаження Н-30 (в)

Навантаження Н-30 у розрахунках вантажопідйомності враховується із коефіцієнтом надійності  $\gamma_f$ , динамічним коефіцієнтом  $(1 + \mu)$  та коефіцієнтами смуг руху  $s$  згідно з вимогами п. Б.12 ДСТУ 9181. Коефіцієнт надійності для навантаження Н-30 приймається:  $\gamma_{f, \text{Н-30}} = 1,3$ .

Динамічний коефіцієнт визначається за формулою:

$$(1 + \mu)_{\text{Н-30}} = 1 + \frac{12}{40 + L} = 1 + \frac{12}{40 + 13,6} = 1,224 \quad (5.1)$$

де  $L$  – довжина частини лінії впливу, яку завантажують (при завантаженні лінії впливу згинального моменту посередині прогону розрізної балки приймається рівною довжині розрахункового прогону  $l_p$ ).

З огляду на те, що в поперечному перерізі на проїзній частині моста розташовуються три колони навантаження Н-30, приймаються коефіцієнти смуг руху: 1, 0.9, 0.8 відповідно

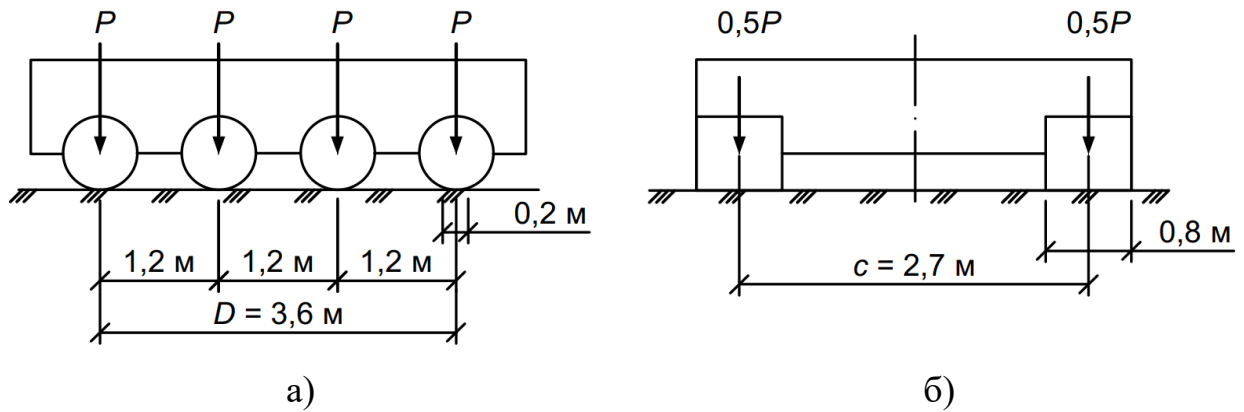


Рисунок 5.4 – Поздовжня (а) та поперечна (б) проєкції навантаження НК-80 (навантаження на вісь  $P = 20 \text{ Тс}$ )

Навантаження НК-80 є чотиривісним візком повною масою 80 т (рис. 5.4). Навантаження НК приймається згідно з вимогами ДБН В.1.2-15. При визначенні зусиль розглядається наявність лише одного візка НК-80 на проїзній частині моста. У поперечному напрямку на проїзну частину навантаження НК-80 встановлюється так, як потрібно для виникнення максимального зусилля у обраному перерізі, проте згідно з п. 8.4.3 ДБН В.1.2-15 вісь симетрії візка розташовується не ближче 1,75 м до межі проїзної частини (габариту проїзду), що дозволяє розташувати візок в цілому колесом впритул до межі проїзної частини.

Згідно з табл. 16.2 ДБН В.1.2-15 коефіцієнт надійності для навантаження НК-80 приймається:  $\gamma_{f,НК} = 1,0$ .

Згідно з табл. 17.2 ДБН В.1.2-15 динамічний коефіцієнт для навантаження НК-80 приймається:  $(1 + \mu)_{НК} = 1,0$ .

Навантаження Н-13 прийнято згідно з Н 106-53 «Нормы подвижных вертикальных нагрузок для расчёта искусственных сооружений на автомобильных дорогах» 1953 р., що останній регламентує дане навантаження.

Воно являє собою колону двовісних транспортних засобів вагою у 13 т з одним транспортним засобом у 16,9 т в колоні. Коефіцієнти, актуальні на рік побудови мосту становлять: коефіцієнт надійності – 1, динамічний коефіцієнт – 1. Згідно з сучасними вимогами, коефіцієнти варто прийняти такими, як і для навантаження Н-30.

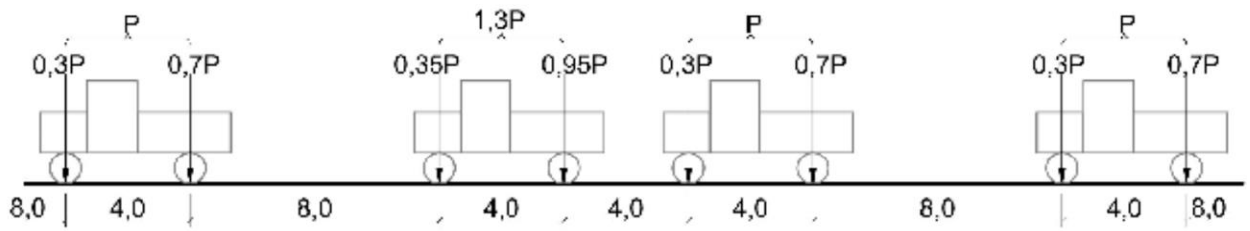


Рисунок 5.5 – Поздовжня схема навантаження Н-13. Тут  $P=13$  т.

Навантаження НГ-60 прийнято згідно з Н 106-53, 1953 р., що діяв на момент проєктування мосту.

Воно являє собою рівномірно розподілене по довжині у 5 м навантаження загальною вагою у 60 т. З урахуванням розподілення навантаження на дві паралельні смуги (гусениці), інтенсивність його складає 5 т/м.

Всі коефіцієнти дорівнюють 1 – для сучасних норм (за аналогією з НК-80), коефіцієнт надійності дорівнює 1 – для норм проєктування.

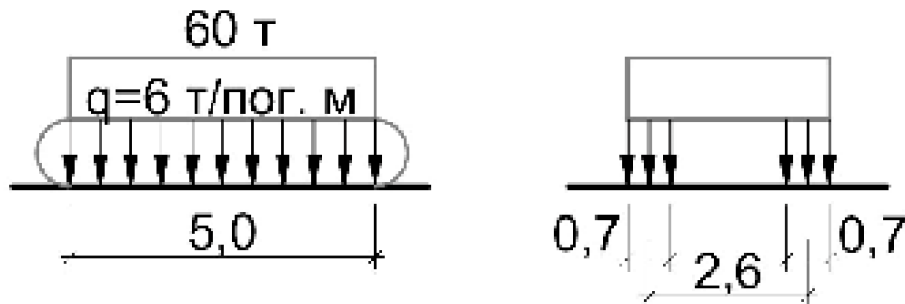


Рисунок 5.6 – Схема навантаження НГ-60.

Кожну з вищенаведених схем навантажень, для спрощення розрахунків, дозволяється замінити еквівалентним рівномірно розподіленим навантаженням відповідної інтенсивності. Розраховані навантаження, що залежать від довжини лінії впливу та перерізу, що розраховується, наведені у додатку 10 до СН 200-62.

### 5.3 Розрахунок навантаження на балку

Для визначення зусилля в окремих балках, навантажуюмо лінію впливу моменту в центральному перерізі відповідними навантаженнями. Лінії впливу із завантаженнями приведено на рисунках 5.7 – 5.10.

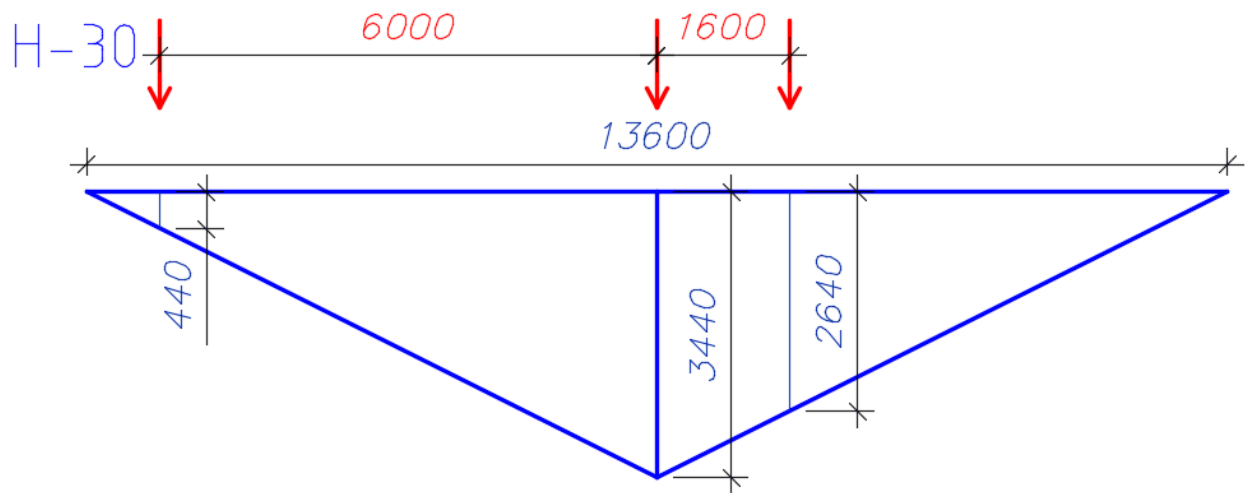


Рисунок 5.7 – Завантаження лінії впливу згинального моменту посередині прогону тимчасовим навантаженням Н-30 (ординати збільшено в  $10^3$ )

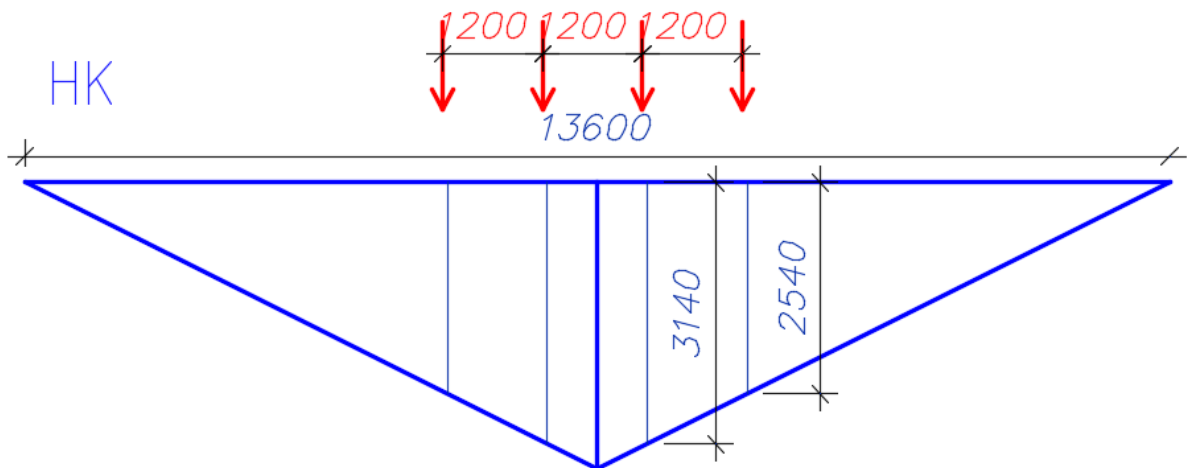


Рисунок 5.8 – Завантаження лінії впливу згинального моменту посередині прогону тимчасовим навантаженням НК-80 (ординати збільшено в  $10^3$ )

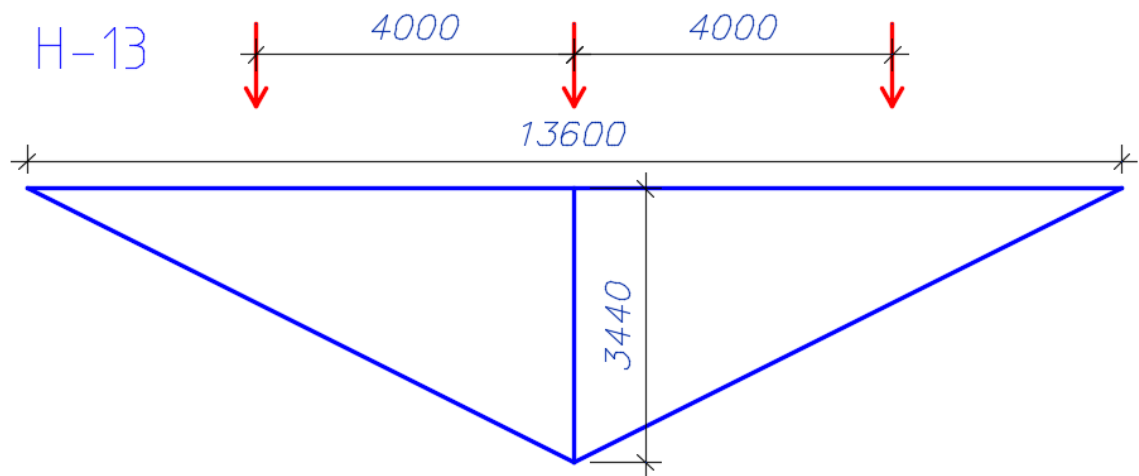


Рисунок 5.9 – Завантаження лінії впливу згинального моменту посередині прогону тимчасовим навантаженням Н-13 (ординати збільшено в  $10^3$ )

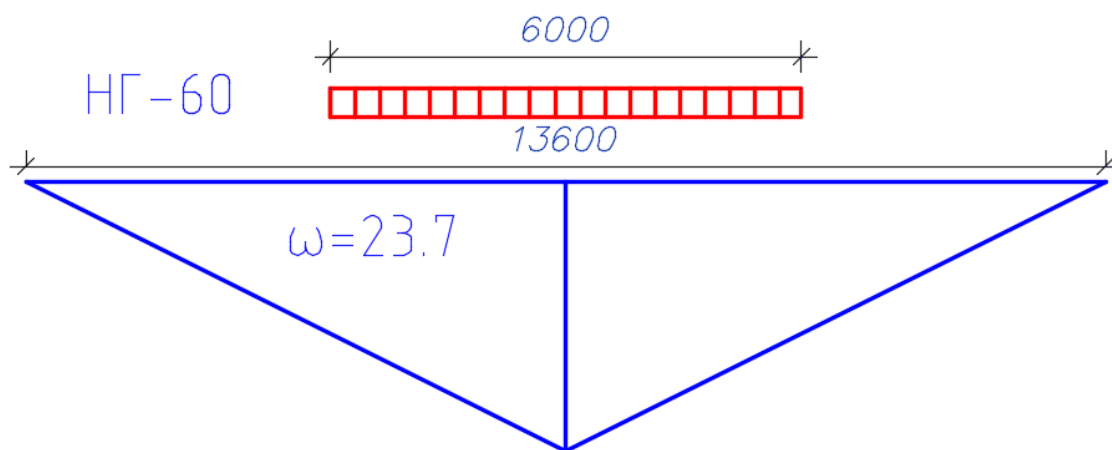


Рисунок 5.10 – Завантаження лінії впливу згинального моменту посередині прогону тимчасовим навантаженням НГ-60 (ординати збільшено в  $10^3$ )

Для визначення частки навантаження, що припадає на одну балку, будемо лінію впливу для балок в їх середньому перерізі поперек мосту. За лінію впливу визначаємо коефіцієнти поперечної установки (КПУ) для навантажень на балки. До розрахунку приймаємо балки, значення коефіцієнтів для яких є максимальним. Якщо очевидного максимального значення немає, можливим є розрахунок декількох балок.

Для збільшення точності розрахунку у порівнянні з визначенням вантажопідйомності, що приведено у розділі 2, будемо лінію впливу не методом позацентрального стиску, а скінчено-елементним моделюванням. Для цього в програмному комплексі створюємо тривимірну стрижневу модель за схемою «балковий ростверк» з урахуванням діафрагм, на завантажуюмо кожну балку в середньому перерізі довільним однаковим навантаженням, після чого знаходимо необхідні частки навантаження.

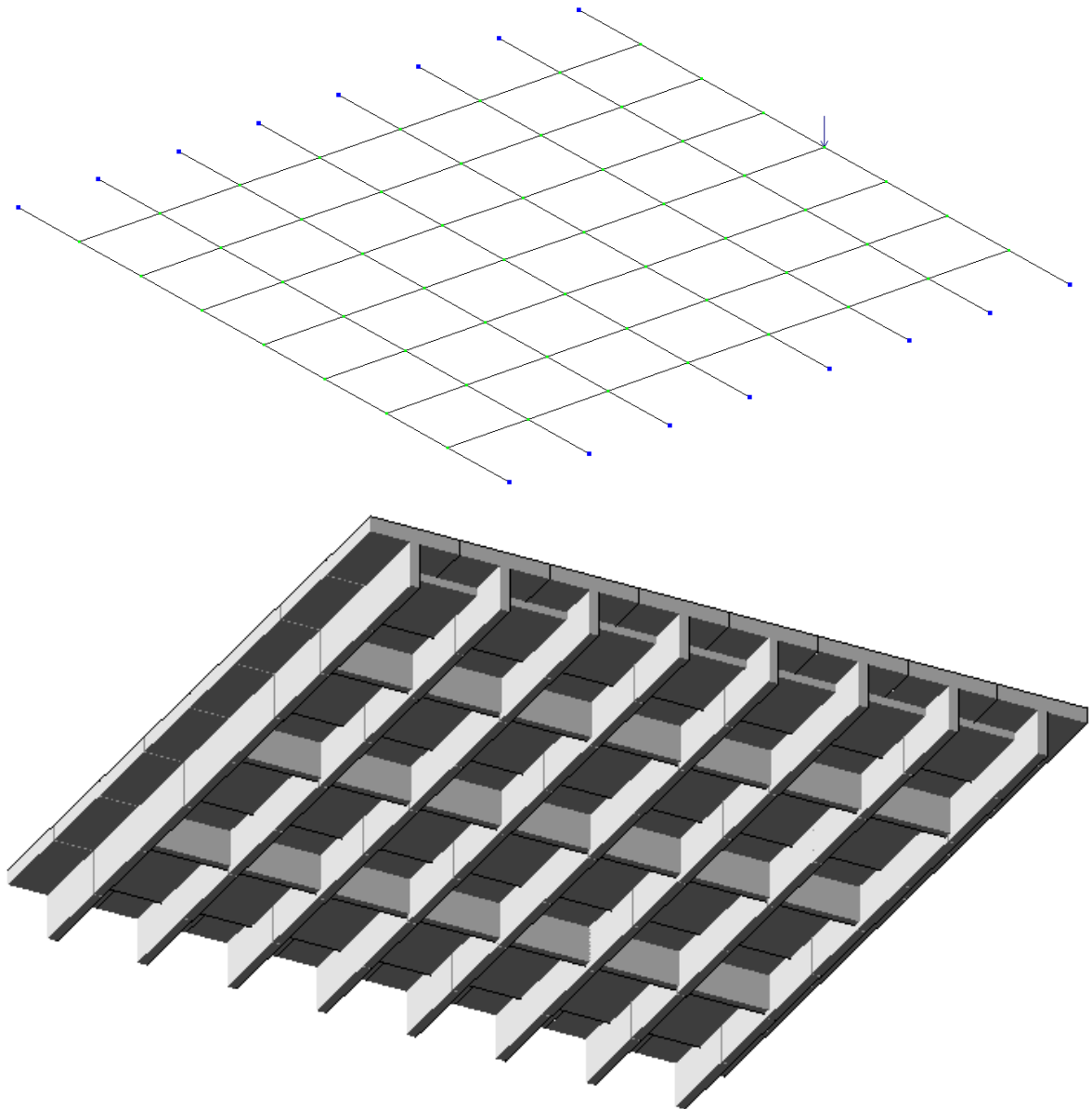


Рисунок 5.11 – Розрахункова схема прогонової будови з силою та з демонстрацією перерізів

Зусилля в різних балках від сили зведемо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Зусилля в балках від рухомої сили

Сила на	Зусилля в балці								Всього
	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7	Б8	
Б1	171	90.8	56	32.4	14.8	1.6	-9	-17.6	340
Б2	89.4	120	62.5	39.8	24.1	11.4	0.8	-8.2	339.8
Б3	55.2	62.1	101	51.3	34.2	22	11.5	2.4	339.7
Б4	32.3	39.6	51.2	94.8	48.5	34.1	24	15.4	339.9
Б5	15.4	24	34.1	48.5	94.8	51.2	39.6	32.3	339.9
Б6	2.4	11.5	22	34.2	51.3	101	51.3	55.2	328.9
Б7	-8.2	0.8	11.4	24.1	39.8	62.5	120	89.4	339.8
Б8	-17.6	-9	1.6	14.8	32.4	56	90.8	171	340

Поділивши зусилля в балці на сумарне зусилля в прогоновій будові, отримуємо частку зусилля в балці від сумарного зусилля при різних положеннях сили.

Таблиця 5.2 – Частка зусилля в балках

Сила на	Частка зусилля в балці								Всього
	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7	Б8	
Б1	0.503	0.267	0.165	0.095	0.044	0.005	-0.026	-0.052	1
Б2	0.263	0.353	0.184	0.117	0.071	0.034	0.002	-0.024	1
Б3	0.162	0.183	0.297	0.151	0.101	0.065	0.034	0.007	1
Б4	0.095	0.117	0.151	0.279	0.143	0.100	0.071	0.045	1
Б5	0.045	0.071	0.100	0.143	0.279	0.151	0.117	0.095	1
Б6	0.007	0.035	0.067	0.104	0.156	0.307	0.156	0.168	1
Б7	-0.024	0.002	0.034	0.071	0.117	0.184	0.353	0.263	1
Б8	-0.052	-0.026	0.005	0.044	0.095	0.165	0.267	0.503	1

Транспонуючи табл. 5.2 отримуємо ординати ліній впливу під відповідними балками.

Таблиця 5.3 – Ординати ліній впливу балок прогонової будови

Л.в. балки	Ордината лінії впливу під балкою							
	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7	Б8
Б1	0.503	0.263	0.162	0.095	0.045	0.007	-0.024	-0.052
Б2	0.267	0.353	0.183	0.117	0.071	0.035	0.002	-0.026
Б3	0.165	0.184	0.297	0.151	0.100	0.067	0.034	0.005
Б4	0.095	0.117	0.151	0.279	0.143	0.104	0.071	0.044
Б5	0.044	0.071	0.101	0.143	0.279	0.156	0.117	0.095
Б6	0.005	0.034	0.065	0.100	0.151	0.307	0.184	0.165
Б7	-0.026	0.002	0.034	0.071	0.117	0.156	0.353	0.267
Б8	-0.052	-0.024	0.007	0.045	0.095	0.168	0.263	0.503

За визначеними ординатами будують лінії впливу в поперечному напрямку для балок Б1-Б4, оскільки балки Б5-Б8 будуть симетричні. Розставивши навантаження поперек прогонової будови так, щоб отримати найневигодніше його положення, визначаємо ординати під колесами транспортних засобів і знаходимо КПУ для кожного навантаження.

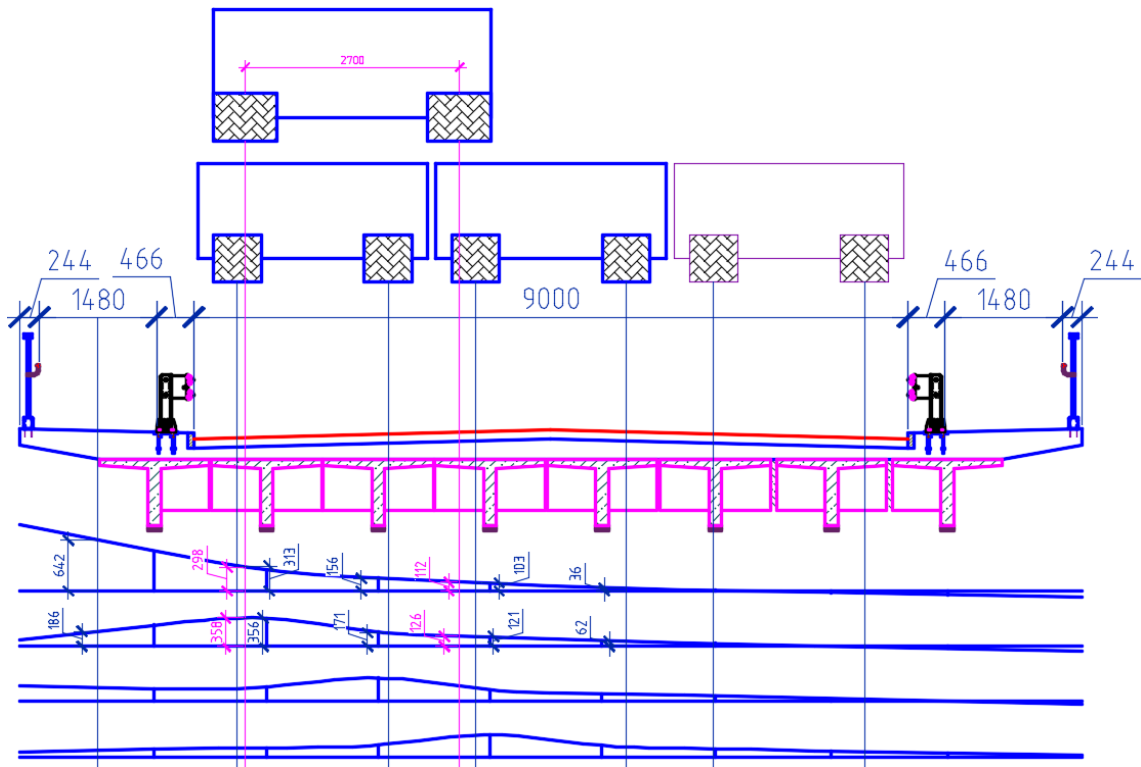


Рисунок 5.12 – Лінії впливу для балок Б1-Б4 прогонової будови та визначення ординат для тимчасових навантажень НК-80/НГ-60 та Н-30/Н-13.

Визначені ординати включасмо в розрахунок.

Розрахунок балок прогонової будови виконано в програмному комплексі MathCAD та приведено в додатку Б.

Для ремонту прогонової будови застосовано металеву незнімну опалубку з листів товщиною 4 мм для Балок Б1, Б2, Б7 і Б8. При цьому балки Б2-Б7 виявилися більше навантажені, ніж крайні балки. Таким чином, спочатку було виконано перевірку вантажопідйомності без урахування додаткових елементів. За її результатами можемо сформулювати наступні висновки:

- Крайні балки прогонової будови мають змогу витримувати навантаження Н-30, але мають обмеження у 75 тон по схемі навантаження НК-80;
- Середні балки мають обмеження за навантаженням Н-30 у 28 тон, і обмеження за навантаженням НК-80 у 58 тон. Але навантаження Н-13 і НГ-60 вони можуть пропускати без обмежень.

Таким чином цього достатньо для забезпечення несної здатності за проєктними навантаженнями, але не для її підвищення.

Для того ж, щоб прогонова будова мала змогу пропускати навантаження Н-30 і НК-80 достатньо використовувати передбачену незнімну опалубку товщиною 4 мм, що вступає в роботу з балкою разом з існуючою арматурою. Але необхідно встановлювати її не тільки на крайні, але і на середні балки.

## 6 АНАЛІЗ СУМІСНОЇ РОБОТИ БАЛОК З ЕЛЕМЕНТАМИ ПІДСИЛЕННЯ

В рамках проєкту було виконано комп'ютерне моделювання балки прогонової будови з метою чисельного визначення напружено-деформованого стану під час їх сумісної роботи.

Для побудови моделі було використано ПК ЛІРА-САПР. Модель являє собою об'ємне тіло, в якому залізобетонна балка представлена, як така, що зроблена з однорідного матеріалу, і виконана об'ємними скінченими елементами, а металева обойма підсилення – плоскими елементами. Через таке відображення моделі, некоректними будуть результати розтягуючих напружень у бетоні, адже в реальній складеній конструкції вони сприйматимуться робочою арматурою. Але в даному випадку, в навчальних цілях, вважатимемо такі неточності допустимими і розглядатимемо інші аспекти напружено-деформованого стану. Робочу арматуру умовно представимо двома стрижнями діаметром 5.77 см, що в сумі дадуть площу арматури згідно з типовим проєктом.

В рамках розрахунку проаналізуємо дві можливі робочі ситуації: проєктна робота конструкції, тобто наявність об'єднання між кожною точкою балки та обойми, а також варіант часткового розлагодження з'єднання, тобто не будемо враховувати полімерне об'єднання в прогоні балки, і передбачимо об'єднання лише за рахунок тяжів до стінки балки та дюбелів до нижньої грані балки. В навчальних цілях не враховуватимемо можливі деформації та тертя в місцях кріплень елементів.

У якості навантаження приймемо таке, що дає максимальне можливе зусилля з розрахунку балок – постійне навантаження на другу балку у вигляді рівномірного розподіленого по площі навантаження (26.4 кН/м, або 19,0 кН/м<sup>2</sup>), та навантаження НК-80. При чому НК-80 прийнято також у вигляді рівномірно розподіленого еквівалентного навантаження (27,8 кН/м, або 20.0 кН/м<sup>2</sup>).

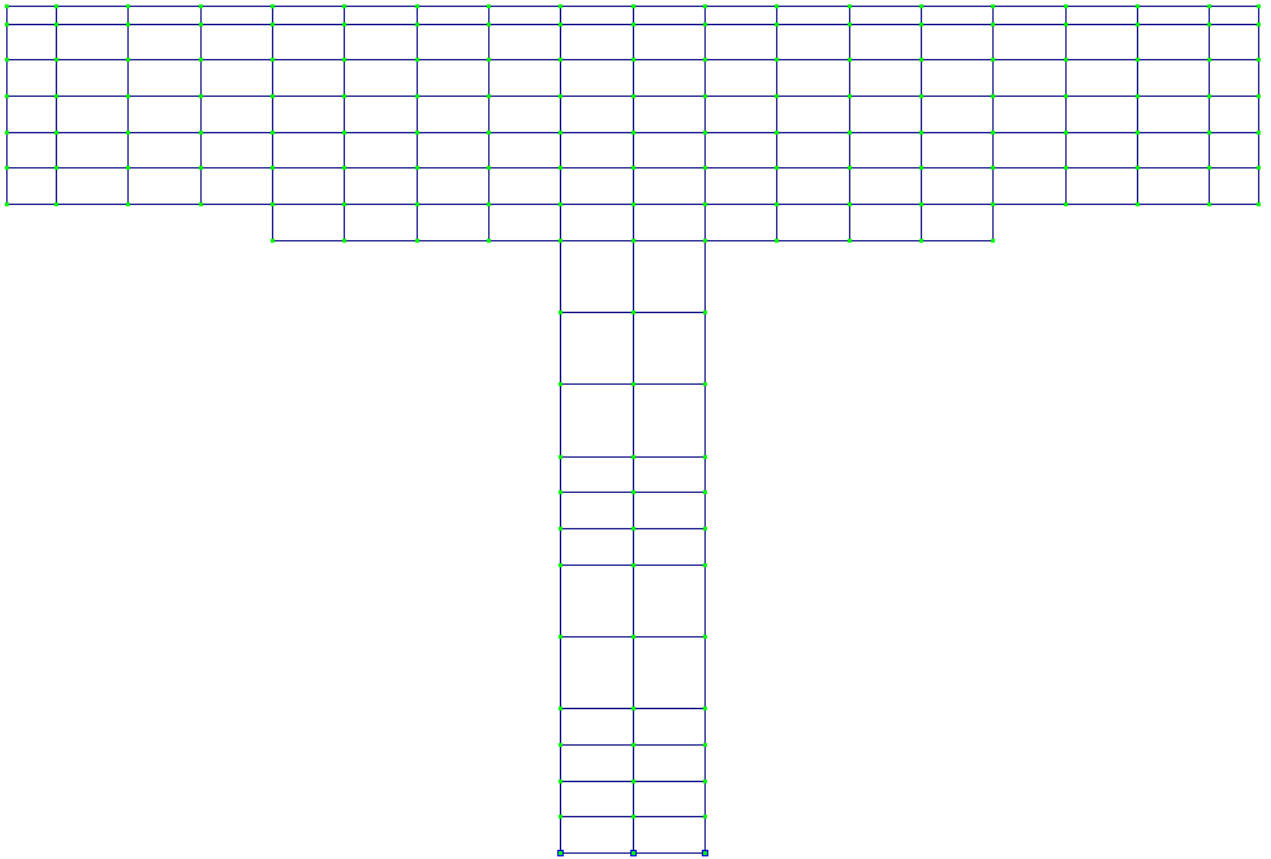


Рисунок 6.1 – переріз залізобетонної частини прогонової будови з розбиттям на елементи

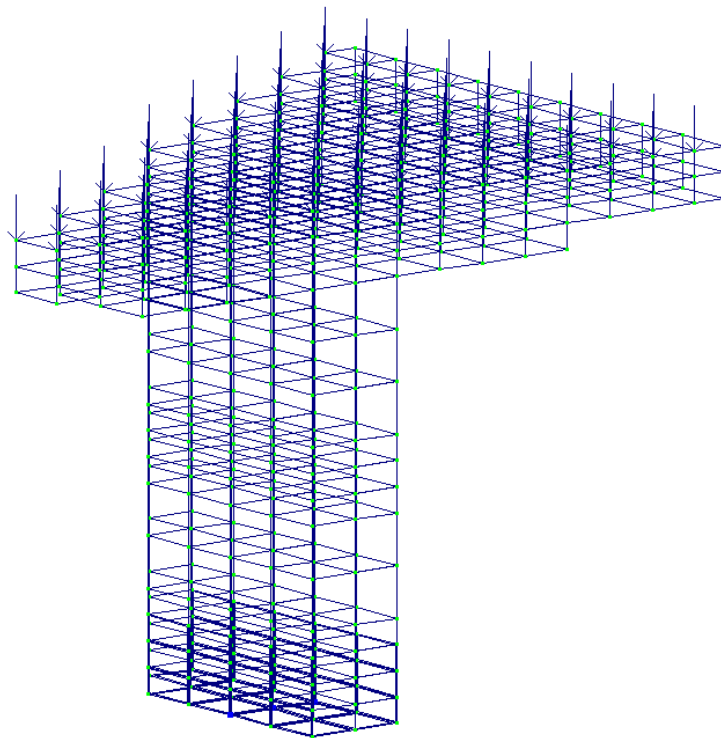


Рисунок 6.2 – Фрагмент навантаженої балки з металевою обоймою по низу ребра.

У зв'язку із жорстким з'єднанням обійми та бетону у першому випадку розрахунку, тяжі мінімально вступатимуть в роботу, тому, для спрощення моделі, тут їх не враховуємо.

Розрахунок за проєктною роботою приймемо за базовий розрахунок, з яким порівнюватимемо розрахунки за умов розладжування з'єднання. На нижчеприведених рисунках показано результати визначення напружено-деформованого стану прогонової будови.

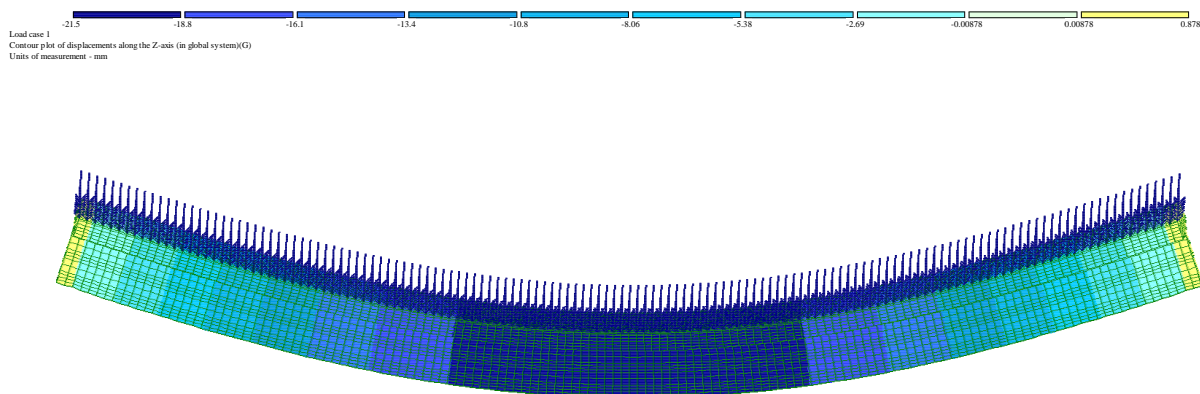


Рисунок 6.3 – Деформована схема прогонової будови з ізоплями вертикальних переміщень.

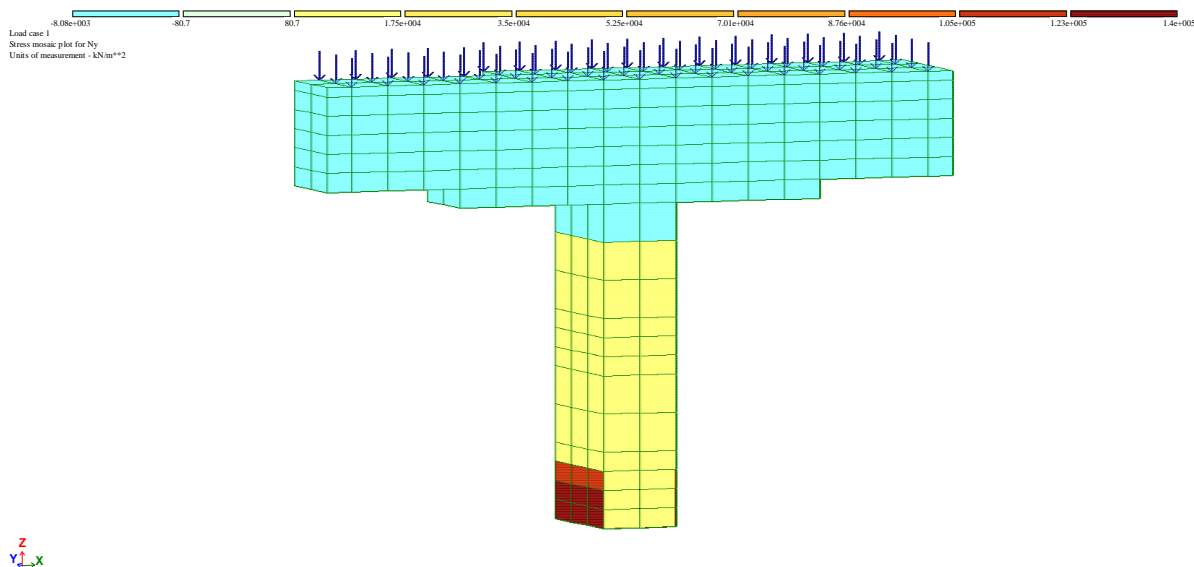


Рисунок 6.4 – Поздовжні нормальні напруження в перерізі балки посередині.

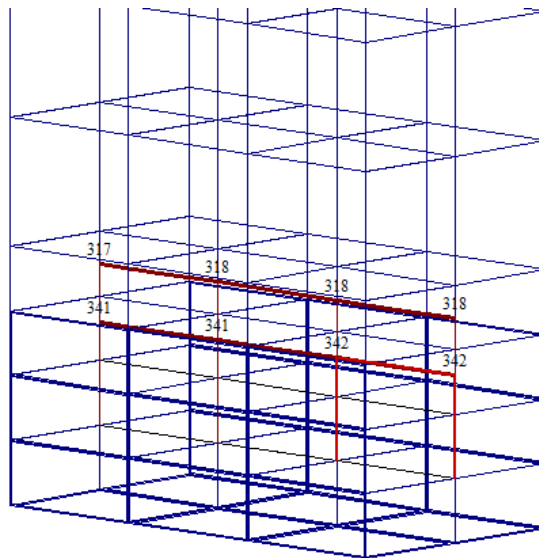


Рисунок 6.5 – Зусилля в робочій стрижневій арматурі. Сумарне зусилля відповідає середньому напруженню в арматурі у 126,3 МПа

На рисунку 6.4 зображено переріз балки (фрагмент) біля середини по довжині. На розподіленні нормальних напружень бачимо, що нормальні напруження в металевій обоймі складають близько 140 МПа, максимальні стискальні напруження в бетоні – 8.1 МПа. Що ми приймаємо за базові дані. При подальшому дослідженні прогонової будови бачимо, що прогонова будова працює в нормальному режимі і не має завеликих або сконцентрованих напружень. Для прикладу, на рис. 6.6 приведено дотичні напруження в балці.

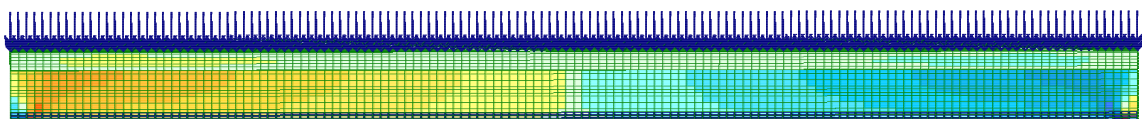
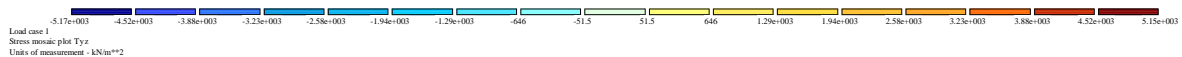


Рисунок 6.5 – Дотичні напруження в бетоні балки

Для випадку розрахунку з урахуванням розлагодження полімерного з'єднання, металеву обойму в першому випадку було закріплено на кінцях прогонової будови, оскільки біля опорних ділянок її розміри значно більше, і імовірність розлагодження з'єднання є меншою, а також закріплено в ребрі балці за допомогою тяжів, що було виконано стрижневими елементами.

Результати розрахунку за такою схемою наведено на рисунках 6.6-6.7.

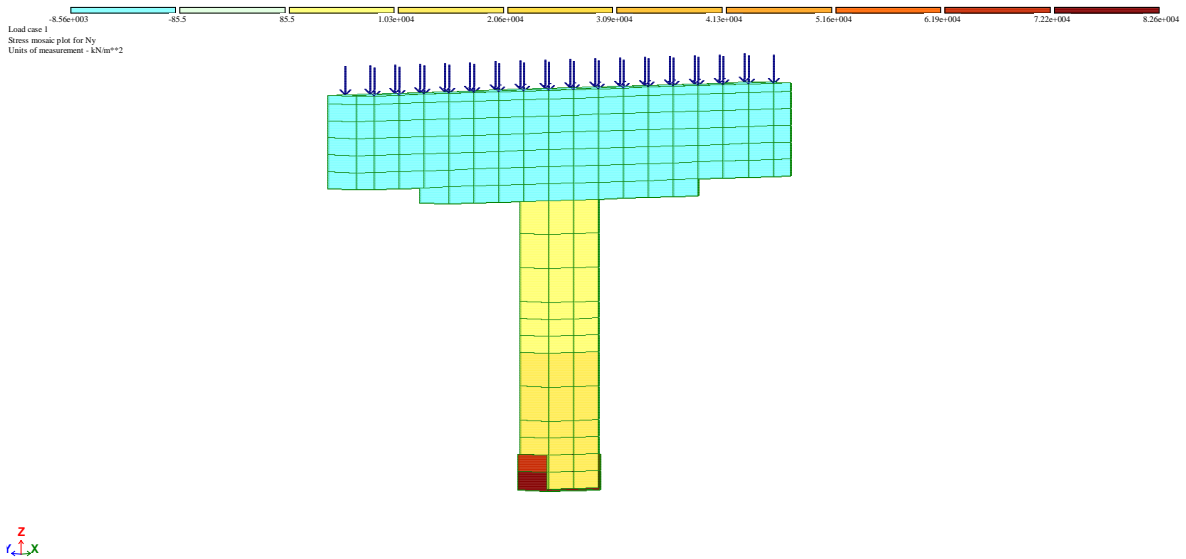


Рисунок 6.6 – Нормальні поздовжні напруження в бетоні та обоймі. Максимальні напруження в обоймі – 82,6 МПа, стискаючі напруження в бетоні – 8,6 МПа

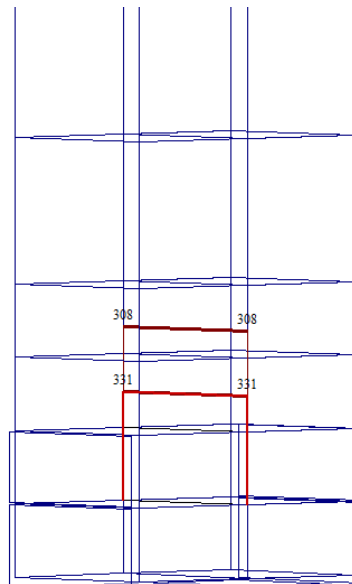


Рисунок 6.7 – Зусилля в робочій арматурі. Відповідають середньому напруженню в арматурі у 122,2 МПа

Таким чином, напруження в об'ємі в такому випадку менші, але розподіляються рівномірно по всій довжині балки, а не відповідно до епюри моментів. Це показує, що саме закріплення на кінцях балки, а не на тяжах є визначним і таким, що сприймає найбільші зусилля при даній конструкції.

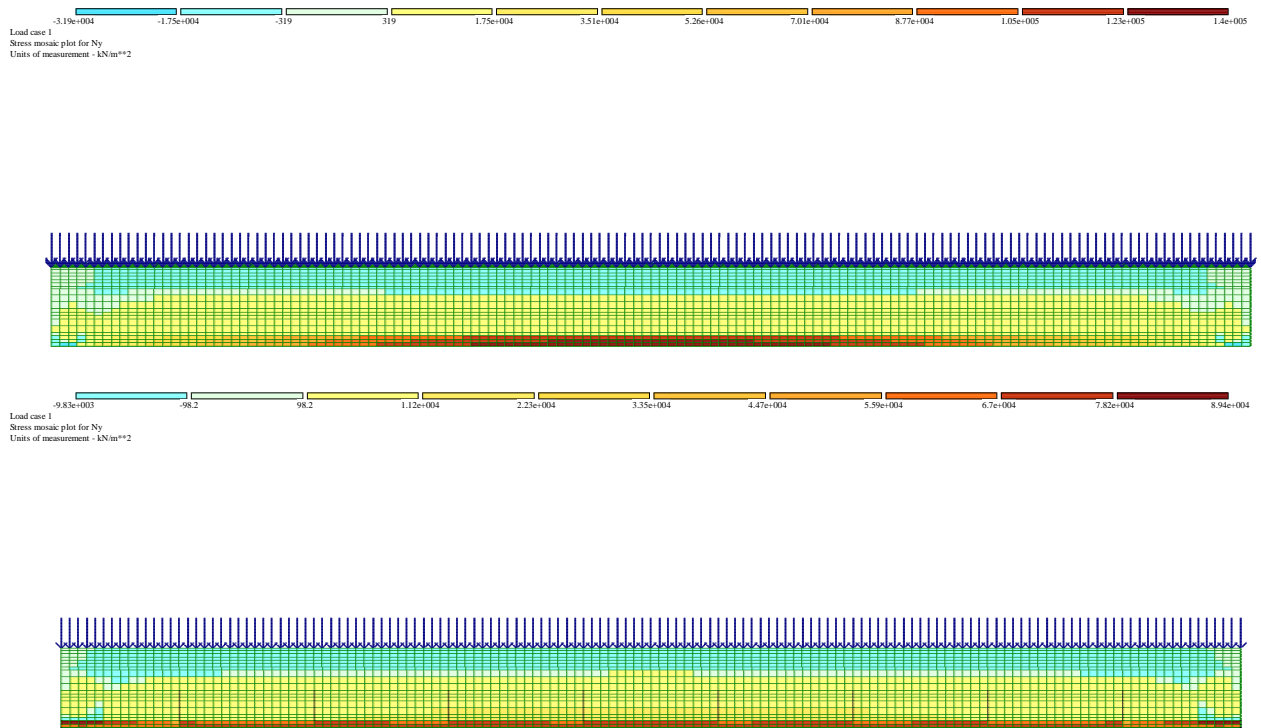


Рисунок 6.8 – Ізополя напружень для балки по першому та другому варіантах кріплення

Другий варіант розлагодженого з'єднання передбачимо за відсутності кріплення на торцях балки і використання виключно вертикальних тяжів. Результати за такою системою приведено на рисунках 6.9-6.10.

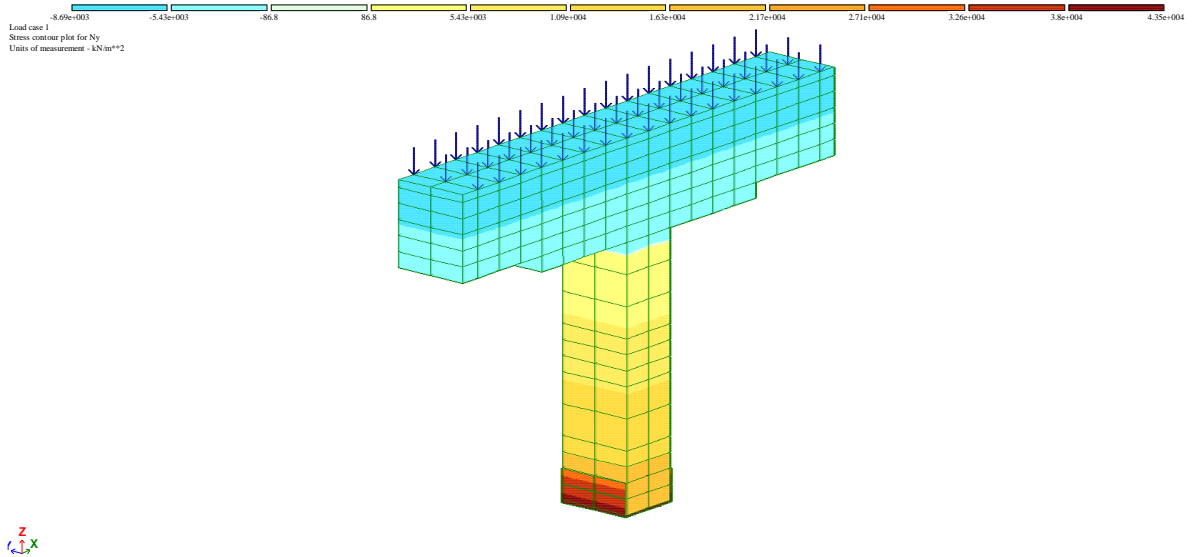


Рисунок 6.9 – Напружено-деформований стан перерізу в середині балки. Максимальне напруження в обіймі – 43.5 МПа, стискаюче в бетоні – 8,7 МПа

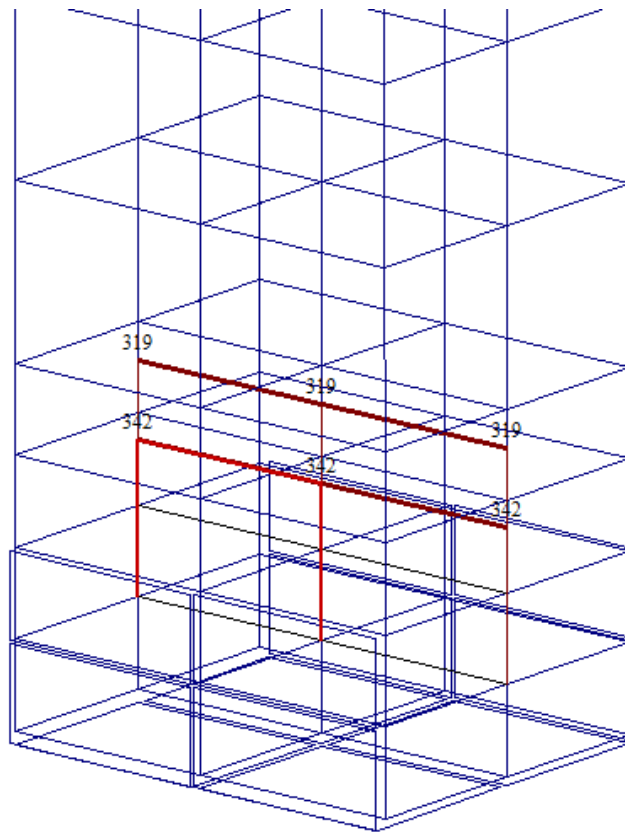


Рисунок 6.10 – Зусилля в робочій арматурі. Відповідає середньому напруженню в арматурі у 126,4 МПа

Таким чином, для даної конструкції металева обійма найменше вступає в роботу з балкою, а напруження по довжині розподіляються з поступовим збільшенням від опори до середини, але з концентрацією напружень в місцях

приєднання тяжів. Також наявні значні поздовжні з'єднання обойми відносно грані балки.

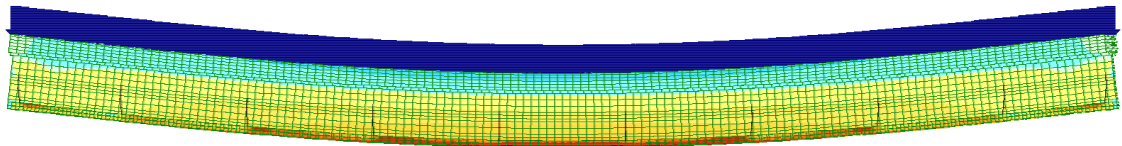


Рисунок 6.11 – Нормальні поздовжні навантаження в елементах балки

Крім вищенаведених особливостей НДС, за умови такої конструкції також виникають додаткові концентрації дотичних напружень в місцях приєднання тяжів до бетону стінки балки. Такі напруження не перевищують допустимі дотичні напруження для бетону, але з урахуванням фактичної конструкції кріплення тяжів до шпильок (не враховано в даній моделі), це може викликати розтяг в бетоні. Тож такі місця необхідно додатково прораховувати з урахуванням арматури ребра балки.

**Висновок.** В рамках моделювання прогонової будови з використанням методу скінчених елементів, було виконано порівняння роботи балки, що відремонтована та підсилена з використанням металеві обойми в рівні нижнього поясу. За результатами розрахунку було з'ясовано, що надійний контакт вздовж всієї нижньої грані балки є важливим для того, щоб НДС металевих листів в роботі з балкою було максимально наближене до такого в зовнішній арматурі. Режим сумісної роботи балки з обоймою за умови часткового або повного розлагодження з'єднання не є стандартними для залізобетонних конструкцій і потребують подальшого вивчення. Разом з тим, додаткові конструктивні рішення, наприклад, виконання тяжів попередньо напруженими для забезпечення фрикційного контакту між обоймою та балкою можуть позитивно вплинути на сумісну їх роботу.

## ВИСНОВОК

В даному дипломному проєкті було розглянуто автодорожній шляхопровід по вул. Лермонтова в м. Марганець. Міст за схемою 11.36+11.36+14.06+11.36 перетинає залізницю в двох середній прогонах. Всі прогонові будови складаються з восьми таврових залізобетонних балок зі стрижневою робочою арматурою за типовим проєктом вип. 56. Шляхопровід побудовано під навантаження Н-13 і НГ-60 та введено у експлуатацію у 1962 році.

Для даного шляхопроводу було виконано визначення стану мосту за вантажопідйомністю у відповідності до 9181:2022. За вантажопідйомністю балок, а також за сукупністю дефектів стан мосту прийнятий 5 – непрацездатний. У відповідності з завданням було розроблено три варіанти можливого капітального ремонту шляхопроводу та виконано їх техніко-економічне порівняння.

В рамках проєкту було розглянуто наступні варіанти:

1. Ремонт всіх існуючих конструкцій мосту – передбачено ремонт балок ремонтними сумішами і металевими обіймами з заповненням порожнин метилакрилатом, ремонт опор ремонтними сумішами та залізобетонною сорочкою. Проїзну частину передбачено виконати по монолітній залізобетонній об'єднуючій плиті, що вступає в сумісну роботу з балками.

2. Капітальний ремонт мосту за старою схемою, але із заміною балок прогонових будов на І-подібні попередньо-напружені залізобетонні балки. Ремонт опор передбачено ремонтними сумішами та залізобетонною сорочкою. Проїзну частину виконати по монолітній плиті, що об'єднується з балками за рахунок арматурних випусків.

3. Капітальний ремонт за новою схемою – передбачає демонтаж трьох середніх опор і будівництво двох нових з перекриттям отвору за схемою 7.61+33,0+7.61. Прогонові будові з І-подібних попередньо напружених залізобетонних балок. Стояни передбачено ремонтувати ремонтними сумішами. Проїзну частину виконати по монолітній плиті, що об'єднана з балками за рахунок арматурних випусків. На відміну від інших варіантів, в цьому, в

залежно від розрахунків, можливо підняти несну здатність мосту до А15 і НК-100.

Для першого варіанту, який було прийнято для подальшої розробки, було виконано проектування плити проїзду, що складається з існуючих консолей таврових плит та монолітної об'єднуючої плити, а також виконано розрахунок балок прогонової будови будови 14.06 м. За результатом розрахунку, для передбаченого проєкту, коли обіймою ремонтуються лише по дві крайні балки, прогонова будова може пропускати лише навантаження Н-13 і НГ-60, що є проєктним для мосту; але за умови такого ремонту для кожної балки, можливим є збільшення несної здатності до Н-30 і НК-80.

В рамках розробки варіанту було визначено, з використанням чисельних методів, напружено-деформований стан прогонової будови, підсиленої металевією обіймою по нижньому поясу, за різних умов роботи об'єднання обійми з бетоном балки. А саме: повністю робоче з'єднання, частково розлагоджене з'єднання та повністю розлагоджене з'єднання з об'єднанням елементів лише за допомогою тяжів. За результатами розрахунку, при повністю робочому з'єднанні обійма веде себе аналогічно звичайній арматурі; при розлагодженні ж з'єднання вона може вступати в роботу не повністю і змінювати очікуваний НДС, а також викликати концентрації напружень в місцях прикріплення тяжів. Натомість, в ситуаціях розлагодження з'єднання не було виявлено однозначно перевантажених елементів прогонової будови, що вказує на те, що така робота балки з об'єднанням не обов'язково веде до ризику руйнування та потребує подальших досліджень.

## 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. Основні вимоги проектування [Текст]: ДБН В.2.3-22:2009 / затв.: наказ Мінрегіонбуду України від 11.11.2009 № 484 / Мінрегіонбуд України. – К., 2009.

3. 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.

4. Споруди транспорту. Мости Автодорожні. Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]: ДСТУ 9181:2022 / затв.: наказ ДП «УкрНДНЦ» № 82 від 23 травня 2022 / ДП «УкрНДНЦ» – К., 2022, 32 с.

5. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ з визначення вантажопідйомності автодорожніх мостів [Текст]: МР В.2.3-37641918-921:2021 / ДП «ДерждорНДІ» – К., 2021, 48 с.

6. Н 106-53 Нормы подвижных вертикальных нагрузок для расчета искусственных сооружений на автомобильных дорогах

7. СН 200-62 Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов.

8. Примеры расчета железобетонных мостов [Текст] / Я. Д. Лившиц, М. М. Онищенко, А.А. Шкуратовский – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 263 с.

9. . ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво

10. ДБН В.2.3-20-2008. Мости та труби. Виконання та приймання робіт.

11. ДБН В.2.6-98-2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення
12. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 56. Пролётные строения железобетонные сборные с каркасной арматурой периодического профиля, 1958 – 56 с.
13. 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. 4.1: Залізобетонні мости і труби-2012, - 434с.
14. 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.
15. Лучко Й. Й. Конструкції будівель і споруд : Підручник / Лучко Й.Й., Назаревич Б.Л., Ковальчук В.В. – Львів : Каменяр , 2018 – 745 с.
16. Конспект лекцій з дисципліни «Залізобетонні та кам'яні конструкції» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної і заочної форми навчання. Частина 1 / . – Тернопіль : ТНТУ , 2018 – 221 с. – Режим доступу: <https://koha.tntu.edu.ua/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=325051>
17. Распопов О.С. Техніко-економічне порівняння варіантів залізобетонного моста. Методичні вказівки для курсового та дипломного проектування ( О.С. Распопов., В.Е.Артёмов., М.М. Попович.-Д.:2010.-23с.
18. 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.
19. Технічний каталог ТОВ «3 Бетони» [електронний ресурс] – режим доступу: [https://3betony.com.ua/upload/katalog\\_2012.pdf](https://3betony.com.ua/upload/katalog_2012.pdf)
20. Мостові балки «Обербетон» [електронний ресурс] – режим доступу: <https://oberbeton.ua/uk/%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%96-%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D0%BA%D0%B8/>