

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту**  
**імені академіка В. Лазаряна**

---

Кафедра «Мости і тунелі»

До захисту:

Завідувач кафедри МТ

\_\_\_\_\_ О. Л. Тютюкін

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

на здобуття ОС «магістр»

Галузь знань                      19 «Архітектура та будівництво»

Спеціальність                192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Спеціалізація                «Мости і транспортні тунелі»

Тема: «Обґрунтування раціональних рішень при реконструкції балкового  
залізобетонного автомобільного мосту»

Theme: “Substantiation of rational decisions at reconstruction of a beam reinforced  
concrete automobile bridge”

Керівник магістерської  
роботи

Д.т.н., доц.

(посада)

(підпис)

Тютюкін О.Л.

(ПІБ)

Консультант розділу з  
БЖД

Д.т.н., проф.

(посада)

(підпис)

Заяць Ю.Л.

(ПІБ)

Нормоконтролер

Асистент

(посада)

(підпис)

Овчинников П.А.

(ПІБ)

Виконавець, студент  
групи МТ1721

Процик В.В.

(ПІБ)

Student

(підпис)

Protsyk Volodymyr

2020

|  |    |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК .....   | 5  |
| ВСТУП .....  | 6  |
| 1 ОПИС МОСТУ ЧЕРЕЗ РІЧКУ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ .....   | 8  |
| 1.1 Загальні відомості .....   | 9  |
| 1.2 Мостове полотно, перильне та бар'єрне огороження .....   | 7  |
| 1.3 Прогонові будови .....   | 9  |
| 1.4 Опори та опорні частини .....  | 11 |
| 1.5 Підходи та регуляційні споруди .....   | 13 |
| 1.6 Дефекти та ушкодження в результаті теракту .....   | 14 |
| 1.7 Дефекти, що зафіксовані при обстеженні .....   | 15 |
| 2 РОЗРОБКА ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ<br>ВАРІАНТІВ РЕКОНСТРУКЦІЇ МОСТУ .....                       | 27 |
| 2.1 Варіант 1 .....  | 27 |
| 2.2 Варіант 2 .....  | 28 |
| 2.3 Варіант 3 .....  | 30 |
| 3 РОЗРАХУНОК ПЛИТИ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ .....  | 33 |
| 3.1 Визначення зусиль в плиті .....  | 33 |
| 3.2 Розрахунок плити проїзної частини на міцність на стадії<br>експлуатації по згинальному моменту ..... | 42 |
| 3.3 Розрахунок тріщиностійкості плити проїзної частини .....   | 45 |
| 3.4 Розрахунок плити проїзної частини на витривалість .....  | 47 |
| 4 ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ В БАЛКАХ АНАЛІТИЧНИМ<br>МЕТОДОМ .....  | 51 |
| 4.1. Визначення КІР різними методами .....   | 53 |
| 4.2. Визначення інтенсивності постійних навантажень .....  | 64 |
| 4.3. Визначення інтенсивності тимчасових навантажень .....   | 65 |

|               |      |            |        |      |                        |                      |      |         |  |
|---------------|------|------------|--------|------|------------------------|----------------------|------|---------|--|
|               |      |            |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 |                      |      |         |  |
|               |      |            |        |      |                        |                      |      |         |  |
| Змн.          | Лист | № докум.   | Підпис | Дата |                        |                      |      |         |  |
| Розробив      |      | Процик В.В |        |      | Зміст                  | Літ.                 | Арк. | Аркушів |  |
| Керівник      |      | Гуцько О.Ю |        |      |                        |                      |      |         |  |
| Керів.розділу |      |            |        |      |                        |                      |      |         |  |
| Консульт.     |      | Овчинников |        |      |                        | ДНУЗТ, група 8МТ1926 |      |         |  |
| Н.контроль    |      | Овчинников |        |      |                        |                      |      |         |  |
|               |      |            |        |      |                        |                      |      |         |  |

|  |     |
|--|-----|
| 4.4. Визначення згинального моменту в середині балки прогонової будови від постійних навантажень. ....             | 67  |
| 4.5. Визначення згинального моменту в середині балки прогонової будови від тимчасових навантажень. ....            | 67  |
| 4.6. Визначення згинального моменту в середині двох крайніх балок прогонової будови від сумарних навантажень ..... | 75  |
| 5 ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ В БАЛКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ПК «ЛПРА» .....  | 76  |
| 6 ПОРІВНЯННЯ ЗНАЧЕНЬ ЗГИНАЛЬНИХ МОМЕНТІВ ВИЗНАЧЕНИХ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ .....   | 87  |
| 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ.....   | 90  |
| 7.1. Охорона праці під час виконання робіт з заміни мостових прогонових будов.....                                 | 90  |
| 7.2. Дії працівників в аварійних ситуаціях .....   | 99  |
| ВИСНОВКИ .....   | 101 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....  | 102 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК

Обстеження – це процес здобуття якісних і кількісних показників експлуатаційної придатності споруди шляхом візуального огляду, інструментальних випробувань і обчислень в натурі і в лабораторії [1].

Габарит проїзду (ширина проїзду) – ширина мостового полотна, призначена для розміщення на ній проїзної частини та смуг безпеки. (ДБН 2009) [2].

Довжина мосту – відстань по осі мосту між точками перетину ліній, що з'єднують кінці відкритків стоянів з віссю споруди. Для окремих розрахунків, що використовують показник довжини мосту приймається за методикою цих розрахунків [1].

Реконструкція – комплекс будівельно-монтажних робіт, спрямованих на відновлення або перебудову моста з наданням йому потрібних експлуатаційних характеристик [2].

Граничні стани І групи – стани, що призводять до повної непридатності до експлуатації конструкцій, основ або втрати несної спроможності споруди в цілому [2].

КПР – коефіцієнт поперечного розподілу від тимчасового навантаження на балки прогонової будови.

$\gamma_f$  – коефіцієнт надійності за навантаженням.

$(1 + \mu)$  – коефіцієнт динаміки – безрозмірний коефіцієнт, який враховує ефект динамічного впливу тимчасових рухомих навантажень. [2].

А/Б – асфальтобетонне покриття.

ПК – програмний комплекс.

|               |      |              |        |      |                             |                      |  |      |  |         |  |
|---------------|------|--------------|--------|------|-----------------------------|----------------------|--|------|--|---------|--|
|               |      |              |        |      | 011.196102.ДР.2020.000      |                      |  |      |  |         |  |
|               |      |              |        |      |                             |                      |  |      |  |         |  |
| Змн.          | Лист | № докум.     | Підпис | Дата |                             |                      |  |      |  |         |  |
| Розробив      |      | Процик В.В   |        |      | ПЕРЕЛІК УМОВНИХ<br>ПОЗНАЧОК | Літ.                 |  | Арк. |  | Аркушів |  |
| Керівник      |      | Тютюкін О.Л. |        |      |                             |                      |  |      |  |         |  |
| Керів.розділу |      |              |        |      |                             | ДНУЗТ, група 8МТ1926 |  |      |  |         |  |
| Консульт.     |      | Овчинников   |        |      |                             |                      |  |      |  |         |  |
| Н.контроль    |      | Овчинников   |        |      |                             |                      |  |      |  |         |  |
|               |      |              |        |      |                             |                      |  |      |  |         |  |

## ВСТУП

За останні роки проблема реконструкції отримала найбільшу значимість, особливо для мостів шляхопроводів розташованих на магістральних дорогах. Більшість споруд побудованих в 50 - 60 роки, не відповідають сучасним нормам проектування і існуючим реальним навантаженням від автомобільного транспорту. [25]

Головне завдання реконструкції – дати штучній споруді новий термін служби з урахуванням комфортних умов руху сучасного транспорту. Ідеальним варіантом реконструкції є доведення всіх без винятку його параметрів до умов сучасних норм. [25]

Реконструкція включає розширення моста з посиленням і без нього. Усе залежить від конкретних завдань реконструкції та економічних чинників.

Під реконструкцією розуміють підвищення якості споруди (зміна геометричних параметрів та несучої здатності). Причиною реконструкції найчастіше є моральний знос конструкції. Фізичний знос – зниження з часом вантажопідйомності, довговічності і надійності внаслідок впливу зовнішніх факторів. Усувається під час ремонту шляхом відновлення дефектних елементів або заміною їх новими.

Конструкція вважається морально зношеною, якщо перестає відповідати вимогам до несучої і пропускної здатності. Моральний знос, як правило, настає раніше фізичного, зазвичай через 15 – 20 років. Це обумовлено зростанням ваги, інтенсивності і габаритних розмірів автомобільних навантажень, а також внесенням відповідних змін до нормативних документів. [25]

За даними Міністерства інфраструктури України в Україні всього близько 16 тис. мостів, з яких в аварійному стані перебуває 9 тис. На жаль, це величезна проблема для нашої країни, яка потребує негайного вирішення. Для

|               |              |          |        |      |                        |                      |      |         |
|---------------|--------------|----------|--------|------|------------------------|----------------------|------|---------|
|               |              |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 |                      |      |         |
| Змн.          | Лист         | № докум. | Підпис | Дата |                        |                      |      |         |
| Розробив      | Процик В.В   |          |        |      | Вступ                  | Літ.                 | Арк. | Аркушів |
| Керівник      | Тютюкін О.Л. |          |        |      |                        |                      |      |         |
| Керів.розділу |              |          |        |      |                        |                      |      |         |
| Консульт.     | Овчинников   |          |        |      |                        |                      |      |         |
| Н.контроль    | Овчинников   |          |        |      |                        | ДНУЗТ, група 8МТ1926 |      |         |

вирішення цієї гострої проблеми необхідні значні кошти, які держава на жаль не може виділити одразу. Якщо говорити про великі мости, наприклад, як у Києві через Дніпро, то капітальний ремонт може коштувати близько 1 млрд грн. Цю цифру не потрібно множити на 9 тис. мостів, тому що є невеликі мости, вони вимагають значно менших інвестицій, щоб привести їх в порядок. Але це має бути постійний потік грошей, щорічний, щоб мости ремонтувалися.

На жаль мости опиняються в аварійному стані не лише через фактори природнього зносу, а й через пошкодження або руйнування внаслідок терористичних актів на сході країни, в зоні бойових дій.

Для відновлення таких мостів залучаються спеціалісти Державної спеціальної служби транспорту Міністерства оборони України.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 7    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## 1 ОПИС МОСТУ ЧЕРЕЗ РІЧКУ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ

Міст побудовано у 1986 році.

Проведення попередніх обстежень відбувалось у 2007 та 2014 роках і вони носили різний характер. Обстеження 2007 року було виконано співробітниками ТОВ "ВП Мост-1" (м. Донецьк) з метою складання паспорту даної штучної споруди, в той час як у 2014 році причиною необхідності обстеження було пошкодження від вибуху несучих конструкцій моста (підірвані три опори та три прогонові будови ) внаслідок терористичного акту. Через припинення руху по даному напрямку необхідно було надати рекомендації по тимчасовому відкриттю руху автотранспорту. Цю роботу виконували та надавали рекомендації співробітники Державного дорожнього науково-дослідного інституту імені М.П.Шульгіна у листопаді 2014 року.

Останнє обстеження було виконане у липні місяці 2016 року від співробітниками галузевої науково-дослідної лабораторій Штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад.В Лазаряна.

При обстеженні прийнята така система позначення елементів моста:

- нумерація опор прийнята з лівого берега до правого – №1, №2, №10;
- прогони моста відповідно позначаються двома послідовними номерами опор на які вони спираються: №1-2, №2-3, ..., №9-10;
- нумерація балок прогонових будов прийнята з верхової сторони – Б1, Б2, ..., Б11;
- нумерація стійок проміжних опор також з верхової сторони – С1, С2, ..., С9 (всі стійки є парними за винятком стійки С1, яка відноситься до льодорізу). ).

|               |              |          |        |      |  |                      |      |         |
|---------------|--------------|----------|--------|------|--|----------------------|------|---------|
|               |              |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000                                   |                      |      |         |
| Змн.          | Лист         | № докум. | Підпис | Дата |  |                      |      |         |
| Розробив      | Процик В.В   |          |        |      | Розділ №1<br>Опис мосту через річку<br>Сіверський Донець | Літ.                 | Арк. | Аркушів |
| Керівник      | Тют'кін О.Л. |          |        |      |  |                      |      |         |
| Керів.розділу |              |          |        |      |  | ДНУЗТ, група 8МТ1926 |      |         |
| Консульт.     | Овчинников   |          |        |      |  |                      |      |         |
| Н.контроль    | Овчинников   |          |        |      |  |                      |      |         |

– Додаткові три палі з верхової сторони перед кожною опорою призначені виконувати роль корчовідбійників (їх позначено літерою та цифрою номера опори, наприклад – К2).

### 1.1 Загальні відомості

Міст через р. Сіверський Донець біля м. Новодружеськ розташований на автомобільній дорозі Т-13-02 на перегоні КПП “Танюшівка”- Старобільськ-Артемівськ.

Міст має наступну схему 9х12,0 м. Повна довжина моста за станом до початку бойових дій – 108,9 м. На момент обстеження повною довжиною можна вважати відстань від опори №1 до опори №7 (це та частина моста яка може без перешкод виконувати свої функції). Габарит проїзної частини Г-8+2×1,25 м.

Всі прогонові будови складаються з 11-ти розрізних плитних балок за типовим проектом ВТП-21 з поздовжніми пустотами (дві пустоти на кожній балці) циліндричної форми. Розрахунковий прогін складає 11,4 м. Розрахункові навантаження Н-30 та НК-80.

Ремонтні роботи на мосту проводились у 2007 році (проїзна частина, тротуари, перильне огородження, бар’єрне огородження) та у 2014 році (засипка двох опор та двох прогонових будов).

Загальний вид моста наведено на рисунках 1.1, 1.2, 1.3.



|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 9    |



Рисунок 1.1 – Вид на міст з верхової сторони.



Рисунок 1.2 – Вид на міст з низової сторони



Рисунок 1.3 – Вид на міст по проїзній частині

## 1.2 Мостове полотно, перильне та бар'єрне огороження

Проїзна частина моста виконана по типовому проекту ВТП-21, з гідроізоляцією з декількох шарів бітуму та скловолокна із стічним трикутником загальною товщиною покриття 15 см.

Водовідвідні трубки не встановлені, оскільки водовідвід з проїзної частини моста здійснюється за допомогою повздовжнього і поперечного ухилів покриття.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 7    |



Деформаційні шви закритого типу перекриті металевою стрічкою шириною 120мм.

Перила – металеві секційні (на кожній прогоновій будові 6 секцій), із заповненням перильних секцій решіткою із металевих стержнів висотою 1,10 м. Бар'єрне огороження проїзної частини виконане у вигляді металевої профільної стрічки, влаштованої на металевих стовпчиках із труб висотою 65см. різного діаметру.

Ширина тротуарів складає 2х1,25 м. Покриття на тротуарах – асфальтобетон.

Мостове полотно, перильне та бар'єрне огороження показані на рисунках 1.4, 1.5.



Рисунок 1.4 – Проїзна частина (покриття), бар'єрне огороження, перила.



|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 8    |

## Рисунок 1.5 – Бар’єрне огородження, перила

### 1.3 Прогонові будови

На мосту встановлені однотипні прогонові будови плитної конструкції (всього 99 балок) за схемою 9х12,0 м. Прогонова будова має повну довжину 12.0м., а у поперечному перерізі складається з 11-ти розрізних балок з поздовжніми пустотами циліндричної форми. Балки виготовлені відповідно до типового проекту ВТП-21 і розраховані на навантаження Н-30 та НК-80.

Балки мають висоту 0,6 м. та ширину 0,98 м. Поперечна жорсткість прогонової будови забезпечується шляхом включення балок у сумісну роботу за допомогою шпонкових з’єднань.

Балки армовані попередньо - напруженою стержневою арматурою періодичного профілю класу А-IV, А-V.

Вигляд на балки показаний на рисунках 1.6-1.8.



Рисунок 1.6 – Вид на балки прогонової будови знизу.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |





Рисунок 1.7 – Поперечний переріз балки прогонової будови (над балкою бетон проїзної частини товщиною 15см).

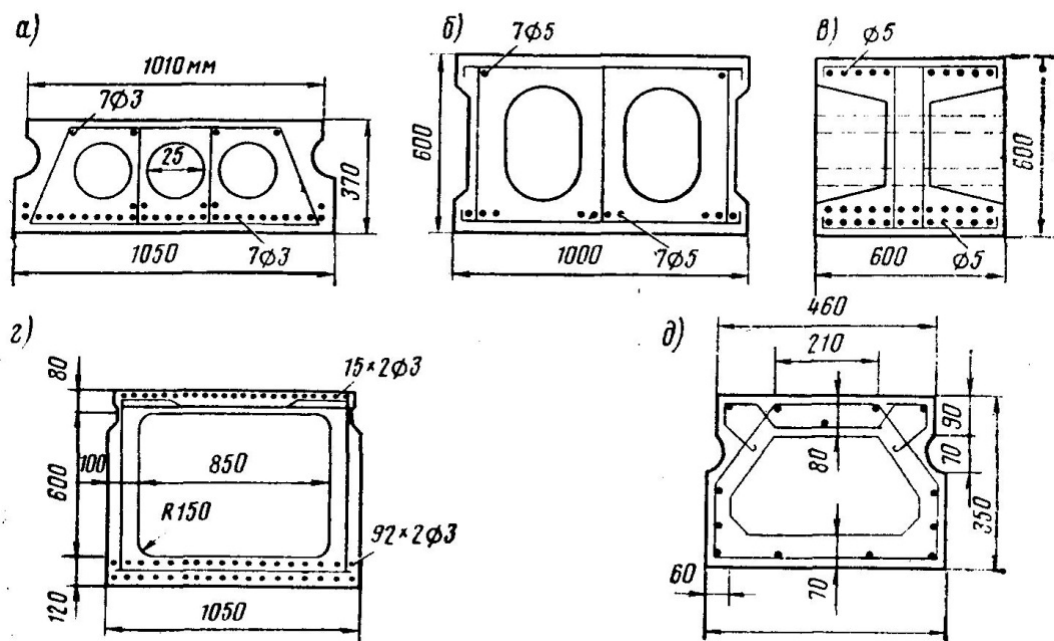


Рисунок 1.8 – Поперечний переріз балок прогонових будов (тип б).

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 10   |

Дані балки відносяться до типу плитних прогонових будов. Існує декілька типів таких балок з різним поперечним перерізом. На даному мосту встановлені балки типу, що зображений на рисунку 1.8 б.

#### 1.4 Опори та опорні частини

Опори моста як проміжні так і кінцеві пальові двохрядні. Палі об'єднані поверху збірною залізобетонною насадкою (ригель). Палі розташовані у два ряди (у кожному ряду влаштовано 8 паль з кроком 1,4 – 1,7 м.). З верхової сторони встановлена одиночна паля для можливості влаштування льодорізної частини. Таким чином опора має 17 паль. Палі типового перерізу 35х35 см. Залізобетонна насадка має розміри 50х150х1310 см. З верхової сторони насадка має бетонний упор на довжині 140см., а з низової – на довжині 68см.



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд опори з верхової сторони.

Вигляд на балки показаний на рисунках 1.10, 1.11.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 11   |





Рисунок 1.10 – Льодорізна частина опори та корчовідбійник.



Рисунок 1.11 – Конструкція опори без металевої «сорочки» (ригель, стійки).

В зв'язку інтенсивним льодоходом та корчеходом опори обладнані заходами безпеки. З верхової сторони перед кожною опорою влаштовано льодоріз (корчовідбійник), що складається з 3-х паль перерізом 35х35см, об'єднаних поверху насадкою. Сама опора має з верхової сторони льодорізню призму та повністю обшита металевою «сорочкою» (лист окантований



кутиками знизу та зверху). Кутики мають різний розмір 200х200х18мм та 100х100х10мм.

Фундаменти опор глибокого закладання на забивних палях того ж перерізу, що і стійки.

Берегові опори (№1, №10) повністю занурені в насипи підходів. Конструктивно вони пальові дворядні. Поперечний переріз залізобетонної насадки аналогічний як і на проміжних опорах, але довжина становить 1100 см.

Опорні частини на мосту відсутні. Вочевидь балки встановлені на прокладки з звичайного толю.

### 1.5 Підходи та регуляційні споруди

Регуляційні споруди на підходах відсутні. Зі сторони КПП «Танюшівка» є лоток. Підходи до моста розташовані на ухилах в сторону моста. Закріплення конусів і ділянок, що примикають до конусів насипу, виконано каменем. Насип закріплена посівом трав.

Сполучення підходів з крайніми балками прогонових будов виконано залізобетонними перехідними плитами, що укладені на шар гравійно-піщаної суміші. Перехідні плити мають довжину 6м.

Підходи до мосту показані на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Підходи до мосту

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 13   |

## 1.6 Дефекти та ушкодження в результаті теракту

Загальна картина руйнувань внаслідок терористичного акту наведена на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Загальна картина руйнувань після вибуху.

Характер руйнувань від вибуху на момент обстеження можна дослідити тільки на опорі №8 та на прогоновій будові № 7-8. На момент обстеження зруйновані опори №9 та №10, а також прогони №10-9, №9-8 засипані. В результаті вибуху на опорі №8 зруйновані повністю 10 з 18-ти стійок та ригель. На прогоновій будові 7-8 зруйновано три балки. Ригель має наскрізні тріщини в бетоні, околиці частин тіла бетону і не є суцільним монолітним елементом опори. Таким чином опора №8 повинна розглядатись як така, що повністю втратила несучу здатність і підлягає демонтажу. Також підлягають демонтажу три балки прогонової будови №7-8 (Б3, Б4, Б5) на яких відмічені сколи значних частин бетону, оголення та втрата зчеплення з бетоном робочої поперечно-напруженої арматури, провисання балок.

Міст був відновлений як тимчасовий силами МЦШР ДСНС України (м. Ромни, Сумська обл.). Для здійснення будівельних робіт щодо відновлення було повністю засипано прогони №8-9, №9-10. За опорою №8 для утримання

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 14   |



насипу підходів були влаштовані забірні стінки із старих будівельних залізобетонних конструкцій, а перед нею – страхуючі конструкції із збірних мостових балок вип. ВТП-21. Для включення в сумісну роботу прогонової будови разом з дублюючою опорою, через наскрізні отвори в балках був укладений монолітний бетон до рівня нижньої грані балок прогону №7-8. Обстеження показало, що дублюючі конструкції опори №8 не включені в роботу з прогоновою будовою.

#### 1.7 Дефекти, що зафіксовані при обстеженні

##### Мостове полотно

Візуальне обстеження мостового полотна дозволило виявити основні дефекти, які є наслідком експлуатації і які, хоча і незначно, але впливають на довговічність моста. До них можна віднести:

- тріщини розкриттям до 7-8мм. в асфальтобетонному покритті в місцях влаштування деформаційних швів;
  - окремі тріщини різного розкриття в асфальтобетонному покритті на всіх прогонах;
  - локальні вибоїни в асфальтобетонному покритті глибиною до 3...4 см.
- корозія металевого листа перекриття деформаційного шва.

Дефекті мостового полотна показані на рисунку 1.14.



Рисунок 1.14 – Тріщини в покритті по деформаційних швах та по інших ділянках

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 15   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## Прогонові будови

Обстеження стану балок прогонових будов виконувалось з плавучих засобів (надувний човен), а тому дозволило дослідити стан кожної балки. Загальна оцінка стану балок у прогонах № 1-2.....№ 6-7 можна вважати хорошим, оскільки балки мають вилуговування у більшості випадків тільки по швах. Утворення сталактитів (див. рис. 1.15-1.18) зафіксовано в прольоті № 2-3 і незначне в інших прольотах, це пов'язано з тим, що з часом значно погіршився стан гідроізоляції.



Рисунок 1.15 – Вилуговування по торцях крайніх балок в результаті відводу води за рахунок поперечного ухилу проїзної частини.

Значних околів, тріщин, порушень захисного шару не зафіксовано. Це дає підстави для використання даних балок при капітальному ремонті або реконструкції інших мостів. Таких балок налічується 74 (6х11+8). У прогоні № 7-8 в результаті вибуху деформовані три балки Б3, Б4,Б5, які не придатні для використання

З інших дефектів можна відмітити замокання по фасадних поверхнях крайніх балок.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 16   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |





Рисунок 1.16 – Утворення сталактитів в результаті вилуговування,  
сліди вилуговування по швах.



Рисунок 1.17 – Замокання торців балок та по швах сполучення по довжині.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 17   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |





Рисунок 1.18 – Сліди локального вилуговування.

Сліди руйнування плит показано на рисунку 1.19.



Рисунок 1.19 – Спирання зруйнованих балок на зруйнованій опорі.

Опори, льодорізи (корчевідбійники) та опорні частини

Опори мають більш широкий спектр дефектів. Це обумовлено тим, що річка має значну швидкість течії (по замірах 3...4м/с). Затори в двох прольотах звужують отвір моста і приводять до збільшення швидкості течії, до збільшення горизонтального навантаження на опору від дерев та корчів. При обстеженні опор були зафіксовані наступні дефекти:

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 18   |

- значна корозія металу «сорочки» на всіх проміжних опорах (листа та кутиків) (див. рис. 1.20);
- повне руйнування конструкцій «металевої сорочки» на опорі №4 (відсутня) (див. рис. 1.23), та часткове на опорі №6 (лист деформовано) (див. рис. 1.22);



Рисунок 1.20 – Корозія металу «сорочки» опор.

- сколи бетону окремих стійок та корозія арматури до 12...15% в місцях об'єднання стійки з ригелями проміжних опор;



Рисунок 1.21 – Околи бетону окремих стійок та корозія арматури в місцях об'єднання стійки з ригелями проміжних опор.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 19   |





Рисунок 1.22 – Деформація листа «сорочки» після повені.



Рисунок 1.23 – Знос металевої обшивки («сорочки») на опорі при корchoході.

– руйнування захисного шару бетону стійок проміжних опор на глибину до 5 см в зоні змінного рівня води;

– окремі ригелі мають замокання бетону та сліди вилугування у зв'язку з протіканням вологи (зливи та талий сніг) через деформаційні шви (див. рис. 1.25);

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 20   |



- на ригелі опори №3 оголення арматури з корозією (див. рис. 1.24);
- незначні тріщини в тілі бетону ригелів розкриттям до 0,2...0,5 мм, околи, руйнування захисного шару бетону;
- опора №8 повністю зруйнована (див. рис. 1.26).



Рисунок 1.24 – Оголення арматури ригелів з корозією.



Рисунок 1.25 – Потюки по ригелю через неякісне перекриття деформаційного шва.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 21   |





Рисунок 1.26 – Стан опори №8 на момент обстеження.

Дефекти й ушкодження підходів та русла ріки

Підходи до мосту з обох сторін мають ухил в сторону моста. Тому вода з підходів при відсутності водовідвідних лотків спрямовує на міст, що не бажано. Крім того ухил з сторони Танюшівки значний і при зливах буде сприяти значним розмивам.

При відновлювальних роботах для відкриття тимчасового руху по споруді були засипані ґрунтом прогони №8-9, №9-10, що привело до зменшення отвору моста і до збільшення швидкості течії. При промірах глибин в руслі ріки встановлено, що з верхової сторони в 12...15 метрах від моста утворились наноси (глибина 60...70см) чому сприяли і затори у двох прольотах (див. рис. 1.27). Перед самими опорами глибина досягає 3,70м, а під мостом знов зменшується і має максимальну глибину 2,10м. В повінь це приведе до значних заторів льоду та корчів і загрозі опорам та прогоновим будовам (пошкодження або навіть знос опор, затоплення прогонових будов). Неминучі і розмиви насипів підходів.

Отже при проектуванні відновлення споруди необхідно в першу чергу звернути увагу на забезпечення отвору мосту.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |





Рисунок 1.27 – Затори від корчоходу закривають повністю два прогони  
для вільного протікання води.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 23   |

## 2 РОЗРОБКА ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ РЕКОНСТРУКЦІЇ МОСТУ

### 2.1 Варіант 1

Згідно першого варіанту реконструкції мосту передбачається виконати такі роботи:

1) Земляні роботи по розбиранню насипу на засипаних прогонах 8-9, 9-10.

2) Ремонт існуючих, не пошкоджених, внаслідок вибуху, конструкцій мосту: опори 1-7, прогонові будови 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 6-7.

3) Перевлаштування опори 8: зрізання існуючих пошкоджених паль на 3,5 м з подальшим нарощуванням до потрібних відміток; влаштування нового ригелю.

4) Влаштування нового льодорізу перед опорою 8.

5) Встановлення нової прогонової будови 7-8. Прогонова будова 7-8 складається з 11-ти розрізних залізобетонних плит довжиною 12 м, висотою 0,6 м, виконаних згідно типового проекту ВТП-21.

6) Демонтаж опори 9.

7) Перевлаштування берегової опори 9 (стара 10): зрізання існуючих пошкоджених паль на 3,5 м з подальшим нарощуванням до потрібних відміток; влаштування нового ригелю, шафової стінки та відкрилків; влаштування конусу насипу.

8) Встановлення нової прогонової будови 8-9. Прогонова будова 8-9 складається з 7 розрізних попередньо напружених залізобетонних балок довжиною 24 м, висотою 1,1м, виконаних на заводі «Обербетон».

9) Влаштування об'єднуючої монолітної бетонної плити проїзної частини та монолітних тротуарів по всій довжині мосту.

|               |              |          |        |      |   |  |  |                     |      |         |
|---------------|--------------|----------|--------|------|---|--|--|---------------------|------|---------|
|               |              |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000  |  |  |                     |      |         |
|               |              |          |        |      |   |  |  |                     |      |         |
| Змн.          | Лист         | № докум. | Підпис | Дата | Розділ №2<br><br>Розробка та техніко-<br>економічне порівняння<br>варіантів реконструкції мосту |  |  | Літ.                | Арк. | Аркушів |
| Розробив      | Процик В.В   |          |        |      |   |  |  |                     |      |         |
| Керівник      | Тютюкін О.Л. |          |        |      |   |  |  |                     |      |         |
| Керів.розділу |              |          |        |      |   |  |  | ДНУЗТ, група МТ1721 |      |         |
| Консульт.     | Овчинников   |          |        |      |   |  |  |                     |      |         |
| Н.контроль    | Овчинников   |          |        |      |   |  |  |                     |      |         |

10) Влаштування гідроізоляції та асфальтобетонного покриття проїзної частини.

11) Встановлення металевого перильного огородження.

12) Встановлення металевого оцинкованого бар'єрного огородження.

Об'єми робіт для першого варіанту показані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Об'єми робіт для першого варіанту.

| <i>Варіант №1</i>     |  |                           |  |
|-----------------------|--|---------------------------|--|
| <i>№<br/>п/п</i>      | <i>Найменування робіт</i>                      | <i>Одиниці<br/>виміру</i> | <i>Об'єм<br/>робіт за<br/>варіантом<br/>№1</i> |
| 1                     | Прогонові будови                               | м <sup>3</sup>            | 97.9   |
| 3                     | Перевлаштування опори №8                       | м <sup>3</sup>            | 35.6   |
| 4                     | Влаштування льодорізу біля опори №8            | м <sup>3</sup>            | 6.8  |
| 5                     | Відновлення опори №10(нова №9) на старих палях | м <sup>3</sup>            | 17.5   |
| 8                     | Об'єднуюча забізобетонна плита з тротуарами    | м <sup>3</sup>            | 240  |
| 9                     | Асфальтобетонна суміш                          | м <sup>3</sup>            | 110  |
| 10                    | Земляні роботи                                 | м <sup>3</sup>            | 500  |
| 11                    | Ремонт опор                                    | м <sup>3</sup>            | 13.5   |
| 12                    | Влаштування перильного огородження             | т                         | 7.5  |
| 13                    | Влаштування бар'єрного огородження             | т                         | 10.1   |
| 14                    | Влаштування деформаційних швів                 | шт                        | 8  |
| Вартість: 3192150 грн |  |                           |  |

## 2.2 Варіант 2

Згідно другого варіанту реконструкції мосту передбачається виконати такі роботи:

1) Земляні роботи по розбиранню насипу на засипаних прогонах 8-9, 9-10.

2) Ремонт існуючих, не пошкоджених, внаслідок вибуху, конструкцій мосту: опори 1-6, прогонові будови 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 6-7.

3) Перевлаштування опори 7: зрізання існуючих пошкоджених паль на 3,5 м з подальшим нарощуванням до потрібних відміток; забивання третього ряду паль, влаштування нового ригелю.

4) Влаштування нового льодорізу перед опорою 8.

5) Демонтаж опор 8, 9.

6) Перевлаштування берегової опори 8 (стара 10): зрізання існуючих пошкоджених паль на 3,5 м з подальшим нарощуванням до потрібних відміток; влаштування нового ригелю, шафової стінки та відкрилків; влаштування конусу насипу.

7) Встановлення нової прогонової будови 7-8,8-9. Прогонова будова 7-8,8-9 складаються з 11 плитних прогонових будов довжиною 12 м, висотою 0,6м, виконаних згідно типового проекту ВТП-21. складаються з 11 плитних прогонових будов довжиною 18 м, висотою 1 м, виконаних згідно типового проекту ВТП-21.

8) Влаштування об'єднуючої монолітної бетонної плити проїзної частини та монолітних тротуарів по всій довжині мосту.

9) Влаштування гідроізоляції та асфальтобетонного покриття проїзної частини.

10) Встановлення металевого перильного огородження.

11) Встановлення металевого оцинкованого бар'єрного огородження.

Об'єми робіт для першого варіанту показані в таблиці 2.2.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 29   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Таблиця 2.2 – Об'єми робіт для першого варіанту.

| Варіант №2 |   |                   |                                      |
|------------|---|-------------------|--------------------------------------|
| №<br>п/п   | Найменування робіт                                | Одиниці<br>виміру | Об'єм<br>робіт за<br>варіантом<br>№2 |
| 1          | Прогонові будови                                  | м <sup>3</sup>    | 92.4                                 |
| 3          | Перевлаштування опори №8                          | м <sup>3</sup>    | 35.6                                 |
| 4          | Влаштування льодорізу біля<br>опори №7            | м <sup>3</sup>    | 6.8                                  |
| 5          | Відновлення опори №10(ноба №8)<br>на старих палях | м <sup>3</sup>    | 17.5                                 |
| 8          | Об'єднуюча за бізобетонна<br>плита з тротуарами   | м <sup>3</sup>    | 260                                  |
| 9          | Асфальтобетонна суміш                             | м <sup>3</sup>    | 110                                  |
| 10         | Земляні роботи                                    | м <sup>3</sup>    | 500                                  |
| 11         | Ремонт опор                                       | м <sup>3</sup>    | 12                                   |
| 12         | Влаштування перильного<br>огородження             | м                 | 7.5                                  |
| 13         | Влаштування бар'єрного<br>огородження             | м                 | 10.1                                 |
| 14         | Влаштування деформаційних<br>швів                 | шт                | 7                                    |
| Вартість:  |   | 3252650 грн       |                                      |

### 2.3 Варіант 3

Згідно третього варіанту реконструкції мосту передбачається виконати такі роботи:

- 1) Земляні роботи по розбиранню насипу на засипаних прогонах 8-9, 9-10.
- 2) Ремонт існуючих, не пошкоджених, внаслідок вибуху, конструкцій мосту: опори 1-7, прогонові будови 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 6-7.
- 3) Перевлаштування опор 8, 9, 10: зрізання існуючих пошкоджених паль на 3,5 м з подальшим нарощуванням до потрібних відміток; влаштування нових ригелів та шафової стінки опори 10.
- 4) Влаштування нового льодорізу перед опорою 8.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 30   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

5) Встановлення нових прогонових будов 7-8, 8-9, 9-10. Прогонові будови 7-8, 8-9, 9-10 складаються з 11 плитних прогонових будов довжиною 12 м, висотою 0,6м, виконаних згідно типового проекту ВТП-21.

6) Влаштування об'єднуючої монолітної бетонної плити проїзної частини та монолітних тротуарів по всій довжині мосту.

7) Влаштування гідроізоляції та асфальтобетонного покриття проїзної частини.

8) Встановлення металевого перильного огородження.

9) Встановлення металевого оцинкованого бар'єрного огородження.

Об'єми робіт для першого варіанту показані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Об'єми робіт для третього варіанту

| Варіант №3 |   |                   |                                      |
|------------|---|-------------------|--------------------------------------|
| №<br>п/п   | Найменування робіт                              | Одиниці<br>виміру | Об'єм<br>робіт за<br>варіантом<br>№3 |
| 1          | Прогонові будови                                | м <sup>3</sup>    | 124.08                               |
| 2          | Переблаштування опори №8                        | м <sup>3</sup>    | 18.5                                 |
| 3          | Будівництво нового льодорізу<br>для опори №8    | м <sup>3</sup>    | 3.4                                  |
| 4          | Відновлення опори №9 на<br>старих палях         | м <sup>3</sup>    | 18.5                                 |
| 5          | Будівництво нового льодорізу<br>для опори №9    | м <sup>3</sup>    | 3.4                                  |
| 6          | Відновлення опори №10 на<br>старих палях        | м <sup>3</sup>    | 15                                   |
| 7          | Об'єднуюча забітобетонна<br>плита із тротуарами | м <sup>3</sup>    | 197.4                                |
| 8          | Асфальтобетонна суміш                           | м <sup>3</sup>    | 110                                  |
| 9          | Земляні роботи                                  | м <sup>3</sup>    | 415                                  |
| 10         | Ремонт опор                                     | м <sup>3</sup>    | 13.5                                 |
| 11         | Влаштування перильного<br>огородження           | т                 | 7.5                                  |
| 12         | Влаштування бар'єрного<br>огородження           | т                 | 10.1                                 |
| 13         | Влаштування деформаційних<br>швів               | шт                | 9                                    |
| Вартість:  |   | 3098300 грн       |                                      |

Зробивши техніко-економічне варіантів бачимо, що найбільш вигідним з точки зору вартості об'ємів робіт є третій варіант. Але в навчальних цілях обираємо перший варіант, через те що в ньому є прогонова будова, яка складається з балок, які розраховані під сучасне навантаження А15 та НК-100.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 32   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

### 3 РОЗРАХУНОК ПЛИТИ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ

#### 3.1 Визначення зусиль в плиті

Вихідні дані. Габарит мосту Г-8,0 м, тротуари по 1,25 м.

Прогонова будова komponується із семи головних балок довжиною 24,0 м з відстанню між осями рівною 1,6 м.(див. рис. 3.1)

Мінімальна товщина плити проїзної частини складає 20 см.

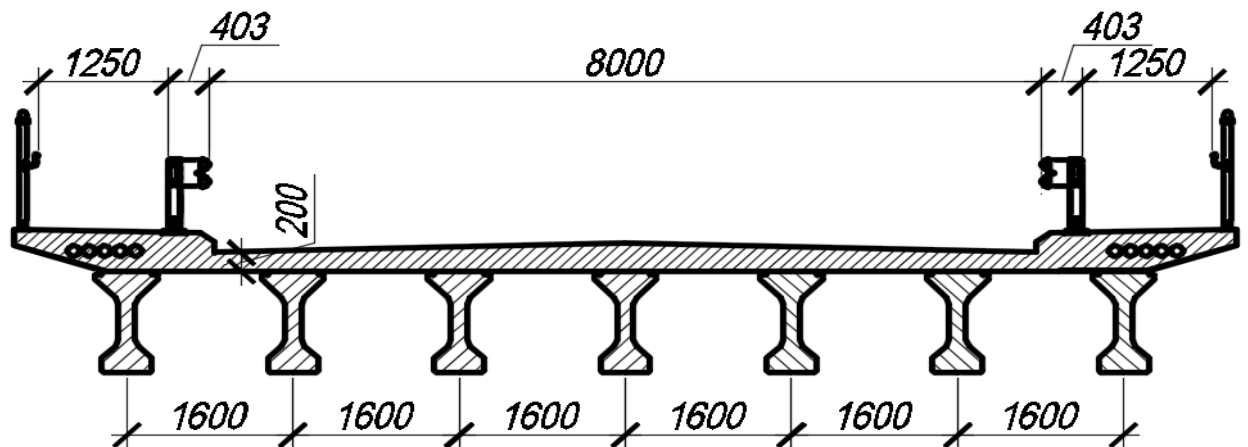


Рисунок 3.1 – Поперечний переріз прогонової будови

Постійне навантаження на  $1\text{ м}^2$  плити складається із ваги шарів дорожнього одягу та її власної ваги. Результати зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Постійне навантаження на  $1\text{ м}^2$  плити

| Вид навантаження   | Нормативне навантаження, кН/м    | Коефіцієнт надійності по навантаженню | Розрахункове навантаження, кН/м |
|--|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1  | 2                                | 3                                     | 4                               |
| Щебенево-мастиковий А/Б<br>$\delta = 5\text{ см}; \rho = 24\text{ кН/м}^3$ | $1 \cdot 0.05 \cdot 24 = 1.2$    | 2.00                                  | 2.4                             |
| Дрібнозернистий А/Б<br>$\delta = 6\text{ см}; \rho = 24\text{ кН/м}^3$     | $1 \cdot 0.06 \cdot 24 = 1.44$   | 2.00                                  | 2.88                            |
| Гідроізоляція $\delta = 0.5\text{ см}; \rho = 15\text{ кН/м}^3$            | $1 \cdot 0.005 \cdot 15 = 0.075$ | 1.25                                  | 0.094                           |
| Монолітна плита<br>$\delta = 20\text{ см}; \rho = 25\text{ кН/м}^3$        | $1 \cdot 0.2 \cdot 25 = 5,0$     | 1.25                                  | 6.25                            |
| Всього   | 7.72                             |                                       | 11.61                           |

|               |              |          |        |      |  |  |                     |         |
|---------------|--------------|----------|--------|------|--|--|---------------------|---------|
|               |              |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000                         |  |                     |         |
| Змн.          | Лист         | № докум. | Підпис | Дата |  |  |                     |         |
| Розробив      | Прошик В.В.  |          |        |      | Розділ №3<br>Розрахунок плити проїзної частини |  | Літ.                | Арк.    |
| Керівник      | Тютюкін О.Л. |          |        |      |  |  |                     | Аркушів |
| Керів.розділу |              |          |        |      |  |  |                     |         |
| Консульт.     | Овчинников   |          |        |      |  |  | ДНУЗТ, група МТ1721 |         |
| Н.контроль    | Овчинников   |          |        |      |  |  |                     |         |



Розрахунковий прогін плити дорівнює прольоту по осям між балками прогонової будови і складає 1,6 м.

Визначаємо нормативний момент всередині прогону плити від постійного навантаження за формулою:

$$M_{g,n} = \frac{g_n \cdot l_p^2}{8} = \frac{7,72 \cdot 1,6^2}{8} = 2,47 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (3.1)$$

Розрахунковий момент від постійного навантаження:

$$M_g = \frac{g \cdot l_p^2}{8} = \frac{11,61 \cdot 1,6^2}{8} = 3,72 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Плита проїзної частини розраховується на тимчасові навантаження

I випадок завантаження: в прогоні плити розміщена одна колія навантаження А15 (див. рис 3.2).

Визначимо інтенсивність навантаження від рівномірно розподіленого навантаження А15 за наступною формулою:

$$\frac{\nu}{2} = \frac{0,98 \cdot K}{2} = \frac{0,98 \cdot 15}{2} = 7,35 \text{ кН/м} \quad (3.2)$$

де  $K=15$  – клас навантаження, що приймається згідно з [3].

Визначимо інтенсивність навантаження від рівномірно розподіленого навантаження А15 за наступною формулою:

$$\frac{P}{2} = \frac{9,81 \cdot K}{2} = \frac{9,81 \cdot 15}{2} = 73,58 \text{ кН/м} \quad (3.3)$$

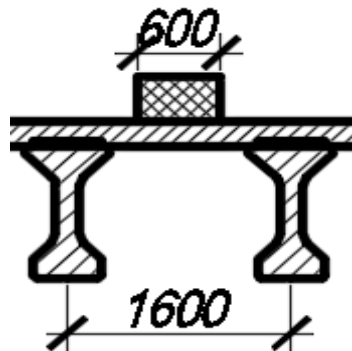


Рисунок 3.2 – Схема навантаження плити однією смугою А-15

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 34   |

При ширині колії  $b=0,6$  м та розподіленні навантаження в товщі дорожнього одягу  $H=0,12$  м під кутом  $45^\circ$  ширина площадки розподілу навантаження вздовж прогону плити визначається за формулою:

$$b_1 = b + 2H = 0,6 + 2 \cdot 0,12 = 0,84 \text{ м} \quad (3.4)$$

Поперек прогону плити за формулою:

$$a_1 = a + 2H + \frac{l_p}{3} = 0,2 + 2 \cdot 0,12 + \frac{1,6}{3} = 0,97 \text{ м} \quad (3.5)$$

Зважаючи на те, що ширина площадки взаємодії поперек прольоту плити не може бути менше ніж:

$$a_1 \geq \frac{2}{3} \cdot l_p = \frac{2}{3} \cdot 1,6 = 1,07 \quad (3.6)$$

Приймаємо  $a_1 = 1,07$  м;

Інтенсивність тимчасового смугового навантаження на 1 погонний метр розрахункового прогону плити:

$$q_v = \frac{v/2}{b_1} \cdot 1 = \frac{7,35}{0,84} \cdot 1 = 8,75 \text{ кН/м} \quad (3.7)$$

Інтенсивність навантаження від одного колеса тандему з тиском на вісь  $P_{AT} = 147,15$  кН:

$$q_p = \frac{P_{AT}}{2 \cdot a_1 \cdot b_1} = \frac{147,15}{2 \cdot 1,07 \cdot 0,84} = 81,86 \text{ кН/м} \quad (3.8)$$

Нормативний згинаючий момент в середині прогону:

$$\begin{aligned} M_0^H &= \frac{q^H \cdot l_p^2}{8} + (q_v + q_p) \cdot b_1 \cdot \frac{l_p - 0,5 \cdot b_1}{4} = \\ &= \frac{7,72 \cdot 1,6^2}{8} + (8,75 + 81,86) \cdot 0,84 \cdot \frac{1,6 - 0,5 \cdot 0,84}{4} = 24,92 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Розрахунковий згинальний момент в середині прогону:

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 35   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$M_0 = \frac{q \cdot l_p^2}{8} + (\gamma_{f,v} \cdot q_v + (1 + \mu) \cdot \gamma_{f,p} \cdot q_p) \cdot b_1 \cdot \frac{l_p - 0.5 \cdot b_1}{4} =$$

$$= \frac{11.61 \cdot 1.6^2}{8} + (1.5 \cdot 7.72 + 1.3 \cdot 1.5 \cdot 81.86) \cdot 0.84 \cdot \frac{1.6 - 0.5 \cdot 0.84}{4} = 46.14 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (3.10)$$

де  $(1 + \mu) = 1.3$  – динамічний коефіцієнт для тандему, що приймається згідно з [3].

Розрахунковий згинальний момент в середині прогону для розрахунку на витривалість:

$$M'_0 = ((1 + \mu) \cdot \gamma_{f,p} \cdot q_p) \cdot b_1 \cdot \frac{l_p - 0.5 \cdot b_1}{4} = (81.86) \cdot 0.84 \cdot \frac{1.6 - 0.5 \cdot 0.84}{4} = 20.28 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (3.11)$$

де  $(1 + \mu) = 1.0$  – динамічний коефіцієнт для розрахунку на витривалість, що приймається згідно з [3].

Динамічний коефіцієнт для смугового навантаження  $(1 + \mu) = 1.0$  згідно з [3].

II випадок завантаження: в прогоні плити розміщені дві колії навантаження А-15 – від двох смуг максимально наближених одна до одної (див. рис 3.3):

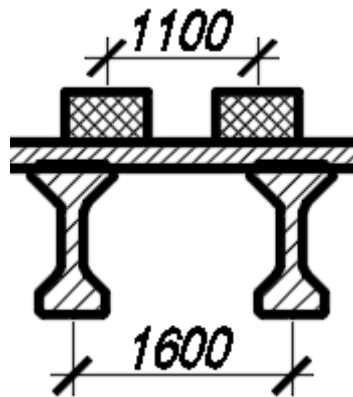


Рисунок 3.3 – Схема завантаження плити двома смугами А-15.

Визначаємо загальну площадку розподілення тиску від двох колій (коліс) шириною визначеною за формулою:

$$b_2 = 1.1 + b_1 = 1.1 + 0.84 = 1.94 \text{ м} \quad (3.12)$$

де  $b_1 = 0.84$  – з розрахунку за першим випадком завантаження, м;

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 36   |

Умова  $b_2 < l_p$  не виконується, приймаємо  $b_2 = 1,6$  м

Інтенсивність рівномірного смугового навантаження:

$$q_v = \frac{2 \cdot \nu / 2}{b_1} \cdot 1 = \frac{2 \cdot 7,35}{1,6} \cdot 1 = 9,19 \text{ кН/м} \quad (3.13)$$

Інтенсивність навантаження від тандему:

$$q_p = \frac{P_{AT}}{a_1 \cdot b_1} = \frac{147,15}{1,07 \cdot 1,6} = 85,95 \text{ кН/м} \quad (3.14)$$

Згинальний момент в середині прогону смуги плити шириною 1 м:

Нормативний:

$$\begin{aligned} M_0^H &= \frac{q^H \cdot l_p^2}{8} + (q_v + q_1) \cdot b_2 \cdot \frac{l_p - 0,5 \cdot b_2}{4} = \\ &= \frac{7,72 \cdot 1,6^2}{8} + (9,19 + 85,95) \cdot 1,6 \cdot \frac{1,6 - 0,5 \cdot 1,6}{4} = 32,92 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Розрахунковий:

$$\begin{aligned} M_0 &= \frac{11,61 \cdot 1,6^2}{8} + (1,5 \cdot 9,19 + 1,3 \cdot 1,5 \cdot 85,95) \cdot 1,6 \cdot \frac{1,6 - 0,5 \cdot 1,6}{4} = \\ &= 61,76 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (3.16)$$

При визначенні поперечної сили враховуємо, що у опори ширина площадки розподілення поперек прогону плити  $a_k = a + 2H$ , але не менше  $l_p / 3$ :

$$a_{on} = 0,2 + 2 \cdot 0,12 = 0,44 \text{ м} < \frac{l_p}{3} = \frac{1,6}{3} = 0,53 \text{ м} \quad (3.17)$$

Ординати лінії впливу під осями коліс:

$$y_1 = \frac{1(l_p - 0,25)}{l_p} = \frac{1(1,6 - 0,25)}{1,6} = 0,84 \quad (3.18)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 37   |

$$y_2 = \frac{1(l_p - 0.84 / 2 - 1.1)}{l_p} = \frac{1(1.6 - 0.25 - 1.1)}{1.6} = 0.16 \quad (3.19)$$

Тоді розрахункова величина поперечної сили біля опори буде:

$$Q_0 = \frac{q \cdot l_p}{2} + \left[ \gamma_{f.A} \cdot \frac{v}{2} \cdot (y_1 + y_2) + (1 + \mu) \cdot \gamma_{f.AT} \cdot \frac{P_{AT}}{2} \cdot \frac{(y_1 + y_2)}{a_1} \right], \quad (3.20)$$

$$Q_0 = \frac{11.61 \cdot 1.6}{2} + \left[ 1.5 \cdot 7.35 \cdot (0.84 + 0.16) + 1.5 \cdot 1.3 \cdot \frac{147.15}{2} \cdot \frac{(0.84 + 0.16)}{1.07} \right] = 154.4 \text{ кН}$$

III випадок завантаження: в прогоні плити розміщене одне колесо навантаження НК-100 (див. рис. 3.4).

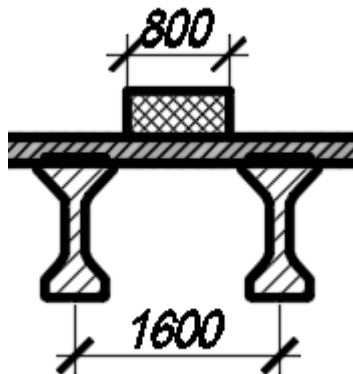


Рисунок 3.4 – Схема для визначення згинального моменту від навантаження НК-100.

При ширині колеса  $b=0.8$  м та  $H=0.12$  м тиск, що розподіляється від нього в товщі дорожнього одягу під кутом  $45^\circ$  рівний:

$$b_1 = b + 2H = 0.8 + 2 \cdot 0.12 = 1.04 \text{ м} \quad (3.20)$$

Вздовж руху ширина площадки розподілення співпадає з шириною площадки для колеса тандему А-15  $a_1=0.97$  м, а тому може дорівнювати  $\frac{2}{3} \cdot l_p = 1.07$  м, але не більше ніж відстань між колесами 1,2 м.

В нашому випадку приймаємо спільну площадку з розмірів вздовж руху:

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 38   |

$$a_1 = 3 \cdot 1.2 + a + 2H + \frac{l_p}{3} = 3 \cdot 1.2 + 0.2 + 2 \cdot 0.12 + \frac{1,6}{3} = 4.57 \leq 3 \cdot 1.2 + \frac{2 \cdot l_p}{3} = 4.67 \quad (3.21)$$

Приймаємо  $a_1 = 4.67$  м.

При розташуванні колеса біля опори:

$$a_1 = 3 \cdot 1.2 + \frac{l_p}{3} = 3 \cdot 1.2 + \frac{1,6}{3} = 4.13 \text{ м} \quad (3.22)$$

Інтенсивність навантаження на  $1 \text{ м}^2$ :

$$q_p = \frac{n_p \cdot P_{HK} / 2}{a_1 \cdot b_1} = \frac{4 \cdot 250 / 2}{4.67 \cdot 1.04} = 102.95 \text{ кПа} \quad (3.23)$$

Розрахунковий згинаючий момент в середині прогону плити:

$$M_0 = \frac{q \cdot l_p^2}{8} + (1 + \mu) \cdot \gamma_{f.p} \cdot q_p \cdot b_1 \cdot \frac{l_p - 0.5b_1}{4}, \quad (3.24)$$

$$M_0 = \frac{11.61 \cdot 1,6^2}{8} + 1 \cdot 1 \cdot 102,95 \cdot 1.04 \cdot \frac{2 - 0.5 \cdot 1.04}{4} = 43,33 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

де  $(1 + \mu) = 1,0$  – динамічний коефіцієнт для розрахунку НК-100, що приймається згідно з [3].

Ординати лінії впливу під віссю колеса:

$$y_3 = \frac{1(l_p - 1,04 / 2)}{l_p} = \frac{1(1,6 - 1,04 / 2)}{1,6} = 0,675 \quad (3.25)$$

Поперечна сила біля опори:

$$Q_0 = \frac{q \cdot l_p}{2} + (1 + \mu) \cdot \gamma_{f.p} \cdot \frac{4 \cdot P_{HK} / 2}{a_1} \cdot y_3; \quad (3.26)$$

$$Q_0 = \frac{11.61 \cdot 1,6}{2} + 1 \cdot \frac{4 \cdot 250 / 2}{4.67} \cdot 0.675 = 81,56 \text{ кН}$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 39   |

Отримані значення моментів і поперечних сил зводимо в таблицю 3.2:

Таблиця 3.2 – Постійне навантаження на 1м<sup>2</sup> плити

| Нормативні або розрахункові зусилля | I випадок А-15 (1 колесо) | II випадок А-15 (2 колеса) | III випадок НК-100 |
|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1                                   | 2                         | 3                          | 4                  |
| $M_0^H, кН \cdot м$                 | 24,92                     | <b>32,92</b>               | -                  |
| $M_0, кН \cdot м$                   | 46,14                     | <b>61,76</b>               | 43,33              |
| $M_q^H, кН \cdot м$                 | 2,47                      | 2,47                       | 2,47               |
| $M_q, кН \cdot м$                   | 3,72                      | 3,72                       | 3,72               |
| $Q, кН$                             | -                         | <b>154,4</b>               | 81,56              |

Для подальших розрахунків плити вибираємо з таблиці максимальні величини згинальних моментів та поперечних сил (розрахункових для розрахунків на міцність та витривалість, нормативних – для розрахунку тріщиностійкості) для різних випадків навантаження. Навантаження НК-100 не враховується при розрахунках плити проїзної частини на тріщиностійкість і витривалість.

Дійсна робота плити, як нерозрізної системи на пружних опорах з частковим защемленням плити в ребрах, враховуємо використовуючи поправочні коефіцієнти  $\alpha$ . Для цього переріз балки приводимо до прямокутних форм.

Момент інерції на кручення :

$$I_k = \frac{1}{3} \times \left( \frac{b}{\delta} - 0.63 \right) \times \delta^4 = \frac{1}{3} \times \left( \frac{160}{20} - 0.63 \right) \times 20^4 = 393067 \text{ см}^4; \quad (3.27)$$

де b=160 – розрахунковий прогін плити, см;

$\delta$ =20 – висота плити, см;

Циліндрична жорсткість плити:

$$D = \frac{E_b \times h_f^3}{12 \times (1 - \nu^2)} = \frac{E_b \times 20^3}{12(1 - 0.2^2)} = 640 E_b \quad (3.28)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 40   |

$$n_1 = 0.001 \times \frac{Dl_p^3}{G_b I_k} = 0.001 \times \frac{640 E_b \times 160^3}{0.42 E_b \times 393067} = 15,88 \quad (3.29)$$

де  $E_b$  – початковий модуль пружності бетону;

$G_b = 0,4E_b$  – модуль зсуву бетону;

$\nu = 0,2$  – коефіцієнт Пуассона для бетону.

При  $n_1 = 15,88 < 30$ :

$$M_{on} = -0.8M_0 \text{ та } M_{on} = +0.25M_0;$$

$$M_{np} = +0.5M_0 \text{ та } M_{np} = -0.25M_0;$$

Згинальний момент з врахуванням поправочного коефіцієнта  $\alpha$  та максимальних моментів в розрізній схемі:

- Біля опори при  $\alpha = -0,8$  та  $\alpha = +0,25$

$$M_n = -0.8(32,92) = -26,34 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_n = 0.25(32,92) = 8,23 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M = -0.8(61,76) = -49,41 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M' = -0.8(20,28) = -16,22 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M = 0.25(61,76) = 15,44 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M' = 0.25(20,28) = 5,07 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

- В середині прольоту при  $\alpha = +0,5$  та  $\alpha = -0,25$

$$M_n = 0.5(32,92) = 16,46 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_n = -0.25(32,92) = -8,23 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M = 0.5(61,76) = 30,88 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M' = 0.5(20,28) = 10,14 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M = -0.25(61,76) = -15,44 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M' = -0.25(20,28) = -5,07 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Поперечна сила визначається як в однопрогоновій балці без урахування нерозрізності. Біля опори  $Q = Q_0 = 154,4$  кН.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 41   |



### 3.2 Розрахунок плити проїзної частини на міцність на стадії експлуатації по згинальному моменту

Приймаємо для плити бетон класу В35 з:

$R_B = 17,5$  МПа – розрахунковий опір бетону стисненню в розрахунках за першою групою граничних станів;

$R_{bt} = 1,15$  МПа – розрахунковий опір бетону розтягненню в розрахунках за першою групою граничних станів;

Арматура класу А400С діаметром  $d = 14$  мм:

$R_s = 400$  МПа – розрахунковий опір арматури розтягненню при розрахунках за першою групою граничних станів;

Розрахунок армування верхньої зони плити:

1. За товщини плити  $h_f = 20$  см робоча висота плити:

$$h_0 = h - a_s = 20 - 5,7 = 14,3 \text{ см} \quad (3.30)$$

$$a_s = a_b + \frac{d}{2} = 5 + \frac{1,4}{2} = 5,7 \text{ см} \quad (3.31)$$

де  $a_b = 5$  – захисний шар для верхньої арматури, см;

Розрахунок проводимо для перерізу шириною  $b = 1$  м (див. рис. 3.5).

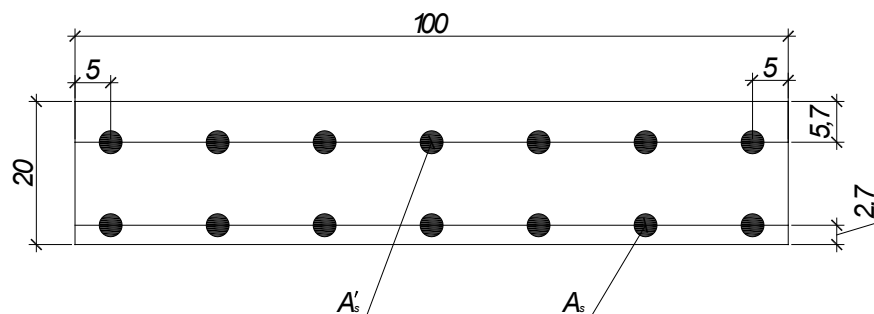


Рисунок 3.5 – Поперечний переріз плити проїзної частини

2. Обчислимо коефіцієнт  $\alpha_0$  :

$$\alpha_0 = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{49,41 \cdot 10^3}{17,5 \times 10^6 \cdot 1 \cdot 0,143^2} = 0,138 \quad (3.32)$$

3. За знайденим  $\alpha_0$  визначаємо;  $\xi = 0,149$ ,  $\eta = 0,926$ .

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 42   |

4. Визначаємо  $\xi_y$  :

$$\omega = 0,85 - 0,008 \cdot R_b = 0,85 - 0,008 \cdot 17,5 = 0,71 \quad (3.33)$$

$$\xi_y = \frac{\omega}{1 + \frac{R_s}{500} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,71}{1 + \frac{400}{500} \cdot \left(1 - \frac{0,71}{1,1}\right)} = 0,553 \quad (3.34)$$

$\xi = 0.149 < \xi_y = 0.553$  – умова виконується.

5. Знаходимо необхідну з умов міцності площу арматури:

$$A_s = \frac{M}{R_s \cdot h_0 \cdot \eta} = \frac{49,41 \cdot 10^3 \cdot 10^2 \cdot 10^4}{400 \cdot 10^6 \cdot 14,3 \cdot 0,926} = 9,33 \text{ см}^2 \quad (3.35)$$

За сортаментом для армування верхньої частини плити приймаємо арматуру класу 8A400C  $\varnothing 14$  мм  $A_s = 12,32 \text{ см}^2$

В якості розподільчої арматури приймаємо  $\varnothing 12$  мм з кроком 200 мм арматури класу A400C. Тоді  $A_{sp} = 5,65 \text{ см}^2$

Несуча здатність перерізу:

$$M_u = R_b \cdot b \cdot x' \cdot \left(h'_0 - \frac{x'}{2}\right) = 17,5 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot \left(\frac{400 \cdot 12,32}{17,5 \cdot 100}\right) \times \\ \times \left(\left(20 - 5 - \frac{1,4}{2}\right) - \left(\frac{400 \cdot 10,78}{17,5 \cdot 100}\right) \div 2\right) = 64,4 \text{ кН} \cdot \text{м} > 49,41 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (3.36)$$

Міцність забезпечена.

6. Перевіряємо міцності перерізу плити за поперечною силою

$$Q \leq Q_b + Q_w^r \quad (3.37)$$

$$Q_b = \frac{2 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c} \leq m \cdot R_{bt} \cdot b h_0 \quad (3.38)$$

де  $c = h_0 = 14,3 \text{ см}$

$$m = 1,3 + 0,4 \left( \frac{R_{b,sh}}{\tau_q} - 1 \right)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 43   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$Q_b = \frac{2 \cdot 1,15 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,143^2}{0,143} = 328,9 \text{ кН}$$

$$m \cdot R_{bt} \cdot b h_0 = 1,3 \cdot 1,15 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,143 = 213,78 \text{ кН}$$

Приймаємо  $Q_b = 213,78 \text{ кН}$

$$Q_w^r = 1000 \cdot A_w^r, \quad (3.39)$$

де  $A_w^r = 12,32 \cdot 2 = 24,64$  – площа горизонтальної арматури, яку перетинає похилий переріз,  $\text{см}^2$ ;

$$Q_w^r = 1000 \cdot A_w^r = 1000 \cdot 24,64 = 24640 \text{ кг} = 246,4 \text{ кН} \quad (3.40)$$

$Q_b + Q_w^r = 213,78 + 246,4 = 460,18 \text{ кН} > Q = 154,4 \text{ кН}$  – міцність забезпечується.

Розрахунок армування нижньої зони плити:

1. За товщини плити  $h_f = 20 \text{ см}$ , робоча висота плити  $h_0$ :

$$a'_s = a'_b + \frac{d}{2} = 2 + \frac{1,2}{2} = 2,6 \text{ см} \quad (3.41)$$

де  $a'_b = 2$  – захисний шар бетону нижньої арматури,  $\text{см}$ ;

$$h_0 = h - a'_s = 20 - 2,6 = 17,4 \text{ см} \quad (3.42)$$

2. Обчислимо коефіцієнт  $\alpha_0$ :

$$\alpha_0 = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{30,88 \cdot 10^3}{17,5 \times 10^6 \cdot 1 \cdot 0,174^2} = 0,058$$

3. За знайденим  $\alpha_0$  визначаємо  $\xi = 0,06$ ;  $\eta_1 = 0,97$

4. Визначаємо  $\xi_y$ :

$$\omega = 0,85 - 0,008 \cdot R_b = 0,85 - 0,008 \cdot 17,5 = 0,71$$

$$\xi_y = \frac{\omega}{1 + \frac{R_s}{500} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,71}{1 + \frac{400}{500} \cdot \left(1 - \frac{0,71}{1,1}\right)} = 0,553$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 44   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$\xi = 0.06 < \xi_y = 0.553$  – умова виконується.

5. Знаходимо необхідну з умов міцності площу арматури:

$$A_s = \frac{M}{R_s \cdot h_0 \cdot \eta} = \frac{30,88 \cdot 10^3 \cdot 10^2 \cdot 10^4}{400 \cdot 10^6 \cdot 17.4 \cdot 0.96} = 4,62 \text{ см}^2$$

За сортаментом для армування нижньої частини плити приймаємо арматуру класу 6A400C  $\varnothing 12_{\text{мм}}$   $A'_s = 6.79 \text{ см}^2$

В якості розподільчої арматури приймаємо  $\varnothing 12_{\text{мм}}$  з кроком 200 мм арматури класу A400C. Тоді  $A'_{sp} = 5.65 \text{ см}^2$

Несуча здатність перерізу:

$$M_u = R_b \cdot b \cdot x' \cdot \left( h'_0 - \frac{x'}{2} \right) = 17.5 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot \left( \frac{400 \cdot 6.79}{17.5 \cdot 100} \right) \times \\ \times \left( \left( 20 - 2 - \frac{1.2}{2} \right) - \left( \frac{400 \cdot 6.79}{17.5 \cdot 100} \right) \div 2 \right) = 43.05 \text{ кН} \cdot \text{м} > 30.88 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Міцність забезпечена.

### 3.3 Розрахунок тріщиностійкості плити проїзної частини

Плиту проїзної частини з ненапруженою арматурою відносять до елементів, в яких допускається утворення тріщин. Гранична ширина розкриття тріщин  $\Delta_{cr} = 0.02 \text{ см}$ . Перевіряємо тріщиностійкість плити проїзної частини в опорному перерізі і в середині прольоту з максимальними нормативними згинальними моментами  $M_n = -26,34 \text{ кН} \cdot \text{м}$  на опорі і  $M_n = 16,46 \text{ кН} \cdot \text{м}$  в середині прольоту. Висота стиснутої зони перерізу плити з бетоном класу B35 з  $R_b = 17.5 \text{ МПа}$  при армуванні арматурою класу A400C діаметром 14 мм з  $A_s = 12,32 \text{ см}^2$  та  $R_s = 400 \text{ МПа}$  буде:

Висота стиснутої зони для верхньої арматури:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b} = \frac{400 \cdot 10^6 \cdot 12,32 \cdot 10^{-4}}{17.5 \cdot 10^6} = 0.028 \text{ м} = 2.8 \text{ см} \quad (3.43)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 45   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Висота стиснутої зони для нижньої арматури:

$$x' = \frac{R_s \cdot A'_s}{R_b \cdot b} = \frac{400 \cdot 10^6 \cdot 6.79 \cdot 10^{-4}}{17.5 \cdot 10^6} = 0.016 \text{ м} = 1.6 \text{ см} \quad (3.44)$$

Робоча висота перерізу(в опорному перерізі):

$$h_0 = h - a_b - \frac{d}{2} = 0.20 - 0.05 - \frac{0.014}{2} = 14.3 \text{ см}$$

Робоча висота перерізу (в середині прольоту):

$$h'_0 = h - a'_b - \frac{d}{2} = 0.20 - 0.02 - \frac{0.012}{2} = 17.4 \text{ см}$$

Напруження в розтягнутій арматурі (в опорному перерізі):

$$\sigma_s = \frac{M_n}{A_s \cdot (h_0 - 0.5x)} = \frac{26,34 \cdot 10^3}{12,32 \cdot (14.3 - 0.5 \cdot 2.8)} = 165,7 \text{ МПа} \quad (3.45)$$

Напруження в розтягнутій арматурі (в середині прольоту):

$$\sigma'_s = \frac{M'_n}{A'_s \cdot (h'_0 - 0.5x')} = \frac{16,46 \cdot 10^3}{6.79 \cdot (17.4 - 0.5 \cdot 1.6)} = 146 \text{ МПа} \quad (3.46)$$

Площа зони взаємодії (в опорному перерізі):

$$A_r = b \cdot \left( a_b + \frac{d}{2} + 8 \cdot d \right) = 100 \cdot \left( 5 + \frac{1.4}{2} + 8 \cdot 1.4 \right) = 1690 \text{ см}^2 \quad (3.47)$$

Площа зони взаємодії (в середині прольоту):

$$A'_r = b \cdot \left( a'_b + \frac{d}{2} + 6 \cdot d \right) = 100 \cdot \left( 2 + \frac{1.2}{2} + 6 \cdot 1.2 \right) = 980 \text{ см}^2 \quad (3.47)$$

Радіус армування (в опорному перерізі):

$$R_r = \frac{A_r}{\sum \beta \cdot n \cdot d} = \frac{1690}{1 \cdot 8 \cdot 1.4} = 150,9 \text{ см} \quad (3.48)$$

Радіус армування (в середині прольоту):

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 46   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$R'_r = \frac{A'_r}{\sum \beta \cdot n \cdot d} = \frac{980}{1 \cdot 6 \cdot 1.2} = 136.11 \text{ см} \quad (3.49)$$

де  $\beta = 1$  – коефіцієнт, що враховує ступінь зчеплення арматурних елементів з бетоном;

$n = 6$  – число арматурних елементів з однаковим номінальним діаметром  $d$ ;

Коефіцієнт розкриття тріщин(в опорному перерізі):

$$\Psi = 1.5 \cdot \sqrt{R'_r} = 1.5 \cdot \sqrt{136.11} = 18.43 \quad (3.50)$$

Коефіцієнт розкриття тріщин(в середині прольоту):

$$\Psi' = 1.5 \cdot \sqrt{R'_r} = 1.5 \cdot \sqrt{136.11} = 17.5 \quad (3.51)$$

Ширина розкриття тріщин при  $E_s = 2 \cdot 10^5$  МПа для арматури класу А400С:

в опорному перерізі:

$$a_{cr} = \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \Psi = \frac{165.7}{2 \cdot 10^5} \cdot 18.43 = 0.015 \text{ см} < \Delta_{cr} = 0.02 \text{ см} \quad (3.52)$$

в середині прольоту:

$$a'_{cr} = \frac{\sigma'_s}{E_s} \cdot \Psi' = \frac{146}{2 \cdot 10^5} \cdot 17.5 = 0.013 \text{ см} < \Delta_{cr} = 0.02 \text{ см} \quad (3.53)$$

Тріщиностійкість перерізу забезпечено.

### 3.4 Розрахунок плити проїзної частини на витривалість

У відповідності до [2] плита проїзної частини автодорожніх та міських мостів підлягає розрахунку на витривалість.

Розрахунок на витривалість елементів залізобетонних конструкцій з ненапруженою арматурою виконується за формулами опору матеріалів без врахування роботи бетону розтягнутої зони.

Перевірка за бетоном:

$$\frac{M}{I_{red}} \cdot x' \leq \gamma_{bl} \cdot R_b \quad (3.54)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 47   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

де  $M' = -16,22$  – максимальний момент на витривалість,  $\text{кН} \cdot \text{м}$ ;

$I_{\text{red}}$  – приведений до бетону момент інерції перерізу плити шириною 100 см відносно нейтральної осі без врахування розтягнутої зони;

Розрахунок виконуємо для опорного перерізу, де діють максимальний момент  $M'_{\text{max}} = -16,22 \text{кН} \cdot \text{м}$  та мінімальний  $M'_{\text{min}} = 5,07 \text{кН} \cdot \text{м}$ .

Товщина плити 20 см, арматура прийнята А400 Ø 14 мм, захисний шар для верхньої арматури 5 см, а для нижньої робочої арматури – 2 см.

Коефіцієнт відношення модулів пружності  $n' = \frac{E_s}{E_b} = 15$  у розрахунках на витривалість приймаємо для бетону класу В35 згідно [1].

Площа арматури  $A_s = 12,32 \text{ см}^2$  в верхній зоні та  $A'_s = 6,79 \text{ см}^2$  – у нижній зоні.

Визначаємо радіус інерції поперечного перерізу елемента відносно центра тяжіння перерізу:

$$r = n' \cdot \frac{A_s + A'_s}{b} = 15 \frac{12,32 + 6,79}{100} = 2,87 \text{ см} \quad (3.55)$$

Знаходимо статичний момент площі перерізу арматури:

$$S_a = 2 \cdot n' \cdot \frac{(A_s \cdot h_0 + A'_s \cdot a'_s)}{100} = 2 \cdot 15 \frac{(12,32 \cdot 14,3 + 6,79 \cdot 2,6)}{100} = 58,15 \text{ см}^2 \quad (3.56)$$

Висоту стиснутої зони бетону визначаємо без врахування роботи бетону розтягнутої зони за формулою:

$$x' = -r + \sqrt{r^2 + S_a} = -2,87 + \sqrt{2,87^2 + 58,15} = 5,2 \text{ см} \quad (3.57)$$

Приведений до бетону момент інерції перерізу плити шириною 100 см відносно нейтральної осі без врахування розтягнутої зони буде:

$$I_{\text{red,ni}} = \frac{b \cdot x'^3}{3} + n' \cdot A_s \cdot (h_0 - x')^2 + n' \cdot A'_s \cdot (x' - a'_s)^2, \quad (3.58)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 48   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$I_{red,пл} = \frac{100 \cdot 5,28^3}{3} + 15 \cdot 12,32 \cdot (14,3 - 5,28)^2 + 15 \cdot 6,79 \cdot (5,28 - 2,6)^2 = 20674 \text{ см}^4$$

Визначення  $\sigma_{b,max}$  та  $\sigma_{b,min}$  для бетону при  $M_{max}=-16,22$  кНм та  $M_{min}=+5,07$  кНм

$$\sigma_{b,max} = M_{max} \cdot \frac{x'}{I_{red,пл}} = -16,22 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,0528}{206,74 \cdot 10^{-6}} = -4,14 \text{ МПа} \quad (3.59)$$

$$\sigma_{b,min} = M_{min} \cdot \frac{x'}{I_{red,пл}} = +5,07 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,0528}{206,74 \cdot 10^{-6}} = +1,29 \text{ МПа} \quad (3.60)$$

В [1] знаходимо  $\beta_b = 1,28$  для бетону класу В35;

$$\rho_b = \frac{\sigma_{b,min}}{\sigma_{b,max}} = 0 \text{ тому, що напруження різних знаків.}$$

В [1] знаходимо  $\varepsilon_b = 1,0$ ,

$$m_{b1} \cdot R_b = 0,6 \cdot \beta_b \cdot \varepsilon_b \cdot R_b = 0,6 \cdot 1,28 \cdot 1,0 \cdot 17,5 = 13,44 \text{ МПа} \quad (3.61)$$

Перевірка умови міцності бетону плити на витривалість:

$$\frac{M}{I_{red}} \cdot x' = 4,14 \text{ МПа} < 13,44 \text{ МПа}$$

Умову виконано.

Перевіряємо умову міцності арматури плити на витривалість:

Перевірка умови міцності арматури плити на витривалість за формулою:

$$n' \cdot \frac{M}{I_{red}} \cdot (h - x' - a'_s) \leq m_{as1} \cdot R_s \quad (3.62)$$

Визначення максимальних та мінімальних напружень в арматурі при  $M_{max}=-16,22$  кНм та  $M_{min}=+5,07$  кНм

$$\sigma_{s,max} = 15 \cdot 16,22 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,20 - 0,0528 - 0,057}{206,74 \cdot 10^{-6}} = 106,2 \text{ МПа}$$

Для  $M_{min}=-5,07$  кНм розтягнутою буде нижня арматура, тоді:

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |



$$S_{a,1} = 2 \cdot n' \cdot \frac{(A'_s \cdot a'_s + A_s \cdot h_{0,1})}{b} = 2 \cdot 15 \cdot \frac{(12,32 \cdot 5.7 + 6.79 \cdot 17.4)}{100} = 56,51 \text{ см}^2 \quad (3.63)$$

Висота стиснутої зони для випадку, коли розтягнутою буде нижня арматура, без врахування роботи бетону розтягнутої зони:

$$x'_1 = -r + \sqrt{r^2 + S_{a,1}} = -2.87 + \sqrt{2.87^2 + 56,51} = 5.18 \text{ см} \quad (3.64)$$

$$\sigma_{s,\min} = n' \cdot M_{\min} \cdot \frac{(x'_1 - a'_s)}{I_{red}} = 15 \cdot (-5,07 \cdot 10^3) \cdot \frac{0.0518 - 0.026}{206,74 \cdot 10^{-6}} = -7,53 \text{ МПа} \quad (3.65)$$

Визначення  $\rho_s = \frac{\sigma_{s,\min}}{\sigma_{s,\max}} = \frac{-7.53}{106,2} = -0.07$ ,  $\beta_{\rho w} = 1$  за відсутності зварних з'єднань  $\varepsilon_{\rho s} = 0.9$  з [1].

$$m_{as,1} \cdot R_s = \varepsilon_{\rho s} \cdot \beta_{\rho w} \cdot R_s = 0.9 \cdot 1 \cdot 400 = 360 \text{ МПа} \quad (3.66)$$

Перевірка умови міцності арматури плити на витривалість:

$$\sigma_{s,\max} = 106,2 \text{ МПа} < 360 \text{ МПа} = m_{as,1} \cdot R_s = \varepsilon_{\rho s} \cdot \beta_{\rho w} \cdot R_s$$

Умова виконана.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 50   |

#### 4 ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ В БАЛКАХ АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ

Виконаємо розрахунок максимального згинального моменту для двох крайніх балок прогонової будови. Для кожної балки розглянемо найбільш несприятливий поперечний переріз, який знаходиться в середині прогону. При визначенні максимального моменту враховуємо постійні та тимчасові розрахункові навантаження. В якості тимчасових навантажень приймаємо: навантаження від автотранспортних засобів – А15 та навантаження від колісного екіпажу – НК-100. При врахуванні кожного виду тимчасових навантажень вводяться коефіцієнти поперечного розподілу (КПР), які можна обчислити декількома методами.

Правила завантаження АК згідно [3]:

– На одній смузі навантаження АК має знаходитися тільки один тандем. Виняток – це завантаження двома тандемами, що виконується для опорного перерізу балки над проміжною опорою або в рамних системах для визначення згинального моменту. При цьому мінімальна відстань між тандемами становить 20 м. До навантаження двома тандемами вводиться понижувальний коефіцієнт  $s_0 = 0,85$ . ()

– Кількість смуг руху може відрізнитись від кількості смуг навантажень АК. Кількість смуг навантажень АК встановлюється розрахунком і визначається як ціле число від ділення габариту проїзду (враховуються смуги руху в обох напрямках) на 3,5 м. Різниця між кількістю смуг навантажень і кількістю смуг руху тут називається *додатковими смугами*. За наявності на мосту розділових смуг або зон, відокремлених для трамвайних колій, кількість смуг навантаження АК слід знаходити, враховуючи в габарит проїзду і ці зони, припускаючи можливість переобладнання мосту в майбутньому.

|               |              |          |        |      |  |                       |      |         |
|---------------|--------------|----------|--------|------|--|-----------------------|------|---------|
|               |              |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000   |                       |      |         |
| Змн.          | Лист         | № докум. | Підпис | Дата |  |                       |      |         |
| Розробив      | Процик В.В.  |          |        |      | Розділ №4<br>Визначення зусиль в балках<br>аналітичним методом | Літ.                  | Арк. | Аркушів |
| Керівник      | Тютюкін О.Л. |          |        |      |  |                       |      |         |
| Керів.розділу |              |          |        |      |  | ДНУЗТ, група 8МТ 1926 |      |         |
| Консульт.     | Овчинников   |          |        |      |  |                       |      |         |
| Н.контроль    | Овчинников   |          |        |      |  |                       |      |         |

- Розміщення смуг навантажень АК поперек мосту виконується за двома правилами:
  - мінімальна відстань від осі смуги до огорожі (бар'єра, парапету, бордюру тощо) становить 1,5 м;
  - мінімальна відстань між осями смуг становить 3,0 м.
- При одній прогоновій будові в тому випадку, коли проїзди відокремлено один від одного, навантаження смугами АК слід виконувати як для єдиного автопроїзду, з дотриманням правил розташування смуг поперек мосту (8.3.5). При незалежних прогонових будовах під напрямки руху їх навантаження смугами АК слід виконувати для кожної прогонової будови окремо.

У випадку, якщо незалежні прогонові будови підтримуються однією опорою (пілоном), розрахунки опори (пілону) виконуються від завантаження смугами АК обох прогонових будов як одного автопроїзду, тобто існує тільки одна нумерація смуг.

- При всіх розрахунках елементів мостів навантаження з першої смуги (що створює найбільш несприятливий ефект) приймається з коефіцієнтом  $s_I = 1,0$ .

З решти смуг (нумерація смуг встановлюється за зниженням навантажувального ефекту) навантаження приймають з коефіцієнтом  $s_I$ , що дорівнює:

а) для тандемів навантаження АК:

- першої і другої смуги –  $s_I = 1,0$ ;
- третьої –  $s_I = 0,75$ ;
- четвертої –  $s_I = 0,5$ ;
- п'ятої і далі –  $s_I = 0,0$ ;
- для додаткових смуг навантажень третьої та четвертої –  $s_I = 0,25$ ;
- для додаткової смуги навантажень п'ятої і далі –  $s_I = 0,0$ .

б) для розподіленого навантаження АК:

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

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 52   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

- для всіх додаткових смуг навантажень –  $s_I = 0,25$ .

Правила завантаження НК згідно [3]:

– Визначення зусиль від 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 до бар'єрної огорожі (парапету, бордюру тощо).

– Навантаження НК не враховують одночасно із сейсмічним навантаженням при розрахунках на витривалість і за граничними станами другої групи.

#### 4.1. Визначення КПР різними методами

Розглянемо такі способи визначення КПР:

##### 1) Метод позацентрового стиску.

В цьому методі найбільш навантаженою завжди є крайня плита прогонової будови. Лінія впливу КПР будується по значенням ординат під крайніми балками [4]:

$$\eta = \frac{1}{n} \pm \frac{a_1^2}{2 \times \sum a_i^2}, \quad (4.1)$$

де  $n=7$  – число балок в поперечному перерізі моста;

$a_i$  – відстань між центрами ваги симетричних відносно осі моста балок:  $a_1=3,2$  м,  $a_2=6,4$  м,  $a_3=9,6$ м;

КПР визначаємо для кожного виду навантаження окремо як суму ординат ліній впливу тиску під центрами ваги транспортних одиниць чи полос, для пішохідного навантаження – як ординату під точкою прикладання рівнодіючої [4].

Ординати лінії впливу КПР на крайню ліву балку:

$$\eta_1 = \frac{1}{7} + \frac{9,6^2}{2 \times 143,36} = 0,464,$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 53   |

$$\eta_1' = \frac{1}{7} - \frac{9,6^2}{2 \times 143,36} = -0,179,$$

Ординати лінії впливу КІР на другу балку:

$$\eta_2 = \frac{1}{7} + \frac{9,6 \cdot 6,4}{2 \cdot 143,36} = 0,443,$$

$$\eta_2' = \frac{1}{7} - \frac{9,6 \cdot 6,4}{2 \cdot 143,36} = -0,157,$$

На рисунку 4.1 показано лінії впливу КІР для 2 крайніх балок прогонової будови.

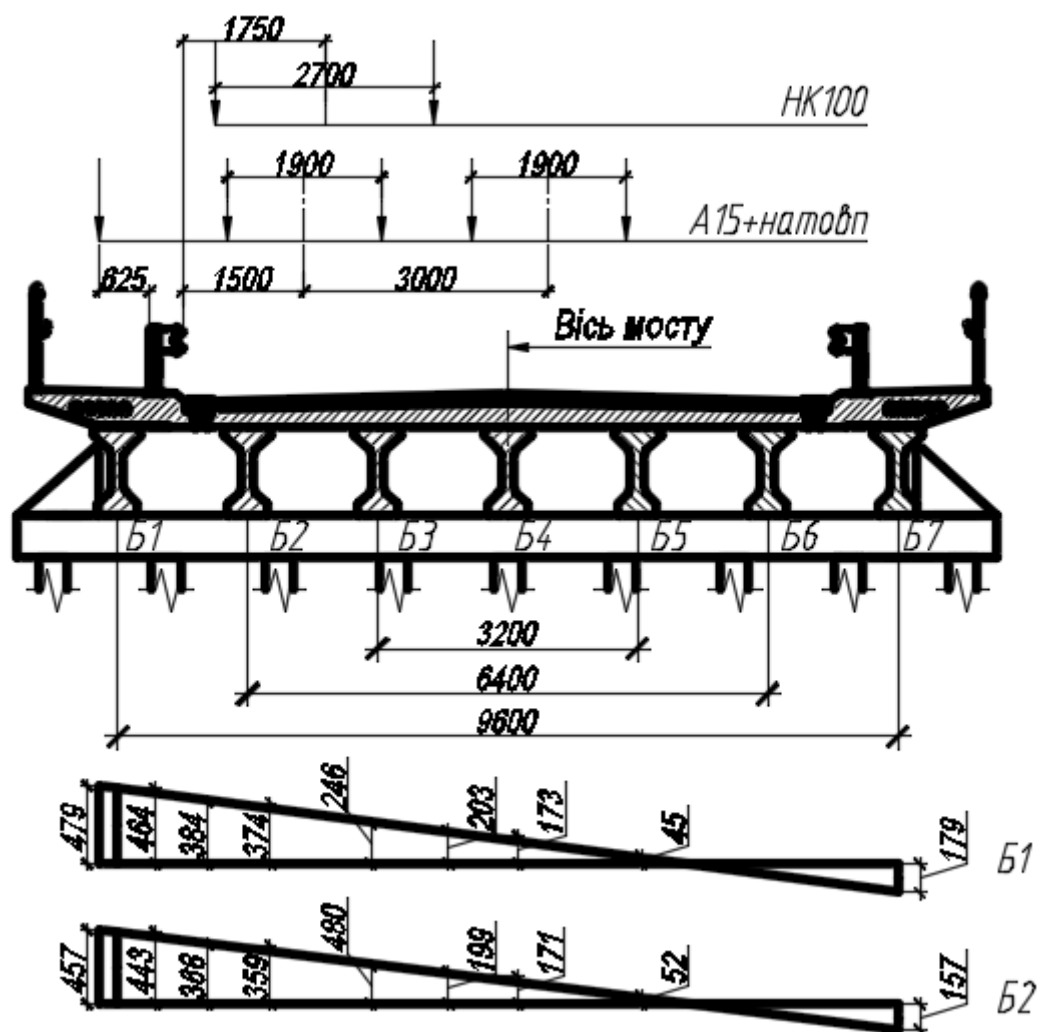


Рисунок 4.1 – Варіанти навантаження прогонової будови та лінії впливу КІР двох крайніх лівих балок

Знайдемо коефіцієнти поперечного розподілу для крайньої балки.

КПР для смуг А15:

$$КПР_A = \frac{0,374 + 0,246}{2} + 0,6 \cdot \frac{0,173 + 0,045}{2} = 0,375, \quad (4.2)$$

КПР для тандемів А15:

$$КПР_T = \frac{0,374 + 0,246}{2} + \frac{0,173 + 0,045}{2} = 0,419, \quad (4.3)$$

КПР для НК-100:

$$КПР_{НК} = \frac{0,384 + 0,203}{2} = 0,294, \quad (4.4)$$

КПР для пішохідного навантаження:

$$КПР_{П} = 0,479; \quad (4.5)$$

Знайдемо коефіцієнти поперечного розподілу для другої балки.

КПР для смуг А15:

$$КПР_A = \frac{0,359 + 0,240}{2} + 0,6 \cdot \frac{0,171 + 0,052}{2} = 0,366,$$

КПР для тандемів А15:

$$КПР_T = \frac{0,359 + 0,240}{2} + \frac{0,171 + 0,052}{2} = 0,411,$$

КПР для НК-100:

$$КПР_{НК} = \frac{0,368 + 0,199}{2} = 0,284,$$

КПР для пішохідного навантаження:

$$КПР_{П} = 0,479,$$

2) Метод позацентрового стиску з врахуванням кручення.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 55   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

В цьому методі найбільш навантаженою завжди є крайня плита прогонової будови. Лінія впливу КІР будується по значенням ординат під крайніми балками [4].

$$\eta = \frac{1}{n} \pm \frac{a_1^2}{2 \cdot \sum a_i^2 + 4 \cdot n \cdot \frac{K}{\Pi}}, \quad (4.6)$$

де  $n=7$  – число балок в поперечному перерізі моста;

$a_i$  – відстань між центрами ваги симетричних відносно осі моста балок:  $a_1=3,2$  м,  $a_2=6,4$  м,  $a_3=9,6$ м;

$K$  – прогин балки в перерізі під одиничною силою, викликаний цією силою;  $\Pi$  – кут закручування балки в місці прикладення одиничного моменту, викликаний цим моментом;

Для середини прогону розрізної балки:

$$\frac{K}{\Pi} = \frac{1}{12} \cdot \frac{G \cdot I_k}{E \cdot I} \cdot l^2, \quad (4.7)$$

де  $I$  – момент інерції перерізу;

$I_k$  – момент інерції кручення перерізу;

Відношення  $G/E$  приймаємо 0.42.

Момент інерції перерізу  $I$  та момент інерції кручення  $I_k$  рахуємо для приведеного поперечного перерізу балки (балка + монолітна плита), який показано на рисунку 4.2.

Площа приведеного поперечного перерізу балки:

$$A_b = 48 \cdot 27 + 16 \cdot 59 + 24 \cdot 60 + 160 \cdot 25 = 7680 \text{ см}^2, \quad (4.8)$$

Статичний момент інерції приведеного поперечного перерізу балки відносно нижньої грані:

$$S_b = 48 \cdot 27 \cdot \frac{27}{2} + 16 \cdot 59 \cdot \left(\frac{59}{2} + 27\right) + 24 \cdot 60 \cdot \left(\frac{24}{2} + 59 + 27\right) + 160 \cdot 25 \cdot \left(\frac{25}{2} + 110\right) = 701952 \text{ см}^3, \quad (4.9)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 56   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

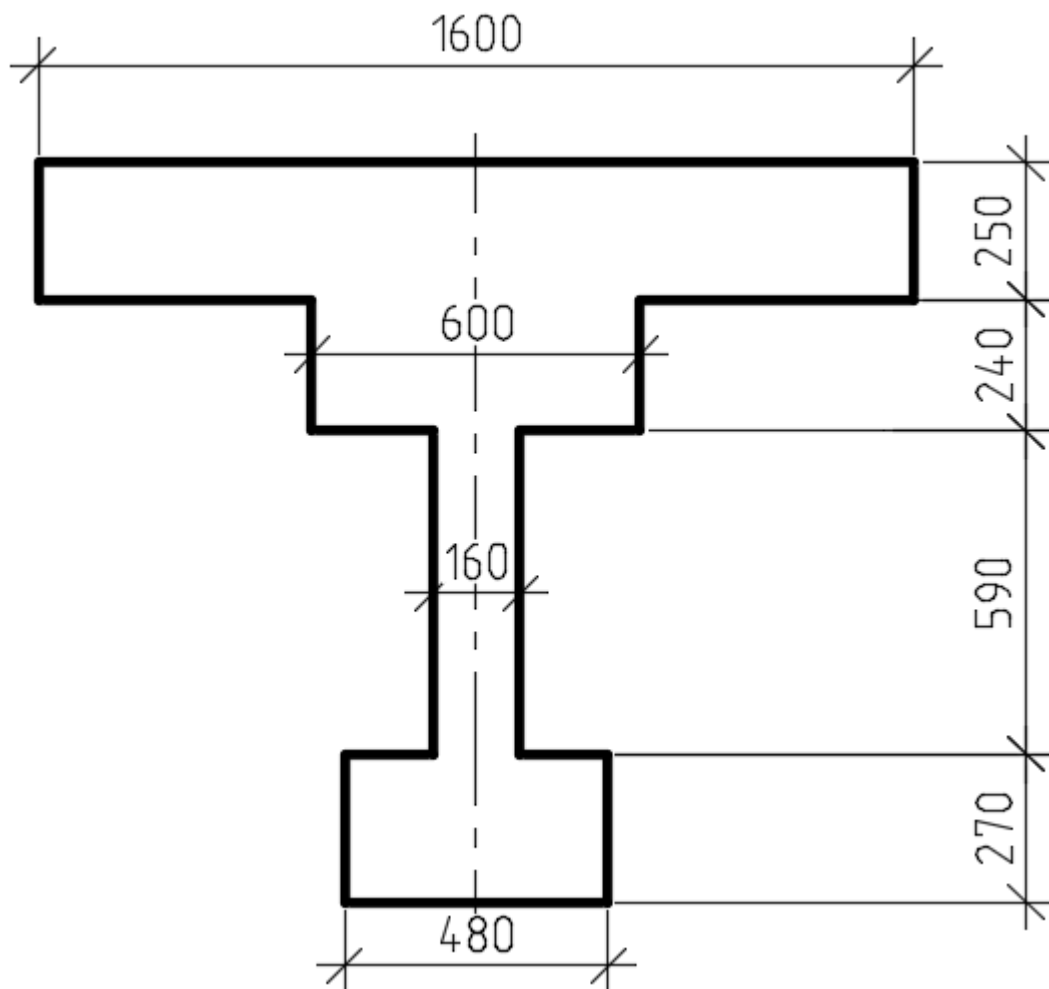


Рисунок 4.2 – Приведений поперечний переріз балки в середині прогону

Центр ваги приведенного поперечного перерізу балки відносно нижньої грані:

$$y_b = \frac{S_b}{A_b} = \frac{701952}{7680} = 91,4 \text{ см}, \quad (4.10)$$

Момент інерції приведенного поперечного перерізу балки:

$$I_b = \frac{48 \cdot 27^3}{12} + 48 \cdot 27 \cdot \left(91,4 - \frac{27}{2}\right)^2 + \frac{16 \cdot 59^3}{12} + 16 \cdot 59 \cdot \left(91,4 - 27 - \frac{59}{2}\right)^2 + \frac{60 \cdot 24^3}{12} + 60 \cdot 24 \cdot \left(110 - 12 - 91,4\right)^2 + \frac{160 \cdot 25^3}{12} + 160 \cdot 25 \cdot \left(110 + \frac{25}{2} - 91,4\right)^2 = (4.11) \\ = 3,457 \text{ м}^4,$$

Момент інерції кручення приведенного поперечного перерізу балки:

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 57   |



$$I_k = \frac{1}{3} \cdot \sum \left( \frac{b_i}{\delta_i} - 0,63 \right) \cdot \delta_i^4, \quad (4.12)$$

де  $b_i$  – довжина  $i$ -го прямокутника, що входить до складу поперечного перерізу;  
 $\delta_i$  – ширина  $i$ -го прямокутника, що входить до складу поперечного перерізу;

$$I_k = \frac{1}{3} \cdot \left[ \left( \frac{60}{24} - 0,63 \right) \cdot 24^4 + \left( \frac{59}{16} - 0,63 \right) \cdot 16^4 + \left( \frac{48}{27} - 0,63 \right) \cdot 27^4 + \left( \frac{160}{25} - 0,63 \right) \cdot 25^4 \right] = 0,0123 \text{ м}^4,$$

Обчислюємо поправку на кручення:

$$4 \cdot n \cdot \frac{K}{\Pi} = \frac{1}{3} \cdot n \cdot \frac{G \cdot I_k}{E \cdot I} \cdot l^2 = \frac{1}{3} \cdot 7 \cdot \frac{0,42 \cdot 0,0123}{3,457} \cdot 23,2^2 = 1,877, \quad (4.13)$$

Ординати лінії впливу КПП на крайню ліву балку:

$$\eta_1 = \frac{1}{7} + \frac{9,6^2}{2 \cdot (9,6^2 + 6,4^2 + 3,2^2) + 1,877} = 0,462,$$

$$\eta_1' = \frac{1}{7} - \frac{9,6^2}{2 \cdot (9,6^2 + 6,4^2 + 3,2^2) + 1,877} = -0,176,$$

Ординати лінії впливу КПП на другу балку:

$$\eta_2 = \frac{1}{7} + \frac{9,6 \cdot 6,4}{2 \cdot (9,6^2 + 6,4^2 + 3,2^2) + 1,877} = 0,356,$$

$$\eta_1' = \frac{1}{7} - \frac{9,6 \cdot 6,4}{2 \cdot (9,6^2 + 6,4^2 + 3,2^2) + 1,877} = -0,07,$$

На рисунку 4.3 показано лінії впливу КПП для 2 крайніх балок прогонової будови.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 58   |

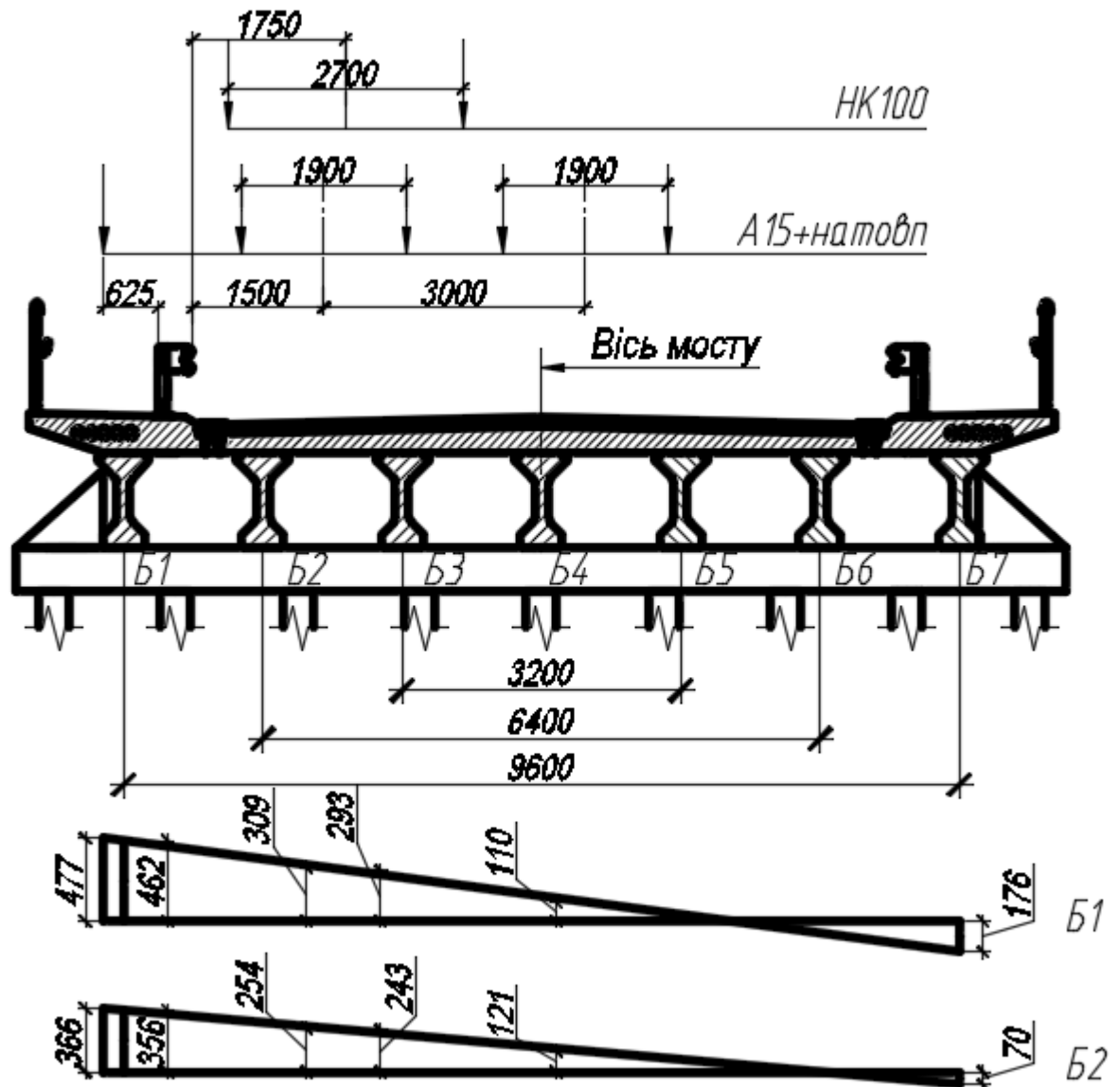


Рисунок 4.3 – Варіанти навантаження прогонової будови та лінії впливу КПР двох крайніх лівих балок.

Знайдемо коефіцієнти поперечного розподілу для крайньої балки.

КПР для смуг А15:

$$КПР_A = 0,309 + 0,6 \cdot 0,11 = 0,375,$$

КПР для тандемів А15:

$$КПР_T = 0,309 + 0,11 = 0,419,$$

КПР для НК-100:

$$КПР_{НК} = 0,293,$$

КПР для пішохідного навантаження:

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 59   |

$$KPP_{\Pi} = 0,477,$$

Знайдемо коефіцієнти поперечного розподілу для другої балки.

КПР для смуг А15:

$$KPP_A = 0,254 + 0,6 \cdot 0,121 = 0,327,$$

КПР для тандемів А15:

$$KPP_T = 0,254 + 0,121 = 0,375,$$

КПР для НК100:

$$KPP_{HK} = 0,243,$$

КПР для пішохідного навантаження:

$$KPP_{\Pi} = 0,366,$$

3) Метод нерозрізної балки на пружних опорах.

Розглядаємо поперечну конструкцію як нерозрізну балку на пружно просідаючих опорах, якими є головні балки.

Лінії впливу КПР на балки будуємо як лінії впливу опорних реакцій балки на пружних опорах.

Відстань між опорами  $d=1,6$  м, виліт консолей  $d_k=0,23$  м. Розрахунковий прогін головної балки  $l_p=23,2$  м.

Знайдемо жорсткістний параметр  $\alpha$ :

$$\alpha = 12,8 \cdot \frac{d^3}{l^4} \cdot \frac{I_b}{I_{пл}}, \quad (4.14)$$

де  $I_{пл}$  – момент інерції плити проїзної частини;

$I_b$  – момент інерції приведенного поперечного перерізу балки;

Знаходимо момент інерції плити проїзної частини шириною 1,0 м:

$$I_{пл} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1 \cdot 0,25^3}{12} = 0,0013 \text{ м}^4, \quad (4.15)$$

На рисунку 4.4 показано приведений поперечний переріз головної балки

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 60   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

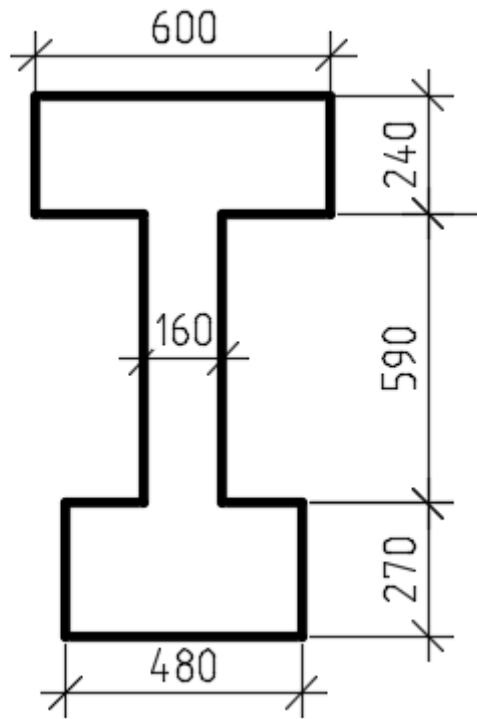


Рисунок 4.4 – Приведений поперечний переріз головної балки.

Площа приведенного поперечного перерізу балки:

$$A_b = 48 \cdot 27 + 16 \cdot 59 + 24 \cdot 60 = 3680 \text{ см}^2;$$

Статичний момент інерції приведенного поперечного перерізу балки відносно нижньої грані:

$$S_b = 48 \cdot 27 \cdot \frac{27}{2} + 16 \cdot 59 \cdot \left( \frac{59}{2} + 27 \right) + 24 \cdot 60 \cdot \left( \frac{24}{2} + 59 + 27 \right) = 211952 \text{ см}^3,$$

Центр ваги приведенного поперечного перерізу балки відносно нижньої грані:

$$y_b = \frac{S_b}{A_b} = \frac{211952}{3680} = 57,6 \text{ см},$$

Момент інерції приведенного поперечного перерізу балки:

$$I_b = \frac{48 \cdot 27^3}{12} + 48 \cdot 27 \cdot \left( 57,6 - \frac{27}{2} \right)^2 + \frac{16 \cdot 59^3}{12} + 16 \cdot 59 \cdot \left( 57,6 - 27 - \frac{59}{2} \right)^2 + \frac{60 \cdot 24^3}{12} + 60 \cdot 24 \cdot \left( 110 - 12 - 57,6 \right)^2 = 1,157 \text{ м}^4,$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 61   |

Жорсткісний параметр  $\alpha$ :

$$\alpha = 12,8 \cdot \frac{d^3}{l^4} \cdot \frac{I_b}{I_{nl}} = 12,8 \cdot \frac{1,6^3}{23,2^4} \cdot \frac{1,157}{0,0013} = 0,161, \quad (4.16)$$

Знаходимо ординати лінії впливу КПР, в залежності від жорсткісного параметру  $\alpha$ , з [5]:

Для балки Б1:

$$R_1 = 0,75$$

$$R_2 = 0,30$$

$$R_3 = 0,048$$

$$R_4 = -0,034$$

$$R_5 = -0,038$$

$$R_6 = -0,023$$

$$R_7 = -0,005$$

$$R_{лк} = 0,815$$

$$R_{пк} = 0,002$$

Для балки Б2:

$$R_1 = 0,30$$

$$R_2 = 0,382$$

$$R_3 = 0,249$$

$$R_4 = 0,093$$

$$R_5 = 0,012$$

$$R_6 = -0,014$$

$$R_7 = -0,023$$

$$R_{лк} = 0,286$$

$$R_{пк} = -0,016$$

На рисунку 4.5 показано лінії впливу КПР для 2 крайніх балок прогонової будови.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 62   |

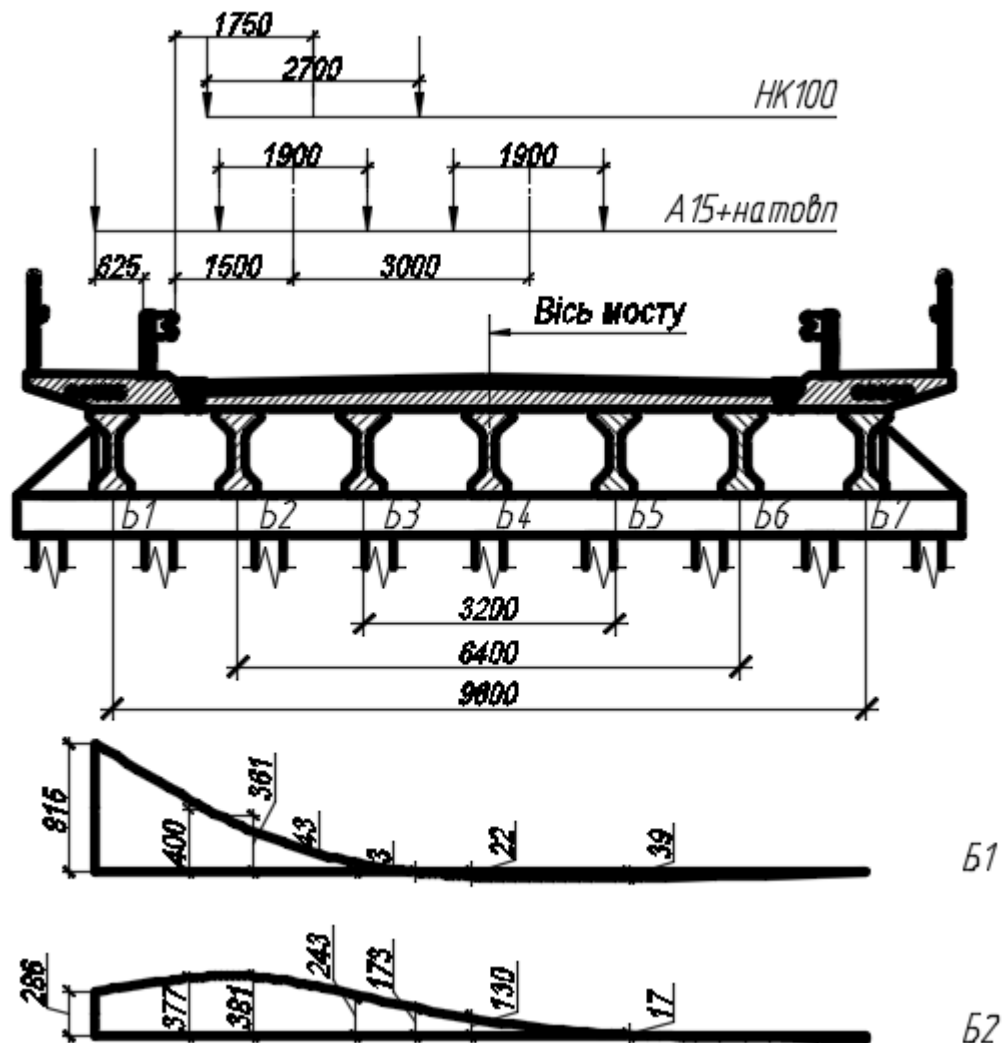


Рисунок 4.5 – Варіанти навантаження прогонової будови та лінії впливу КІР двох крайніх лівих балок.

Знайдемо коефіцієнти поперечного розподілу для крайньої балки.

КІР для смуг А15:

$$КІР_A = \frac{0,361 + 0,043}{2} = 0,202,$$

КІР для тандемів А15:

$$КІР_T = 0,202,$$

КІР для НК100:

$$КІР_{НК} = \frac{0,4 - 0,003}{2} = 0,199,$$

КІР для пішохідного навантаження:

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 63   |

$$KPP_{\Pi} = 0,815,$$

Знайдемо коефіцієнти поперечного розподілу для другої балки.

КПР для смуг А15:

$$KPP_A = \frac{0,381 + 0,243}{2} = 0,312,$$

КПР для тандемів А15:

$$KPP_T = 0,312,$$

КПР для НК100:

$$KPP_{HK} = \frac{0,377 + 0,173}{2} = 0,275,$$

КПР для пішохідного навантаження:

$$KPP_{\Pi} = 0,286,$$

#### 4.2. Визначення інтенсивності постійних навантажень.

В таблиці 4.1 показано значення інтенсивності постійного навантаження на одну балку прогонової будови

Таблиця 4.1 – інтенсивності постійного навантаження на одну балку прогонової будови

| №<br>п/п | Найменування<br>навантаження                  | Розрахунки   | Нормативне<br>значення,<br>кН/<br>м | Коефіцієнт<br>надійності,<br>$\gamma_f$ | Розрахункове<br>значення,<br>кН/<br>м |
|----------|---|--|-------------------------------------|---|---------------------------------------|
| 1        | Власна вага<br>балки                          | $P = \frac{G}{24}$<br>$P = \frac{20.2 \cdot 10}{24} = 8,42$  | 8.42                                | 1.25                                    | 10.53                                 |
| 2        | Монолітна плита<br>та монолітний<br>тротуар   | $P = 1 \cdot 1.6 \cdot h_{пл} \cdot \gamma_{зб}$<br>$P = 1 \cdot 1.6 \cdot 0.25 \cdot 24.5 =$<br>$= 9.8$ | 9.8                                 | 1.25                                    | 12.25                                 |
| 3        | Асфальтобетон<br>проїзної частини<br>( 11 см) | $P = 1 \cdot 1.6 \cdot h_{аб} \cdot \gamma_{аб}$<br>$P = 1 \cdot 1.6 \cdot 0.11 \cdot 24 =$<br>$= 4.22$  | 4.22                                | 2.0                                     | 8.44                                  |

Продовження таблиці 4.1

|   |                     |         |                   |      |                   |
|---|---------------------|---------|-------------------|------|-------------------|
| 4 | Перильне огороження | $P=2.5$ | 2.5               | 1.25 | 3.13              |
| 5 | Бар'єрне огороження | $P=2.0$ | 2.0               | 1.25 | 2.5               |
| 6 | Всього              |         | $g_{\Pi} = 26.94$ |      | $g_{\Pi} = 36.85$ |

4.3. Визначення інтенсивності тимчасових навантажень.

1) Навантаження А15

Навантаження від автотранспортних засобів на кожну смугу навантаження приймається згідно з [3] у вигляді рівномірно розподіленого з інтенсивністю  $v = 0,98K$  кН/м (0,1К тс/м) та тандему з навантаженням на вісь  $P = 9,81K$  кН (див. рис. 4.6), де  $K$  – клас навантаження.  $K=15$ .

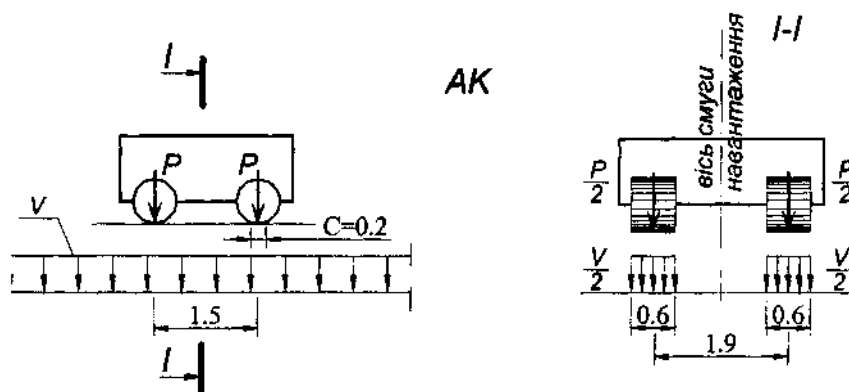


Рисунок 4.6 – модель АК

Нормативне навантаження від рівномірно розподіленого А15:

$$v = 0,98 \cdot 15 = 14,7 \text{ кН/м} \quad (4.17)$$

Розрахункове навантаження від рівномірно розподіленого А15:

$$v = v \cdot \gamma_f \cdot (1 + \mu), \quad (4.18)$$

де  $\gamma_f = 1.5$  – коефіцієнт надійності;

$1 + \mu = 1.0$  – динамічний коефіцієнт ;

$$v = 14,7 \cdot 1,5 \cdot 1,0 = 22,05 \text{ кН/м,}$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 65   |



Нормативне навантаження від тандему А15:

$$P = 9,81 \cdot 15 = 147,15 \text{ кН}, \quad (4.20)$$

Розрахункове навантаження від тандему А15:

$$P = P \cdot \gamma_f \cdot (1 + \mu), \quad (4.21)$$

де  $\gamma_f = 1.5$  – коефіцієнт надійності;

$1 + \mu = 1.0$  – динамічний коефіцієнт ;

$$P = 147,15 \cdot 1,5 \cdot 1,3 = 286,94 \text{ кН},$$

## 2) Навантаження НК100

Модель НК являє собою чотиривісний колісний екіпаж з навантаженням на одну вісь 25т (див. рис. 4.7).

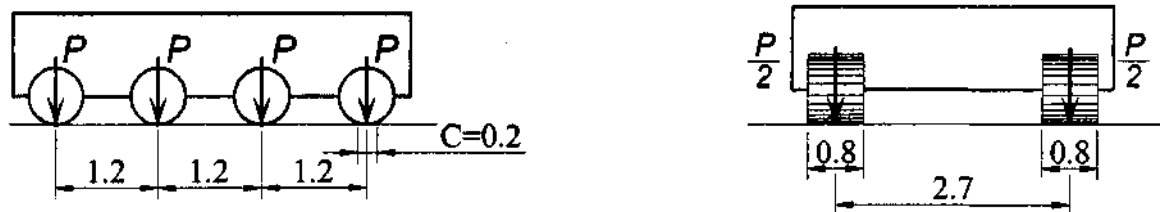


Рисунок 4.7 – модель НК

$\gamma_f = 1.0$  – коефіцієнт надійності;  $1 + \mu = 1.0$  – динамічний коефіцієнт ;

## 3) Пішохідне навантаження

Тимчасове навантаження від пішоходів на тротуари мостів слід приймати (при розрахунках з урахуванням інших рухомих навантажень, передбачених цими нормами) – 1,96 кПа (200 кгс/м<sup>2</sup>) [3].

Представимо навантаження у вигляді рівномірно розподіленого:

Нормативне навантаження від пішоходів:

$$v = 2 \cdot 1,25 = 2,5 \text{ кН/м}, \quad (4.22)$$

Розрахункове навантаження від пішоходів:

$$v = v \cdot \gamma_f \cdot (1 + \mu),$$

де  $\gamma_f = 1,2$  – коефіцієнт надійності;

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 66   |

$1 + \mu = 1,0$  – динамічний коефіцієнт ;

$$\nu = 2,5 \cdot 1,2 = 3,0 \text{ кН/м,}$$

4.4. Визначення згинального моменту в середині балки прогонової будови від постійних навантажень.

Лінію впливу згинального моменту в середині балки зображено на рисунку 3.8.

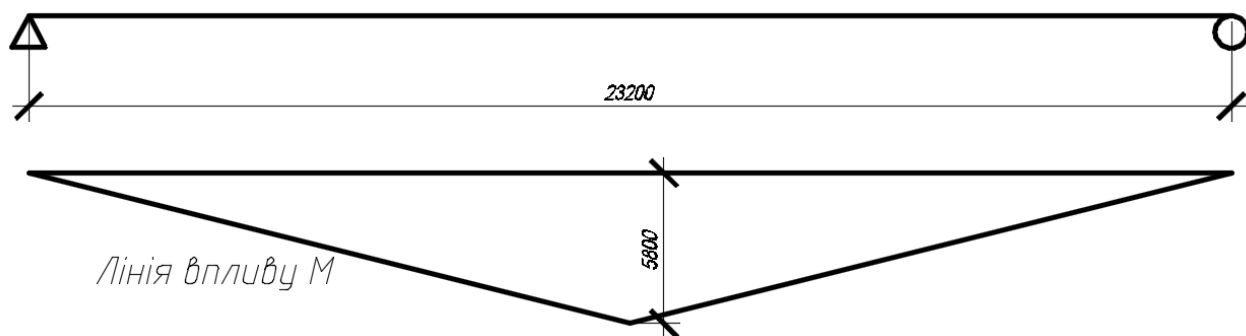


Рисунок 3.8 – Лінія впливу згинального моменту в середині балки

Визначемо розрахункові зусилля від постійних навантажень у балці за формулою:

$$S_{пост} = q_{пост} \cdot \varpi_{л.в} \quad (4.23)$$

Результати розрахунку показані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – згинальний момент в балці від постійного навантаження

| Визначення згинального моменту від постійного навантаження, кНм |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Прогонова будова<br>довжиною 23,2 м                             | q     | ω     | S       |
| Згинальний момент<br>в середині прогону                         | 36,85 | 67,28 | 2479,27 |

4.5. Визначення згинального моменту в середині балки прогонової будови від тимчасових навантажень.

Схеми завантаження лінії впливу згинального моменту тимчасовими навантаженнями А15+пішоходи та НК-100 показані на рисунку 3.9.

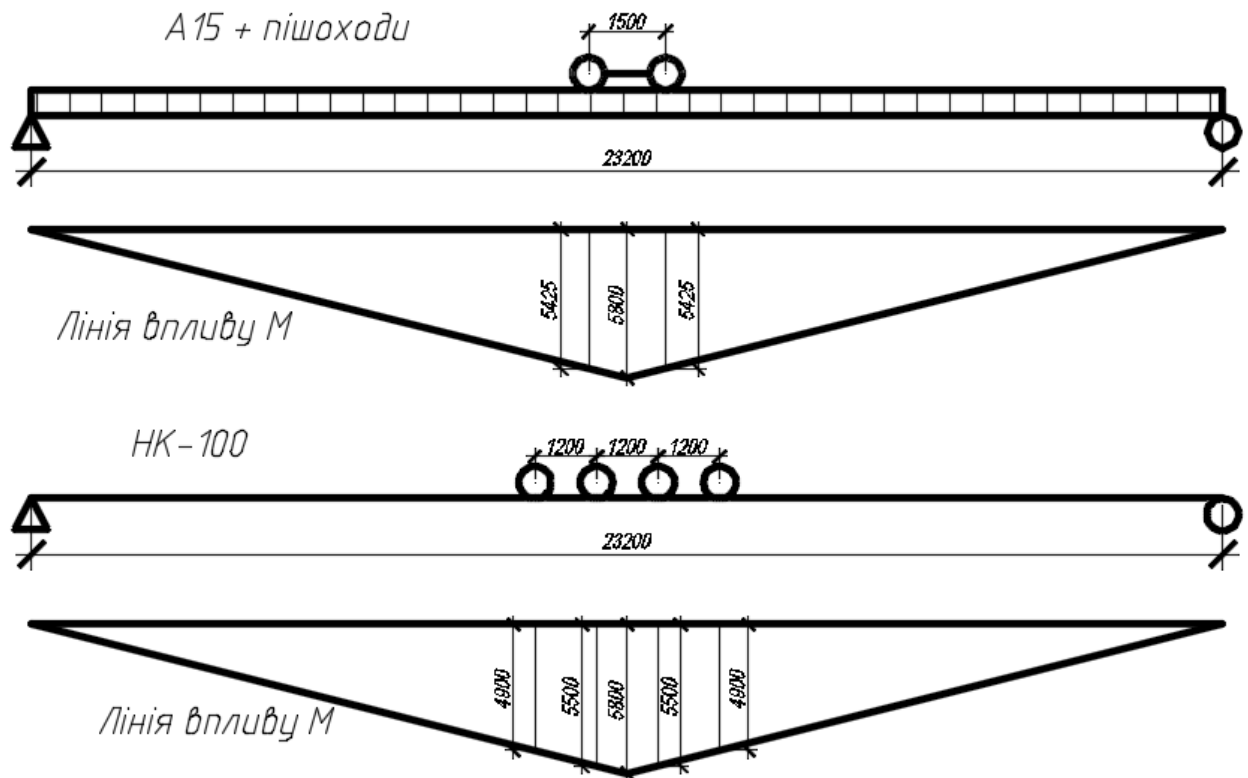


Рисунок 3.9 – Схеми завантаження лінії впливу згинального моменту тимчасовими навантаженнями

Визначемо розрахункові зусилля від тимчасових навантажень у балці за формулою для рівномірно розподіленого А15 і рівномірно розподіленого від пішоходів та формулою для тандему А15 і одиниці НК-100:

$$S_{\text{тимч}} = q_{\text{тимч}} \cdot \varpi_{\text{л.в}} \quad (4.24)$$

$$S_{\text{тимч}} = P_{\text{тимч}} \cdot y_{\text{л.в}} \quad (4.25)$$

Згинальний момент в середині крайньої балки від А15+пішоходи та НК-100 з врахуванням КПП визначеного методом позацентрового стиску показано в таблицях 4.3 та 4.4 відповідно.

Таблиця 4.3 – згинальний момент в середині крайньої балки від А15+пішоходи

|   |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
|---|-------------------------------|-----------------|----------|------|--------|------|-------|-------|------------------------|----------|-------|---------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
|   | Автомобільне навантаження А15 |                 |          |      |        |      |       |       | Пішохідне навантаження |          |       |         |
|   | K <sub>nv</sub>               | K <sub>nv</sub> | Ординати |      |        |      |       |       | K <sub>nv</sub>        | Ординати |       | S тимч  |
|   |                               |                 | P1       | y1   | P2     | y2   | q     | ω     |                        | q1       | ω     |         |
| Макс. згинальний момент                         | 0,375                         | 0,419           | 286,94   | 5,43 | 286,94 | 5,43 | 22,05 | 67,28 | 0,479                  | 3,0      | 67,28 | 1958,68 |

Таблиця 4.4 – згинальний момент в середині крайньої балки від НК-100

|   |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|---|----------------------------------|----------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|--------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|   | Автомобільне навантаження НК-100 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|   | K <sub>nv</sub>                  | Ординати |     |       |     |       |     |       |     | S тимч |
|   |                                  | P1       | y1  | P2    | y2  | P3    | y3  | P4    | y4  |        |
| Макс. згинальний момент                         | 0,294                            | 250,0    | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 250,0 | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 1528,8 |

Згинальний момент в середині другої балки від А15+пішоходи та НК-100 з врахуванням КПР визначеного методом позacentрового стиску показано в таблицях 4.5 та 4.6 відповідно

Таблиця 4.5 – згинальний момент в середині другої балки від А15+пішоходи

|   |                 |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |        |
|---|-----------------|-----------------|----------|------|--------|------|-------|-------|------------------------|----------|-------|--------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                 |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |        |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                 |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |        |
| Автомобільне навантаження А15                   |                 |                 |          |      |        |      |       |       | Пішохідне навантаження |          |       |        |
|   | K <sub>nv</sub> | K <sub>nv</sub> | Ординати |      |        |      |       |       | K <sub>nv</sub>        | Ординати |       | S тимч |
|   |                 |                 | P1       | y1   | P2     | y2   | q     | ω     |                        | q1       | ω     |        |
| Макс. згинальний момент                         | 0,366           | 0,411           | 286,94   | 5,43 | 286,94 | 5,43 | 22,05 | 67,28 | 0,479                  | 3,0      | 67,28 | 1920,4 |

Таблиця 4.6 – згинальний момент в середині другої балки від НК-100

|   |                 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|---|-----------------|----------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|--------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
| Автомобільне навантаження НК-100                |                 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|   | K <sub>nv</sub> | Ординати |     |       |     |       |     |       |     | S тимч |
|   |                 | P1       | y1  | P2    | y2  | P3    | y3  | P4    | y4  |        |
| Макс. згинальний момент                         | 0,284           | 250,0    | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 250,0 | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 1476,8 |



Згинальний момент в середині крайньої балки від А15+пішоходи та НК-100 з врахуванням КПП визначеного методом позацентрового стиску з врахуванням кручення показано в таблицях 4.7 та 4.8 відповідно.

Таблиця 4.7 – згинальний момент в середині крайньої балки від А15+пішоходи

|   |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
|---|-------------------------------|-----------------|----------|------|--------|------|-------|-------|------------------------|----------|-------|---------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
|   | Автомобільне навантаження А15 |                 |          |      |        |      |       |       | Пішохідне навантаження |          |       |         |
|   | K <sub>nv</sub>               | K <sub>nv</sub> | Ординати |      |        |      |       |       | K <sub>nv</sub>        | Ординати |       | S тимч  |
|   |                               |                 | P1       | y1   | P2     | y2   | q     | ω     |                        | q1       | ω     |         |
| Макс. згинальний момент                         | 0,375                         | 0,419           | 286,94   | 5,43 | 286,94 | 5,43 | 22,05 | 67,28 | 0,477                  | 3,0      | 67,28 | 1958,27 |

Таблиця 4.8 – згинальний момент в середині крайньої балки від НК-100

|   |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|---|----------------------------------|----------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|--------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|   | Автомобільне навантаження НК-100 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|   | K <sub>nv</sub>                  | Ординати |     |       |     |       |     |       |     | S тимч |
|   |                                  | P1       | y1  | P2    | y2  | P3    | y3  | P4    | y4  |        |
| Макс. згинальний момент                         | 0,293                            | 250,0    | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 250,0 | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 1523,6 |

Згинальний момент в середині другої балки від А15+пішоходи та НК-100 з врахуванням КПП визначеного методом позacentрового стиску з врахуванням кручення показано в таблицях 4.9 та 4.10 відповідно

Таблиця 4.9 – згинальний момент в середині другої балки від А15+пішоходи

|   |                 |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
|---|-----------------|-----------------|----------|------|--------|------|-------|-------|------------------------|----------|-------|---------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                 |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                 |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
| Автомобільне навантаження А15                   |                 |                 |          |      |        |      |       |       | Пішохідне навантаження |          |       |         |
|   | K <sub>nv</sub> | K <sub>nv</sub> | Ординати |      |        |      |       |       | K <sub>nv</sub>        | Ординати |       | S тимч  |
|   |                 |                 | P1       | y1   | P2     | y2   | q     | ω     |                        | q1       | ω     |         |
| Макс. згинальний момент                         | 0,327           | 0,375           | 286,94   | 5,43 | 286,94 | 5,43 | 22,05 | 67,28 | 0,366                  | 3,0      | 67,28 | 1727,55 |

Таблиця 4.10 – згинальний момент в середині другої балки від НК-100

|   |                 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|---|-----------------|----------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|--------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
| Автомобільне навантаження НК-100                |                 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|   | K <sub>nv</sub> | Ординати |     |       |     |       |     |       |     | S тимч |
|   |                 | P1       | y1  | P2    | y2  | P3    | y3  | P4    | y4  |        |
| Макс. згинальний момент                         | 0,243           | 250,0    | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 250,0 | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 1263,6 |

Згинальний момент в середині крайньої балки від А15+пішоходи та НК-100 з врахуванням КПП визначеного методом позацентрового стиску з врахуванням кручення показано в таблицях 4.11 та 4.12 відповідно.

Таблиця 4.11 – згинальний момент в середині крайньої балки від А15+пішоходи

|   |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
|---|-------------------------------|-----------------|----------|------|--------|------|-------|-------|------------------------|----------|-------|---------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
|   | Автомобільне навантаження А15 |                 |          |      |        |      |       |       | Пішохідне навантаження |          |       |         |
|   | K <sub>nv</sub>               | K <sub>nv</sub> | Ординати |      |        |      |       |       | K <sub>nv</sub>        | Ординати |       | S тимч  |
|   |                               |                 | P1       | y1   | P2     | y2   | q     | ω     |                        | q1       | ω     |         |
| Макс. згинальний момент                         | 0,202                         | 0,202           | 286,94   | 5,43 | 286,94 | 5,43 | 22,05 | 67,28 | 0,815                  | 3,0      | 67,28 | 1093,64 |

Таблиця 4.12 – згинальний момент в середині крайньої балки від НК-100

|   |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|---|----------------------------------|----------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|--------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|   | Автомобільне навантаження НК-100 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|   | K <sub>nv</sub>                  | Ординати |     |       |     |       |     |       |     | S тимч |
|   |                                  | P1       | y1  | P2    | y2  | P3    | y3  | P4    | y4  |        |
| Макс. згинальний момент                         | 0,199                            | 250,0    | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 250,0 | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 1034,8 |

Згинальний момент в середині другої балки від А15+пішоходи та НК-100 з врахуванням КПП визначеного методом позacentрового стиску з врахуванням кручення показано в таблицях 4.13 та 4.14 відповідно

Таблиця 4.13 – згинальний момент в середині другої балки від А15+пішоходи

|   |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
|---|-------------------------------|-----------------|----------|------|--------|------|-------|-------|------------------------|----------|-------|---------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                               |                 |          |      |        |      |       |       |                        |          |       |         |
|   | Автомобільне навантаження А15 |                 |          |      |        |      |       |       | Пішохідне навантаження |          |       |         |
|   | K <sub>nv</sub>               | K <sub>nv</sub> | Ординати |      |        |      |       |       | K <sub>nv</sub>        | Ординати |       | S тимч  |
|   |                               |                 | P1       | y1   | P2     | y2   | q     | ω     |                        | q1       | ω     |         |
| Макс. згинальний момент                         | 0,312                         | 0,312           | 286,94   | 5,43 | 286,94 | 5,43 | 22,05 | 67,28 | 0,286                  | 3,0      | 67,28 | 1492,83 |

Таблиця 4.14 – згинальний момент в середині другої балки від НК-100

|   |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|---|----------------------------------|----------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|--------|
| Прогонова будова розрахунковою довжиною 23,2 м  |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
| Визначення зусилля від тимчасового навантаження |                                  |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|   | Автомобільне навантаження НК-100 |          |     |       |     |       |     |       |     |        |
|   | K <sub>nv</sub>                  | Ординати |     |       |     |       |     |       |     | S тимч |
|   |                                  | P1       | y1  | P2    | y2  | P3    | y3  | P4    | y4  |        |
| Макс. згинальний момент                         | 0,275                            | 250,0    | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 250,0 | 4,9 | 250,0 | 5,5 | 1430   |

4.6. Визначення згинального моменту в середині двох крайніх балок прогонової будови від сумарних навантажень

Знайдемо сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок за формулою 4.26.

$$S = S_{\text{тимч}} + S_{\text{пост}} \quad (4.26)$$

1) З врахуванням КІР визначеного методом позацентрового стиску

Сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок показані в таблиці 4.15

Таблиця 4.15 – сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок

|          | Пост + НК-100, кН·м | Пост + А15+пішоходи, кН·м |
|----------|---------------------|---------------------------|
| Балка Б1 | 4008,07             | 4437,95                   |
| Балка Б2 | 3956,07             | 4399,67                   |

2) З врахуванням КІР визначеного методом позацентрового стиску з врахуванням кручення

Сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок показані в таблиці 4.16

Таблиця 4.16 – сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок

|          | Пост + НК-100, кН·м | Пост + А15+пішоходи, кН·м |
|----------|---------------------|---------------------------|
| Балка Б1 | 4002.87             | 4437.54                   |
| Балка Б2 | 3742.87             | 4206.82                   |

3) З врахуванням КІР визначеного методом нерозрізної балки на пружних опорах.

Сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок показані в таблиці 4.17

Таблиця 4.17 – сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок

|          | Пост + НК-100, кН·м | Пост + А15+пішоходи, кН·м |
|----------|---------------------|---------------------------|
| Балка Б1 | 3514.07             | 3572.91                   |
| Балка Б2 | 3909.27             | 3972.1                    |



## 5 ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ В БАЛКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ПК «ЛІРА»

Розрахунок зусиль в прогоновій будові в ПК «Ліра» виконується по методу балочного ростверку.

«При розрахунку за методом балочного ростверку прогонову будову балочного моста розглядають як ростверк, тобто як систему поздовжніх і поперечних взаємно перетинаючих балок. Плита проїзної частини вводиться до складу перерізу балок. Розподіл навантаження між елементами прогону залежить від жорсткості поздовжніх і поперечних балок ростверку, їх кількості, відстані, на якому вони розставлені, і величини прогону.

Виконуючи розрахунки системи перехресних балок, до якої прикладені зосереджені сили або рівномірно розподілене навантаження, як багаторазово статично невизначеної системи за методами будівельної механіки (зазвичай за методом сил), можна обчислити взаємні силові впливи поздовжніх і поперечних балок в точках їх перетину (див. рис. 5.1). Знаючи величину і розташування зовнішнього навантаження і сили, що виникають в точках перетину балок, неважко обчислити згинальні моменти і поперечні сили в будь-якому перерізі кожного з елементів прогонової будови моста. .... » [6].

|               |      |              |        |      |  |                      |      |         |
|---------------|------|--------------|--------|------|--|----------------------|------|---------|
|               |      |              |        |      | 011.196102.ДР.2020.000   |                      |      |         |
|               |      |              |        |      |  |                      |      |         |
| Змн.          | Лист | № докум.     | Підпис | Дата | Розділ №5<br>Визначення зусиль в балках за допомогою ПК «ЛІРА» | Літ.                 | Арк. | Аркушів |
| Розробив      |      | Процик В.В.  |        |      |  |                      |      |         |
| Керівник      |      | Тютюкін О.Л. |        |      |  |                      |      |         |
| Керів.розділу |      |              |        |      |  |                      |      |         |
| Консульт.     |      | Овчинников   |        |      |  |                      |      |         |
| Н.контроль    |      | Овчинников   |        |      |  | ДНУЗТ, група 8МТ1926 |      |         |

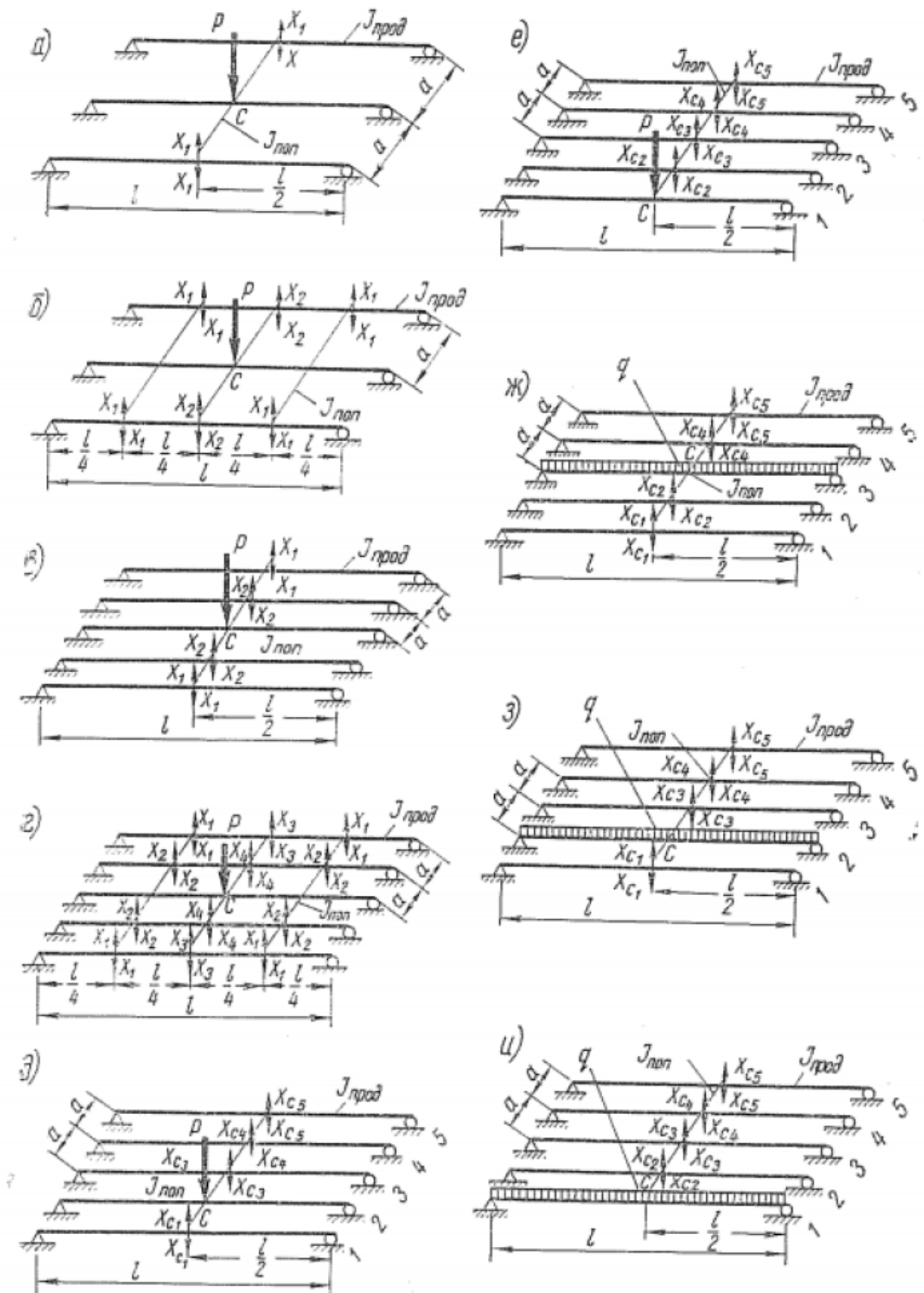


Рисунок 5.1 – Схеми до розрахунку балочної клітки прогонової будови методом балочного ростверку

Порядок розрахунку прогонової будови в ПК «ЛІРА»:

1) Завдання перерізів елементів, матеріалу та жорсткості

Характеристики перерізу головної балки (поздовжній елемент балочного ростверку) показані на рисунку 5.2.

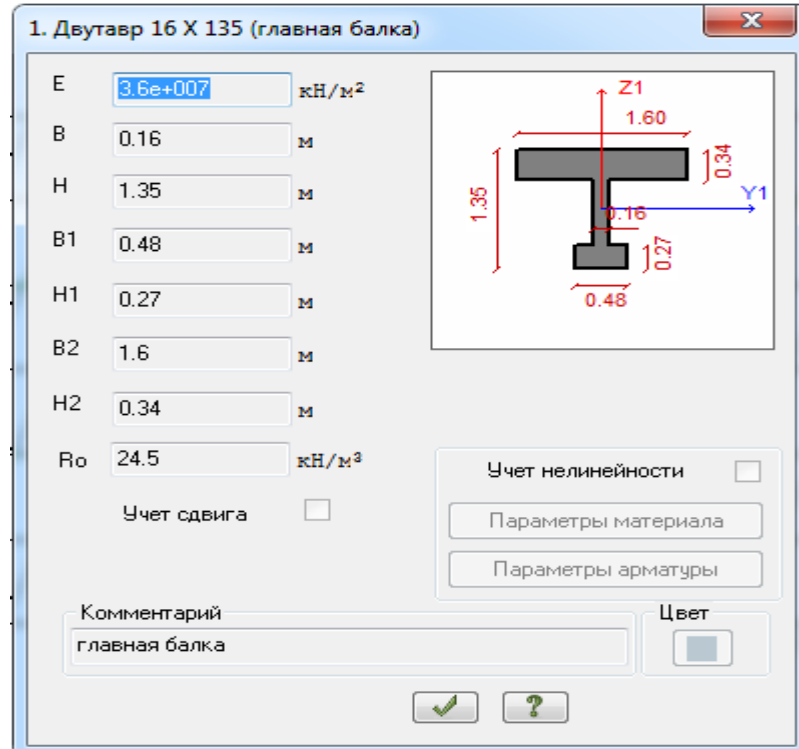


Рисунок 5.2 – Поперечний переріз головної балки

Характеристики перерізу поперечних елементів балочного ростверку показані на рисунку 5.3.

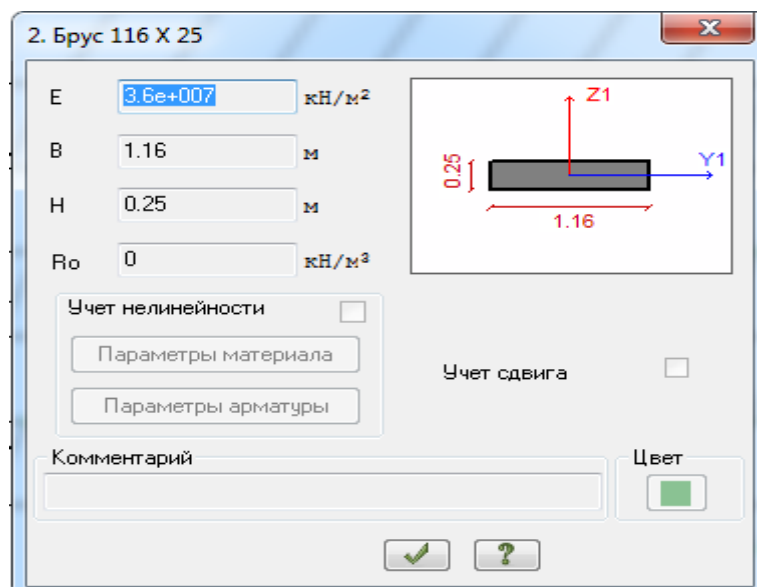


Рисунок 5.3 – Поперечний переріз плити проїзної частини.

2) Завдання геометрії моделі із вузлів та елементів.

На рисунку 5.4 зображена схема моделі «балочний ростверк».

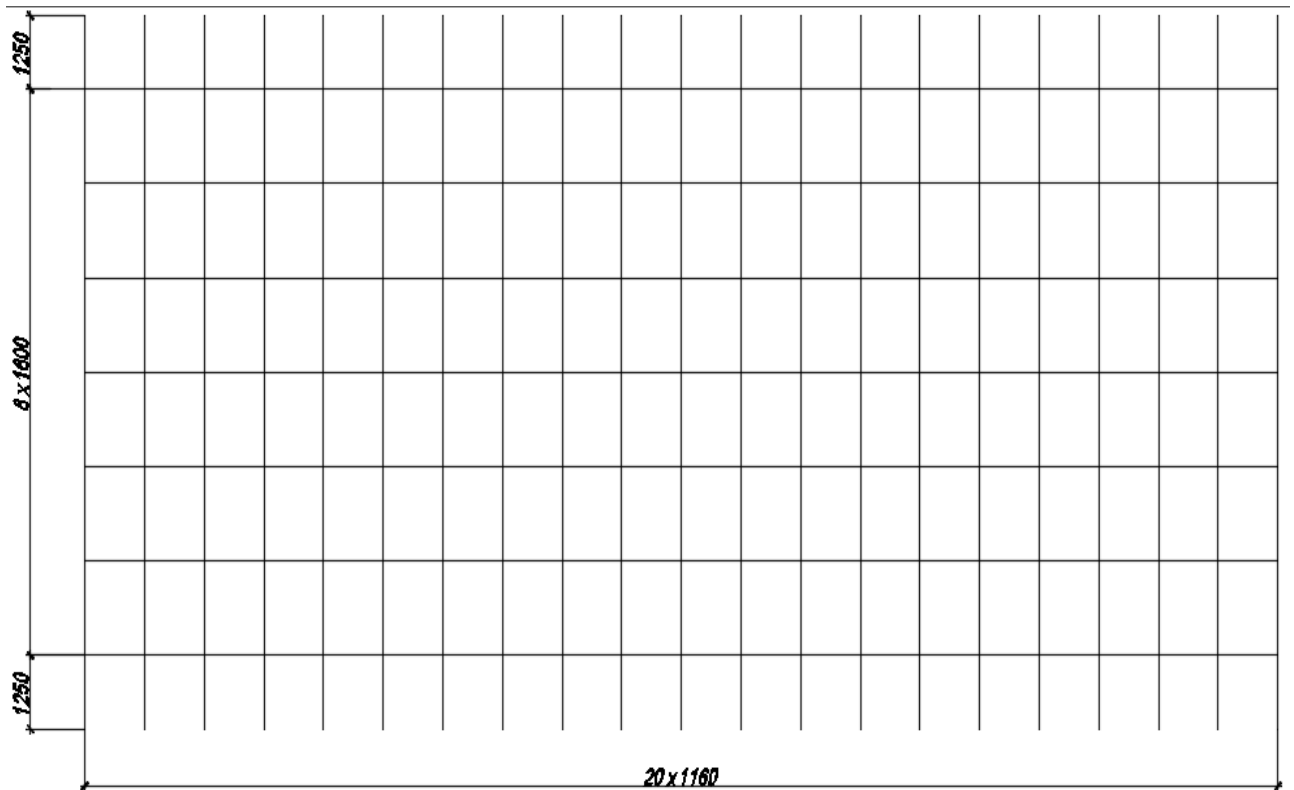


Рисунок 5.4 – Розміри схеми «балочний ростверк»

Модель «балочний ростверк» згенерована в ПК «ЛІРА» зображена на рисунку 5.5.

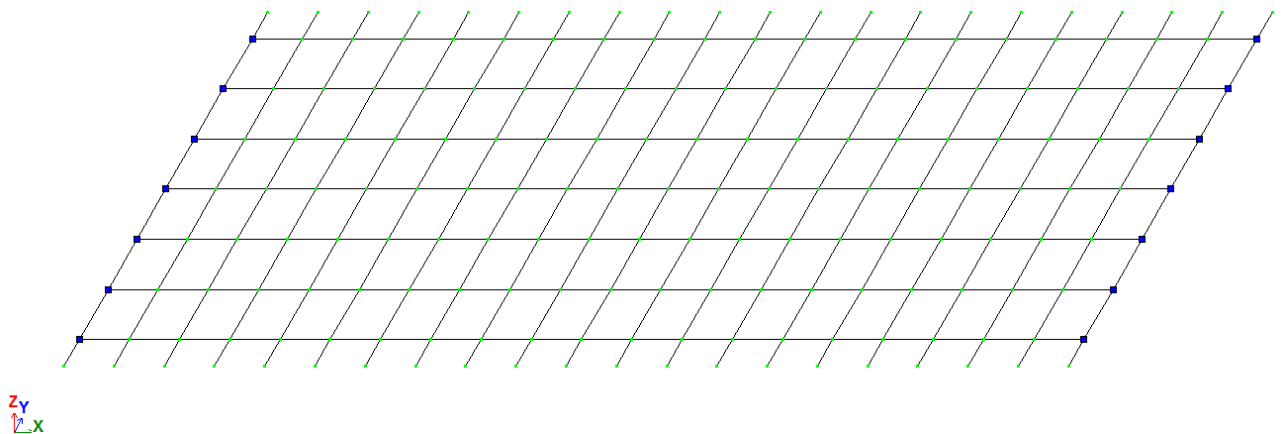


Рисунок 5.5 – Модель «балочний ростверк» в ПК «ЛІРА»

3) Завдання граничних умов.

Для того щоб отримати вертикальні реакції від тимчасового навантаження, при завданні граничних умов будемо використовувати кінцевий

елемент пружної опорної реакції (Елемент 51). Пружну опорну реакцію (див. рис. 5.6) будемо ставити тільки у напрямку Z глобальної системи координат.

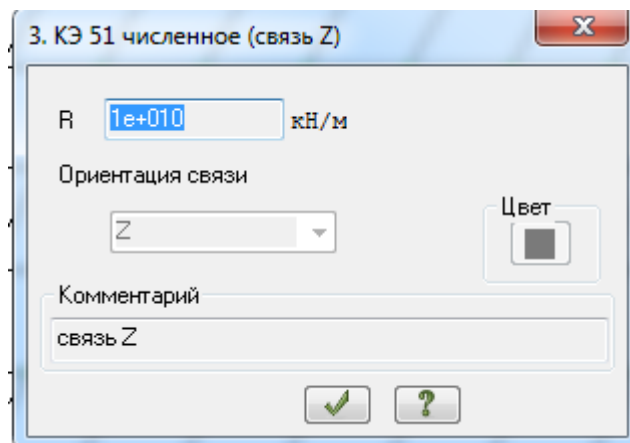


Рисунок 5.6 – Пружна опорна реакція

#### 4) Завдання постійного навантаження

Значення постійних навантажень візьмемо з попередніх розрахунків. Рівномірно розподілені навантаження, такі як асфальтобетон, власна вага прогонової будови, будемо прикладати до нашої моделі як рівномірно розподілені на елементи. Бар'єрне огородження, перильне огородження, будемо прикладати у вигляді зосередженої сили в вузлах.

Постійне навантаження будемо задавати нормативним. Задамо 4 види навантажень:

- для головних балок задаємо власну вагу (ди. рис. 5.7)

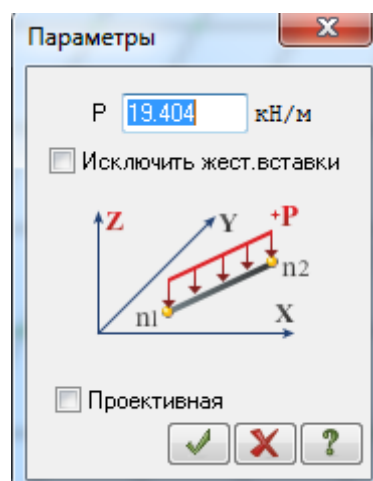


Рисунок 5.7 – Власна вага прогонової будови

- навантаження від шару асфальтобетону (див. рис. 5.8)

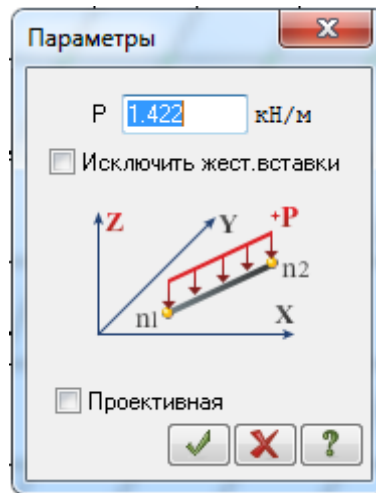


Рисунок 5.8 – Вага а/б

- навантаження від бар'єрного огороження (див. рис. 5.9)

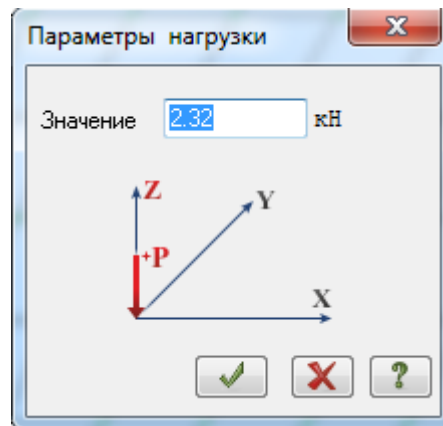


Рисунок 5.9 – Навантаження від БО

- навантаження від перильного огороження (див. рис. 5.10)

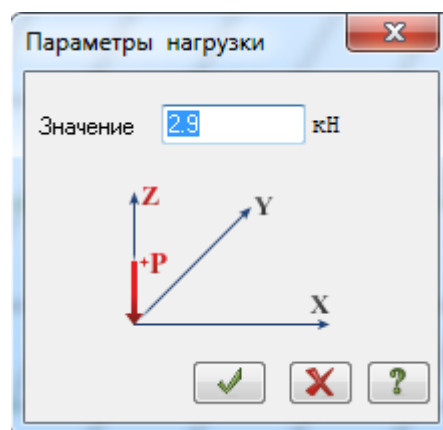


Рисунок 5.10 – Навантаження від ПО

#### 5) Завдання тимчасового навантаження

Завантажимо прогонову будову навантаженням А15+пішоходи та



НК-100.

Будемо визначати згинальний момент в елементах першої і другої головних балок.

- навантаження від пішоходів (див. рис. 5.11)

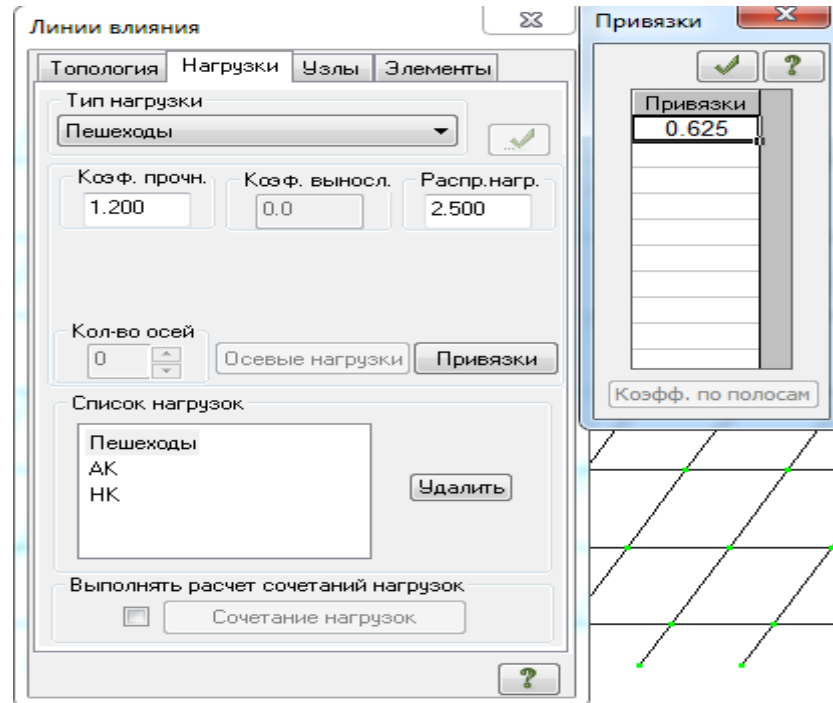


Рисунок 5.11 – Навантаження від пішоходів.

- навантаження від А15 (див. рис. 5.12)

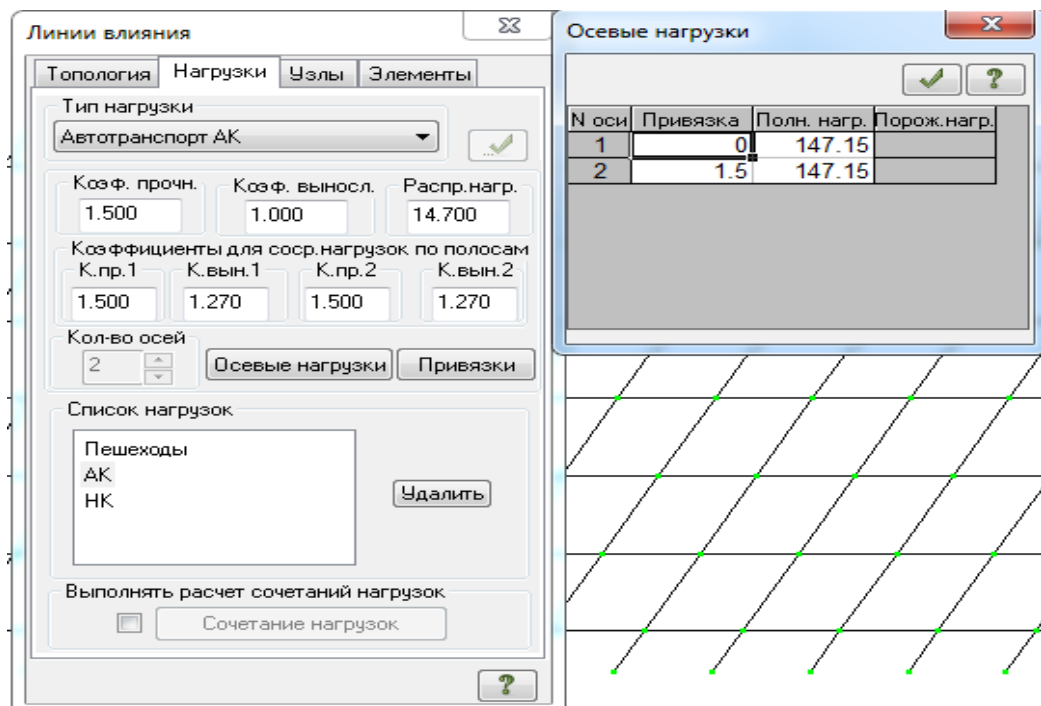


Рисунок 5.12 – Навантаження від А15

- навантаження від НК-100 (див. рис. 5.13)

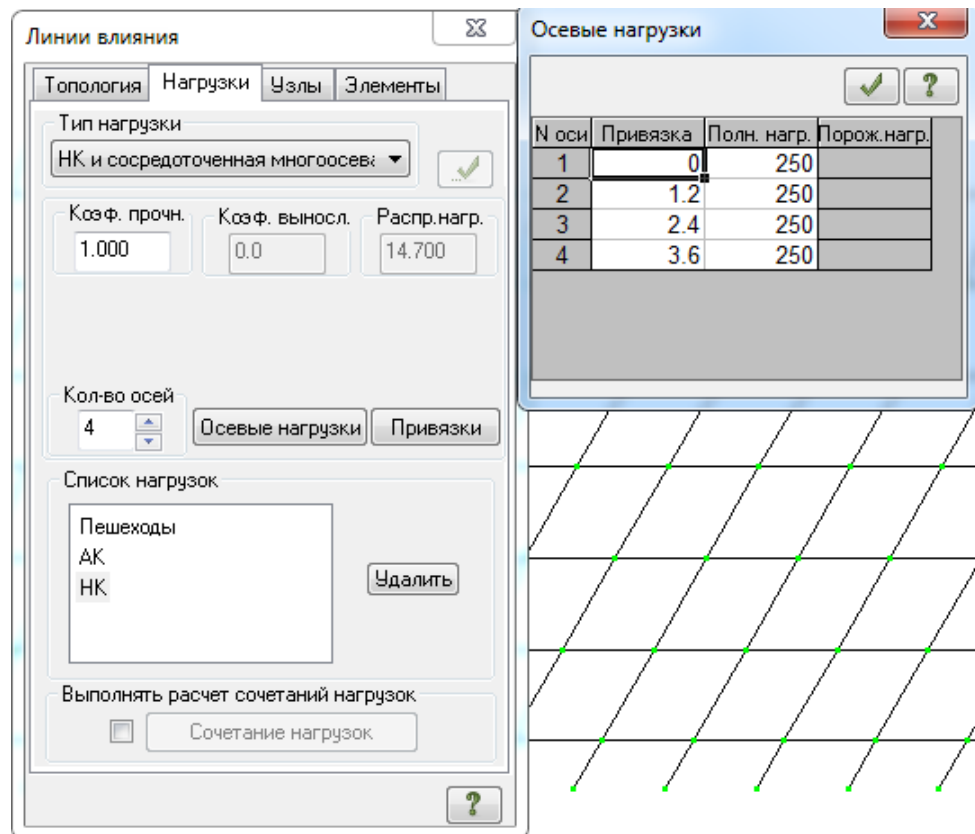


Рисунок 5.13 – Навантаження від НК-1003

#### б) Аналіз результатів.

Після виконання розрахунку *Режим -> Виконати розрахунок* переходимо в режим результати розрахунку *Режим -> Результати розрахунку*.

Формування РСН для нормативного постійного навантаження та розрахункового постійного навантаження (див. рис. 5.14).

Епюра згинального моменту від розрахункового постійного навантаження балки Б1 показана на рисунку 5.15.

Епюра згинального моменту від розрахункового постійного навантаження балки Б2 показана на рис 5.16.

Расчетные сочетания нагрузок

СНиП 2.01.07-85\*

|   | Вид           | Знакоперем. | Взаимоискл. | Козф. надежн. | Доля длительн. | 1   | 2    |
|---|---------------|-------------|-------------|---------------|----------------|-----|------|
| 1 | Постоянное(П) | +           |             | 1.1           | 1.0            | 1.0 | 1.25 |
| 2 | Постоянное(П) | +           |             | 1.1           | 1.0            | 1.0 | 2.0  |
| 3 | Постоянное(П) | +           |             | 1.1           | 1.0            | 1.0 | 1.25 |
| 4 | Постоянное(П) | +           |             | 1.1           | 1.0            | 1.0 | 1.25 |

1 основное  
2 основное  
Особое (С)  
Особое (б/С)

$\Sigma П + Д + К + (Кр + Т) + М$

Кэффициенты

Добавить

Рисунок 5.14 – РСН для нормативного постійного навантаження та розрахункового постійного навантаження

Эпюра М<sub>y</sub>  
Единицы измерения - кН\*м

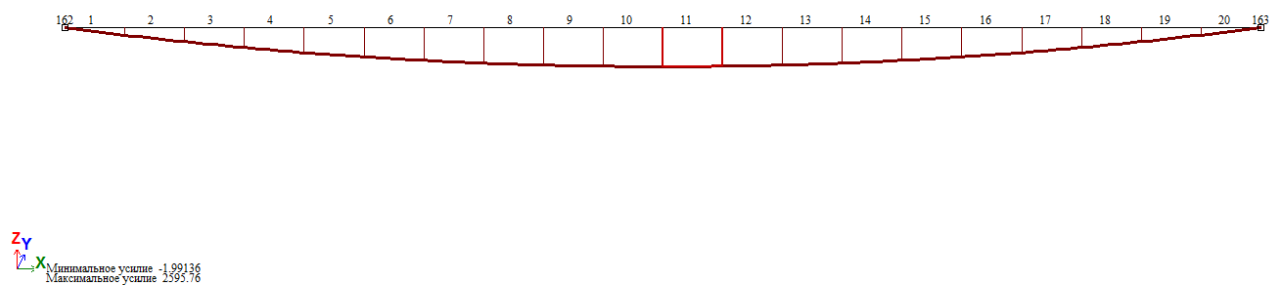


Рисунок 5.15 – Епюра згинального моменту від розрахункового постійного навантаження балки Б1.

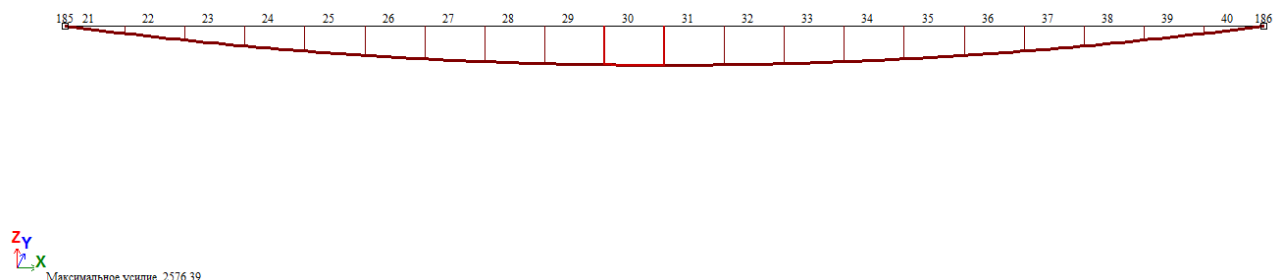


Рисунок 5.16 – Епюра згинального моменту від розрахункового постійного навантаження балки Б2.

Значення згинального моменту в середині балки Б1 від тимчасового навантаження А15+пішоходи показане на рисунку 5.17.

|   |      |     |      |     |      |      |      |       |      |      |      |       |      |       |
|---|------|-----|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
| Элемент 10, тип 10, сечение 2, узлы 31-32 |      |     |      |     |      |      |      |       |      |      |      |       |      |       |
| *MY                                       | 0.0  | 7.6 | 0.0  | 9.1 | 0.0  | 77.4 | 0.0  | 116.1 | 0.0  | 90.2 | 0.0  | 107.7 | 0.0  | 107.7 |
| *QZ                                       | -0.5 | 0.6 | -0.6 | 0.7 | -1.9 | 2.8  | -2.9 | 4.2   | -2.3 | 3.3  | -3.6 | 4.9   | -3.6 | 4.9   |
| *MZ                                       | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   |
| *OY                                       | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   |

Рисунок 5.17 –Значення згинального моменту (в тс·м) в середині балки Б1 від тимчасового навантаження А15+пішоходи

Переведемо одиниці вимірювання моментів із тс·м в кН·м за формулою 5.1.

$$S_{\text{тимч}} = \sum M \cdot 9.81 = (9.1 + 116.1) \cdot 9.81 = 1228.21 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (5.1)$$

Значення згинального моменту в середині балки Б2 від тимчасового навантаження А15+пішоходи показане на рисунку 5.18.

|   |      |     |      |     |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|------|-----|------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Элемент 30, тип 10, сечение 2, узлы 52-53 |      |     |      |     |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
| *MY                                       | 0.0  | 5.1 | 0.0  | 6.2 | -0.0 | 93.9 | -0.0  | 140.9 | -0.0  | 110.8 | 0.0   | 128.6 | 0.0   | 128.6 |
| *QZ                                       | -0.1 | 0.2 | -0.1 | 0.2 | -8.4 | 9.2  | -12.7 | 13.9  | -10.3 | 11.2  | -14.1 | 15.1  | -14.1 | 15.1  |
| *MZ                                       | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| *QY                                       | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |

Рисунок 5.18 – Значення згинального моменту (в тс·м) в середині балки Б2 від тимчасового навантаження А15+пішоходи.

Переведемо одиниці вимірювання моментів із тс·м в кН·м

$$S_{\text{тимч}} = \sum M \cdot 9.81 = (6.2 + 140.9) \cdot 9.81 = 1443.05 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

Значення згинального моменту в середині балки Б1 від тимчасового навантаження НК-100 показане на рисунку 5.19.

|   |      |     |      |     |      |      |      |       |      |      |      |       |      |
|---|------|-----|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| Елемент 10, тип 10, сечение 2, узлы 31-32 |      |     |      |     |      |      |      |       |      |      |      |       |      |
| *MY                                       | 0.0  | 7.6 | 0.0  | 9.1 | 0.0  | 77.4 | 0.0  | 116.1 | 0.0  | 90.2 | 0.0  | 107.7 | 0.0  |
| *QZ                                       | -0.5 | 0.6 | -0.6 | 0.7 | -1.9 | 2.8  | -2.9 | 4.2   | -2.3 | 3.3  | -3.6 | 4.9   | -3.6 |
| *MZ                                       | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  |
| *QY                                       | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  |

107.7

Рисунок 5.19 – Значення згинального моменту (в тс·м) в середині балки Б1 від тимчасового навантаження НК-100.

Переведемо одиниці вимірювання моментів із тс·м в кН·м.

$$S_{\text{тимч}} = \sum M \cdot 9.81 = (107,7) \cdot 9.81 = 1056,54 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

Значення згинального моменту в середині балки Б2 від тимчасового навантаження НК-100 показане на рисунку 5.20.

|   |      |     |      |     |      |      |       |       |       |       |       |       |       |
|---|------|-----|------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Елемент 30, тип 10, сечение 2, узлы 52-53 |      |     |      |     |      |      |       |       |       |       |       |       |       |
| *MY                                       | 0.0  | 5.1 | 0.0  | 6.2 | -0.0 | 93.9 | -0.0  | 140.9 | -0.0  | 110.8 | 0.0   | 128.6 | 0.0   |
| *QZ                                       | -0.1 | 0.2 | -0.1 | 0.2 | -8.4 | 9.2  | -12.7 | 13.9  | -10.3 | 11.2  | -14.1 | 15.1  | -14.1 |
| *MZ                                       | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| *QY                                       | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |

128.6

Рисунок 5.20 – Значення згинального моменту (в тс·м) в середині балки Б2 від тимчасового навантаження НК-100.

Переведемо одиниці вимірювання моментів із тс·м в кН·м

$$S_{\text{тимч}} = \sum M \cdot 9.81 = (128,6) \cdot 9.81 = 1261,57 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

Складемо згинальний момент від постійного та тимчасового навантаження і отримаємо максимальний згинальний момент в середині балок Б1, Б2. Результати занесено в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок

|          | Пост + НК-100, кН·м | Пост + А15+пішоходи, кН·м |
|----------|---------------------|---------------------------|
| Балка Б1 | 3652,3              | 3823,97                   |
| Балка Б2 | 3837,96             | 4019,44                   |

## 6 ПОРІВНЯННЯ ЗНАЧЕНЬ ЗГИНАЛЬНИХ МОМЕНТІВ ВИЗНАЧЕНИХ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ

Сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок визначені аналітично з врахуванням трьох різних методів визначення КПП та визначені в ПК «ЛПА».

1) З врахуванням КПП визначеного методом позацентрового стиску

Сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок показані в таблиці 6.1

Таблиця 6.1 – сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок

|          | Пост + НК-100, кН·м | Пост + А15+пішоходи, кН·м |
|----------|---------------------|---------------------------|
| Балка Б1 | 4008,07             | 4437,95                   |
| Балка Б2 | 3956,07             | 4399,67                   |

2) З врахуванням КПП визначеного методом позацентрового стиску з врахуванням кручення

Сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок показані в таблиці 6.2

Таблиця 6.2 – сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок

|          | Пост + НК-100, кН·м | Пост + А15+пішоходи, кН·м |
|----------|---------------------|---------------------------|
| Балка Б1 | 4002,87             | 4437,54                   |
| Балка Б2 | 3742,87             | 4206,82                   |

3) З врахуванням КПП визначеного методом нерозрізної балки на пружних опорах.

Сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок показані в таблиці 6.3.

|               |      |              |        |      |   |  |  |                      |  |      |  |         |  |
|---------------|------|--------------|--------|------|---|--|--|----------------------|--|------|--|---------|--|
|               |      |              |        |      | 011.196102.ДР.2020.000  |  |  |                      |  |      |  |         |  |
|               |      |              |        |      |   |  |  |                      |  |      |  |         |  |
| Змн.          | Лист | № докум.     | Підпис | Дата |   |  |  |                      |  |      |  |         |  |
| Розробив      |      | Прошик В.В.  |        |      | Розділ №6<br><br>Порівняння значень<br>згинальних моментів<br>визначених різними методами |  |  | Літ.                 |  | Арк. |  | Аркушів |  |
| Керівник      |      | Тютюкін О.Л. |        |      |   |  |  |                      |  |      |  |         |  |
| Керів.розділу |      |              |        |      |   |  |  |                      |  |      |  |         |  |
| Консульт.     |      | Овчинников   |        |      |   |  |  | ДНУЗТ, група 8МТ1926 |  |      |  |         |  |
| Н.контроль    |      | Овчинников   |        |      |   |  |  |                      |  |      |  |         |  |



Таблиця 6.3 – сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок

|          | Пост + НК-100, кН·м | Пост + А15+пішоходи, кН·м |
|----------|---------------------|---------------------------|
| Балка Б1 | 3514,07             | 3572,91                   |
| Балка Б2 | 3909,27             | 3972,1                    |

4) Визначені в ПК «ЛІРА».

Сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок показані в таблиці 6.4

Таблиця 6.4 – сумарні згинальні моменти в середині двох крайніх балок

|          | Пост + НК-100, кН·м | Пост + А15+пішоходи, кН·м |
|----------|---------------------|---------------------------|
| Балка Б1 | 3652,3              | 3823,97                   |
| Балка Б2 | 3837,96             | 4019,44                   |

Проаналізувавши отримані результати можна зробити такі висновки:

1. При визначенні згинальних моментів першими двома способами результати для балки Б1 майже не відрізняються, для балки Б2 різниця дещо більша. Це свідчить про те, що для даного типу балок, поправка на кручення не є суттєвим фактором при визначенні КНР, а в подальшому і зусиль.

2. При врахуванні КНР визначеного методом нерозрізної балки на пружних опорах, отримані значення згинальних моментів суттєво менші, ніж моменти, отримані з врахуванням КНР визначеного першими двома методами. І що цікаво, найбільші згинальні моменти виявились в балці Б2 (в перших двох методах найбільші згинальні моменти виникали в балці Б1).

3. Згинальні моменти отримані в ПК «ЛІРА» також значно менші ніж отримані першими двома методами і не суттєво відрізняються від третього методу.

Таблиця 6.1 – порівняльна таблиця визначених згинальних моментів в двох крайніх балках прогонової будови розрахованих з врахуванням КНР знайдених різними методами

| № п/п  | Згинальний момент в балці Б1, кН*м |                 | Згинальний момент в балці Б2, кН*м |                 |
|--|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|
|  | постійні+А15+пішоходи              | постійні+НК-100 | постійні+А15+пішоходи              | постійні+НК-100 |
| КПР за методом<br>поцентричного стиску                           | 4437.95                            | 4008.07         | 4399.67                            | 3956.07         |
| КПР за методом<br>поцентричного стиску з<br>врахуванням кручення | 4437.54                            | 4002.87         | 4206.82                            | 3742.87         |
| КПР за методом<br>нерозрізної балки на<br>пружних опорах         | 3572.91                            | 3514.07         | 3972.1                             | 3909.27         |
| ПК "ЛІРА"  | 3823.97                            | 3652.3          | 4019.44                            | 3837.96         |

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1. Охорона праці під час виконання робіт з заміни мостових прогонових будов

Перелік робіт під час монтажу прогонових будов:

- 1) Розбирання мостового полотна над прогоновою будовою.
- 2) Облаштування деревом.
- 3) Подавання крана на автомобільному ходу до місця робіт і назад.
- 4) Демонтаж старої прогонової будови.
- 5) Стропування, підняття та встановлення нової прогонової будови на опорні частини.

Під час монтажу прогонової будови використовуються наступні машини, механізми та обладнання:

- 1) Кран КТА-50.
- 2) Автосамоксид.
- 3) Перфоратори.
- 4) Піскоструйні машини.

Небезпечні фактори при роботі:

- над водою;
- на висоті;
- з монтажними кранами;
- з електроінструментами;

Шкідливі фактори:

- Фактор вібрації, що виникає при роботі кранів, колійних інструментів.

|               |              |          |        |      |   |                      |      |         |
|---------------|--------------|----------|--------|------|---|----------------------|------|---------|
|               |              |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000  |                      |      |         |
| Змн.          | Лист         | № докум. | Підпис | Дата |   |                      |      |         |
| Розробив      | Процик В.В   |          |        |      | Розділ №7<br>Охорона праці та безпека в<br>надзвичайних ситуаціях | Літ.                 | Арк. | Аркушів |
| Керівник      | Тютюкін О.Л. |          |        |      |   |                      |      |         |
| Керів.розділу | Заяць Ю.Л.   |          |        |      |   | ДНУЗТ, група 8МТ1926 |      |         |
| Консульт.     | Овчинников   |          |        |      |   |                      |      |         |
| Н.контроль    | Овчинников   |          |        |      |   |                      |      |         |

- Фактор підвищеної шумливості при роботі з механічними, електричними машинами та механізмами.
- Фактор атмосфери – кліматичних чинників, що діє на працівників при виконанні робіт (високі та низькі температури навколишнього середовища, вологість, опади, вітер).

#### Загальні вимоги

Дорожньо-будівельні роботи, роботи з виготовлення дорожньо-будівельних матеріалів, обслуговування і керування дорожньо-будівельною і приймально-транспортною технікою й іншим оснащенням проводяться відповідно вимогам Законів України “Про охорону праці” [7], “Про пожежну безпеку” [8] та «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-7.02-12)» [9].

Власник чи уповноважена особа організовує проведення медичних оглядів працівників, зайнятих на важких роботах, роботах зі шкідливими і небезпечними умовами роботи відповідно вимогам Закону України “Про охорону праці”.

Працівники можуть приступати до виконання своїх обов'язків тільки після медичного огляду їхнього стану здоров'я припустимого для роботи в тих чи інших умовах.

Для виконання робіт у небезпечних і особливо шкідливих умовах роботи працівникам видається письмовий наряд-допуск відповідно «Загальним вимогам стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», НПАОП 0.00-7.11-12 [10].

Працівники забезпечуються спеціальним одягом, взуттям, рукавицями, касками й іншими засобами індивідуального захисту відповідно вимогам Закону України [7] і «Нормам безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам, зайнятим у будівельному виробництві», НПАОП 45.2-3.01-04 [11].

Машини і механізми, вимоги по їх експлуатації:

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 91   |

Обладнання споряджається суб'єктом господарювання обліковим номером і під цим номером обліковуються в журналі обліку обладнання суб'єкта господарювання, у якого у власності або користуванні (оренда, лізинг тощо) перебуває це обладнання, якщо інше не передбачено законодавством.

Облік має вести працівник, який здійснює нагляд за утриманням та безпечною експлуатацією обладнання, або інший працівник, призначений суб'єктом господарювання. «Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання», НПАОП 0.00-1.80-18 [12].

Під час підймання і опускання вантажів та прогонових будов не допускається знаходитись під ними. Допуск працівників на опори моста для точного встановлення прогонових будов дозволяється після того, як відстань від низу конструкції до поверхні спирання становитиме не більше 10 см.

При монтажі прогонових будов влаштовуються спеціальні допоміжні споруди, монтаж і демонтаж яких повинен відповідати вимогам безпеки:

Виготовлення, монтаж і демонтаж спеціальних допоміжних споруд і улаштувань проводиться згідно із робочою документацією. Монтаж і демонтаж спеціальних допоміжних споруд та улаштувань проводиться механізовано. В робочій документації зазначають послідовність і безпечний спосіб проведення цих робіт.

Переміщення і встановлення будівельних і вантажо-підіймальних машин на споруджуваних будовах чи трубах (з незначною висотою засипки) допускається за наявності ПВР.

Переміщення вантажу в горизонтальному напрямі здійснюється на висоті 0,5 м вище зустрічних на шляху предметів, над конструкціями риштувань – не менше ніж на 1 м.

Підймання, переміщення і встановлення вантажів (конструкцій) двома кранами проводиться відповідно до ПВР, [7], під керівництвом особи, що відповідає за проведення робіт.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 92   |

Крани встановлюються на площадці з ухилом, що не перевищує вказаного в їх паспорті.

Навантаження на кожний із кранів не повинно перевищувати зазначеного в паспорті крана для даного вильоту.

Роботи на воді.

Усі засоби, що плавають, (човни, катера, баржі, понтони, плашкоути й ін.), призначені для перевезення вантажів і людей і для пристрою плавучих споруджень і установок, перебувають у підпорядкуванні відповідального обличчя, що призначено наказом власника, і експлуатуються відповідно до вимог "Правил судноплавства на внутрішніх водних шляхах України" [17].

На плавзасоби наноситься реєстраційний номер, що видається у встановленому порядку.

Відповідальність за експлуатацію судів і інших плавучих засобів, за виконання усіх вимог і забезпечення безпеки плавання несуть власники.

Підрозділ, що виконує роботи на акваторіях шириною більше 500м, організує цілодобову диспетчерську службу, що підтримує постійний зв'язок із судами і ділянками робіт і сповіщає їх про прогнози погоди і штормових попереджень.

Під час непогоди судна відстоюються біля обладнаних причалів.

Установка й експлуатація сухопутних кранів, копрів, бетонних заводів, електростанцій, іншого оснащення на плавучі засоби здійснюється відповідно до робочої документації, що включає інструкції з експлуатації плавучих установок.

До керування самохідними судами допускаються обличчя, що мають посвідчення на право судноводіння механізмами.

На кожен весловий човен для перевезення людей призначається спеціально навчений змінний човняр.

Перевезення людей на веслових чи моторних (з підвісним чи стаціонарним мотором) шлюпках (човнах) допускаються на відстань до 2 км при хвилюванні до трьох балів і швидкості вітру не більш 9 м/с.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 93   |

Перевезення людей і вантажів на одиночних палубних понтонах не допускаються.

На палубних судах, що використовуються для перевезення людей, улаштовуються поруччя висотою 1м по всьому периметрі площі, що відведена для розміщення людей.

Проходи для посадки і висадження людей під час плавання закриваються знімними огороженнями.

Веслові і моторні човни під час плавання в темний час доби забезпечуються ліхтарем з білим вогнем, що прикріплюється на носі човна.

Громіздкі і важкі вантажі перевозяться на човнах і катерах, якщо вони не заважають роботі веслярів і мотористів.

Вогнєнебезпечні і підривні речовини перевозяться окремо від людей.

Посадка людей і навантаження вантажів на плавучі засоби проводиться в присутності відповідальної особи.

Вантажі, що перевозяться, встановлюються в положення, що забезпечує стійкість плавзасобів.

Не дозволяється купатися на акваторії будівництва і з причалів, плавзасобів, човнів, риштування опор і т.п.

Пасажи́рські і вантажні причали улаштовуються роздільно.

Причали і підходи до них відгороджуються. Висота огороження – 1м з розривом у місцях розташування проходів і проїздів з боку берега й у місцях причалювання плавзасобів. На пасажирських причалах ширина розривів допускається не більше 1.5 м. Розриви закриваються знімними огороженнями.

На причалах (видні місця) розміщаються рятувальні засоби, вивішуються правила користування катерами, човнами, правила проїзду пасажирів і перевезення вантажів.

На період проведення робіт на ріках і акваторіях при глибині води більш 1,5 м організовується рятувальна служба.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 94   |



У приміщенні рятувальної станції встановлюється ліжко для тимчасового перебування потерпілого.

Біля місць проведення робіт на воді і над водою знаходяться рятувальні шлюпки (човни), а в льодових умовах – аварійно-рятувальні судна.

Рятувальні шлюпки (човни) підкоряються виконавцю робіт і знаходяться в постійній готовності для використання.

Не допускається використання їх не по призначенню.

На період проведення робіт над водою на висоті більш 5м на рятувальні шлюпки призначаються чергові.

Верхолази, що працюють більш ніж на 5м над водою, одягають рятувальні жилети.

До складу бригади, що веде роботи на воді, повинно входити не менше двох працівників, що володіють прийомами надання допомоги потопаячим.

Шлюпка знаходиться біля місця проведення робіт протягом усієї зміни в зручному для швидкої посадки місці і закріплюється способом, що допускає швидке звільнення від закріплення.

На прогонових спорудах над водотоком з низової сторони розміщуються рятувальні кола з металевим кінцем, з інтервалом не більше 50м.

Рятувальні кола, нагрудники і жилети повинні відповідати вимогам "Правил класифікації і будівлі судів внутрішнього плавання".

На будівництвах, віддалених від населених пунктів і медичних установ, на час льодоходу, або високих повеневих вод організовуються спеціальні рятувальні пости, кількість і оснащення яких залежить від місцевих умов.

На судноплавній чи сплавній ріці огорожуються місця проведення робіт (плавучі опори, плавучі установки й ін.) від навалу (удару) минаючих судів і плотів.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 95   |

Штучні споруди, що попадають у зону льодоходу і паводка, відгороджуються від підмиву й ушкодження.

Повітряні електролінії, що попадають у зону затоплення, з відстанню від найбільш низької точки проводу до горизонту високої води менше 6м, переносяться або знеструмлюються.

Данні про терміни руху льоду, розкритті рік, горизонтах води під час повені й ін. одержують від органів гідрометеослужби.

Монтаж збірних конструкцій прогонових споруд мостів.

Перед виконанням найбільш складних і відповідальних монтажних робіт, крім ППР, мостобудівним підрозділом розробляються спеціальні виробничі інструкції щодо порядку проведення цих робіт і інструкції з охорони праці.

До самостійних верхолазних робіт (роботам, що виконуються на висоті більш 5м від поверхні землі, чи перекриття робітника настилу) допускаються особи не молодше вісімнадцяти років, що пройшли медичний огляд, мають стаж верхолазних робіт не менше одного року і розряд - не нижче III.

Робочі місця і проходи до них на висоті понад 1,3м і на відстані менше 2м від границі перепаду відгороджуються тимчасовим огородженням відповідно до вимог ГОСТ 12.4.059-89 Система стандартів безпеки праці. Будівництво. Огороження запобіжні інвентарні. Загальні технічні умови. [18].

Складання, прикручування, зварювання і замонолічування вузлів конструкцій, що монтуються, проводиться з огорожених засобів підмоцнування. Вертикальні і похилі елементи до подачі їх на монтаж обладнуються монтажними драбинами.

У верхній частині цих елементів згідно з ПВР закріплюються площадки з огороженням. Розстроповування елементів проводиться із засобів підмоцнування або монтажних драбин.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 96   |

У разі відсутності засобів підмоцнування допускається знаходження стропальника на горизонтальному елементі, що розстроповується з використанням запобіжних поясів передбачаються пристрої у виді туго натягнутих сталевих канатів (тросів) для закріплення за них карабінів попереджувальних поясів. У необхідних випадках використовуються страховочні сітки.

До початку монтажних робіт відповідно до вимог і «Правила безпеки праці під час проведення робіт з будівництва мостів», НПАОП 45.21-1.03-98 [13] визначається порядок подачі умовних сигналів між обличчям, що керує монтажем, і машиністом (мотористом).

Перед підйомом елемента відповідальний керівник монтажних робіт зобов'язаний:

- ретельно оглянути надійність стропувальних пристроїв;
- перевірити правильність і надійність закріплення монтажного крана на цій стоянці;
- перевірити готовність до роботи кранівника (моториста лебідок крана), монтажників і сигнальників.

Не допускається перенесення краном конструкцій і елементів над людьми.

Елемент, що подається на монтаж, допускається направляти ломиками для установки в проектне положення після опущення на 20-30 см від нижнього його кінця (площини) до конструкції, що монтується.

Не допускається залишати підняті елементи в підвішеному стані.

Монтаж елементів, що вимагають роботу крана на одному з максимальних параметрів (вантажопідйомність, виліт чи стріли висота підйому гака), проводиться зі стоянок, розмічених на місцевості.

Твердість, стійкість і міцність встановлених елементів і конструкцій забезпечується тимчасовими кріпленнями.

Розчалювання для тимчасового закріплення елементів і конструкцій прикріплюються до надійних опор (фундаментів, якорів і ін.). Кількість

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 97   |

розчалувань, їхнього перетину, способи натягування і місця кріплення встановлюються ППР.

Розчалування не повинні стосуватися гострих кутів елементів і конструкцій і перегинатися на них. Перегини розчалувань у місцях перетинання їх з елементами і конструкціями допускаються після перевірки міцності і стійкості цих елементів і конструкцій під дією зусиль розчалувань.

Під час монтажу вертикальних мостових чи інвентарних конструкцій багатоярусних споруджень роботи в нижче розміщених ярусах проводити не допускається.

На змонтованому поясі (розкіс, стійка) металевої прогонової будови під час установки суміжного елемента дозволено знаходитися верхолазам-монтажникам і персоналу, що має відношення до виконання роботи. Усі працюючі страхуються запобіжними поясами.

Прохід по змонтованих елементах, що не мають огороження, допускається у випадку наявності запобіжного пояса з карабіном і страховочного троса, що натягається уздовж необгородженого елемента. Діаметр і тип страховочного троса, конструкція його кріплення і кількість одночасна закріплених за трос карабінів визначаються ППР. Біля обох кінців страховочного троса встановлюються написи, що визначають кількість облич, що можуть одночасно закріплювати карабіни своїх поясів за трос.

Сполучення монтажних отворів і перевірка їхнього збігу в деталях, що монтуються, проводиться з використанням спеціального інструмента.

Гранично-допустима концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони, рівень шуму і вібрації на робочому місці контролюється згідно з ДБН В.2.5-28-2006 [15], ДСН 3.3.6.039-99 [16].

Використання засобів індивідуального захисту працівниками при запиленості забезпечується і контролюється згідно НПАОП 0.00-1.04-07 [14]. Незалежно від рівня запиленості повітря на виробництві повинна забезпечуватися природня и штучна вентиляції, а механізми і їх частини, що є джерелами забруднення, повинні бути прикритими або максимально

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 98   |

герметизовані. Із засобів індивідуального захисту рекомендується користуватися респіраторами, захисними окулярами і одягом, що не пропускає пил.

В якості засобів індивідуального захисту від вібрації і шумі необхідно використовувати спеціальне взуття, на товстій підошві з губчатої гуми, спецрукавиці і протишумні навушники.

## 7.2. Дії працівників в аварійних ситуаціях

Аварійні ситуації можуть бути виробничого характеру, а також виникати під дією несприятливих атмосферних умов (дощу, вітру, урагану та ін.).

В процесі виконання робіт до виробничих аварій та нещасних випадків приводять наступні причини:

- складування матеріалів і виробів з порушенням вимог технічних умов і стандартів на складування для даного виду матеріалу, виробу, недотримання технологічних проїздів і проходів;
- невикористання засобів індивідуального захисту (спецодягу, спецвзуття, рукавиць, захисної каски та ін.);
- робота з несправним інструментом чи механізмами;
- куріння, робота з відкритим вогнем або використання металевого інструмента, що може викликати іскру, при розгрузці або складуванні вантажів з горючими матеріалами;
- падіння матеріалів з висоти;
- використання нестандартних засобів підмоцнування;
- використання несправних інструментів, механізмів та пристосувань.

При виникненні аварійної ситуації необхідно негайно припинити роботу, прийняти заходи до евакуації людей з небезпечної зони та рятування матеріальних цінностей. При необхідності відключити технологічне обладнання від електромережі.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 99   |

При ураженні електричним струмом насамперед звільнити потерпілого від дії струму. Вимкнути рубильник або викрутити запобіжними. Якщо це неможливо, відтягнути провід сухою палицею або відтягнути потерпілого, використовуючи при цьому діелектричні рукавиці або підручні засоби: суху мотузку, палку, дошку і т.п.

Якщо стався нещасний випадок потерпілого необхідно доставити у медпункт. У разі погіршення самопочуття працівника, потрібно викликати швидку медичну допомогу по телефону "103". До прибуття лікарів потерпілому надати першу медичну допомогу .

При виникненні пожежі необхідно:

- терміново сповістити про загорання пожежну частину по телефону "101";
- гасіння електрообладнання проводити за допомогою вуглекислотних та порошкових вогнегасників тільки після відключення його від електромережі;
- організувати зустріч пожежних машин та інформувати пожежників про місцезнаходження гідрантів, колодязів та інших засобів пожежогасіння.

Якщо обстановка після аварії або нещасного випадку не загрожує життю і здоров'ю навколишніх працівників і не погрожує розширенням аварії, то обстановку слід зберегти такою, що була на момент події.

Про аварійні ситуації та нещасні випадки необхідно терміново повідомляти виконроба.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 100  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті було виконано порівняльний розрахунок і визначення оптимального варіанту реконструкції автодорожнього мосту через р. Сіверський Донець, зруйнованого внаслідок терористичного акту.

Було розроблено три варіанти реконструкції мосту. Вартість будівництва за першим варіантом склала – 3192150 грн, за другим – 3252650 грн, за третім – 3098300 грн. Найвигіднішим варіантом виявився третій варіант, який передбачає заміну дефектних прогонових будов пустотними плитами довжиною 12,0 м виконаних згідно типового проєкту ВТП-21.

До розрахунку було обрано другий варіант, прогонові будови якого складаються з пустотних плит довжиною 12,0 м згідно ВТП-21 та і-подібних балок довжиною 24,0 м виготовлених на заводі «Обербетон».

Для прогонової будови 8-9, яка має в поперечному перерізі сім балок довжиною 24,0 м, виконано розрахунок плити проїзної частини.

Також для прогонової будови 8-9 було виконано порівняльний розрахунок згинальних моментів, які виникають в двох крайніх балках.

Визначення згинальних моментів було виконано аналітичним методом з врахуванням коефіцієнтів поперечної установки для тимчасового навантаження, які визначали декількома методами, а саме: метод позацентрового стиску, метод позацентрового стиску з врахуванням кручення, метод нерозрізної балки на пружних опорах.

В програмному комплексі «ЛПРА» було виконано розрахунок прогонової будови 8-9.

Далі було порівняно результати згинальних моментів, отриманих аналітичним методом, з результатами, отриманих в ПК «ЛПРА».

|               |              |          |        |      |                        |                      |      |         |
|---------------|--------------|----------|--------|------|------------------------|----------------------|------|---------|
|               |              |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 |                      |      |         |
| Змн.          | Лист         | № докум. | Підпис | Дата |                        |                      |      |         |
| Розробив      | Процик В.В.  |          |        |      | Висновки               | Літ.                 | Арк. | Аркушів |
| Керівник      | Тютюкін О.Л. |          |        |      |                        |                      |      |         |
| Керів.розділу |              |          |        |      |                        |                      |      |         |
| Консульт.     | Овчинников   |          |        |      |                        | ДНУЗТ, група 8МТ1926 |      |         |
| Н.контроль    | Овчинников   |          |        |      |                        |                      |      |         |



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

5. Проектирования и расчет железобетонных и металлических автодорожных мостов [Текст] / Н. И. Поливанов – М.: изд-во «Транспорт», 1970. – 516 с.

6. Примеры проектирования сборных железобетонных мостов [Текст] / В. А. Российский, Б. П. Назаренко, Н. А. Словинский – М.: изд-во «Высшая школа», 1970. – 520 с.

7. Закон України про охорону праці: / із змінами і доповненнями внесено Законами України 19.12.2017 р. № 2249–VIII – К.: 2017 р. – 668 с.

|               |      |              |        |      |                        |  |  |       |      |         |  |
|---------------|------|--------------|--------|------|------------------------|--|--|-------|------|---------|--|
|               |      |              |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 |  |  |       |      |         |  |
|               |      |              |        |      |                        |  |  |       |      |         |  |
| Змн.          | Лист | № докум.     | Підпис | Дата |                        |  |  |       |      |         |  |
| Розробив      |      | Процик В.В.  |        |      | Перелік посилань       |  |  | Літ.  | Арк. | Аркушів |  |
| Керівник      |      | Тютюкін О.Л. |        |      |                        |  |  |       |      |         |  |
| Керів.розділу |      |              |        |      |                        |  |  | ДНУЗТ |      |         |  |
| Консульт.     |      | Овчинников   |        |      |                        |  |  |       |      |         |  |
| Н.контроль    |      | Овчинников   |        |      |                        |  |  |       |      |         |  |

8. Закон України про пожежну безпеку: / із змінами і доповненнями внесено Законами України 05.07.2012 р. № 5081–VI – К.: 2013 р. – 458 с.

9. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-7.02-12) / наказ Мінрегіону від 30.12.2011 № 417 – К.:, 2012.

10. НПАОП 0.00-7.11-12. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників / наказ від 25.01.2012 № 67 "Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників" / Міністерство надзвичайних ситуацій України (МНС) – К.:, 2012.

11. НПАОП 45.2-3.01-04. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам, зайнятим у будівельному виробництві / наказ від 17.05.2004 р. № 129 / Держнаглядохоронпраці (Державний комітет України з нагляду за охороною праці) – К.:, 2007.

12. НПАОП 0.00-1.80-18 Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання / наказ від 19.01.2018 № 62 Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання / Міністерство соціальної політики України – К.:, 2018.

13. НПАОП 45.21-1.03-98. Правила безпеки під час проведення робіт з будівництва мостів (укр) / наказ від 09.03.1998 р. № 31 / Українське державне виробничо-технологічне підприємство "Укрдортехнологія" – К.:, 1998.

14. НПАОП 0.00-1.04-07. Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання / наказ від 28.12.2007 р. № 331 "Про затвердження Правил вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання" / Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду – К.:, 2007.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 103  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

15. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. Зміна № 2 / Наказ від 30.12.2011 № 438 / Інститут "Київпромелектропроект" – К.:, 2011.

16. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації / Постанова від 01.12.1999 № 39/ Міністерство охорони здоров'я (МОЗ) – К.:, 1999.

17. Правила судноплавства на внутрішніх водних шляхах України / Наказ Міністерства транспорту України від 16 лютого 2004 року № 91/ Міністерство юстиції України – К.:, 2004.

18. Проектирование мостов / М.Е Евграфов, Н.Н Богданов – Москва.: «Транспорт», 1988.

19. Мосты и тоннели / С.А. Попов. – Москва.: «Транспорт», 1977.

20. Стоительство мостов и труб / В.С.Кириллов. – Москва.: «Транспорт», 1975.

21. Стоительство мостов / Н.М.Колоколов, Б.М.Вейнблант. – Москва.: «Транспорт», 1984.

22. Конструкции проектирование и строительство мостов [Електронний ресурс] – Режим доступа:[www.arhplan.ru](http://www.arhplan.ru).

23. Определение коэффициентов поперечной установки [Електронний ресурс] – <https://studfiles.net/preview/5615573/page:2/>.

24. Расчет главной балки на временные нагрузки [Електронний ресурс] – <https://helpiks.org/4-43761.html>.

25. Лекция 1. РЕМОНТ МОСТОВ. ОБЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЯ [Текст] – <file:///D:/ДИИТ/диплом/Remont.pdf>.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 011.196102.ДР.2020.000 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 104  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |