

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Кафедра «Мости»

До захисту:

Завідувач кафедри МТ

_____ О. Л. Тютькін

« ____ » _____ 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: «Особливості проектування криволінійних сталезалізобетонних
автодорожніх балок»

Theme: “Features of a design of the curved composite girder of road bridges”

Керівник магістерської роботи	<u>К.т.н.,доц.</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>Марочка В. В.</u> (ПІБ)
Консультант розділу з БЖД	<u>К.т.н., доц.</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>Заяць Ю. Л.</u> (ПІБ)
Нормоконтролер	<u>Старш.викл.</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>Овчинников П. А.</u> (ПІБ)
Виконавець, студент групи МТ1921		_____ (підпис)	<u>Федченко В.Ю.</u> (ПІБ)
Student			<u>Fedchenko Valeriia</u>

Дніпровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

ННЦ «Мости і тунелі» Кафедра «Мости та тунелі»
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
Спеціалізація (ОПП) «Мости і транспортні тунелі»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»:

Завідувач кафедри МТ

_____ О. Л. Тютькін

(підпис)

« ____ » _____ 201 __ р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОС «магістр»

студента (ки) МТ 1921 Федченко Валерія Юріївна

(номер групи)

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема дипломної роботи «Закономірності напружено-деформованого стану металевих автодорожніх мостів»

затверджена наказом по університету від « ____ » _____ 201 __ р. № _____.

2. Термін подання студентом закінченої роботи « ____ » _____ 201 __ р.

3. Вихідні дані до дипломної роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань до розробки) _____

РОЗДІЛ 1. ОПИС АВТОТРАНСПОРТНОЇ МАГІСТРАЛІ ЧЕРЕЗ РІЧКУ ДНІПРО У МІСТІ ЗАПОРІЖЖЯ ТА КОНСТРУКЦІЇ АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТУ.

РОЗДІЛ 2. ПОРІВНЯННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ І МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ СТАЛЕВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.

5. Перелік креслень (демонстраційного матеріалу) _____

РЕФЕРАТ

Дипломний проект (робота) представлений на ____ сторінках та містить 45 рисунків, 10 таблиць, 35 літературних джерел.

Об'єкт: верхня ортотропна плита проїзду автодорожнього мосту

Мета: визначення закономірностей напружено-деформованого стану металевих автодорожніх мостів

Робота складається з 5 розділів. В першому розділі дається загальна характеристика мосту на основі якого буде запроектована плита. В другому розділі стисло описуються розрахункові схеми і методи сталевих прогонових будов. В третьому розділі проводиться моделювання двох варіантів мосту з різними видами верхніх ортотропних плит (за першим варіантом – трапецієподібні повздовжні ребра, за другим – смугові повздовжні ребра). В четвертому розділі розраховуємо дані варіанти мосту аналітичним методом. В п'ятому розділі описані вимоги безпеки праці під час влаштування металевої нерозрізної прогонової будови на автодорожніх мостах та дії працівників в аварійній ситуації при локально несправній лінії електропередачі у місці підключення ручного електричного інструменту.

Ключові слова: нерозрізна система, трапецієподібне повздовжнє ребро, смугове повздовжнє ребро, напружено-деформований стан.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ОПИС АВТОТРАНСПОРТНОЇ МАГІСТРАЛІ ЧЕРЕЗ РІЧКУ ДНІПРО У МІСТІ ЗАПОРІЖЖЯ ТА КОНСТРУКЦІЇ АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТУ	9
1.1 Загальний опис автотранспортної магістралі через річку Дніпро у місті Запоріжжя.....	9
1.2. Загальний опис конструкції мосту	11
1.3. Проміжні опори.....	13
1.4. Прогонова будова.....	15
1.5. Ортотропні плити.....	16
1.6 Стінки головної балки та кутикові зв'язки	18
1.7. Матеріали, зварні з'єднання, з'єднання на високоміцних болтах і технології монтажу прогонової будови.....	20
1.8. Висновки до розділу №1	22
РОЗДІЛ 2 ПОРІВНЯННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ І МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ СТАЛЕВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ.	23
2.1 Загальний опис методики розрахунку.	23
2.2 Постійні навантаження і впливи.	25
2.3 Тимчасові навантаження та впливи	27
2.4 Розрахунки міцності	34
2.5 Оцінка ефективної ширини плит.....	37
2.6 Розрахунки стійкості	41
2.7 Розрахунки витривалості.....	43
2.8 Висновки до розділу №2	45

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ	46
3.1 Опис програмного комплексу обраного для моделювання.....	46
3.2 Опис тестової моделі	48
3.3 Моделювання мосту	50
3.4 Моделювання стрижневої моделі.....	53
3.5 Висновки до розділу №3	54
РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНКИ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ	56
4.1 Навантаження	56
4.2 Визначення коефіцієнтів редукції.....	57
4.2.1 Визначення коефіцієнта редукції для першого варіанту	57
4.2.2 Визначення коефіцієнта редукції для другого варіанту	61
4.3 Визначення параметрів перерізу з урахуванням коефіцієнтів редукції	64
4.4 Визначення напружень аналітичним методом	67
4.5 Порівняння результатів розрахунків.....	70
4.6 Висновки до розділу №4	73
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ.....	74
5.1 Вимоги безпеки праці під час влаштування металеві нерозрізної прогонової будови на автодорожніх мостах.....	74
5.1.1 Машини і механізми які використовуються під час влаштування металеві прогонової будови на автодорожніх мостах.	74
5.1.2 Роботи при влаштуванні металеві нерозрізної прогонової будови на автодорожніх мостах.....	74
5.1.3 Опис небезпечних та шкідливих факторів.....	74
5.1.4 Вимоги безпеки	75
5.2 Дії працівників в аварійних ситуаціях.....	80
ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК

кН – кіло Ньютон

МПа – мега Паскаль

тс – тонна-сила

м - метр

МКЕ – метод кінцевих елементів

МГС – метод граничних станів

A_n – площа нетто

N – повздовжнє зусилля у розглядуваному перерізі

M – момент сили у розглядуваному перерізі

R – розрахунковий опір матеріалу

γ_f – коефіцієнт надійності

АМ – аналітичний метод розрахунку

НДС – напружено деформований стан

ДБН – державні будівельні норми

ВП – верхній плита

НП – нижня плита

К - консоль

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність теми обумовлена недостатньою вивченістю просторової роботи металевих прогонових будов, і необхідністю вдосконалення методів розрахунків металевих прогонових будов. При гнутті металевих нерозрізних прогонових будов їх верхні та нижні широкі пояси (ортотропні плити) включаються до роботи сумісно зі стінками тільки за рахунок передачі дотичних напружень зі стінок балки на плити. Тому фактично ми маємо розподіл напружень який не відповідає теорії плоских перерізів. Нормальні напруження у плиті поблизу стінок як правило більше, чим на віддаленні від них. Така нерівномірність розподілу напружень викликана ефектом запізнення дотичних напружень, а також ексцентричності навантаження відносно повздовжньої осі балки.

Існує метод розрахунку описаний в [6], [18] і [20] який дозволяє з достатньою точністю розрахувати такий розподіл навантажень. У цьому методі використовуються коефіцієнти редуції, які дають змогу отримати нам ефективні ширини полиць ортотропних плит, що в свою чергу дозволяє нам отримати ефективний переріз балки. Розрахунки з використанням такого перерізу дають результати максимально наближені до реально виникаючих напружень у перерізі балки поблизу стінки балки.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є перевірка існуючих методів розрахунків металевих прогонових будов встановлених державними нормативними документами, порівняння методів розрахунків металевих прогонових будов. З'ясувати який з представлених методів є найточнішим.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження цієї роботи базуються на методі розрахунку металевих конструкцій за граничними станами, та методі скінчених елементів.

РОЗДІЛ 1

ОПИС АВТОТРАНСПОРТНОЇ МАГІСТРАЛІ ЧЕРЕЗ РІЧКУ ДНІПРО У МІСТІ ЗАПОРІЖЖЯ ТА КОНСТРУКЦІЇ АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТУ

1.1 Загальний опис автотранспортної магістралі через річку Дніпро у місті Запоріжжя

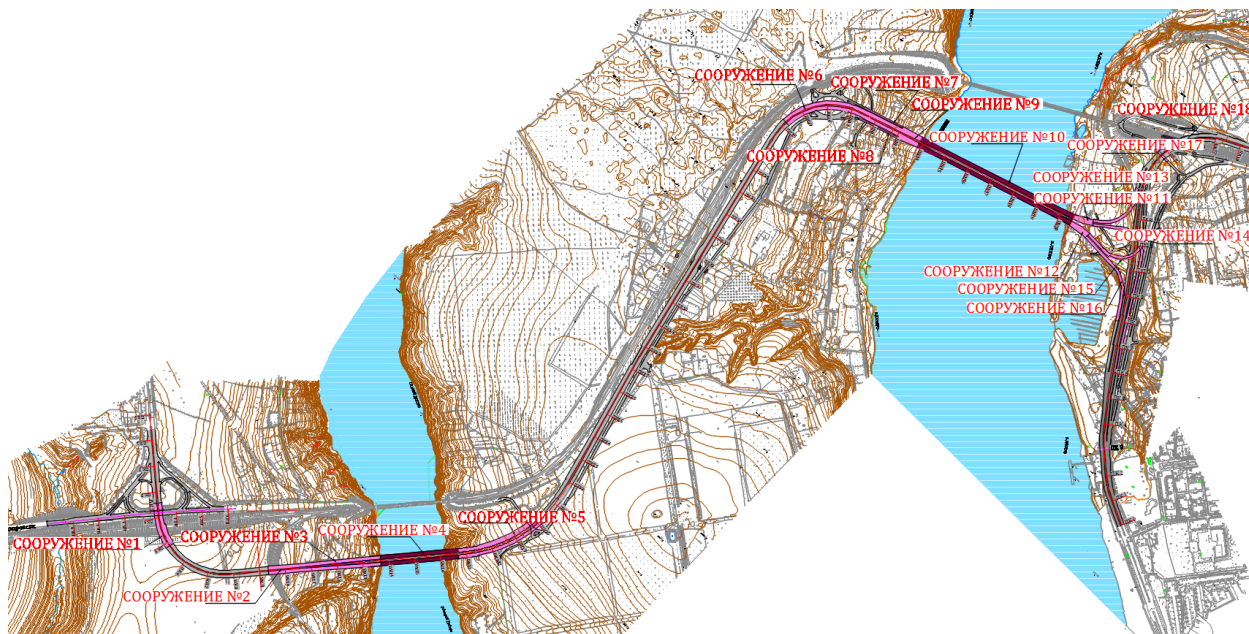


Рисунок 1.1 – Схема розташування споруд на карті

Місто Запоріжжя є одним з найбільших адміністративних, індустриальних і культурних центрів півдня України. Воно розташоване на головній водотранспортній магістралі – річці Дніпро, у місці її перетинання транспортно-комунікаційними коридорами, що з'єднують південь України з центром Росії, Донбасом, а також із Криворіжжям і Закарпаттям [1].

На долю автомобільного та залізничного транспорту припадає велика частка як вантажних, так і пасажирських перевезень. Відбувається постійне зростання кількості агентств, які надають послуги з міжнародних автоперевезень.

Важливу роль у транспортній системі Запорізької області відіграє велика суднохідна артерія - ріка Дніпро, яка тече по території області з півночі на південь[2]. Вантажні і пасажирські перевезення водним транспортом виконуються двома річковими портами, що розташовані на лівому березі.

Транспортні зв'язки між лівим і правим берегами здійснюється через греблю Дніпрогесу та мости, що проходять через острів Хортиця [3]. На сьогоднішній день у Запоріжжі діє чотири мости через р. Дніпро.4.

Згідно з [4] об'єкт «Будівництво автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжі» (автомобільна дорога Н-08 Бориспіль-Дніпро-Запоріжжя (через м. Кременчук)-Маріуполь «Під'їзд до о. Хортиця (автотранспортна магістраль через р. Дніпро у м. Запоріжжі)») — це магістраль безперервного руху завдовжки понад 9 км, яка складається з шести транспортних розв'язок, у складі яких 27 штучних споруд, у тому числі два позакласні мости з окремими спорудами під кожний напрямок руху.

Будівництво мосту почалось 16 років тому. У грудні 2018 року. Генеральною проектною організацією було призначено ТДВ «Інститут Дніпродіпротранс», що виконав залишок робіт з коригування стадії «Проект» об'єкту «Будівництво автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжі» (автомобільна дорога Н-08 Бориспіль-Дніпро-Запоріжжя (через м. Кременчук)-Маріуполь «Під'їзд до о. Хортиця (автотранспортна магістраль через р. Дніпро у м. Запоріжжі)»). У межах національної програми "Велике будівництво", ініційованої Президентом України Володимиром Зеленським, в 2020 році будівництво мосту відновлено. У лютому цього року переможцем тендеру на будівництво об'єкту було визначено турецьку компанію Onur Taahhut. 10 квітня ДАБІ надала дозвіл на початок будівельних робіт.

										011.160025.MP.2020.000	Арк.
											10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

1.2 Загальний опис конструкції мосту

Об'єктом даної роботи є новий міст через р. Старий Дніпро в місті Запоріжжя, що входить в склад автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжя.



Рисунок 1.2 – Схема розташування мосту через річку Старий Дніпро на карті

На сьогоднішній день рух транспорту здійснюється по суміщеному під рух залізниці та автомобільного транспорту мосту ім. Бориса Миколайовича Преображенського, який працював в інституті «Трансмостпроект» Міністерства путей сообщения ССРСР. Міст має два яруси, знизу розташовані дві смуги руху автотранспорту (в обох напрямках) та два тротуари для руху пішоходів, зверху рух залізниці (дві колії). Міст запроектований одноарковим з залізобетону, довжиною 228 м, шириною проїзної частини 8 м. Роботи по спорудженню мосту виконував начальник «Мостоотряда №7» Башицкий, також приймав участь трест «Мостострой №2» з Дніпропетровська. Завершення будівництва та його відкриття припадає на 31 грудня 1952 р. Пропускна здатність мостів в теперішніх умовах не задовольняє існуючі потоки автомобільного транспорту, що і стало

						011.160025.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			11

причиною для будівництва нового транспортного коридору між двома берегами р. Дніпро.

Міст автодорожній з металевою нерозрізною прогоною будовою. Міст має три прогони: центральний 128 м, і крайні по 105,5 м. Конструкція мосту передбачає дві незалежні споруди під верхову та низову частини, що обумовлено етапами будівництва, з обох боків до мосту підходять сталезалізобетонні прогонові будови інших споруд.

Границі мосту знаходяться в осях крайніх опор. В плані міст розташований на прямій, під кутом 90° до напрямку течії річки. По профілю міст розташований на похилій прямій з ухилом 6‰ в одну з сторін.

Профіль в перерізі мосту прокладений однаковий для двох прогонів на відстані по 13 м від осі мостового переходу в сторону верхової та низової частини. В поперечному перетині прогонові будови нахилень на 20‰ в сторону тротуарів окрім ділянки між опорами №2 ... №1 низової частини, де відбувається зміна віражу з 20‰ до 10‰ в зворотному напрямку, для примикання до іншої споруди. На тротуарах для організованого відведення ливневих вод виконаний зворотній ухил. Опорні частини фірми Maurer. Схема розташування вказана на рисунку 2.1. Рухомі – КГе 8000±150, нерухомі КФ 17000.[5]



Рисунок 1.3 – Схема розташування опорних частин.

Між верхнім балансиrom опорної частини і нижнім поясом балки влаштовується клиновий лист товщиною по середині 40 мм, який дає можливість нахилити балку під необхідним кутом до горизонту, при цьому

						011.160025.MP.2020.000	Арк.
							12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

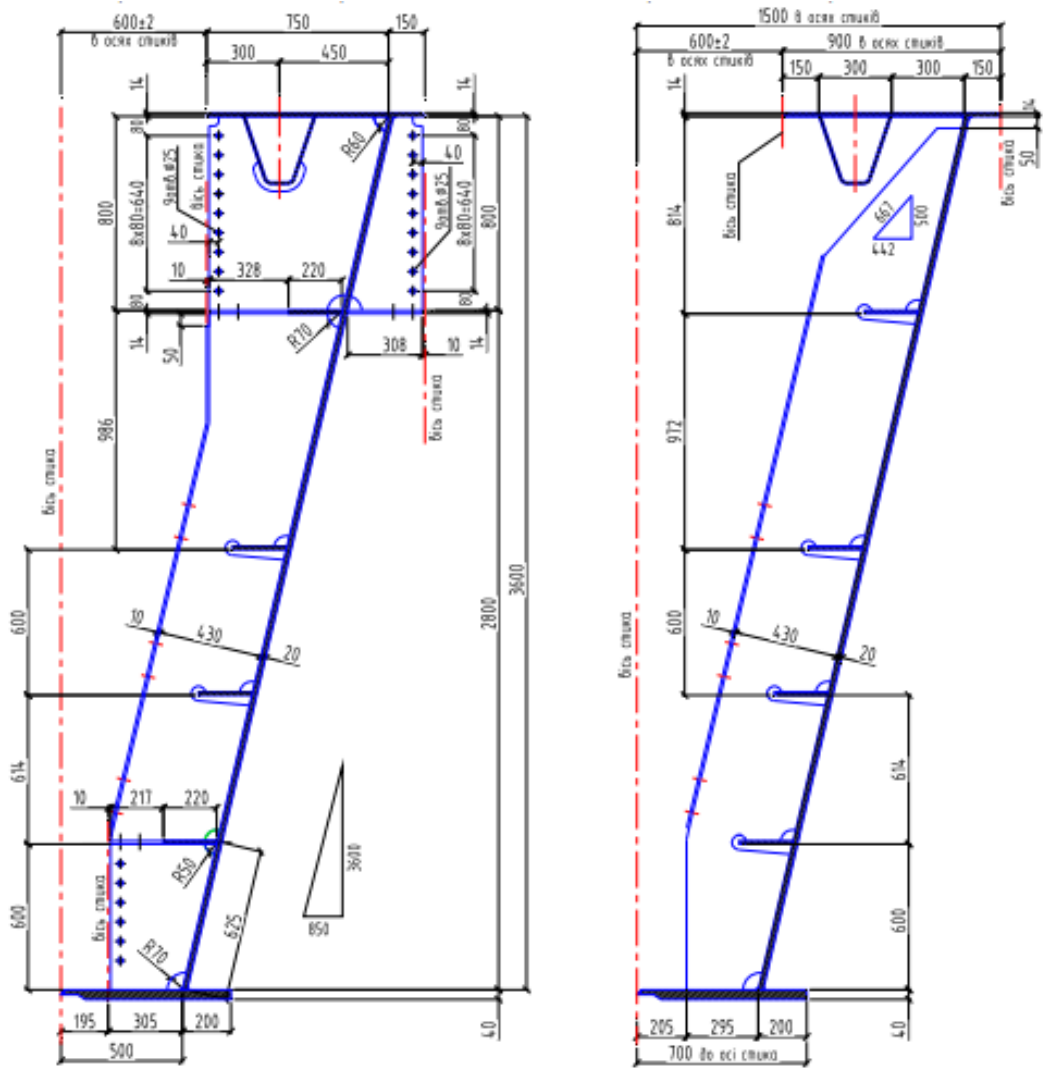


Рисунок 1.9 – Стінка балки жорсткості. Регулярний перетин. А) В місці поперечної балки; Б) Перетин між поперечними балками.

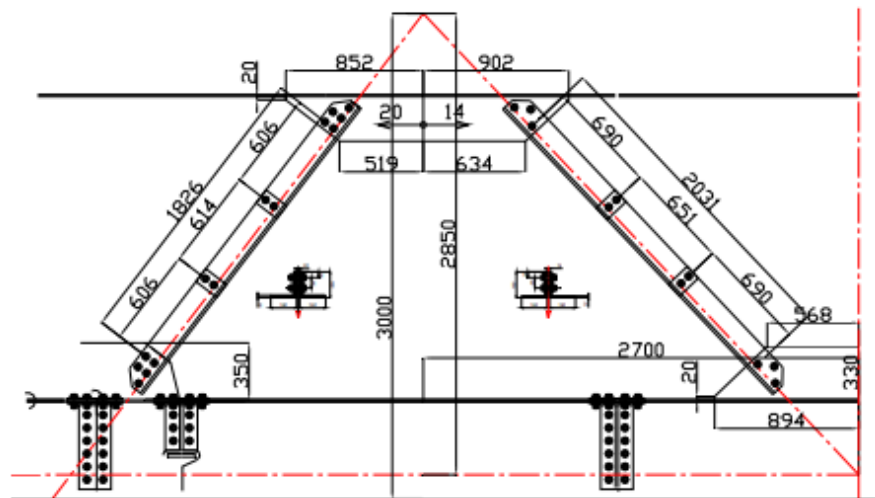


Рисунок 1.10 – Схема розташування зв'язків.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

011.160025.МР.2020.000

Арк.

19

1.7 Матеріали, зварні з'єднання, з'єднання на високоміцних болтах і технології монтажу прогонової будови

При виготовленні сталевих конструкцій заборонено використовувати прокат, матеріали для зварювання та метизи, якість яких не підтверджується відповідними сертифікатами. Матеріали мають відповідати вимогам, що наведені в Додатку Г ДБН В.2.3- 26:2010. В таблиці 1 надаються марки сталі прокату рекомендовані до використання для виготовлення відповідних елементів мосту. Остаточний вибір марок сталей, виробник має погодити з проектувальником.

Конструкція балки жорсткості передбачає з'єднання елементів за допомогою зварювання, де заводські з'єднання складають 100%, монтажні для головної балки – 100%, для ортотропних плит всі стики окрім стінки та поясів поперечних балок.

При виконанні робіт на всі зварювальні шви слід розробити технологічні карти (Специфікації Зварювальних процедур - WPS Welding Procedure Specification). Ці документи спрощують роботу не тільки виконавцю робіт, а й Замовнику при контролі та прийманні зварювальних робіт. До основних зварювальних робіт віднесено: 1.Шви верхнього та нижнього поясів головних балок. 2.Повздовжні та поперечні стикові шви листа настилу та нижнього поясу ортотропних плит між собою та до головних балок. 3.Стик коробчастих повздовжніх ребер ортотропних плит. Основні типи зварювання: 1.Стик нижнього та верхнього поясів головної балки; повздовжні та поперечні стики листа настилу ортотропної плити; повздовжні та поперечні стики листа нижньої ортотропної плити - автоматичне зварення під флюсом суцільним дротом по ручній підварці кореня шва на мідній підкладці з 3-ма шарами склотканини. С21 АФк по ГОСТ 8713-79. 2.Стик стінки головної балки – за допомогою вставки. С15 по ГОСТ 8713-79 3.Приварка стінки головної балки до поясів (в місті розпусків) - автоматичне зварення в «лодочку» по ГОСТ 8713-79. 4.Стик штабових ребер стінки Головної балки - з одностороннім прирізанням кромки у

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

горизонтальному положенні з підваркою кореня. С 12 по ГОСТ 5264- 80 або ГОСТ 14771-76. 5.Стик коробчастих ребр ортотропних плит - ручне зварення на постійній сталевій підкладці вставки коробчастого ребра. 6.Стик карнизного листа та листа бордюру – стик листів с двостороннім скосом кромок у вертикальному положенні с підваркою кореня. С 21 по ГОСТ 5264-80 або ГОСТ 14771-76. 7.Стик ребра карнизного листа - стик листів з одностороннім прирізанням кромок у горизонтальному положенні з підваркою кореня. С12 по ГОСТ 5264-80 або ГОСТ 14771-76. 8.Стик опорної діафрагми - двосторонній стиковий шов з двома симетричними скосами двох кромок С25 по ГОСТ 14771-76 або ГОСТ 5264-80. Шви, що мають бути виконані при складанні елементів прогонової будови здійснюються за наступною схемою: Прирізання кромок елементів за розміром (де це потрібно). Піскоструменеве очищення кромок від лакофарбового покриття на 100 м в кожний бік від осі шва для стикових швів та на 50 мм в кожний бік для кутових швів. Фіксація кромок. Зварення. Візуальний контроль швів. Ультразвуковий контроль швів (де потрібно). Зачищення швів. Відновлення лакофарбового покриття.

З'єднання на високоміцних болтах виконуються для стиків поперечних балок ортотропних плит, повздовжніх штабових ребер ортотропних та з'єднання підкосів. Всі інші з'єднання виконані на зваренні. Високоміцні болти, гайки та шайби до них повинні за їх геометричними розмірами відповідати ГОСТ 22353-77, ГОСТ 22354-77 та ГОСТ 22355-77. Механічні показники болтів, гайок та шайб повинні відповідати згідно ГОСТ 22356-77. Марка сталі високоміцних болтів 40Х "селект" згідно ГОСТ 4543-71 Марка сталі високоміцних гайок 35, 40, 35Х, 40Х згідно ГОСТ 1050-74, ГОСТ 10702-78 та ГОСТ 4543-71 Марка сталі шайб Ст5сп2, Ст5пс2 згідно ГОСТ 380-88, або 35 та 40 згідно ГОСТ 1050-74, ГОСТ 10702-78. Обробка контактних поверхонь в з'єднаннях на високоміцних болтах: 1. Піскоструменева обох поверхонь 2. Клейофрикційна обробка накладок + очищення металевими щітками другої поверхні Обробку, зберігання,

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлення, натягання та контроль зусиль болтів виконувати за діючими нормативними документами.

Спорудження балки жорсткості передбачає її збирання на стапелі, спорудженого на правому березі (за опорою №8), з наступним повздовжнім насунанням в проектне положення по переكاتочним пристроям з використанням антифрикційного матеріалу. Для зменшення зусиль під час насунання передбачено використання аванбеку, довжиною 60 м. Додаткових тимчасових опор на період насуну не передбачається.

1.8. Висновки до розділу №1

Описаний міст запроектовано згідно існуючих Державних Будівельних Норм В.2.3-26:2010 МОСТИ І ТРУБИ СТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ Правила проектування.

У складі мосту передбачається металева прогонова будова з ортотропними плитами. Довжина прогонової будови складає 339 м, прогони $105,5+128+105,5=339$ м є нерозрізною по всій довжині плити.

Передбачається виконання розрахунку даної прогонової будови, в двох варіантах конструкції ортотропної плити - з трапецієподібними ребрами та плоскими смуговими ребрами. З метою виявлення закономірностей напружено-деформованого стану в металевих автодорожніх мостах.

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ПОРІВНЯННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ І МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ СТАЛЕВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ.

2.1 Загальний опис методики розрахунку

Для початку розглянемо розвиток навантажень, методів розрахунку, розрахункових схем. З розвитком мостобудівництва виникла потреба покращувати методи розрахунку, а також мінялися розрахункові схеми. Норми що до методів розрахунку, розрахункових схем та навантажень вказуються у державних документах Державні Будівельні Норми(ДБН) в Україні. Порівняння будемо проводити на основі [6], [7], [8] і [9](для навантажень).

Елементи споруд розраховуються за методом граничних станів. Розглядаються дві групи граничних станів, за межами яких споруда або її елемент не задовольняє вимоги експлуатації: I група – за повною неможливістю експлуатації конструкцій, основ або втратою несної здатності споруди в цілому; II група – за перешкодами до нормальної експлуатації, зменшенню проектної довговічності споруди. Розрахунок за першим граничним станом виробляється з використанням формул такого вигляду:

На міцність (2.1)

$$\frac{N}{F} \leq R \quad (2.1)$$

На стійкість форми (2.2)

$$\frac{N}{\varphi F} \leq R \quad (2.2)$$

На витривалість (2.3)

$$\frac{N}{F} \leq \gamma R \quad (2.3)$$

де

N - розрахунковий вплив (нормальна сила, момент та ін.), залежний від нормативних навантажень, помножених на відповідні коефіцієнти n і $(1+\mu)$

F - геометрична характеристика перетину (площа, момент опору та ін.);

φ - коефіцієнт зниження несучої здатності (коефіцієнт поздовжнього вигину);

$R = m_1 k R^k =$ - наведений (умовний) розрахунковий опір і іменований надалі для стислості просто розрахунковим опором. При розрахунку несучих конструкцій тільки на постійні навантаження зазначені розрахункові опори повинні знижуватися па 20%;

γ - коефіцієнт зниження розрахункового опору на витривалість.

При $m \neq 1$ в розрахунок вводиться замість R величина $m^2 R$ (або замість F величина mF).

Розрахунки за другим граничними станами виконуються порівнянням вертикальних прогинів та інших переміщень (деформацій) прогонових будов, осідання основ опор і показників, що характеризують розкриття або появу тріщин в залізобетонних елементах конструкцій, з відповідними допустимими при проектуванні величинами, наведеними в технічних умовах.

Розрахункові схеми, їх кількість та деталізація мають забезпечити відображення реальних умов роботи конструкції на етапах будівництва та при експлуатації. Розрахункові схеми для визначення внутрішніх зусиль від статичних навантажень мають бути геометричне лінійними, якщо це не призводить до помилок більше ніж на 5 %. При цьому робота матеріалу в перерізах вважається лінійною, тобто задача залишається фізично-лінійною на всіх етапах навантаження. Перерозподіл внутрішніх зусиль за рахунок пластичних деформацій у перерізах може враховуватися за умови спеціального обґрунтування. Для динамічних розрахунків за всіх умов допускається застосовувати лінійні схеми. У статично невизначених конструкціях має враховуватись перерозподіл зусиль від довготривалих процесів. При застосуванні нових програм результати розрахунків мають бути перевіреніми

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на основі контрольних розрахунків за перевіреними програмами або за допомогою консервативних методів.

Сполучення навантажень і впливів, що враховуються при розрахунку і розрізняються по ймовірності одночасного їх збігу, поділяються на: а) основні сполучення, які включають одну або декілька з наступних навантажень: постійні навантаження, тимчасове рухоме вертикальне навантаження, тиск ґрунту (від впливу тимчасового рухомого вертикального навантаження) і відцентрову силу. Окремо при розрахунку на міцність має враховуватися дія тільки одних постійних навантажень, крім тиску ґрунту; б) додаткові поєднання, в які спільно з однією або декількома навантаженнями основних сполучень включаються одна або кілька з інших навантажень, крім сейсмічних і будівельних навантажень; в) особливі сполучення, які включають сейсмічну або будівельні навантаження спільно з іншими навантаженнями. Крім того, для біків мостів зовні розпірних систем на спеціальну вказівку має враховуватися окремо, як особливе поєднання, дія тільки одних постійних навантажень при відсутності одного з прогонових будов.

Розрахунки на витривалість, а також розрахунки по другому граничному стану виробляються тільки на основні сполучення навантажень, за винятком розрахунку горизонтального зміщення верху опор, виробленого на додаткове поєднання навантажень. Величини навантажень і впливів для розрахунків за різними граничними станами приймаються з коефіцієнтами перевантаження μ (для відповідних навантажень і поєднань) і динамічними коефіцієнтами $(1 + \mu)$

2.2 Постійні навантаження і впливи

Характеристичне вертикальне навантаження слід визначати від власної ваги всіх елементів мосту (несних і допоміжних), включаючи вагу оглядових пристроїв, комунікацій тощо. Власну вагу спеціальних конструкцій таких як, наприклад, замкнені та спіральні канати, деформаційні шви і тощо слід приймати за технічними умовами або специфікаціями виробника. Коефіцієнти надійності за навантаженням наведені у таблиці 2.1[9].

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Несні конструкції і основи мостів і труб необхідно розраховувати на дію постійних навантажень і несприятливих комбінацій тимчасових навантажень, зазначених у таблиці 1, якщо інше не обумовлене завданням. Розрахунки слід виконувати за граничними станами. Тимчасові навантаження від рухомого складу (транспортних засобів) залізниць і автомобільних доріг у випадках, які передбачено чинними нормами, слід вводити до розрахунку з відповідними динамічними коефіцієнтами та коефіцієнтами надійності. При врахуванні одночасної дії на споруди двох або більше тимчасових навантажень розрахункові значення цих навантажень слід приймати з відповідними коефіцієнтами комбінацій. Величини розрахункових факторів (напружень і деформацій), що визначаються в елементах конструкцій при розрахунках споруд на стадії експлуатації і монтажу, а також у монтажних елементах або блоках при їх виготовленні і транспортуванні, мають не перевищувати граничні величини, встановлені нормами з проектування відповідних конструкцій мостів і труб.

Розподіл навантаження від власної ваги балочного прогонової будови дозволяється приймати рівномірним по довжині прольоту, якщо дійсна нерівномірність не перевищує 10% середньої величини. Закон зміни інтенсивності розподіленого навантаження між ключем і п'ятої зводу незалежно від типу надзвідної будови допускається приймати по параболі другого степеня або за іншою пивною кривою.

Нормативний вплив попереднього напруження конструкції встановлюється за передбаченим проектом номінального значення зусилля натягу (стиснення) до моменту закінчення процесу попереднього напруження конструкції. Нормативні величини втрат попереднього напруження повинні враховуватися в кожному випадку відповідно до стадії, до якої відноситься виконуваний розрахунок (виготовлення, навантаження, перевезення, монтаж, експлуатація).

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти

Група граничного стану	Вид розрахунку	Коефіцієнт, що вводиться	
		до всіх навантажень, крім рухомих вертикальних	до рухомих вертикальних навантажень*
I	1. Усі розрахунки, крім перерахованих у пунктах 2-4	γf	$\gamma f; 1 + \mu$
	2. На витривалість	$\gamma f = 1$	$\gamma f = 1; 1 + 2/3\mu$
I	3. За стійкістю положення	γf	γf^{**}
	4. За сполученнями, що включають сейсмічні навантаження	$\gamma f = 1$	γf
II	Усі розрахунки, включаючи розрахунки на виникнення і розкриття тріщин у залізобетоні	$\gamma f = 1$	$\gamma f = 1$

Для порівняння приводжу таблицю 2.2[6]

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти

Розрахунки		Введені коефіцієнти	
		До всіх навантажень і впливів крім рухомої вертикального навантаження	До рухомих вертикальних навантажень
За першим граничним станом	На міцність і стійкість форми	N	$n; (1 + \mu)$
	На витривалість	1	$(1 + \mu)$
	На стійкість положення	N	n
По другому і третьому граничними станами		1	1

2.3 Тимчасові навантаження та впливи

Для початку розглянемо моделі згідно з [6].

Завантаження автодорожніх мостів тимчасовими навантаженнями від рухомого складу мають створювати в елементах, що розраховуються, найбільш несприятливі навантажувальні ефекти.

Характеристичне тимчасове вертикальне навантаження від автотранспорту при проектуванні мостів і труб слід приймати за двома моделями, якщо інше не обумовлено замовником:

модель 1 – що моделює навантаження від рухомого складу за схемою АК;

модель 2 – за схемою одиничного колісного навантаження НК.

До розрахунків приймається та модель, що створила в елементах або перерізах споруди найбільш несприятливий ефект.

Моделі застосовуються для розрахунку мостів і труб на автомобільних дорогах I-V категорій на міських автомагістралях і магістральних вулицях загальноміського значення, дорогах і вулицях у міських і сільських населених пунктах.

Модель 1 – навантаження від автотранспортних засобів у вигляді смуг АК. Застосовується разом з іншими рухомими навантаженнями, передбаченими цими Нормами. (Рис 2.1)

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

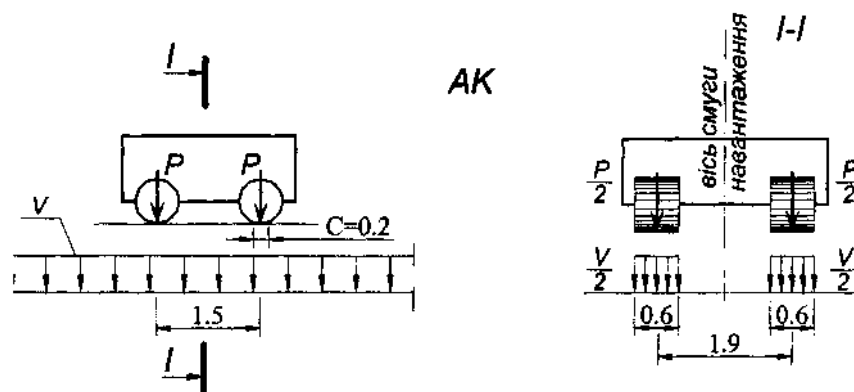


Рисунок 2.1 – Модель навантаження АК.

Модель 1 має два класи навантаження K , що приймається в залежності від технічної класифікації автомобільних доріг і вулиць:

- $K = 15$ – на автомобільних дорогах I, II і III категорій, на міських автомагістралях і магістральних вулицях загальноміського значення, а також на мостах завдовжки понад 200 м на дорогах IV і V категорій;
- $K = 11$ – на всіх інших автомобільних дорогах та вулицях населених пунктів.

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 відрізнятись 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. 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. 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 $s_1 = 1,0$.

З решти смуг (нумерація смуг встановлюється за зниженням навантажувального ефекту) навантаження приймають з коефіцієнтом s_1 , що дорівнює:

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а) для тандемів навантаження АК:

- першої і другої смуги – $s_1 = 1,0$;
- третьої – $s_1 = 0,75$;
- четвертої – $s_1 = 0,5$;
- п'ятої і далі – $s_1 = 0,0$;
- для додаткових смуг навантажень третьої та четвертої – $s_1 = 0,25$;
- для додаткової смуги навантажень п'ятої і далі – $s_1 = 0,0$.

б) для розподіленого навантаження АК:

- першої смуги – $s_1 = 1,0$;
- другої смуги і всі наступні – $s_1 = 0,6$;
- для всіх додаткових смуг навантажень – $s_1 = 0,25$.

Модель 2 – навантаження від колісного екіпажу НК

Модель 2 представлена одиночним навантаженням НК, що являє собою чотиривісний колісний екіпаж (рисунок 2.2). Прийнято два типи навантаження НК:

- НК-100 з навантаженням на вісь $P=245$ кН (25 тс);
- НК-80 з навантаженням на вісь $P=196$ кН (20 тс).

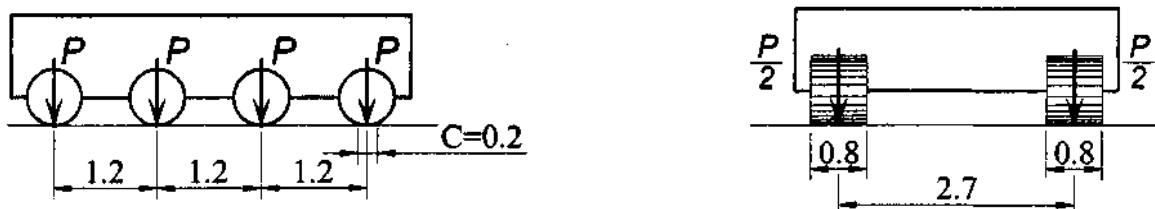


Рисунок 2.2 – Модель навантаження НК.

Тип навантаження НК приймається в залежності від технічної класифікації автомобільних доріг і вулиць:

- НК-100 на автомобільних дорогах I, II і III категорій, на міських автомагістралях і магістральних вулицях загальноміського значення, а також на мостах завдовжки понад 200 м на дорогах IV і V категорій;

- НК-80 – на всіх інших автомобільних дорогах та вулицях населених пунктів.

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.

Для порівняння наводжу моделі навантаження згідно з [7].

Схеми навантажень: нормативне автомобільне навантаження Н-30 (рис 2.3) приймається складається з ряду наступних: один за одним автомобілів вагою по 30 т; нормативне колісне навантаження НК-80 (рис 1.4) приймаються кожна з однією машиною відповідно на колісному ході. Основні показники автомобілів нормативних навантаження Н-30 , а також нормативного навантаження НК-80 вказані у [7].

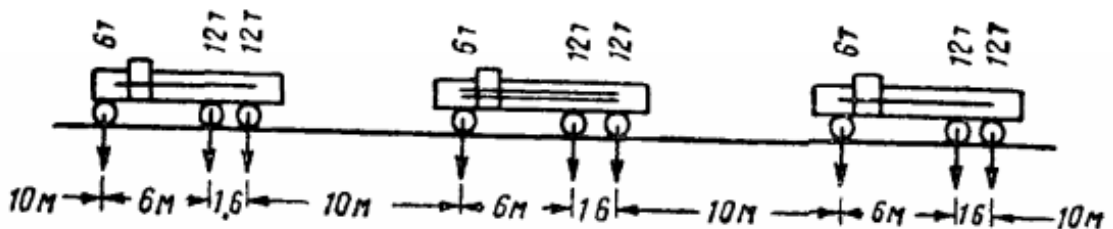


Рисунок 2.3 — Модель навантаження навантаження Н-30.

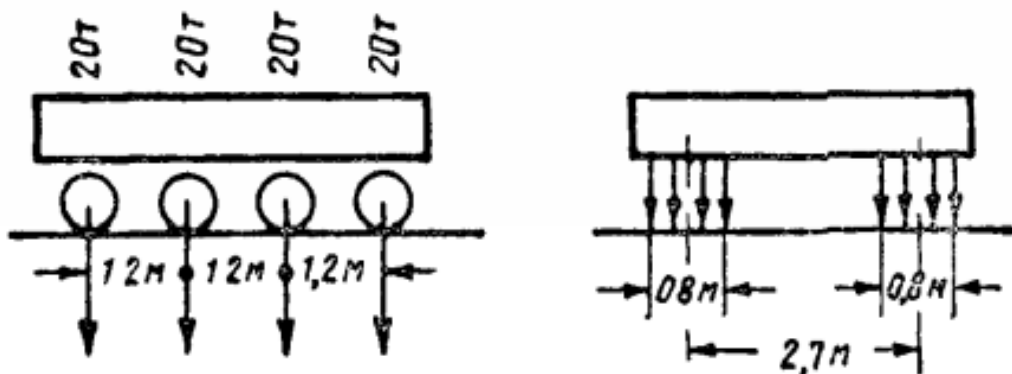


Рисунок 2.4 – Схема навантаження НК-80.

Динамічні коефіцієнти до рухомих навантажень.

Для мостів під автомобільне та навантаження метрополітену, трамвая та суміщених мостів (за винятком залізничного навантаження) – згідно з таблицею 2.3 [9].

Таблиця 2.3 – Динамічні коефіцієнти до рухомих навантажень.

Навантаження	Характеристика мостових споруд та елементів	Динамічний коефіцієнт
Метрополітен Трамвай Тандем АК	Для всіх елементів, крім наданих нижче	$1 + \mu = 1,3$
Розподілене АК Екіпаж НК Натовп	Те саме	$1 + \mu = 1,0$
Всі навантаження	Для ланок труб, тунелів і підземних пішохідних переходів при загальній товщині засипання (включаючи товщину дорожнього одягу) не менше ніж 1,0 м – для залізобетонних ланок труб і не менше ніж 0,5 м – для інших елементів; для залізобетонних і бетонних арок із суцільним склепінням, для бетонних опор, ґрунтових основ і всіх фундаментів; до тимчасових горизонтальних навантажень і тиску ґрунту на опори	$1 + \mu = 1,0$
	Для деформаційних швів	$1 + \mu = 2,0$

Характеристичне горизонтальне поздовжнє навантаження від гальмування слід приймати таким, що дорівнює:

а) у розрахунках елементів прогонових будов та опор мостів, у відсотках до характеристичного тимчасового вертикального рухомого навантаження:

- від рівномірно розподіленої частини навантаження на смугу АК (вага тандемів у навантаженні не враховується) – 50 %, але не менше ніж 7,8K кН (0,8K тс) і не більше ніж 24,5K кН (2,5K тс).

б) у розрахунках деформаційних швів автодорожніх мостів – 6,86K кН (0,7K тс).

Поздовжнє навантаження автодорожніх мостів слід приймати з усіх смуг навантаження одного напрямку, якщо ж у перспективі передбачено переведення на однобічний рух, – з усіх смуг навантаження, що розміщуються на мосту. У всіх випадках необхідно враховувати s_I – коефіцієнт дії тимчасового навантаження з декількох смуг відповідно до вимог 8.3.7.

Від транспортних засобів, що знаходяться на призмі обвалювання ґрунту біля стоянів, поздовжнє навантаження не враховується.

На мостах із балковими прогоновими будовами поздовжнє навантаження допускається прикладати на рівні:

- проїзної частини – при розрахунку стоянів;
- центрів опорних частин – при розрахунку проміжних опор, при цьому дозволяється не враховувати вплив моментів, що виникають від перенесення навантаження.

Поздовжнє зусилля від гальмування або сили тяги, що передається на нерухомі опорні частини, слід приймати в розмірі 100% від повного поздовжнього зусилля, що діє на прогонову будову. При цьому не слід враховувати поздовжнє зусилля від встановлених на тій же опорі рухомих опорних частин сусіднього прогону, крім випадків розташування в різних прогонах нерухомих опорних частин з боку меншого з прилеглих до опори прогонів. Зусилля на опору в цьому випадку треба приймати таким, що дорівнює сумі поздовжніх зусиль, які передаються через опорні частини, але не більшим за зусилля, що передається з боку більшого прогону в разі роботи його опорної частини як нерухомої.

Зусилля, що передаються на опору з рухомих опорних частин нерозрізних та температурно-нерозрізних прогонових будов при відповідному обґрунтуванні їх розрахунком, допускається приймати такими, що дорівнюють повному поздовжньому навантаженню з прогонової будови, за винятком сил тертя в рухомих опорних частинах за умови наявності в них мінімальних коефіцієнтів тертя, але не менше ніж величина сили, що припадає на опору при розподіленні повного поздовжнього зусилля між всіма проміжними опорами пропорційно до їх жорсткості.

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Розрахунки міцності

Розрахунок на міцність елементів прогонових будов і металевих опор виконується згідно формулам таблиці 2.4. [7]

Таблиця 2.4 – Формули для розрахунку елементів на міцність

Формули для розрахунку елементів на міцність			
Напруга, що перевіряється	Характер роботи елемента	Формули	№ формул
Нормальні	Розтягування або стискування	$\frac{N}{F_{HT}} \leq R_o$	2.4
	Згин в одній з головних площин	$\frac{M}{W_{HT}} < R_H$	2.5
	Розтягування або стискування з згином в одній з головних площин	$\frac{N}{F_{HT}} \pm \frac{M}{W_{HT}} < R'$	2.6
	Косий згин	$\frac{M_{xy}}{I_{HT}^x} \pm \frac{M_{yx}}{I_{HT}^y} \leq cR_H$	2.7
	Розтягування або стискування з косим згином	$\frac{N}{F_{HT}} \pm \left(\frac{M_{xy}}{I_{HT}^x} \pm \frac{M_{yx}}{I_{HT}^y} \right) \frac{R_o}{cR_H} < R_o$	2.8
Дотичні	Згин	$\tau_{\max} = \frac{QS_{бр}}{I_{бр\delta}} \leq c'0,6R_o$	2.9
Приведені (усереднені)	Вигин розтягування або стискування з вигином	$\sqrt{0,8\tau^2 + 0,8\sigma^2} \leq R_o$	2.10

де

N , M и Q – розрахункове осьове зусилля, що вигинає момент і поперечна сила в перерізі.

F_{HT} и W_{HT} – площа і момент опору перерізу нетто,

I_{HT}^x и I_{HT}^y – моменти інерції перерізу нетто відносно головних осей,

x и y – відстані від головних осей перерізу до точки, в якій обчислюється напруга,

R_o и R_H – основні розрахункові опори відповідно при дії осьових сил і при вигині

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.160025.МР.2020.000				

R' - розрахунковий опір для одночасної дії осьової сили і вигину в одній з головних площин, прийняте рівним R_o при $\sigma_N \geq \sigma_M$, R_H при $\sigma_N < \sigma_M$,

$c = 1 + 0,3 \frac{\sigma_{M1}}{\sigma_{M1}}$, але не більше 1,15,

σ_N - напруга в перетині від осьової сили,

σ_M - напруга в перевіряється місці перетину від вигину,

c' - коефіцієнт збільшення розрахункового опору, враховує нерівномірний розподіл дотичних напружень в стінці (або стінках) перетину,

приймається при $\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\text{ср}}} \leq 1,25$

$c' = 1,0$,

при $\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\text{ср}}} \leq 1,50$

$c' = 1,25$,

а при проміжних значеннях - по лінійної інтерполяції,

$\tau_{\text{ср}}$ - середнє дотичне напруження, обчислене

в припущенні передачі всієї поперечної сили Q

на стінки перетину, для одностінчатого перетину, $\tau_{\text{ср}} = \frac{Q}{H\delta}$,

H - повна висота стінки,

τ_{\max} - найбільше дотичне напруження,

$S_{\text{бр}}$ - статичний момент частини перетину бруто відносно нейтральної осі,

$I_{\text{бр}}$ - момент інерції перерізу бруто,

δ - товщина стінки,

τ - дотичне напруження в перевіряється місці перетину,

σ - нормальна напруга в перевіряється місці перетину, обчислене по перетину нетто.

Але у [6] зазначено що:

Елементи центрально-розтягнуті і центрально-стиснуті

Розрахунки міцності елементів, що зазнають центрального розтягнення або стискання силою N , виконуються за формулою виду:

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{N}{N_{Rd}} \leq 1,0, \quad (2.11)$$

де

N – осьова сила, що діє в перерізі;

N_{Rd} – розрахунковий опір перерізу.

Для елементів, що знаходяться під дією згину пружні розрахунки міцності елементів для перерізів 1-го класу, що згинаються в одній з головних площин, виконують за формулою:

$$\frac{M}{I_{xn}} y \leq \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}, \quad (2.12)$$

де

I_{xn} – тут і далі в розрахунках міцності момент інерції перерізу нетто, визначений з урахуванням ефективних геометричних характеристик перерізів. Нерівномірності розподілу нормальних напружень по ширині плит враховуються введенням до розрахунків зменшеної ширини плит b_{ef} .

Оцінку ефективної ширини плит рекомендується виконувати за результатами розрахунків пружних просторових схем. Допускається оцінювати ефективну ширину плит способом вказаним далі.

Розрахунки елементів з урахуванням пластики для перерізів 2-го класу, що згинаються в одній з головних площин, виконують за формулою

$$\frac{M}{W_{pl}} \leq \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}, \quad (2.13)$$

де

W_{pl} – пластичний момент опору.

Пружні розрахунки міцності елементів для перерізів 1-го класу, що згинаються в двох головних площинах, виконують для найбільш навантаженого волокна за формулою

$$\frac{M_x}{I_{xn}} y + \frac{M_y}{I_{yn}} x \leq \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}, \quad (2.14)$$

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згинальні моменти в перерізі та відстані від головних осей приймаються зі своїми знаками. Розрахунки елементів з урахуванням пластичної роботи для перерізів 2-го класу, що згинаються в двох головних площинах, виконують за формулою

$$\frac{M_x}{M_{pl,x,Rd}} + \frac{M_y}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1, \quad (2.15)$$

де

$$M_{pl,x,Rd} = \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r} W_{pl,x} \quad \text{та} \quad M_{pl,y,Rd} = \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r} W_{pl,y} - \text{згинальні моменти опору}$$

перерізу відносно осі x та y відповідно.

$W_{pl,x}$ та $W_{pl,y}$ – пластичні моменти опору відносно осі x та y відповідно.

Елементи, що знаходяться під дією осьової сили і згину

Пружні розрахунки міцності позацентрово-стиснутих, стиснутозігнутих, позацентрово-розтягнутих і розтягнуто-зігнутих елементів для перерізів 1-го класу при згині в одній з головних площин виконуються за формулою

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{W_n} \leq \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r} \quad (2.16)$$

де

M – момент, що діє в розглядуваному перерізі;

При гнучкості $\lambda \leq 60$ допускається приймати $M = M_1$

При виконанні розрахунків за деформованою схемою завжди приймають $M = M_1$

При порівнянні методів розрахунку на міцність були розглянуті методи описані у [6,10,11,12]

2.5 Оцінка ефективної ширини плит

При гнутті балок верхні та нижні широкі пояси (плити) мосту включаються в роботу разом зі стінками за рахунок передачі зрізних зусиль із стінок на плити. Тому нормальні напруження в плиті біля стінок, як правило, більше ніж на периферії (рисунок 2.5).

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

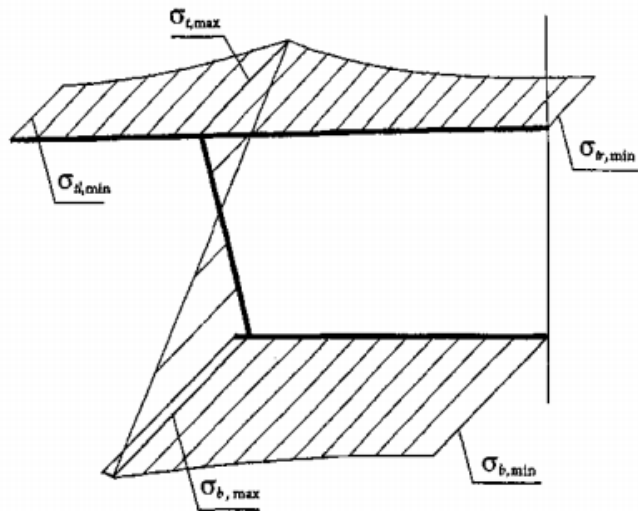


Рисунок 2.5 – Нерівномірність розподілу напружень у перерізі балки.

Оцінювати нерівномірність розподілу нормальних напружень по ширині плит рекомендується на основі просторових розрахунків прогонової будови. При цьому, для визначення нерівномірності допускається завантажувати схему розподіленим навантаженням від власної ваги. За результатом розрахунків визначається "ефективна ширина полиць" , яка менше номінальної ширини. Відношення ефективної ширини до номінальної ширини є коефіцієнтом редукції ширини . Для визначення ефективної ширини полиць при пружній роботі конструкції слід розділити площу епюри нормальних напружень на максимальну ординату напружень (рис. 2.6).

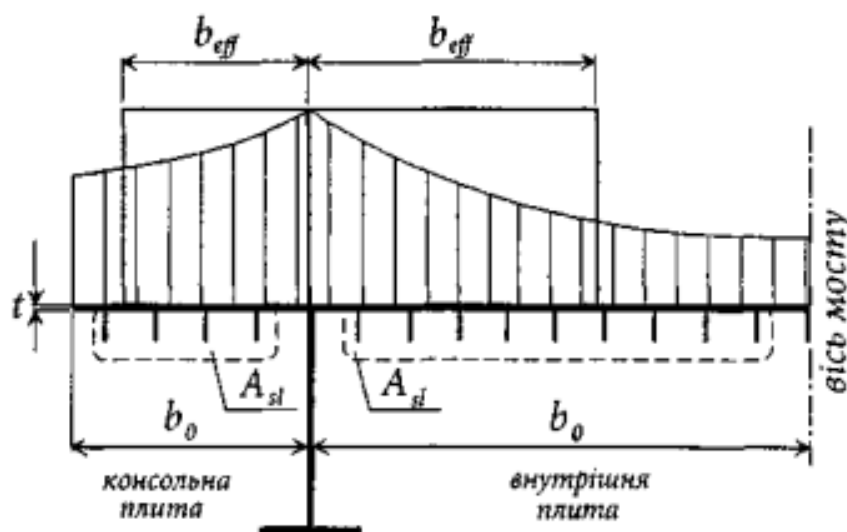


Рисунок 2.6 – Схема визначення коефіцієнта редукції для пружної роботи.

Ефективну ширину b_{ef} плит знаходять за формулою

						011.160025.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			38

$$b_{ef} = \beta * b_0 \quad (2.17)$$

де

β – коефіцієнт редукції за таблицею 2.5.

Якщо просторові розрахунки не виконувались, то альтернативно ефективну ширину полиць при пружних розрахунках допускається визначати за таблицею 2.6 в залежності від форми епюри моментів рисунок 2.7.

Коефіцієнт редукції β оцінюється за формулами таблиці 2.5 та параметрами:

$$k = \frac{a_0 b_0}{L_e} \quad (2.18)$$

$$a_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_0 * t}} \quad (2.19)$$

де

A_{sl} - площа поздовжніх ребер плити;

T - товщина листа настилу.

Решта позначень наведена на рисунку 2.7.

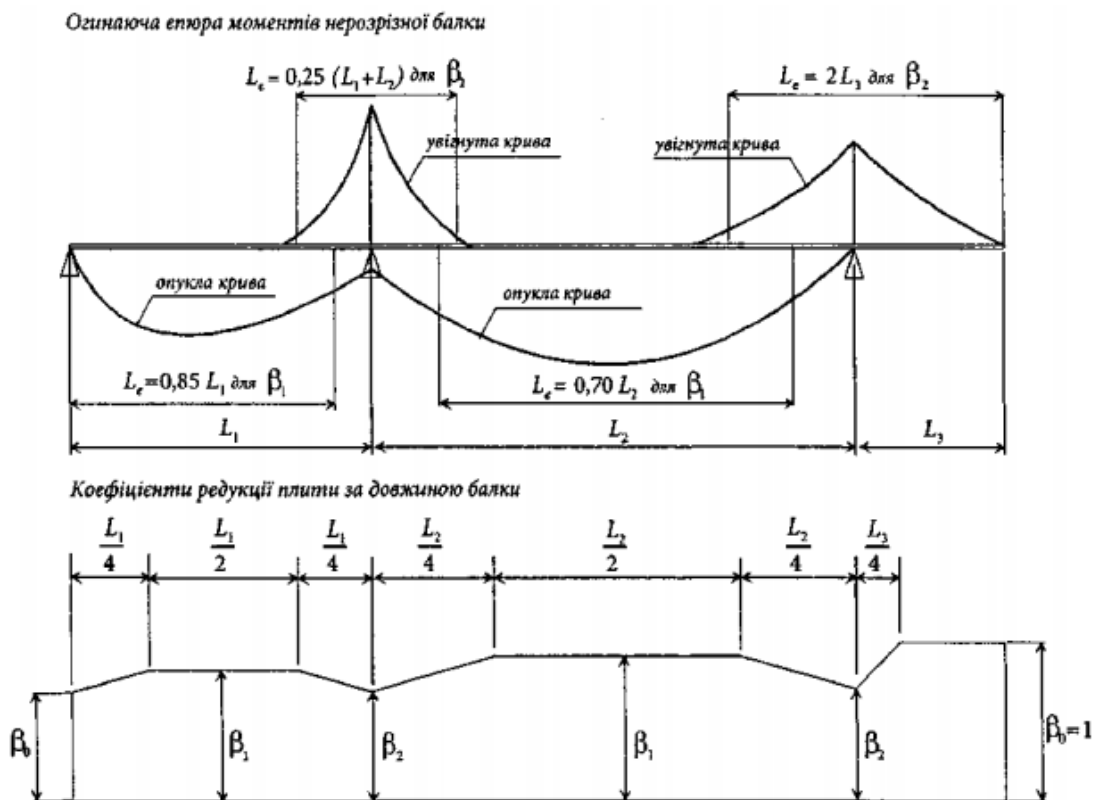


Рисунок 2.7 – Схема для визначення ефективної довжини прогону L_e

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективну довжину прогону L_e можна визначити, керуючись схемою на рисунку 2.7 за умови, що нема прогонів завдовжки не більше ніж 1,5 довжини суміжного прогону, а консоль завдовжки не більше половини суміжного прогону. В інших випадках довжина прогону визначається між нульовими точками епюри моментів.

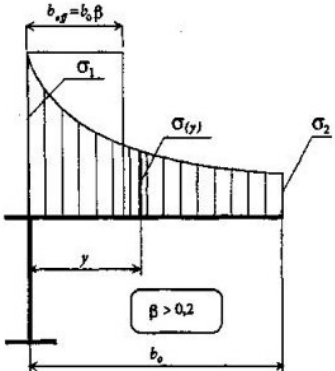
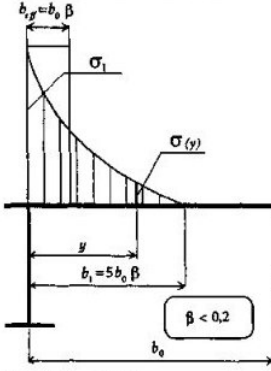
За таблицею 2.5 в залежності від обрахованого коефіцієнта k і форми ділянки епюри моментів по довжині балки можна визначити значення коефіцієнтів редуції β .

Для кількісного оцінювання характеру розподілу значень напружень по ширині плит можна скористатися формулами, що наведені в таблиці 2.6. Значна нерівномірність розподілу нормальних напружень по ширині плити можлива при значній різниці в довжині прогонів або під дією тимчасового навантаження.

Таблиця 2.5 – Значення коефіцієнту редуції [6].

$K = \frac{\alpha_0 \cdot b_0}{L_e}$	Ділянка, що розглядається	Значення коефіцієнта β
$\leq 0,02$		$\beta = 1,0$
0,02 – 0,70	Опукла епюра	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot k^2}$
	Увігнута епюра	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0(k - \frac{1}{2500 K}) + 1,6 k^2}$
> 70	Опукла епюра	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{5,9 \cdot k}$
	Увігнута епюра	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{8,6 \cdot k}$
Всі значення k	Кінцеве обпирання	$\beta_0 = (0,55 + \frac{0,025}{k}) \cdot \beta$ але $\beta_0 < \beta_1$
	Консоль	$\beta = \beta_2$ в обпиранні $\beta_0 = 1,0$ на кінці

Таблиця 2.6 – Кількісна оцінка нерівномірності розподілу напружень [6].

	
$\beta > 0,20$	$\beta < 0,20$
$\sigma_2 = 1,25(\beta - 0,20) \cdot \sigma_1$	$\sigma_2 < 0,20$
$\sigma_{(y)} = \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \left(1 - \frac{y}{b_0}\right)^4$	$\sigma_{(y)} = \sigma_1 \cdot \left(1 - \frac{y}{b_1}\right)^4$

Ефективну ширину плит слід використовувати не лише при розрахунках перерізів на міцність, але й при визначенні геометричних характеристик елементів розрахункових схем, що застосовуються у розрахунках із визначення зусиль та деформацій. Вищенаведена методика оцінки нерівномірності розподілу нормальних напружень по ширині поясів балки жорсткості передбачає пружну роботу плит.

2.6 Розрахунки стійкості

Розрахунок при плоскій формі втрати стійкості суцільношарчастих елементів замкнутого і відкритого перерізів, що піддані центральному стиску, стиску зі згином і позацентровому стиску при згині в площині найбільшої гнучкості, необхідно виконувати за формулою

$$\frac{N}{A} \leq \varphi \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}, \quad (2.20)$$

де

φ – коефіцієнт поздовжнього згину, що визначається за [6] у залежності від гнучкості елемента λ і приведенного відносного ексцентриситету e_{ef} .

Гнучкість елемента слід визначати за формулою

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} \quad (2.21)$$

де

l_{ef} – розрахункова довжина

i – радіус інерції перерізу відносно осі, перпендикулярної до площини найбільшої гнучкості (площини згину).

Приведений відносний ексцентриситет e_{ef} слід визначати за формулою

$$e_{ef} = \eta * e_{rel} \quad (2.22)$$

де

η – коефіцієнт впливу форми перерізу, що визначається за [6].

e_{rel} – відносний ексцентриситет у площині згину знаходиться за формулою

$$e_{rel} = \frac{e}{p} \quad (2.23)$$

де

e – дійсний ексцентриситет від дії сили та моменту знаходять за формулою

$$e = \frac{M}{N} \quad (2.24)$$

p – ядрова відстань, яку приймають як частку від ділення моменту опору для найбільш стиснутого волокна а площу перерізу

$$p = \frac{W_c}{A} \quad (2.25)$$

де

W_c – момент опору перерізу брутто для найбільш стиснутого волокна.

Розрахункові значення поздовжньої сили і згинального моменту в елементі слід приймати для одного й того ж сполучення навантажень при розрахунку системи за недеформованою схемою за умови пружних деформацій сталі. При цьому, значення необхідно приймати таким, що дорівнює:

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для елементів постійного перерізу рамних систем – найбільшому моменту в межах довжини елемента; - для елементів з одним затиснутим, а другим вільним кінцем – моменту в затисненні, але не меншим ніж момент у перерізі, що знаходиться на третині довжини елемента від затиснення;

- для стиснутих поясів ферм, що сприймають позавузлове навантаження, – найбільшому моменту в межах середньої третини довжини панелі пояса, що визначається за розрахунками пружної роботи пояса як нерозрізної балки;

- для стиснутих стержнів із шарнірно-обпертими кінцями і перерізами, що мають одну вісь симетрії, яка збігається з площиною згину, – моменту, що визначається за формулами [6]

Перевірка загальної стійкості розрізної балки і стиснутої зони пояса нерозрізної балки не виконується у випадках: - якщо стиснутий пояс об'єднано із залізобетонною або сталеву плитою; - якщо відстані між поперечними в'язями, що утримують стиснутий пояс, не перевищують значень, наданих у [6].

2.7 Розрахунки витривалості

Розрахунки витривалості елементів сталевих конструкцій і з'єднань залізничних мостів (крім сталевих канатних елементів) слід виконувати за формулами:

$$\sigma_{\max ef} \leq \gamma_w \frac{R_{ym}}{\gamma_r} \quad (2.26)$$

$$\tau_{\max ef} \leq 0,75 \gamma_w \frac{R_{ym}}{\gamma_r} \quad (2.27)$$

де

$\sigma_{\max ef}$ – абсолютне найбільше значення нормальних напружень – додатне при розтягу;

$\tau_{\max ef}$ – абсолютне найбільше значення дотичних напружень для розрахунків кутових швів;

γ_w – коефіцієнт, що враховує зменшення розрахункового опору текучості за рахунок утомленості.

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунки витривалості сталевих елементів мостів на автомобільних, пішохідних та міських мостах, а також елементів суміщених мостів, що зазнають впливу автомобільного та залізничного навантаження, слід виконувати відповідно до [6].

У [8] Наведені формули такого ж виду, з невеликими змінами у наявності коефіцієнту γ_r .

$$\sigma_{\max ef} \leq \gamma_w R_y m \quad (2.28)$$

$$\tau_{\max ef} \leq 0,75 \gamma_w R_y m \quad (2.29)$$

де

$\sigma_{\max ef}$ – абсолютне найбільше значення нормальних напружень – додатне при розтягу визначається за таблицею 2.7;

$\tau_{\max ef}$ – абсолютне найбільше значення дотичних напружень для розрахунків кутових швів;

γ_w – коефіцієнт, що враховує зменшення розрахункового опору текучості за рахунок утомленості;

m – коефіцієнт умов роботи.

Таблиця 2.7 – Формули для визначення σ_{\max} [8].

Напружений стан	Формули для визначення $\sigma_{\max, ef}$
Розтяг або стиснення	$\frac{N}{A_n}$
Згин в одній з головних площин	$\frac{M}{x_3 W_n}$
Розгляд або стиснення зі згином в одній з головних площин	$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{x_3 W_n}$
Згин в двох головних площинах	$\frac{M_{xy}}{x_3 x_n} \pm \frac{M_{yx}}{x_3 y_n}$
Розтяг або стиснення зі згином в двох головних площинах	$\frac{N}{A_n} \pm \left(\frac{M_{xy}}{x_3 x_n} \pm \frac{M_{yx}}{x_3 y_n} \right)$

У табл. 2.7 позначено:

M, M_x, M_y – приведені згинальні моменти в розглянутому перерізі, обумовлені згідно 4.26;

α_3 - коефіцієнт, прийнятий рівним 1,05.

2.8 Висновки до розділу №2

Виконано аналіз норм проектування металевих мостів різних років розробки, а саме: ДБН В.2.3-26:2010 – Мости і труби. Сталеві конструкції правила проектування, ДБН 2.3-14:2006 – Мости і труби. Правила проектування, СН 200-62 – Технические условия проектирования железнодорожных и автодорожных и городских мостов и труб.

У методах розрахунків на витривалість зміни відбулись у додаванні коефіцієнту надійності за відповідальністю споруди γ_r який приймається згідно з ДБН В.2.3-22.

Методики розрахунків на стійкість ортотропних плит зазнали суттєвих змін у вигляді додаткових розрахунків за допомогою яких визначається еквівалентна товщина листів з перфорацією, яка використовується для визначення моменту інерції перерізу, площі перерізу, радіуса інерції елемента. А також у додаванні коефіцієнту надійності за відповідальністю споруди γ_r який приймається згідно з ДБН В.2.3-22.

Проведений аналіз показав актуальність зазначеної у ДБН В.2.3-26:2010 – Мости і труби. Сталеві конструкції методики.

Розрахунки на міцність зазнали деяких змін, а саме було введено коефіцієнт редукції, що відображає ефект запізнювання дотичних напружень. Додання коефіцієнту є суттєвим уточненням розрахунків. Але врахування ефекту запізнювання дотичних навантажень не дає достатньої точності розрахунків.

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Опис програмного комплексу обраного для моделювання

Для моделювання була обрана обчислювальна програма ЛІРА-САПР 2013. Для виконання моделей у цьому розділі також використовувались матеріали та рекомендації з [13,14].

Функціональні можливості програмного комплексу ЛІРА-САПР:

ЛІРА-САПР реалізує технологію інформаційного моделювання будинків (BIM) і орієнтована на проектування і розрахунок будівельних конструкцій. Реалізація технології BIM забезпечується нативної зв'язком з іншими архітектурними, розрахунковими, графічними та документуючими системами (САПФІР-3D, Revit, Tekla, AutoCAD, ArchiCAD, Advance Steel, BoCAD, Allplan, STARK ES, Gmsh і ін.) На основі DXF, MDB, STP, SLI, MSH, STL, OBJ, IFC та ін. файлів.

Розвинена інтуїтивна графічне середовище користувача з можливістю 3D-візуалізації розрахункової схеми на всіх етапах синтезу та аналізу. Потужна система діагностики. Численні види представлення результатів рішення задачі - в графічному (ізополя, епюри, деформовані схеми, анімація форм коливань) і табличному (переміщення, напруження, зусилля, РСУ, РСН, результати підбору арматури в залізобетонних елементах і перетинів сталевих елементів) дозволяє швидко провести необхідний аналіз. Режим варіантного проектування - в одному завданні користувач може варіювати перетинами елементів, матеріалами, нормативами.

Синтез розрахункової схеми будівлі або споруди на основі керованої процедури перетворення 3D і 2D архітектурних моделей, створених в різних графічних програмах: САПФІР-3D, Allplan, Revit, AutoCAD та ін.

Потужний багатофункціональний процесор який реалізує швидкодіючі алгоритми складання і рішення систем рівнянь з порядком до декількох мільйонів невідомих. Процесор функціонує в 64-х і 32-х розрядних режимах з використанням багатоядерності сучасних комп'ютерів.

Розрахунок на різні види динамічних дій сейсміка, вітер з урахуванням пульсації, вібраційні навантаження, імпульс, удар, відповідь-спектр, сейсміка на основі акселерограми. Для сейсмічних впливів реалізовані норми України, Росії, Казахстану, Азербайджану, Грузії, Франції, Алжиру та ін.

Дозволяє по зусиллям в перерізі, знайденим в процесі виконання завдання визначити головні і еквівалентні напруги і здійснити перевірку за різними теоріями міцності: найбільш головні напруження, найбільш головні деформації, найбільш дотичні напруження, енергетична теорія Губера-Мізеса-Генки, теорії Мора, Друкера-Прагера, Писаренко-Лебедева, Кулона-Мора, Боткіна, Генієва.

Розвинена бібліотека кінцевих елементів дозволяє створювати комп'ютерні моделі практично будь-яких конструкцій: плоских і просторових рам, балок стінок, що згинаються плит, оболонки, масивних тіл, а також комбінованих систем - плит і оболонки підперті ребрами, плит на ґрунтовому підставі, каркасних конструкцій будівель, системи " надземне будова - фундаментні конструкції - ґрунтову основу "і багато інших. ін.

Великий набір спеціальних кінцевих елементів, що дозволяють скласти адекватні комп'ютерні моделі для складних і неординарних споруд. Наприклад: кінцевий елемент, що моделює податливість вузлів; кінцевий елемент, що моделює роботу ґрунту за межами конструкції; кінцевий елемент, що моделює натягач (форкопф) і що дозволяє забезпечувати задане первинне натягнення конструкції або знаходити необхідне натягнення, що забезпечує задану геометрію (наприклад, тенту або вантової мережі).

Перевірка і підбір перерізів залізобетонних і сталевих елементів відповідно до діючих в світі нормативами. Виконання робочих креслень стадії КМ і ЯЖ.

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Суперелементне моделювання з візуалізацією на всіх етапах розрахунку, що дозволяє в ряді випадків прискорити рішення задачі і знизити вплив поганої обумовленості великорозмірної матриці.

Модулі обліку фізичної нелінійності на основі різних нелінійних залежностей σ - ϵ , що забезпечують можливість комп'ютерного моделювання процесу навантаження як моно-, так і бі-матеріальних конструкцій, з дослідженням розвитку тріщин, проявом деформацій повзучості і текучості, аж до отримання картини руйнування конструкції.

Модулі обліку геометричної нелінійності, що дозволяють розраховувати, як конструкції спочатку геометрично незмінні (гнучкі плити і балки, гнучкі ферми і ін.) Так і конструкції спочатку геометрично змінні, для розрахунку яких необхідно спочатку визначити рівноважну форму під заданий вид навантаження (окремі канати, вантові ферми, вантові покриття, тенти, мембрани і ін.).

Спеціалізований документатор дозволяє формувати звіт, що складається з текстової, табличної і графічної інформації. Режим інтерактивних копій екрану дозволяє здійснювати фіксацію і повернення до фрагменту розрахункової схеми, а також виконувати автоматичне оновлення зображень після її зміни (перенумерація, перетріангуляція, зміна конфігурації зображуваного об'єкта)[15].

3.2 Опис тестової моделі

За основу для тестової моделі був взятий проект мосту через р. Старий Дніпро який входить до складу автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжя.

Для розуміння закономірностей напружено деформованого стану, необхідно виконати моделювання двох варіантів перерізу моделі.

За перший варіант перерізу моделі було прийнято регулярний переріз верхньої ортотропної плити (рис3.1) із зазначеними у прийнятому проекті розмірами і габаритами.

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для тестової схеми було прийнята довжина плити рівна 4 м. Це було обумовлено тим що у повній схемі прогонової будови через кожні 4 м переріз перетинається поперечним ребром, а також розкосами які виступають як з'єднуючі елементи для передачі зусиль між верхньою та нижньою ортотропними плитами.

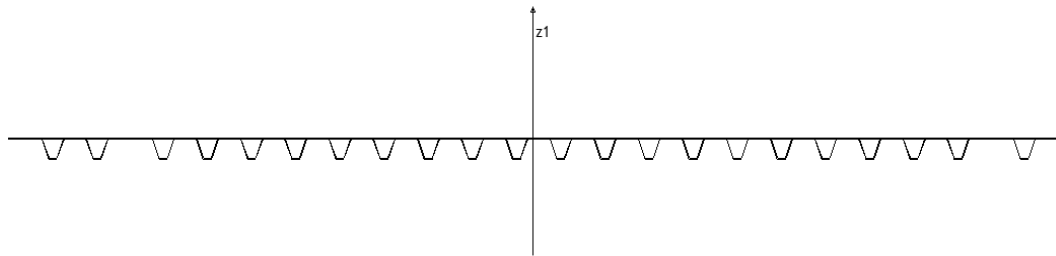


Рисунок 3.1 – Перший варіант регулярного перерізу верхньої ортотропної плити.

За другий варіант перерізу моделі було прийнято регулярний переріз верхньої ортотропної плити (рис 3.3) зі смуговим поздовжніми ребрами.

Основні переваги смугових ребер – це простота виготовлення та монтажу. До недоліків слід віднести відносно малу згинальну жорсткість і практично нульову крутильну жорсткість.

Всі ортотропні плити проїзної частини автопроїзду мають мінімальну товщину листу настилу 14 мм, та однакові смугові повздовжні ребра з висотою 200 мм і товщиною стінки 12 мм (рис 3.2). Відстань між повздовжніми ребрами 300 мм.

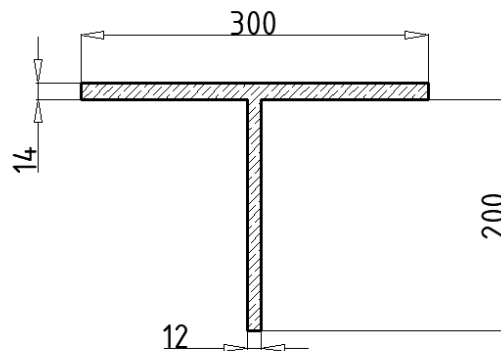


Рисунок 3.2 – Поперечний переріз повздовжнього ребра верхнього поясу з ділянкою листу настилу.

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Для даного варіанту верхньої ортотропної плити було прийнята довжина плити рівна 3 м. Це було обумовлено досвідом проектування. Тобто через кожні 3 м переріз перетинається поперечним ребром, а також розкосами які виступають як з'єднуючі елементи для передачі зусиль між верхньою та нижньою ортотропними плитами.

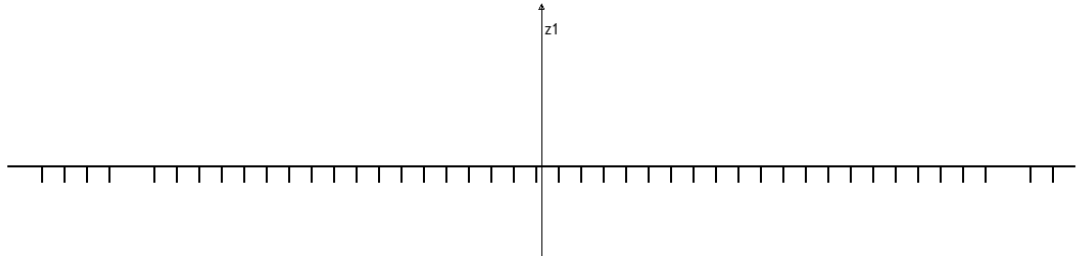


Рисунок 3.3 – Другий варіант регулярного перерізу верхньої ортотропної плити.

3.3 Моделювання мосту

Моделювання мосту робимо за допомогою програмного комплексу Ліра Сапр. Приймаючи до уваги те що нам цікавий тільки напружений стан прогонової будови моделюємо об'ємну модель прогонової будови з опорними частинами.

Регулярний переріз прогонової будови за першим варіантом можна побачити на рисунку 3.4 та за другим варіантом – на рисунку 3.5. Для зменшення кількості кінцевих елементів схеми нижня ортотропна плита моделюється спрощено. Розміри опорних частин задані відповідно [5].

У ході моделювання виникла потреба у зменшенні кількості елементів через неможливість розрахунку занадто складної схеми наявним обладнанням. Прийняте рішення змінити розбиття у повздовжньому напрямку на $(4m/4 - 1m)$.

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

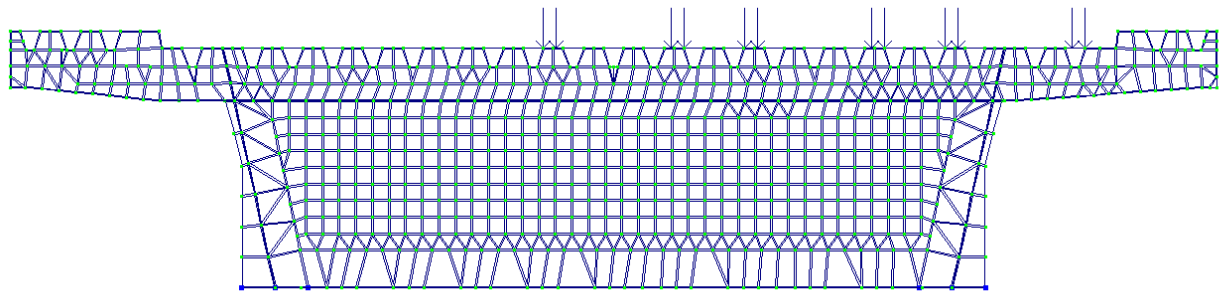


Рисунок 3.7 – Схема розміщення навантаження АК змодельоване у Лірі.

Просторові розрахункові схеми, в яких поперечний переріз моделюється за допомогою плитних елементів, дозволить визначити напруження в місцях перерізу, що цікавлять при кожному фіксованому положенні навантаження. В результаті розрахунків повинна бути отримана інформація про величину напружень в поясах над стінками головних балок і величиною опорних реакцій.

Отримуємо ізополя внутрішніх напружень по N_x у елементах прогонових будов рисунки 3.8 та 3.9. Їх ми будемо використовувати для перевірки та порівняння розрахунків напружень за [6].

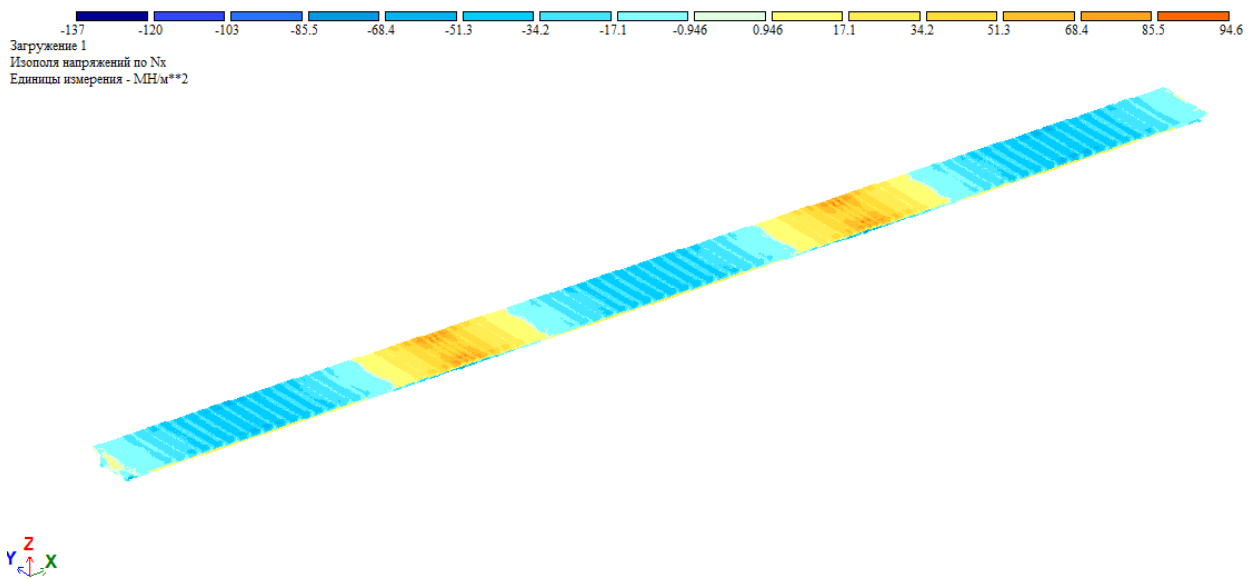


Рисунок 3.8 – Ізополя напружень по N_x для першого варіанту.

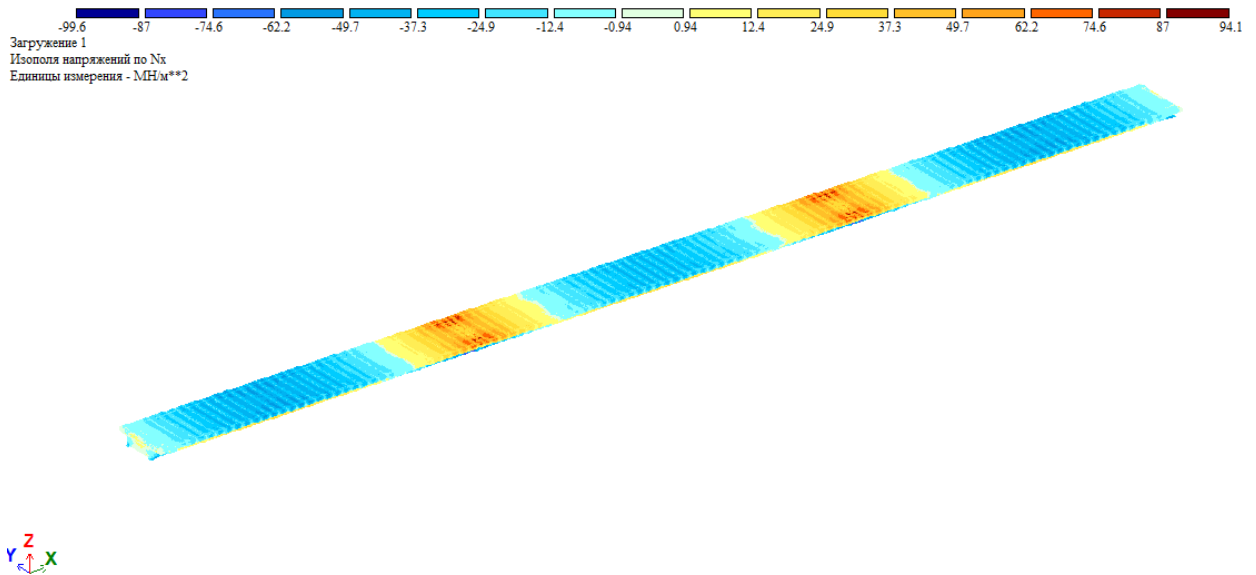


Рисунок 3.9 – Ізополя напружень по N_x для другого варіанту.

Отримані результати НДС моделі №1 та моделі №2 відповідають теоретичним даним, які описані у [16]. Найкраще це можна побачити у перерізі на проміжній опорі. В цілому розподіл напружень по довжині прогонової будови відповідає очікуванням на основі досвіду проектування, і приймається як максимально наближений до реальності. Чисельні данні напружень з цієї моделі будуть використані для перевірки похибки при аналітичному методі розрахунку.

3.4 Моделювання стрижневої моделі

Для визначення максимальних моментів діючих у перерізах використовуємо стрижневу модель яку завантажуюмо також власною вагою і трьома полосами А-15.

Отримуємо таку епюру моментів рисунок 3.10 та рисунок 3.11.

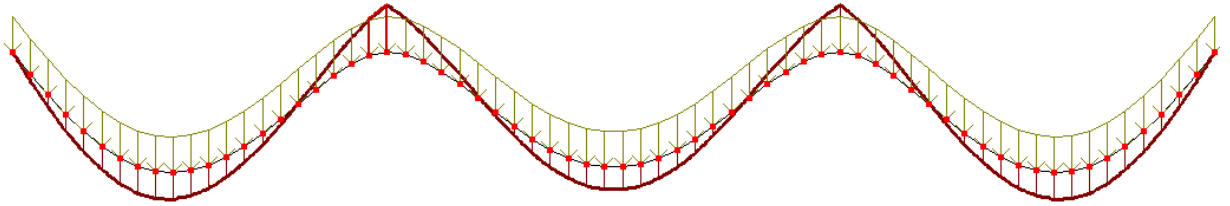
З отриманих епюр моментів беремо значення моментів на осі першої проміжної опори та в середині першого прогону для подальших розрахунків.

Таблица 3.1 – Значення моментів

	В осі опори, МН•м	53 м від початку першого прогону, МН•м
1 варіант	161,374	80,0136
2 варіант	162,596	78,963

За допомогою моделі №3 та моделі №4 – стрижневих схем мосту отримані значення максимальних моментів у обраних до розрахунку перерізах. Проаналізувавши результати на основі досвіду проектування приймаємо, що значних помилок при проектуванні стрижневої моделі не виявлено.

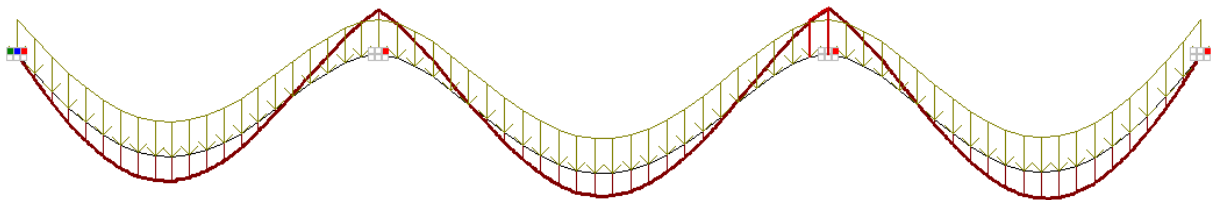
Завантаження 1
Експорт Mu
Єдиниці вимірювання - МН*м



Zy
X
Минимальное усилие -161.374
Максимальное усилие 93.3442

Рисунок 3.10 – Епюра моментів стрижневої схеми для першого варіанту.

Завантаження 1
Експорт Mu
Єдиниці вимірювання - МН*м



Zy
X
Минимальное усилие -162.396
Максимальное усилие 93.084

Рисунок 3.11 – Епюра моментів стрижневої схеми для першого варіанту.

3.5 Висновки до розділу №3

Для просторової моделі мосту були отримані такі результати: отримані результати НДС моделі №1 та моделі №2 відповідають теоретичним даним, які описані у [6,17]. Найкраще це можна побачити у перерізі на проміжній опорі. В

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

цілому розподіл напружень по довжині прогонової будови відповідає очікуванням на основі досвіду проектування, і приймається як максимально наближений до реальності. Чисельні данні напружень з цієї моделі будуть використані для перевірки похибки при аналітичному методі розрахунку.

За допомогою моделі №3 та моделі №4 – стрижневих схем мосту отримані значення максимальних моментів у обраних до розрахунку перерізах. Проаналізувавши отриману епюру моментів на основі досвіду проектування вважаємо, що значних помилок при проектуванні стрижневої моделі не виявлено.

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНКИ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ

4.1 Навантаження

Навантаження на міст прийняті відповідно до [6,8]. Всі навантаження поділені на декілька груп: 1. Постійні (власна вага несучих конструкцій) 2. Тимчасові рухомі навантаження (автомобілі).

При підрахунках, нормативна вага сталі несучих та допоміжних конструкцій балки була прийнята на основі ескізних розрахунків та досвіду проектування подібних конструкцій. Розрахункове навантаження визначене шляхом множення нормативного навантаження на коефіцієнти надійності у відповідності до пункту 2.10, табл. 2.5 [8], за винятком елементів мостового полотна, де коефіцієнт збільшено до 1.25 в зв'язку з тенденцією посилення умов до зазначених конструкцій.

Постійне навантаження приймаємо у вигляді власної ваги несучих конструкцій (балка жорсткості з ортотропною плитою). Нормативне значення власної ваги для першого аріанту дорівнює 84,639Кн/м балки та для другого – 84,312 Кн/м.

Тимчасові рухомі навантаження прийняті відповідно [8]. Автомобільні тимчасові навантаження складаються з полос АК . Клас навантажень прийнятий рівним 15. Кількість смуг відповідає кількості смугам руху. Аналізуються одна комбінація: розподілене навантаження АК. Схеми розміщення навантажень прийнято згідно п. 2.15 та 2.16 [8]. Розміщення смуг навантажень АК поперек мосту виконується за правилами: - мінімальна відстань від осі тандему огорожі бар'єру становить 1.5 м; - мінімальна відстань між смугами становить 3.0 м.

4.2 Визначення коефіцієнтів редукції

Розрахунок редукції проведено за [18]. При згині балок верхні та нижні широкі пояси (плити) мосту вступають в роботу разом з стінками тільки за рахунок передачі дотичних напружень з стінки на плити. Цьому нормальні напруження в плиті біля стінок, зазвичай, більші ніж на периферії. У результаті розрахунків редукції визначається b_{eff} «ефективна ширина полиць», яка менше номінальної ширини b_0 . Відношення ефективної ширини b_{eff} , до номінальної ширини b_0 складає коефіцієнт редукції ширини β . [19] Розрахунок проводимо за рекомендацією додатку до [20]. Редукційний коефіцієнт β визначаємо за формулами таблиці 5.1.2 [16].

4.2.1 Визначення коефіцієнта редукції для першого варіанту

Спочатку визначимо параметр k за формулою:

$$k = \frac{a_0 * b_0}{L_0} \quad (4.1)$$

Довжина першого прогону $L_1 = 106\text{м}$, довжина центрального прогону $L_2 = 138\text{м}$, довжина третього прогону $L_3 = L_1 = 106\text{м}$

Ефективна довжина прогонів рівна:

$$L_{E1,опукла} = 0.85 * L_1 = 0.85 * 106 = 90.1\text{м} \quad (4.2)$$

$$L_{E2,опукла} = 0.70 * L_2 = 0.70 * 128 = 89.6\text{м} \quad (4.3)$$

$$L_{E,увігнута} = 0.25 * (L_1 + L_2) = 0.25 * (106 + 128) = 58.5\text{м} \quad (4.4)$$

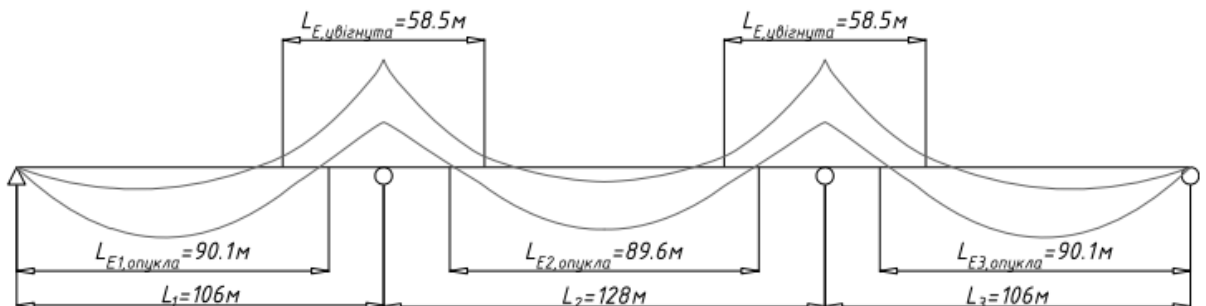


Рисунок 4.1 – Ефективна довжина прогонів для першого варіанту

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Коефіцієнт a_0 знаходимо за формулою:

$$a_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{gl}}{b_0 * t}} \quad (4.5)$$

де

A_{gl} – площа повздовжніх ребер плити;

$A_{gl, \text{в. п.}} = 5414 * 10^{-6} \text{ м}^2$ – площа повздовжніх ребер верхнього поясу;

$A_{gl, \text{н. п.}} = 8231 * 10^{-6} \text{ м}^2$ – площа повздовжніх ребер нижнього поясу;

b_0 – ширина поясу між поздовжніми ребрами, $b_{0, \text{в. п.}} = 0.6 \text{ м}$, $b_{0, \text{н. п.}} = 1.0 \text{ м}$

t – товщина листа настилу $t_{\text{конс}} = 12 \text{ мм}$, $t_{\text{в.п.}} = 14 \text{ мм}$, $t_{\text{н.п.}} = 14 \text{ мм}$

Підставляємо відповідні значення в формулу 4.5.

$$a_{0, \text{конс}} = \sqrt{1 + \frac{A_{gl, \text{в.п.}}}{b_{0, \text{в.п.}} * t_{\text{конс}}}} = \sqrt{1 + \frac{5414 * 10^{-6}}{0.6 * 0.014}} = 1.282 \text{ м}$$

$$a_{0, \text{в.п.}} = \sqrt{1 + \frac{A_{gl, \text{в.п.}}}{b_{0, \text{в.п.}} * t_{\text{в.п.}}}} = \sqrt{1 + \frac{5414 * 10^{-6}}{0.6 * 0.014}} = 1.282 \text{ м}$$

$$a_{0, \text{н.п.}} = \sqrt{1 + \frac{A_{gl, \text{н.п.}}}{b_{0, \text{н.п.}} * t_{\text{н.п.}}}} = \sqrt{1 + \frac{8231 * 10^{-6}}{1.0 * 0.012}} = 1.298 \text{ м}$$

Номінальна ширина становить:

$b_{0, \text{конс}} = 3.15 \text{ м}$ – для консолі;

$b_{0, \text{в.п.}} = \frac{11.7}{2} = 5.85 \text{ м}$ – для верхнього поясу;

$b_{0, \text{н.п.}} = \frac{10.0}{2} = 5.00 \text{ м}$ – для нижнього поясу;

Коефіцієнт k знаходимо за формулою:

$$k = \frac{a_{0, \text{конс}} * b_{0, \text{конс}}}{L_{E1, \text{опукла}}} \quad (4.12)$$

Підставляємо відповідні значення в формулу 4.12:

Тоді параметр k для консолі буде становити:

для прогону 1 опуклої кривої буде рівним:

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{\text{конс1,опукл}} = \frac{a_{0,\text{конс}} * b_{0,\text{конс}}}{L_{E1,\text{опукла}}} = \frac{1.28*3.15}{90.1} = 0.045$$

для прогону 2 опуклої кривої буде рівним:

$$k_{\text{конс2,опукл}} = \frac{a_{0,\text{конс}} * b_{0,\text{конс}}}{L_{E2,\text{опукла}}} = \frac{1.28*3.15}{89.6} = 0.045$$

для прогонів 1-2 увігнутої кривої буде рівним:

$$k_{\text{конс,увігнута}} = \frac{a_{0,\text{конс}} * b_{0,\text{конс}}}{L_{E,\text{увігнута}}} = \frac{1.28*3.15}{58.5} = 0.069$$

Тоді параметр k для верхнього поясу буде становити:

для прогону 1 опуклої кривої буде рівним:

$$k_{\text{в.п.1,опукл}} = \frac{a_{0,\text{в.п.}} * b_{0,\text{в.п.}}}{L_{E1,\text{опукла}}} = \frac{1.28*5.85}{90.1} = 0.083$$

для прогону 2 опуклої кривої буде рівним:

$$k_{\text{в.п.2,опукл}} = \frac{a_{0,\text{в.п.}} * b_{0,\text{в.п.}}}{L_{E2,\text{опукла}}} = \frac{1.28*5.85}{89.6} = 0.084$$

для прогонів 1-2 увігнутої кривої буде рівним:

$$k_{\text{в.п.,увігнута}} = \frac{a_{0,\text{в.п.}} * b_{0,\text{в.п.}}}{L_{E,\text{увігнута}}} = \frac{1.28*5.85}{58.5} = 0.128$$

Тоді параметр k для нижнього поясу буде становити:

для прогону 1 опуклої кривої буде рівним:

$$k_{\text{н.п.1,опукл}} = \frac{a_{0,\text{н.п.}} * b_{0,\text{н.п.}}}{L_{E1,\text{опукла}}} = \frac{1.3*5.00}{90.1} = 0.072$$

для прогону 2 опуклої кривої буде рівним:

$$k_{\text{н.п.2,опукл}} = \frac{a_{0,\text{н.п.}} * b_{0,\text{н.п.}}}{L_{E2,\text{опукла}}} = \frac{1.3*5.00}{89.6} = 0.072$$

для прогонів 1-2 увігнутої кривої буде рівним:

$$k_{\text{н.п.,увігнута}} = \frac{a_{0,\text{н.п.}} * b_{0,\text{н.п.}}}{L_{E,\text{увігнута}}} = \frac{1.3*5.00}{58.5} = 0.111$$

Тоді коефіцієнт редукції ширини β для консолі буде:

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\beta_{1.1.\text{консл}} = \frac{1}{1+6.4 * k_{\text{конс1,опукл}}^2} = \frac{1}{1+6.4*0.045^2} = 0.98 \quad (4.13)$$

$$\beta_{1.2.\text{консл}} = \frac{1}{1+6.4 * k_{\text{конс2,опукл}}^2} = \frac{1}{1+6.4*0.045^2} = 0.98$$

$$\beta_{0,\text{конс}} = \left(0.55 + \frac{0.025}{k_{\text{конс1,опукл}}}\right) * \beta_{1.1,\text{конс}} = \left(0.55 + \frac{0.025}{0.045}\right) * 0.98 = 1.07 \quad (4.14)$$

але не $> \beta_{1.1} = 0.99$, тобто $\beta_{0,\text{конс}} = 0.99$

$$\beta_{2,\text{конс}} = \frac{1}{1 + 6 * \left(k_{\text{конс,увігнута}} - \frac{1}{2500 * k_{\text{конс,увігнута}}}\right) + 1.6 * k_{\text{конс,увігнута}}^2} =$$

$$= \frac{1}{1+6*(0.069-\frac{1}{2500*0.071})+1.6*0.069^2} = 0.72 \quad (4.15)$$

Тоді коефіцієнт редукції ширини β для верхнього поясу буде:

$$\beta_{1.1.\text{в.п.}} = \frac{1}{1+6.4 * k_{\text{в.п.1,опукл}}^2} = \frac{1}{1+6.4*0.083^2} = 0.96$$

$$\beta_{1.2.\text{в.п.}} = \frac{1}{1+6.4 * k_{\text{в.п.2,опукл}}^2} = \frac{1}{1+6.4*0.084^2} = 0.96$$

$$\beta_{0,\text{конс}} = \left(0.55 + \frac{0.025}{k_{\text{в.п.1,опукл}}}\right) * \beta_{1.1,\text{конс}} = \left(0.55 + \frac{0.025}{0.083}\right) * 0.96 = 0.81$$

$$\beta_{2,\text{в.п.}} = \frac{1}{1 + 6 * \left(k_{\text{в.п.,увігнута}} - \frac{1}{2500 * k_{\text{в.п.,увігнута}}}\right) + 1.6 * k_{\text{в.п.,увігнута}}^2} =$$

$$= \frac{1}{1+6*(0.128-\frac{1}{2500*0.128})+1.6*0.128^2} = 0.56$$

Тоді коефіцієнт редукції β для нижнього поясу буде:

$$\beta_{1.1.\text{н.п.}} = \frac{1}{1+6.4 * k_{\text{н.п.1,опукл}}^2} = \frac{1}{1+6.4*0.070^2} = 0.97$$

$$\beta_{1.2.\text{н.п.}} = \frac{1}{1+6.4 * k_{\text{н.п.2,опукл}}^2} = \frac{1}{1+6.4*0.071^2} = 0.97$$

$$\beta_{0,\text{конс}} = \left(0.55 + \frac{0.025}{k_{\text{н.п.1,опукл}}}\right) * \beta_{1.1,\text{конс}} = \left(0.55 + \frac{0.025}{0.070}\right) * 0.96 = 0.87$$

$$\beta_{2,в.п.} = \frac{1}{1 + 6 * \left(k_{н.п.,увігнута} - \frac{1}{2500 * k_{н.п.,увігнута}} \right) + 1.6 * k_{в.п.,увігнута}^2} =$$

$$= \frac{1}{1 + 6 * \left(0.108 - \frac{1}{2500 * 0.108} \right) + 1.6 * 0.108^2} = 0.61$$

Отримані результати систематизуємо – рисунок 4.2.

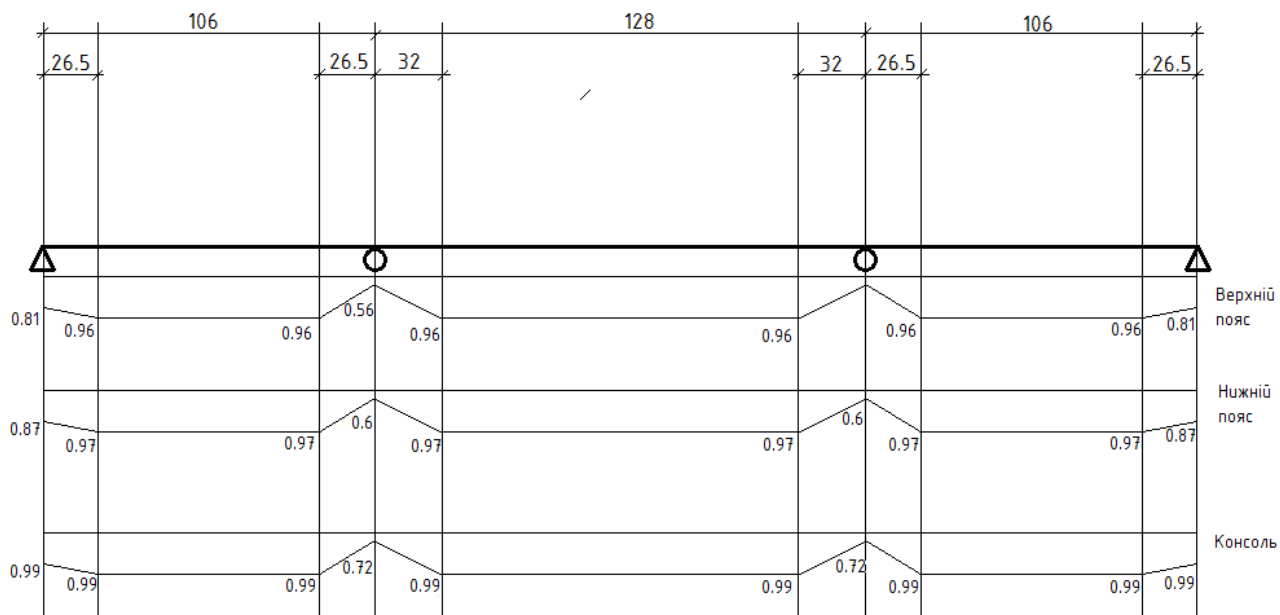


Рисунок 4.2 – Коефіцієнти редуції для першого варіанту

4.2.2 Визначення коефіцієнта редуції для другого варіанту

Довжина першого прогону $L_1 = 106\text{м}$, довжина центрального прогону $L_2 = 138\text{м}$, довжина третього прогону $L_3 = L_1 = 106\text{м}$ прийняті як в першому варіанті, відповідно, ефективна довжина – залишилася не зміною.

Ефективна довжина прогонів рівна:

$$L_{E1,опукла} = 0.85 * L_1 = 0.85 * 106 = 90.1\text{м}$$

$$L_{E2,опукла} = 0.70 * L_2 = 0.70 * 128 = 89.6\text{м}$$

$$L_{E,увігнута} = 0.25 * (L_1 + L_2) = 0.25 * (106 + 128) = 58.5\text{м}$$

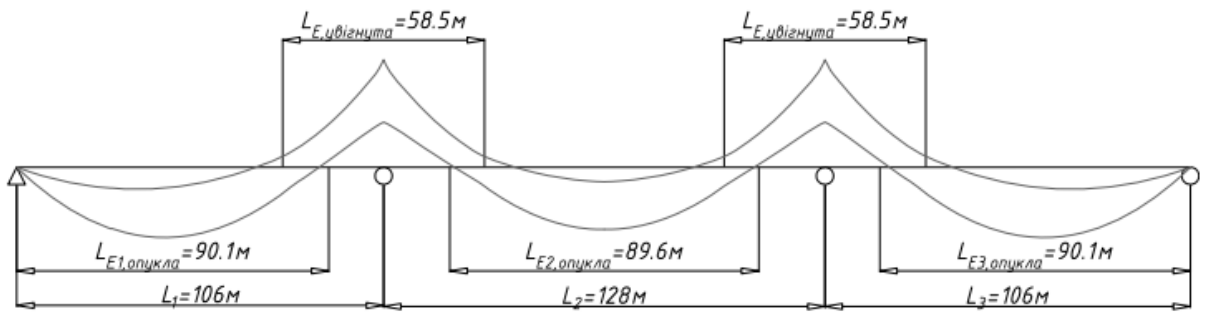


Рисунок 4.3 – Ефективна довжина прогонів для другого варіанту

Оскільки другий варіант відрізняється від першого типом верхньої ортотропної плити, то достатньо порахувати тільки площу повздожніх ребер верхнього поясу.

$A_{gl, \text{в.п.}} = 2400 * 10^{-6} \text{ м}^2$ – площа повздожніх ребер верхнього поясу;

b_0 – ширина поясу між поздовжніми ребрами, $b_0, \text{в.п.} = 0.3 \text{ м}$,

t – товщина листа настилу $t_{\text{в.п.}} = 14 \text{ мм}$

За формулою (4.1) визначає параметр k :

$$a_{0, \text{конс}} = \sqrt{1 + \frac{A_{gl, \text{в.п.}}}{b_0, \text{в.п.} * t_{\text{конс}}}} = \sqrt{1 + \frac{2400 * 10^{-6}}{0.3 * 0.014}} = 1.254 \text{ м}$$

$$a_{0, \text{в.п.}} = \sqrt{1 + \frac{A_{gl, \text{в.п.}}}{b_0, \text{в.п.} * t_{\text{в.п.}}}} = \sqrt{1 + \frac{2400 * 10^{-6}}{0.3 * 0.014}} = 1.254 \text{ м}$$

Номинальна ширина не змінилася:

$b_{0, \text{конс}} = 3.15 \text{ м}$ – для консолі;

$b_{0, \text{в.п.}} = \frac{11.7}{2} = 5.85 \text{ м}$ – для верхнього поясу;

Тоді параметр k для консолі буде становити:

для прогону 1 опуклої кривої буде рівним:

$$k_{\text{конс1, опукл}} = \frac{a_{0, \text{конс}} * b_{0, \text{конс}}}{L_{E1, \text{опукла}}} = \frac{1.254 * 3.15}{90.1} = 0.044$$

для прогону 2 опуклої кривої буде рівним:

$$k_{\text{конс2, опукл}} = \frac{a_{0, \text{конс}} * b_{0, \text{конс}}}{L_{E2, \text{опукла}}} = \frac{1.254 * 3.15}{89.6} = 0.044$$

для прогонів 1-2 увігнутої кривої буде рівним:

										011.160025.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							62

$$k_{\text{конс,увігнута}} = \frac{a_{0,\text{конс}} * b_{0,\text{конс}}}{L_{E,\text{увігнута}}} = \frac{1.254 * 3.15}{58.5} = 0.0675$$

Тоді параметр k для верхнього поясу буде становити:
для прогону 1 опуклої кривої буде рівним:

$$k_{\text{в.п.1,опукл}} = \frac{a_{0,\text{в.п.}} * b_{0,\text{в.п.}}}{L_{E1,\text{опукла}}} = \frac{1.254 * 5.85}{90.1} = 0.081$$

для прогону 2 опуклої кривої буде рівним:

$$k_{\text{в.п.2,опукл}} = \frac{a_{0,\text{в.п.}} * b_{0,\text{в.п.}}}{L_{E2,\text{опукла}}} = \frac{1.254 * 5.85}{89.6} = 0.082$$

для прогонів 1-2 увігнутої кривої буде рівним:

$$k_{\text{в.п.,увігнута}} = \frac{a_{0,\text{в.п.}} * b_{0,\text{в.п.}}}{L_{E,\text{увігнута}}} = \frac{1.254 * 5.85}{58.5} = 0.125$$

Тоді коефіцієнт редукції ширини β для консоли буде:

$$\beta_{1.1.\text{консл}} = \frac{1}{1 + 6.4 * k_{\text{конс1,опукл}}^2} = \frac{1}{1 + 6.4 * 0.044^2} = 0.99$$

$$\beta_{1.2.\text{консл}} = \frac{1}{1 + 6.4 * k_{\text{конс2,опукл}}^2} = \frac{1}{1 + 6.4 * 0.044^2} = 0.99$$

$$\beta_{0,\text{конс}} = \left(0.55 + \frac{0.025}{k_{\text{конс1,опукл}}} \right) * \beta_{1.1,\text{конс}} = \left(0.55 + \frac{0.025}{0.044} \right) * 0.99 = 1.1$$

але не $> \beta_{1.1} = 0.99$, тобто $\beta_{0,\text{конс}} = 0.99$

$$\beta_{2,\text{конс}} = \frac{1}{1 + 6 * \left(k_{\text{конс,увігнута}} - \frac{1}{2500 * k_{\text{конс,увігнута}}} \right) + 1.6 * k_{\text{конс,увігнута}}^2} =$$

$$= \frac{1}{1 + 6 * \left(0.0675 - \frac{1}{2500 * 0.0675} \right) + 1.6 * 0.0675^2} = 0.73$$

Тоді коефіцієнт редукції ширини β для верхнього поясу буде:

$$\beta_{1.1.\text{в.п.}} = \frac{1}{1 + 6.4 * k_{\text{в.п.1,опукл}}^2} = \frac{1}{1 + 6.4 * 0.081^2} = 0.96$$

$$\beta_{1.2.\text{в.п.}} = \frac{1}{1 + 6.4 * k_{\text{в.п.2,опукл}}^2} = \frac{1}{1 + 6.4 * 0.082^2} = 0.96$$

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

$$\beta_{0, \text{конс}} = \left(0.55 + \frac{0.025}{k_{\text{в.п.1, опукл}}} \right) * \beta_{1.1, \text{конс}} = \left(0.55 + \frac{0.025}{0.081} \right) * 0.96 = 0.82$$

$$\beta_{2, \text{в.п.}} = \frac{1}{1 + 6 * \left(k_{\text{в.п., увігнута}} - \frac{1}{2500 * k_{\text{в.п., увігнута}}} \right) + 1.6 * k_{\text{в.п., увігнута}}^2} =$$

$$= \frac{1}{1 + 6 * \left(0.125 - \frac{1}{2500 * 0.125} \right) + 1.6 * 0.125^2} = 0.57$$

Коефіцієнт редукції ширини β для нижнього поясу залишаються не змінними.

Отримані результати систематизуємо – рисунок 4.4.

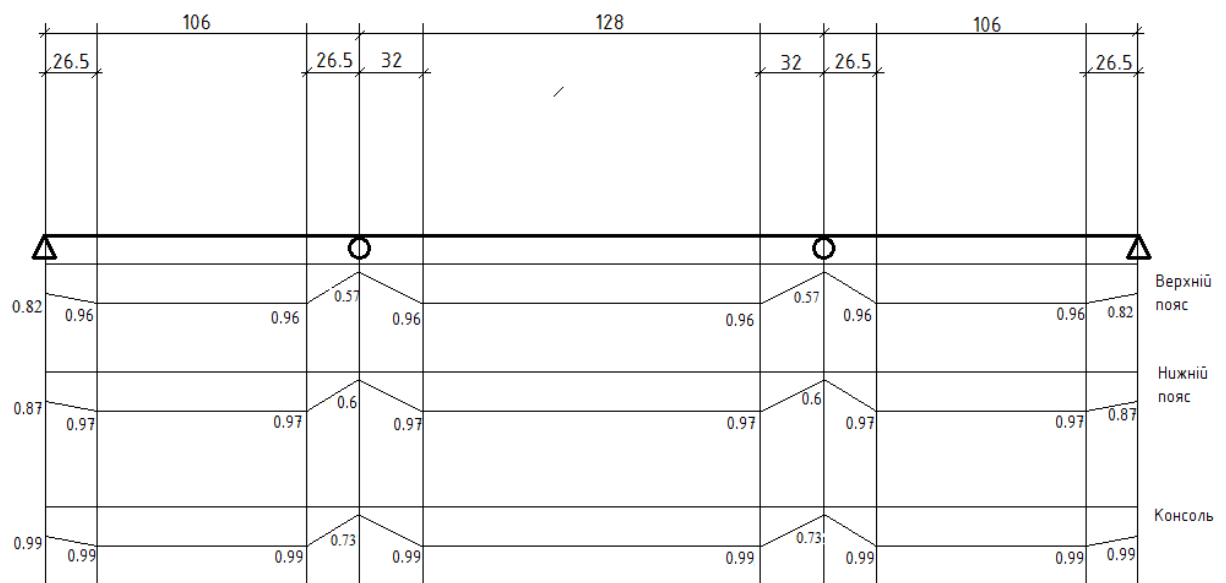


Рисунок 4.4 – Коефіцієнти редукції для другого варіанту

4.3 Визначення параметрів перерізу з урахуванням коефіцієнтів редукції

Для розрахунків приймаємо такий регулярний переріз балки жорсткості як вказано на рисунку 4.5 та рисунку 4.6.

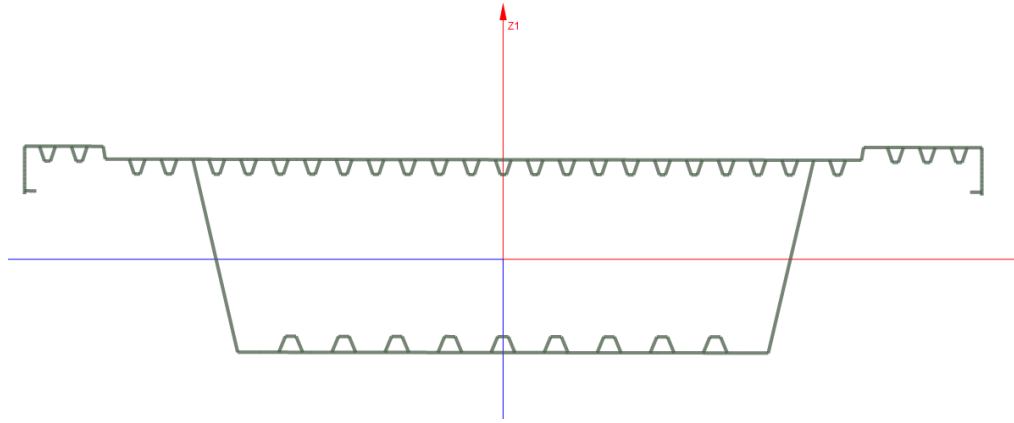


Рисунок 4.5 – Регулярний переріз балки жорсткості за першим варіантом

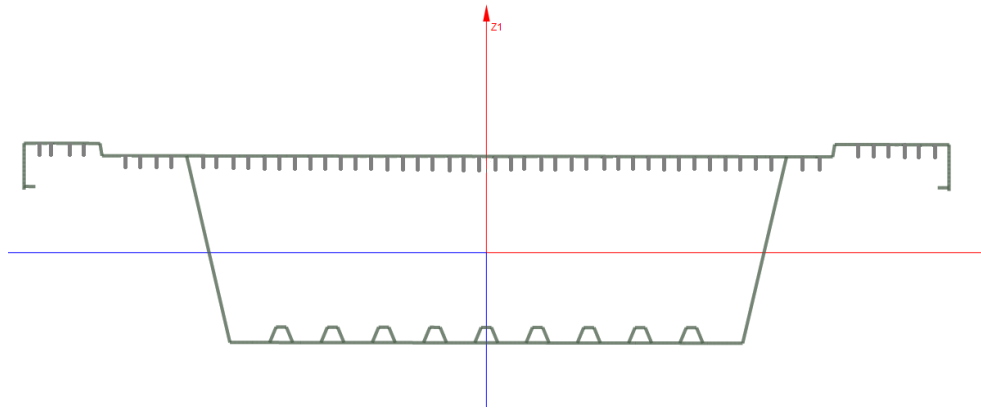


Рисунок 4.6 – Регулярний переріз балки жорсткості за другим варіантом

Враховуючі отримані коефіцієнти редукції зменшуємо ширини полиць отримуємо ефективний переріз балки жорсткості. Переріз був оптимально підібраний і коефіцієнти редукції β в прогонах та крайніх опорах вийшли від 0.81 до 0.99. Але біля проміжних опор ми отримали коефіцієнти β від 0.56 до 0.72, що обумовлено незмінним перерізом балки жорсткості на всій довжині мосту. Для того щоб отримати момент інерції ефективного перерізу необхідно помножити фактичні ширини полук на відповідні коефіцієнти редукції β . Отримуємо переріз з урахуванням ефективних розмірів полиць на проміжній опорі – рисунок 4.7 та рисунок 4.9.

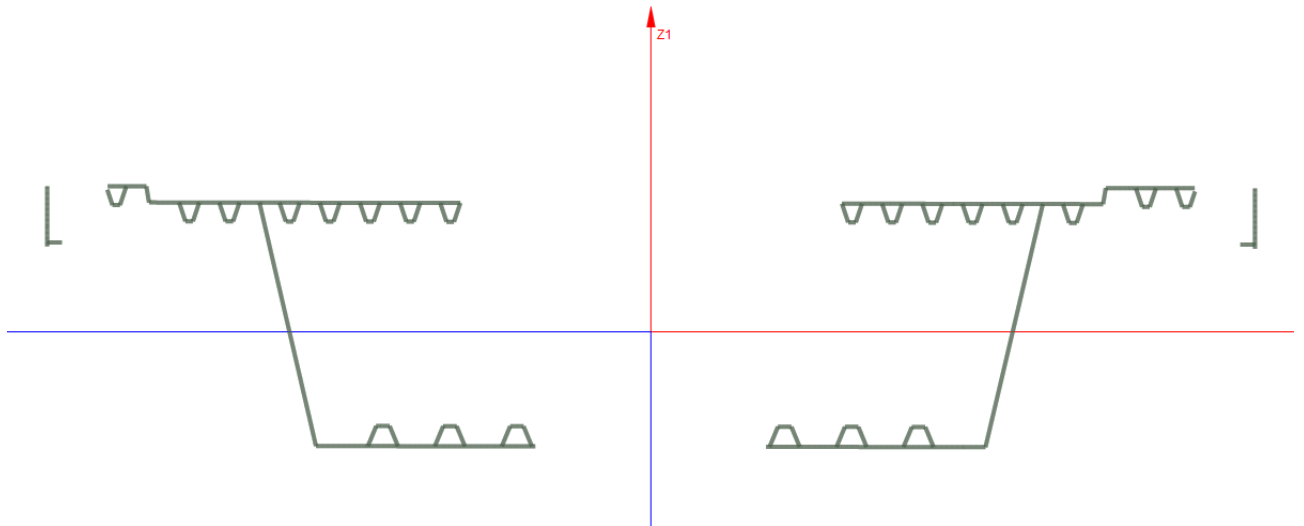


Рисунок 4.7 – Переріз з урахуванням ефективних розмірів полиць для першого варіанту

З такими параметрами – рисунок 4.8

Определены следующие геометрические характеристики модели:

площадь: 0.4713 м⁴;

угол наклона главных осей: 0.001736301 рад;

точка центра тяжести: $x_c = 9.144$ м; $y_c = -1.86$ м;

главные центральные моменты инерции: $I_{Y1} = 2.1374$ м⁴; $I_{Z1} = 16.3217$ м⁴;

Рисунок 4.8 – Параметры перерізу з урахуванням ефективних розмірів полиць.

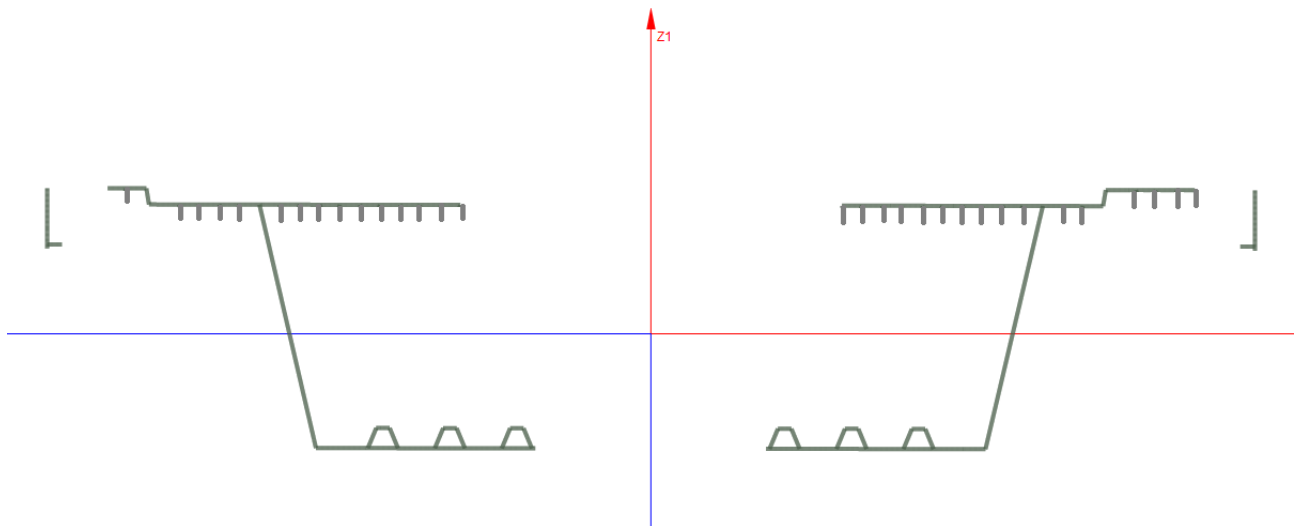


Рисунок 4.9 – Переріз з урахуванням ефективних розмірів полиць для другого варіанту

З такими параметрами – рисунок 4.10

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Определены следующие геометрические характеристики модели:
 площадь: 0.5246 м⁴;
 угол наклона главных осей: 0.001753103 рад;
 точка центра тяжести: $x_c = 9.915$ м; $y_c = 1.81$ м;
 главные центральные моменты инерции: $I_{Y1} = 2.320146$ м⁴; $I_{Z1} = 14.220346$ м⁴;

Рисунок 4.10 – Параметри перерізу з урахуванням ефективних розмірів полиць.

4.4 Визначення напружень аналітичним методом

Для порівняння напружень у елементах балки жорсткості будемо використовувати аналітичний метод розрахунку напружень зазначений у [1,7,9].

Визначимо максимальні напруження за формулою 4.1 у перерізах зазначених на рисунку 4.8 для першого варіанту та на рисунку 4.10 для другого варіанту. Рахуємо напруження за формулою [27]:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} \quad (4.16)$$

де

M – момент діючий у перерізі;

I_{xn} – момент інерції перерізу з урахуванням ефективних розмірів полиць.

y_{max} – відстань від головних осей до крайніх волокон перерізу.

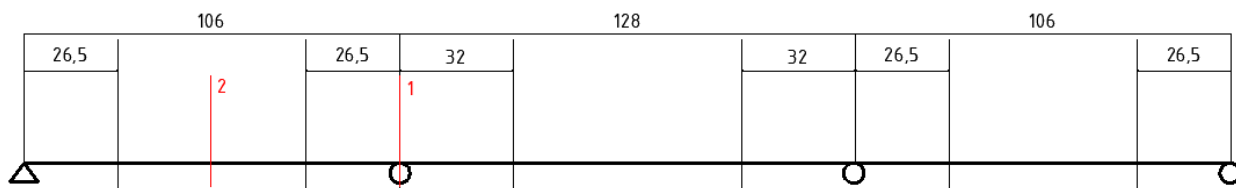


Рисунок 4.11 – Розташування перерізів прийнятих для розрахунку

Розрахунки будемо проводити у двох перерізах номера перерізів зазначені на рисунку 4.11 і відповідають номерам розрахунків.

Переріз перший розташовується на осі першої проміжної опори.

Максимальний діючий момент в першому перерізі для першого варіанту дорівнює $M = 161.374$ МН•м. Переріз та його параметри наведені на рисунку 4.7 та 4.8 відповідно.

Розрахунок максимального напруження у верхній плиті.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{161.374}{2,14} 1.74 = 131.21 \text{ МПа}$$

Розрахунок максимального напруження у нижній плиті.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{161.374}{2,14} 1.86 = 140.3 \text{ МПа}$$

Розрахунок максимального напруження у консолі.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{161.374}{2,14} 1.94 = 146.3 \text{ МПа}$$

Максимальний діючий момент в першому перерізі для другого варіанту дорівнює $M=162.596$ МН•м. Переріз та його параметри наведені на рисунку 4.9 та 4.10 відповідно.

Розрахунок максимального напруження у верхній плиті.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{162.596}{2,32} 1.79 = 125.5 \text{ МПа}$$

Розрахунок максимального напруження у нижній плиті.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{162.596}{2,32} 1.81 = 126.9 \text{ МПа}$$

Розрахунок максимального напруження у консолі.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{162.596}{2,32} 1.99 = 139.5 \text{ МПа}$$

Другий переріз розташовується у середині першого прогону (53 м).

Максимальний діючий момент в другому перерізі для першого варіанту дорівнює $M=80.0136$ МН•м. Переріз та його параметри наведені на рисунку 4.12 та 4.13 відповідно.

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

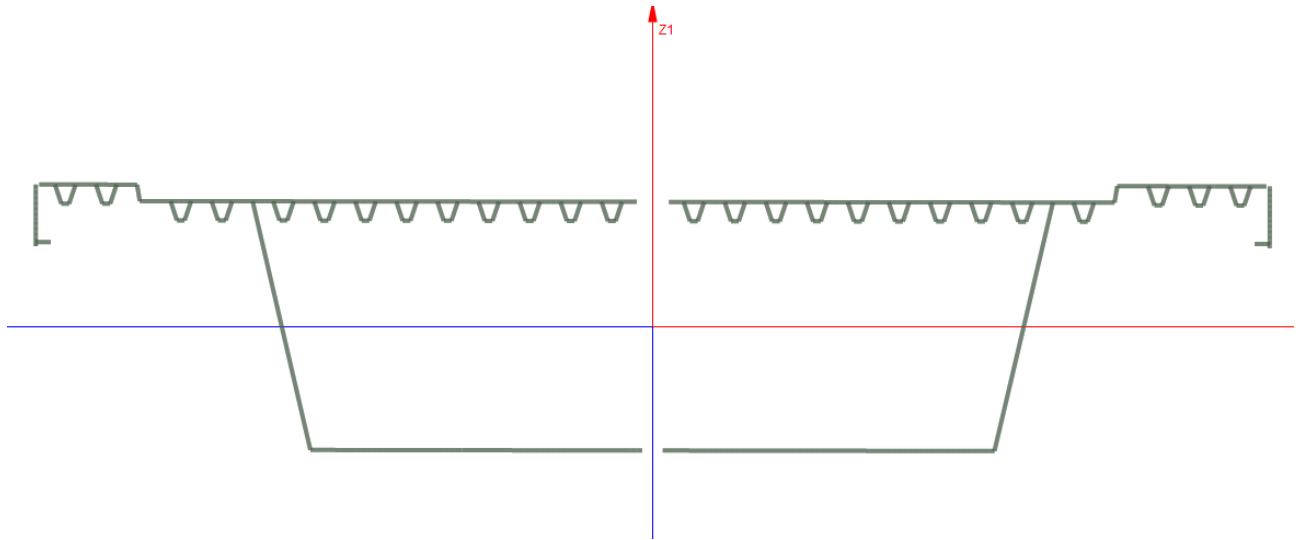


Рисунок 4.12 – Ефективний переріз у середині першого прогону для першого варіанту

Определены следующие геометрические характеристики модели:
 площадь: 1.002411 м²;
 угол наклона главных осей: 0.001547974 рад;
 точка центра тяжести: xс = 9.020618 м; ус = -1.73 м;
 главные центральные моменты инерции: IY1 = 2.82 м⁴; IZ1 = 21.2886 м⁴;

Рисунок 4.13 – Параметри перерізу у середині першого прогону

Розрахунок максимального напруження у верхній плиті.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{80.0136}{2,82} 1.87 = 53.05 \text{ МПа}$$

Розрахунок максимального напруження у нижній плиті.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{80.0136}{2,82} 1.73 = 49.09 \text{ МПа}$$

Розрахунок максимального напруження у консолі.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{80.0136}{2,82} 2.07 = 58.7 \text{ МПа}$$

Максимальний діючий момент в другому перерізі для другого варіанту дорівнює $M=78.963 \text{ МН}\cdot\text{м}$. Переріз та його параметри наведені на рисунку 4.14 та 4.15 відповідно.

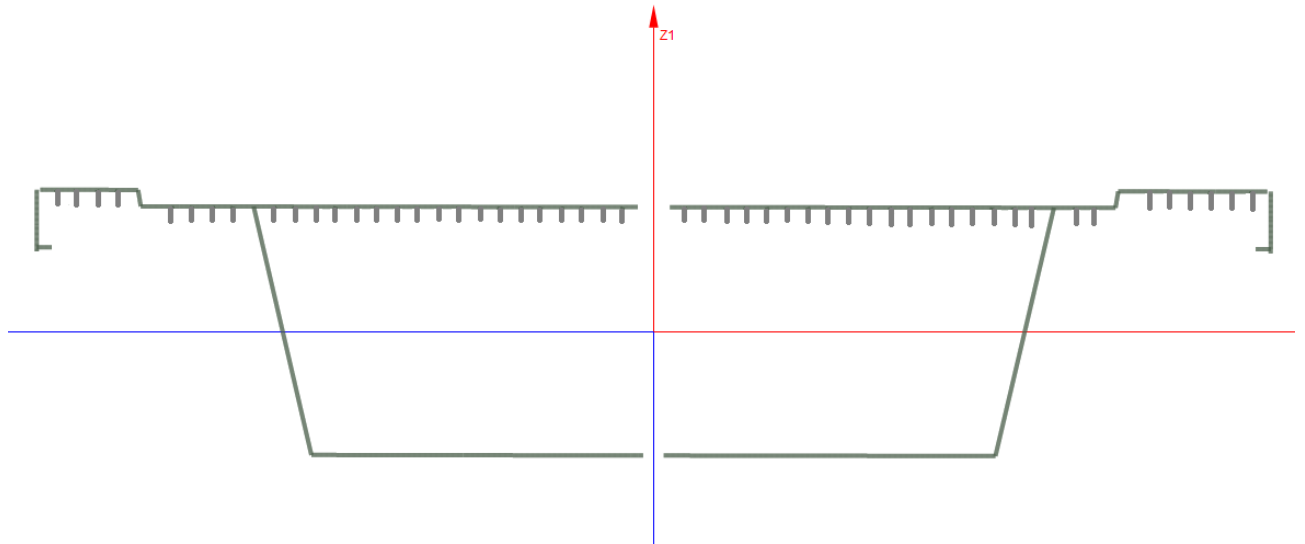


Рисунок 4.14 – Ефективний переріз у середині першого прогону для другого варіанту

Определены следующие геометрические характеристики модели:
 площадь: 1.103417 м²;
 угол наклона главных осей: 0.001547947 рад;
 точка центра тяжести: $x_c = 9.2172$ м; $y_c = -1.69$ м;
 главные центральные моменты инерции: $I_{Y1} = 2.93$ м⁴; $I_{Z1} = 23.6129$ м⁴:

Рисунок 4.15 – Параметри перерізу у середині першого прогону

Розрахунок максимального напруження у верхній плиті.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{78.963}{2.93} 1.9 = 51.2 \text{ МПа}$$

Розрахунок максимального напруження у нижній плиті.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{78.963}{2.93} 1.69 = 45.5 \text{ МПа}$$

Розрахунок максимального напруження у консолі.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{I_{xn}} y_{max} = \frac{78.963}{2.93} 2.1 = 56.6 \text{ МПа}$$

4.5 Порівняння результатів розрахунків

Отримані результати зводимо у таблиці 4.1 та 4.2 для порівняння результатів отриманих аналітичним методом з розрахунками методом кінцевих

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементів у програмному комплексі Ліра – рисунки 4.16 та 4.17, на прикладі першого перерізу(на опорі).

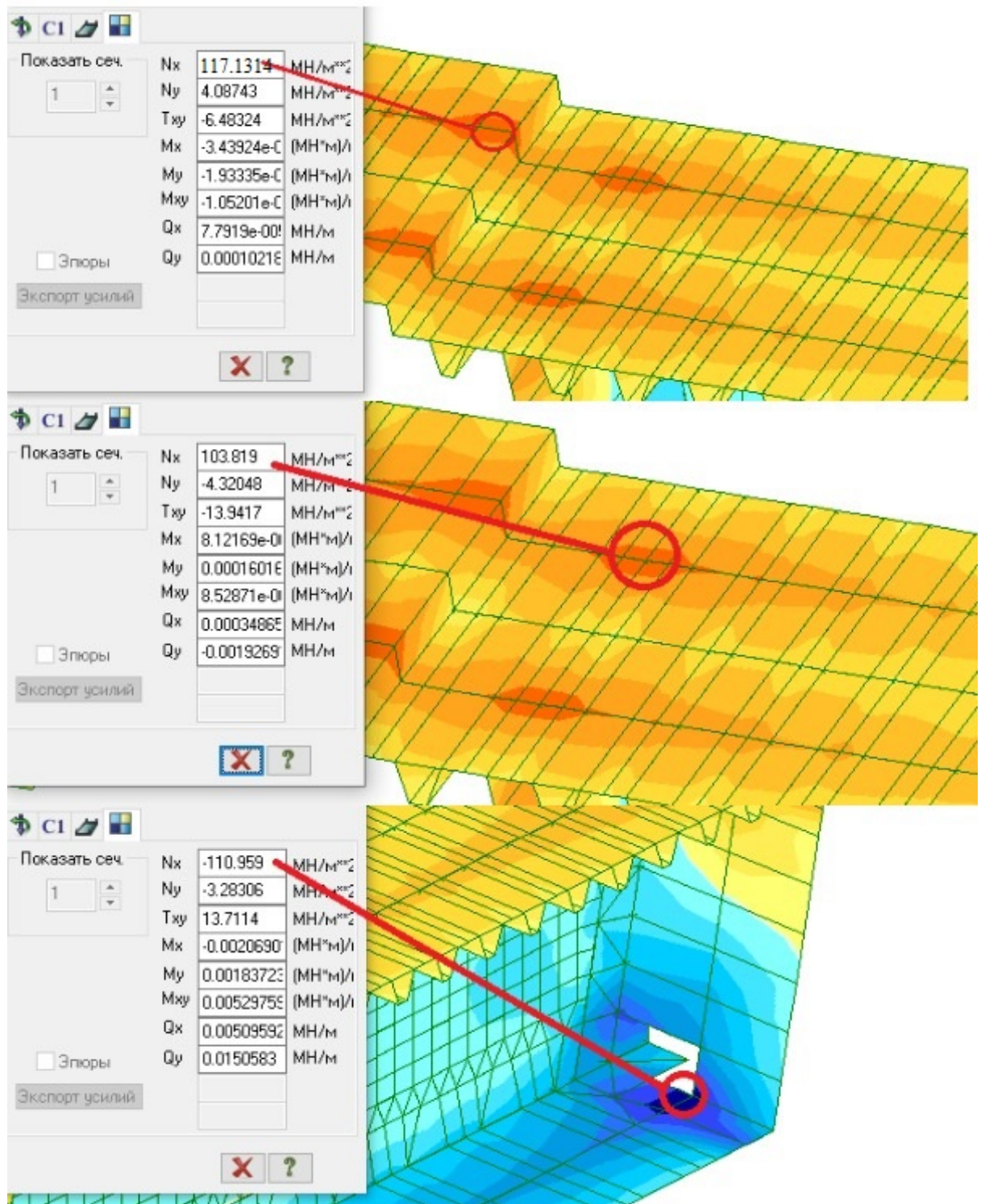


Рисунок 4.16 – Визначення максимальних повздовжніх напружень для першого варіанту.

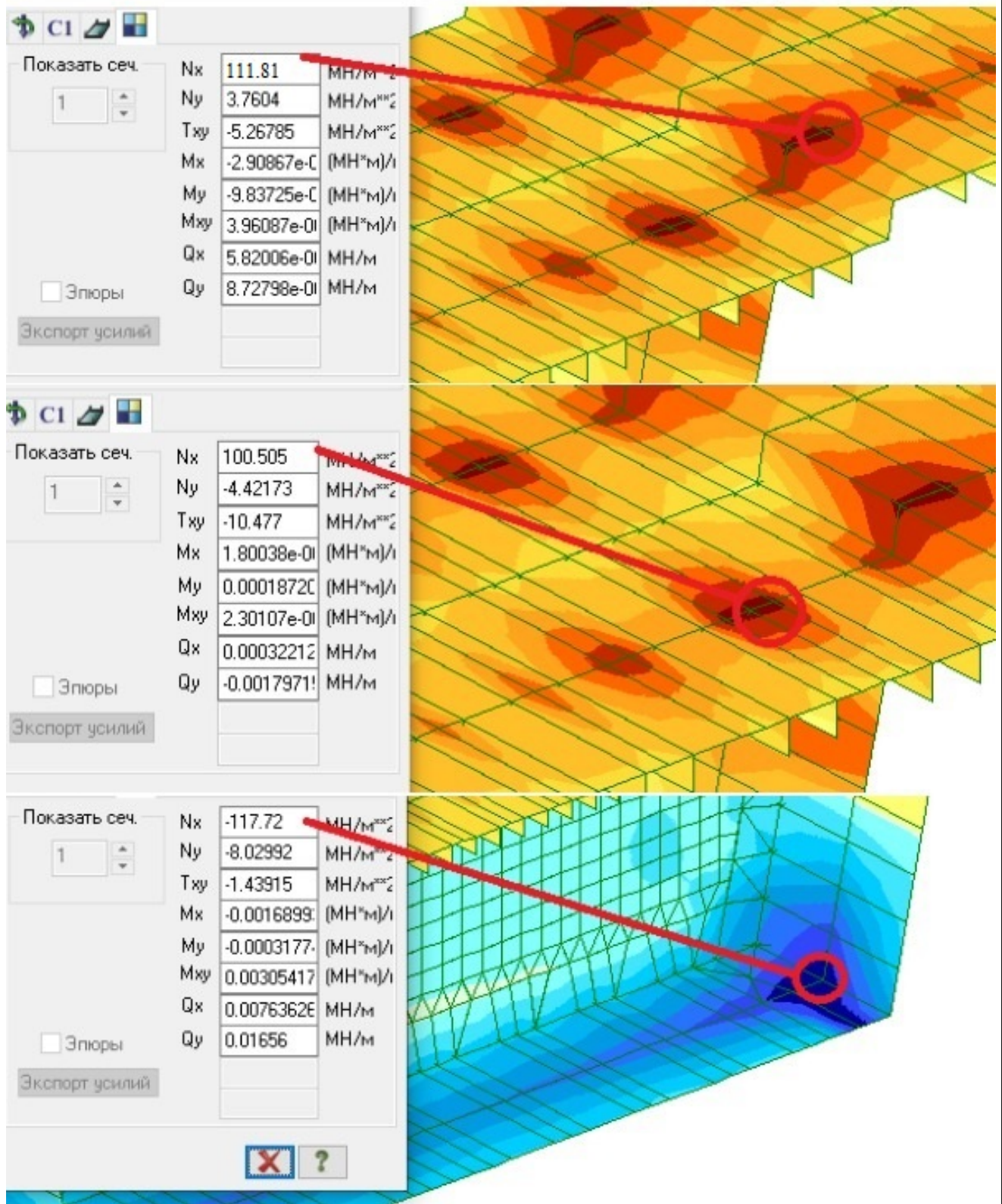


Рисунок 4.17 – Визначення максимальних поздовжніх напружень для другого варіанту.

Таблиця 4.1 – Порівняння результатів розрахунків для першого варіанту

	Верхня Плита, МПа		Нижня Плита, МПа		Консоль у рівні тротуару, МПа		Похибка, %		
	АМ	Lira	АМ	Lira	АМ	Lira	ВП	НП	К
1. На опорі	131.21	103.718	140.3	110.959	146.3	117.13	20.9	20.9	19.9
7. Центр першого прогону	53.03	44.3849	49.09	28.233	58.7	49.278	16,3	41.0	16.1

Максимальна отримана похибка становить 41.0%.

Таблиця 4.2 – Порівняння результатів розрахунків для другого варіанту

	Верхня Плита, МПа		Нижня Плита, МПа		Консоль у рівні тротуару, МПа		Похибка, %		
	АМ	Lira	АМ	Lira	АМ	Lira	ВП	НП	К
1. На опорі	125.5	100.505	126.9	117.72	139.5	111.8	19.9	7.23	19.8
7. Центр першого прогону	51.2	49.0952	45.5	29.6227	56.6	54.744	4.11	34.9	3.3

Максимальна отримана похибка становить 34.9%.

4.6 Висновки до розділу №4

Був проведений розрахунок аналітичним методом за допомогою [6] і формулам додатку 3 до [20].

Проаналізувавши результати отримані аналітичним методом і у програмному комплексі Ліра методом кінцевих елементів ми отримали значення похибки розрахунків програмного і аналітичного методів. Максимальна отримана похибка становить 41.0%, що є достатньо великим значенням.

Аналітичний метод показав себе як досить неефективна але допустима альтернатива просторовим розрахунком за допомогою просторових схем згідно з [6]. Тобто якщо можливо для визначення напружено-деформованого стану слід в першу чергу використовувати просторові моделі.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

5.1 Вимоги безпеки праці під час влаштування металеві нерозрізної прогонової будови на автодорожніх мостах

5.1.1 Машини і механізми які використовуються під час влаштування металеві прогонової будови на автодорожніх мостах

Машини і механізми які використовуються під час влаштування нерозрізної прогонової будови залежать від способу монтажу. У нашому випадку це насув. При цьому використовуються такі машини і механізми: домкрати, вантажний автотранспорт, крани, ручний електричний і механічний інструмент.

5.1.2 Роботи при влаштуванні металеві нерозрізної прогонової будови на автодорожніх мостах.

Насув нерозрізної прогонової будови як правило проходить за таким алгоритмом. В першу чергу проходять роботи по збірці прогонової будови на стапелі на одному з берегів. Далі або одночасно з цим проходить улаштування тимчасових та капітальних опор. Під час насуву прогонову будову штовхають спеціальними домкратами і/або тягнуть за допомогою тросів. На кінці прогонової будови зі сторони яка перша виходить з якої починається насув кріпиться аванбек. Це спеціальний пристрій за допомогою якого компенсується прогин прогонової будови під час насуву. Для насуву використовуються спеціальні домкрати які штовхають прогонову будову по направляючим. Але перед тим як насувати прогонову будову її необхідно зібрати. Зборка прогонової будови відбувається на направляючих на осі мосту.

5.1.3 Опис небезпечних та шкідливих факторів

До небезпечних факторів які виникають при цьому можна віднести рухомі машини, підйомно-транспортне обладнання, незахищені елементи

виробничого обладнання, висота, електричний струм, підвищена температура оброблюваних поверхонь.

До шкідливих факторів можна віднести підвищену або понижену температуру робочої зони, висока вологість і висока швидкість вітру, сонячне випромінювання, запиленість робочої зони.

5.1.4 Вимоги безпеки

Вимоги безпеки визначаються діючим нормативним документом. На момент написання цієї роботи діючим нормативним документом є типові положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці – НПАОП 0.00-4.12.05 .

Першим заходом з охорони праці є навчання з питань охорони праці на виробництві. Цей спосіб є загальним для усіх видів робіт.

Працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи, а також учні, курсанти, слухачі та студенти під час трудового і професійного навчання проходять на підприємстві за рахунок роботодавця інструктажі, навчання та перевірку знань з питань охорони праці, надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також правил поведінки у разі виникнення аварії.

На підприємствах на основі НПАОП 0.00-4.12.05, з урахуванням специфіки виробництва та вимог нормативно-правових актів з охорони праці, розробляються і затверджуються відповідні положення підприємств про навчання з питань охорони праці, а також формуються плани-графіки проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці, з якими мають бути ознайомлені працівники.

Організацію навчання та перевірки знань з питань охорони праці працівників, у тому числі під час професійної підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації на підприємстві здійснюють працівники служби кадрів або інші спеціалісти, яким роботодавцем доручена організація цієї роботи.

Навчання з питань охорони праці в частині організації навчального процесу (формування навчальних груп, розробка навчально-тематичних планів та програм, форм навчальної документації та порядок їх ведення тощо)

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснюється відповідно до вимог законодавства та нормативно-правових актів у галузі освіти.

Особи, яких приймають на роботу, пов'язану з підвищеною пожежною безпекою, повинні попередньо пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум). Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежною небезпекою, один раз на рік проходять перевірку знань відповідних нормативних актів з пожежної безпеки, а посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично (один раз на три роки) проходять навчання і перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Особи, які суміщають професії, проходять навчання, інструктаж і перевірку знань з питань охорони праці як з їхніх основних професій, так і з професій за сумісництвом.

Деякі роботи, зазначені у НПАОП 0.00-2.01-05 Перелік робіт з підвищеною небезпекою, затвердженому наказом МОЗ та Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 №15 і зареєстрованому Міністерством юстиції України 15.02.2005 №232/10512 (далі - роботи підвищеної небезпеки), проходять щорічне спеціальне навчання і перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці.

Ще одним з методів охорони праці є організація проведення інструктажів з питань охорони праці.

Працівники, під час прийняття на роботу та періодично, повинні проходити на підприємстві інструктажі з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці (далі - інструктажі) поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

Також є нормативний документ уточнюючий заходи безпеки безпосередньо під час проведення будівельних робіт - НПАОП 45.21-1.03-98. Правила безпеки під час проведення робіт з будівництва мостів.

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ці норми НПАОП 45.21-1.03-98 встановлюють правила поведінки на будівельному майданчику, описуються необхідні дії для уникнення аварійних ситуацій, а також шляхи їх вирішення. У змісті НПАОП 45.2-7.02-12 Охорона праці і промислова безпека у будівництві описанні наступні пункти:

Вимоги безпеки під час проведення робіт:

Будівельний майданчик і робочі місця.

Будівельні майданчики площадки будівельних і промислових підприємств з об'єктами будівництва, що знаходяться на них, виробничими і санітарно-побутовими приміщеннями і спорудами), ділянки робіт і робочі місця мають бути підготовленими для безпечного виконання робіт.

Під час виконання робіт на будівельному майданчику роботодавець повинен забезпечити працівників санітарно-побутовими приміщеннями, питною водою і медичним обслуговуванням згідно з колективним договором (угодою).

На будівництві об'єктів із застосуванням вантажопідіймальних кранів, якщо до небезпечних зон переміщення вантажів кранами межі яких визначаються Додатком Д до НПАОП 45.2-7.02-12.

Забезпечення пожежної безпеки на будівельних майданчиках забезпечується відповідно до Закону України «Про пожежну безпеку», НАПБ А.01.001 Правила пожежної безпеки в Україні, НАПБ Б.03.002 Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Вантажно-розвантажувальні роботи.

Вантажно-розвантажувальні роботи (далі – ВРР) на будівельному майданчику виконуються механізованим способом відповідно до вимог НПАОП 0.00-1.80-18 Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання.

Вимоги до безпеки перевезення людей.

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевезення людей на автомобільних транспортних засобах, які спеціально призначені для цього, здійснюється з дотриманням вимог “Правил дорожнього руху України”.

Вантажні бортові автомобілі, що призначені для перевезення людей, обладнуються відповідно до вимог “Правил дорожнього руху” і НПАОП 0.00-1.62-12 Правила охорони праці на автомобільному транспорті.

Забезпечення загальної електробезпеки.

Електробезпека на будівельно-монтажному майданчику забезпечується дотриманням вимог НПАОП 40.1-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. Улаштування, розміщення і експлуатація електроустановок має відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Експлуатація машин і обладнання.

Машини та обладнання, що експлуатуються містобудівельними підрозділами, повинні мати паспорти та інструкції з експлуатації. Ті, що підлягають реєстрації в органах Держнаглядохоронпраці, враховуються в журналі інженерно-технічних працівників (далі – ІТП) по нагляду після їх реєстрації, а всі інші вантажопідіймальні машини реєструються в журналі ІТП по нагляду за вантажопідіймальними машинами згідно з НПАОП 0.00-1.72-14 Правила з охорони праці під час експлуатації великовантажних автомобілів та інших технологічних транспортних засобів під час розробки рудних і нерудних копалин відкритим способом.

Персонал, що обслуговує машину, керується інструкцією заводу-виготовлювача з монтажу та експлуатації машини та НПАОП 0.00-1.80-18 Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання.

Персонал, який користується ручним електроінструментом, керується інструкцією заводу-виготовлювача та НПАОП 0.00-1.71-13 Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями.

Спеціальні допоміжні споруди та улаштування, їх монтаж і демонтаж.

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виготовлення, монтаж і демонтаж спеціальних допоміжних споруд і улаштувань (риштувань, допоміжних опор, перекатних пірсів, огорожувальних улаштувань, плавучих опор та т. ін.) проводиться згідно з робочою документацією.

Опис заходів безпеки при будівельно-монтажних роботах.

У робочій зоні монтажних робіт не допускається виконання інших робіт і перебування сторонніх осіб.

Під час зведення споруд забороняється виконувати роботи, пов'язані з перебуванням людей на одній ділянці на поверхах, над якими, переміщують встановлюють і тимчасово закріплюють елементи конструкцій та обладнання.

За неможливості розподілення будинків і споруд на окремі ділянки одночасне виконання монтажних та інших будівельних робіт на різних поверхах (ярусах) дозволяється тільки за наявності між ними надійних (підтверджених відповідними розрахунками на дію ударних навантажень) міжповерхових перекриттів, що передбачені у ПВР.

Монтаж конструкцій необхідно починати з просторово стійкої частини: сполучного елемента, ядра жорсткості тощо.

Відповідно до НПАОП 0.00-1.15-07 Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті - Під час організації робіт на висоті слід ураховувати, що основними небезпечними виробничими факторами під час виконання цих робіт є падіння працівника або падіння предметів; супутніми можуть бути фактори: пожежна безпека, дія електричного струму, підвищені рівні запиленості, загазованості повітря, шуму, несприятливі кліматичні умови тощо.

Працівники забезпечуються спеціальним одягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до вимог Закону України "Про охорону праці" та НАОП 45.21-1.03-98.

Під час виконання бетонних і залізобетонних робіт передбачаються заходи, які забезпечують безпеку виробничого процесу і запобігають можливому впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів на

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працівників згідно з ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Указані роботи виконуються згідно з вимогами НПАОП 45.2-7.02-12 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення НПАОП 45.2-7.02-12 і НАОП 45.21-1.03-98.

5.2 Дії працівників в аварійних ситуаціях

Опис аварійної ситуації:

Локальна несправність лінії електропередачі у місці підключення ручного електричного інструменту.

Можливі небезпеки: ураження електричним струмом.

Дії працівників у такому разі повинні проходити у такому порядку:

1. Припинити використання несправної лінії електропередачі.
2. Знеструмити ділянку несправності.
3. Кваліфікований спеціаліст має усунути несправність, перед продовженням використання лінії електропередачі.
4. Переконатись що несправність усунута.
5. Підключити струм.

При такого виду аварійній ситуації можливе ураження електричним струмом. При ураженні струмом робітника необхідно надати йому першу медичну допомогу. В першу чергу треба якомога швидше звільнити потерпілого від струмопровідних частин обладнання. Дотик до струмопровідних частин (мережі під напругою) у більшості випадків призводить до судом м'язів, тобто людина самостійно не в змозі відірватися від провідника. Тому необхідно швидко знеструмити ту частину електрообладнання, до якої доторкається людина. Потерпілого можна також відтягнути від струмопровідних частин за одяг, уникаючи дотику до навколишніх металевих предметів та до відкритих частин тіла потерпілого. Відтягуючи потерпілого за ноги, не можна торкатися його взуття, оскільки воно може бути сирим і стає провідником електричного струму. Той, хто надає допомогу, повинен одягнути діелектричні рукавиці або обмотати їх шарфом,

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

натягнути на них рукав піджака або пальта. Можна також ізолювати себе, ставши на гумовий килимок, суху дошку тощо.

Після звільнення потерпілого від дії струму потрібно відразу ж надати йому необхідну медичну допомогу. Виділяють три стани людського організму внаслідок дії електроструму:

– I стан – потерпілий при свідомості. Слід забезпечити повний спокій, 2-3 годинне спостереження, виклик лікаря.

– II стан – потерпілий непритомний, але дихає. Людину покласти горизонтально, розстебнути комір і пасок, дати нюхати нашатирний спирт, викликати лікаря.

– III стан – потерпілий не дихає або дихає з перервами, уривчасто. Роблять штучне дихання і непрямий масаж серця.

Якщо потерпілий після звільнення від дії електричного струму і надання медичної допомоги прийшов до тями, його не слід одного відправляти додому або допускати до роботи. Такого потерпілого слід доставити в лікувальний заклад, де за ним буде встановлено спостереження, так як наслідки від впливу електричного струму можуть проявитися через кілька годин і привести до більш важких наслідків.

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

ВИСНОВКИ

Виконано аналіз норм проектування металевих мостів різних років розробки, а саме: ДБН В.2.3-26:2010 – Мости і труби. Сталеві конструкції правила проектування, ДБН 2.3-14:2006 – Мости і труби. Правила проектування, СН 200-62 – Технические условия проектирования железнодорожных и автодорожных и городских мостов и труб.

У методах розрахунків на витривалість зміни відбулись у додаванні коефіцієнту надійності за відповідальністю споруди γ_r який приймається згідно з ДБН В.2.3-22.

Методики розрахунків на стійкість ортотропних плит зазнали суттєвих змін у вигляді додаткових розрахунків за допомогою яких визначається еквівалентна товщина листів з перфорацією, яка використовується для визначення моменту інерції перерізу, площі перерізу, радіуса інерції елемента. А також у додаванні коефіцієнту надійності за відповідальністю споруди γ_r який приймається згідно з ДБН В.2.3-22.

Проведений аналіз показав актуальність зазначеної у ДБН В.2.3-26:2010 – Мости і труби. Сталеві конструкції методики.

Розрахунки на міцність зазнали деяких змін, а саме було введено коефіцієнт редукції, що відображає ефект запізнювання дотичних напружень. Додання коефіцієнту є суттєвим уточненням розрахунків. Але врахування ефекту запізнювання дотичних навантажень не дає достатньої точності розрахунків.

У складі мосту передбачається металева прогонова будова з ортотропними плитами. Довжина прогонової будови складає 339 м, прогони $105,5+128+105,5=339$ м є нерозрізною по всій довжині плити.

Передбачається виконання розрахунку даної прогонової будови, в двох варіантах конструкції ортотропної плити - з трапецієподібними ребрами та

плоскими смуговими ребрами. З метою виявлення закономірностей напружено-деформованого стану в металевих автодорожніх мостах.

Для просторової моделі мосту були отримані такі результати: отримані результати НДС моделі №1 та моделі №2 відповідають теоретичним даним, які описані у [6,17]. Найкраще це можна побачити у перерізі на проміжній опорі. В цілому розподіл напружень по довжині прогонової будови відповідає очікуванням на основі досвіду проектування, і приймається як максимально наближений до реальності. Чисельні данні напружень з цієї моделі будуть використані для перевірки похибки при аналітичному методі розрахунку.

За допомогою моделі №3 та моделі №4 – стрижневих схем мосту отримані значення максимальних моментів у обраних до розрахунку перерізах. Проаналізувавши отриману епюру моментів на основі досвіду проектування вважаємо, що значних помилок при проектуванні стрижневої моделі не виявлено.

Був проведений розрахунок аналітичним методом за допомогою [6] і формулам додатку 3 до [20].

Проаналізувавши результати отримані аналітичним методом і у програмному комплексі Ліра методом кінцевих елементів ми отримали значення похибки розрахунків програмного і аналітичного методів. Максимальна отримана похибка становить 41.0%, що є достатньо великим значенням.

Аналітичний метод показав себе як досить неефективна але допустима альтернатива просторовим розрахунком за допомогою просторових схем згідно з [6]. Тобто якщо можливо для визначення напружено-деформованого стану слід в першу чергу використовувати просторові моделі.

					011.160025.MP.2020.000	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Загальна інформація про міста, райони та ОТГ області. Місто Запоріжжя. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zomc.org.ua/golos/zagalna-informatsiya>
2. Стратегії розвитку міста Запоріжжя до 2028 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://zp.gov.ua/upload/editor/dodatok_1_e.pdf
3. Запоріжжя. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Запоріжжя>
4. Запорізькі мости будуватимуть цілодобово – Укравтодор. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3073554-zaporizki-mosti-buduvatimut-cilodobovo-ukravtodor.html>
5. Строительные нормы и правила. Мосты и трубы. СНиП 2.05.03-84.М.:– 1996. – 214 с.
6. ДБН В.2.3-26:2010 – Мости і труби. Сталеві конструкції правила проектування.
7. СН 200-62 – Технические условия проектирования железнодорожных и автодорожных и городских мостов и труб
8. ДБН 2.3-14:2006 – Мости та труби. Правила проектування.
9. ДБН 1.2-15:2009 – Мости та труби. Навантаження і впливи.
10. Ильясевич С.А. Металлические коробчатые мосты / С.А. Ильясевич //М.: Транспорт.– 1970.– 280 с
11. Н.Н. Бычковский «Металлические мосты» / Бычковский Н.Н., А.Ф.Данковцев// г. Саратов: 2005.–130с
12. Платонов А.С. Особенности требований к материалам для стальных ортотропных конструкций мостов / А.С. Платонов // Вестник мостостроения. – М.: – 2002. – № 3-4. – С. 60-65

13. Современные технологии расчета и проектирования металлических и деревянных конструкций : монография / за ред. М. С. Барабаша, - М.: Издательство АСВ, 2008. – 328 с.

14. Стрелец-Стрелецкий Е. Б. Лира 9.4 Учебное пособие: Под ред. Академика РААСН докт. техн. наук, проф. А. С. Городецкого – К. : Издательство «ФАКТ», 2008. – 164 с.

15. Програма для проектування і розрахунку будівельних конструкцій. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.liraland.ua/lira/>

16. Корнеев М. М. Стальные мосты: теоритическое и практическое пособие по проектированию / М. М. Корнеев. – К., 2003 – 546 с.

17. Металлические конструкции. Элементы конструкций / под ред. Проф. В.В. Горева. – М.: Высш. шк., 2004 – 551 с.

18. Гибшман Е. Е. Проектирование металлических мостов/ Е. Е. Гибшман. – М.,1969 415 с.

19. Марочка В. В. Особенности расчета неразрезного пролетного строения коробчатого сечения /Марочка В. В., Ульянов Р. В. // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – Д.:— 2012. — Вип. 1.– С.46-49.

20. ENV 1993-1-5 EUROCODE 3: Design of steel structures. Part 1-5: General rules - Supplementary rules for planar plated structure without transverse loading.

21. НПАОП 0.00-4.12.05 – Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

22. НПАОП 0.00-1.15-07 Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті

23. НПАОП 45.2-7.02-12 Охорона праці і промислова безпека у будівництві

24. НПАОП 45.21-1.03-98. Правила безпеки під час проведення робіт з будівництва мостів

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

25. Барабаш, Мария Сергеевна, Дмитрий Вячеславович Медведенко, and О. І. Палієнко. "Программные комплексы САПФИР и ЛИРА-САПР–основа отечественных ВІМ-технологий." (2013).

26. Иоскевич, Антон Владимирович, and Алексей Владимирович Савченко. "Сравнение ПВК SCAD Office и Лира-САПР на примере расчёта башни связи." *Строительство уникальных зданий и сооружений* 10 (2014): 7-21.

27. Ильясевич С. А. *Металлические коробчатые мосты.* / Ильясевич С.А. М.: Транспорт, 1970 г., 279 с.

28. Власов В.З. *Тонкостенные пространственные системы* / Власов В.З. // Госстройиздат. М:– 1964. – 488с.

29. Беляев Н.М. *Сопротивление материалов.* / Беляев Н.М. //Стройиздат.– Москва:– 1976.– 608с.

30. Алексеев В.В. *Железнодорожные и автодорожные мосты* / В.В.Алексеев, Г.И. Тередики, Л.С. Блинков. // – М.: – 1994. – 220 с.

31. Петропавловский, А. А. *Проектирование металлических мостов: учебник* / А. А. Петропавловский и др.//– М.: Транспорт.– 1982. – 320 с.

32. Платонов А.С. *Новые виды стального толстолистового проката для мостостроения* / А.С. Платонов // *Вестник мостостроения.* – М.: – 1996. – №3-4. – С. 33-37

33. Протасов К.Г. *Металлические мосты* / К.Г. Протасов, А.В. Теплицкий, С.Я. Крамарев// – М.:– Транспорт.– 1973. – 352 с.

34. <http://maurer-dnepr.com.ua/>

35. «Развитие металлических конструкций». ЦНИПСК, МИСИ, ЦНИИСК.– Москва: «Вестник мостостроения».– № 1.– 2008. – С.17-23

					011.160025.МР.2020.000	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		