

**Попов В. О.
Бікс Ю. С.**

**БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ.
ЗБІР НАВАНТАЖЕНЬ НА
ПРОГОНОВУ БУДОВУ
АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТУ ВІД
РУХОМОГО СКЛАДУ**



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. О. Попов, Ю. С. Бікс

**БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ.
ЗБІР НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРОГОНОВУ БУДОВУ
АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТУ ВІД РУХОМОГО
СКЛАДУ**

Електронний навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2025

УДК 658 (076)
П58

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 11 від 24.04. 2025 р.)

Рецензенти:

І. І. Кархут, кандидат технічних наук, доцент

А. С. Моргун, доктор технічних наук, професор

І. В. Коц, кандидат технічних наук, професор

Попов, В. О.

П58 Будівельні конструкції. Збір навантажень на прогонову будову автодорожнього мосту від рухомого складу : навчальний посібник [Електронний ресурс] / В. О. Попов, Ю. С. Бікс. – Вінниця : ВНТУ, 2025. – (PDF, 68 с.)

ISBN 978-617-8163-65-5(PDF)

Навчальний посібник призначений для підготовки до лекційних та практичних занять з дисципліни «Будівельні конструкції дорожньо-транспортних споруд» здобувачами всіх форм навчання зі спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія».

УДК 658 (076)

ISBN 978-617-8163-65-5(PDF)

© ВНТУ, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ	7
1.1 Основні правила оформлення контрольної роботи	8
1.2 Оформлення графічної частини контрольної роботи	9
2.1 Терміни та означення	10
2.2 Нормативна база	13
2.3 Типові конструктивні матеріали для будівництва мостів	14
2.4 Сучасна класифікація мостових споруд. Переваги та недоліки мостів різних типів .	15
2.5 Стисла класифікація автомобільних доріг, на яких зводяться мостові споруди ...	20
2.6 Сучасні тенденції у способах розрахунку мостів та застосування програмного забезпечення	21
3 ОСНОВНІ НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ НА КОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ АВТОДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА	24
3.1 Загальні положення щодо збору навантажень	24
3.2 Розрахункові ситуації	24
3.3 Визначення коефіцієнта надійності за відповідальністю та терміну служби автодорожньої споруди	26
3.4 Перелік задач із збору навантажень на міст в рамках контрольної роботи	28
3.5 Постійні навантаження на мости	29
3.6 Тимчасові кліматичні навантаження на мости	31
3.6.1 Вітрові навантаження на мости	31
3.6.2 Снігові навантаження на мости	33
3.7 Моделі тимчасових навантажень від рухомого складу автодорожніх мостів	34
3.7.1 Модель 1 навантаження від рухомого складу АК	34
3.7.2 Модель 2 навантаження від колісного екіпажа НК	37
3.7.3 Модель тимчасового навантаження від трамваїв	38
3.7.4 Модель тимчасового навантаження від метрополітену	39
3.7.5 Характеристичні горизонтальні поперечні і повздовжні навантаження від рухомого складу	40
3.7.6 Характеристичні тимчасові навантаження від пішоходів	43
3.7.7 Коефіцієнти надійності до рухомих навантажень автомобільних мостів	43
3.7.8 Динамічні навантаження до рухомих навантажень	44
4 ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ ЗБОРУ НАВАНТАЖЕНЬ НА МОСТИ	45
4.1 Приклад 1. Збір навантажень на автодорожній міст через р. Роська у с. Якимівка Гайсинської ТГ, Вінницької області	45
4.1.1 Аналіз вихідних даних	46
4.1.2 Збір навантажень на споруду для аналітичного розрахунку за 1-ю групою граничних станів	47

4.1.3 Побудова епюр внутрішніх силових факторів	52
4.1.4 Збір навантажень на споруду для розрахунку за 2-ю групою граничних станів.	55
4.2 Просторове моделювання мосту	56
4.2.1 Опис розрахункової моделі споруди	57
4.2.2 Збір навантажень на скінченно-елементну модель споруди.....	57
5 ВИСНОВКИ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ	62
ЛІТЕРАТУРА	63
ДОДАТОК А.....	65

ВСТУП

На сьогодні питання проектування нових і капітального ремонту чи реконструкції існуючих об'єктів критичної транспортної інфраструктури є важливим та актуальним у зв'язку з потребою модернізації застарілої дорожньо-транспортної системи України, а також через воєнний стан. Вирішення логістичних питань державного, регіонального та місцевого значення тісно пов'язане з безпекою руху, яка неможлива без забезпечення міцності, жорсткості, надійності і довговічності транспортних споруд. Водночас, на зазначені експлуатаційні параметри головним чином впливає оцінка ймовірних тимчасових навантажень і впливів на час будівництва, навантажень у перспективі та нестандартних навантажень, які можуть виникати у разі вибухів, механічного пошкодження при влучанні боєприпасів, інших аварійних ситуацій. Такий погляд у майбутнє, що базується на основі моделей прогнозування транспортного потоку, суттєво відрізняє навантаження на транспортні об'єкти від навантажень на класичні будівлі і споруди.

Існуючі норми ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [2] повністю описують методологію збирання постійних і тимчасових кліматичних навантажень для будівель і споруд промислового, громадського та житлового призначення. Водночас, згідно з п. 1.2 цих норм навантаження і впливи на будівельні конструкції і основи споруд, що відрізняються від традиційних (об'єкти атомної енергетики, мости, гідротехнічні споруди ...), а також ті, що мають спеціальне походження (сейсмічні, хвильові, від транспортних засобів ...) треба визначати за спеціальними галузевими нормами, які уточнюють і доповнюють положення норм [2]. Тому у 2010 році було введено норми ДБН В.1.2-15:2009 «Мости та труби. Навантаження і впливи» [1], що являють собою глибоку модернізацію та переосмислення норм радянських часів СНиП 2.05.03-84, СНиП 2.09.03-85 та розділу 2 «Навантаження і впливи» норм ДБН В.2.3-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування» [5]. Норми [1] не є досконалими та потребують подальшого доопрацювання у комплексі з іншими нормативами, присвяченими розрахунку транспортних споруд. Місцями виникають протиріччя з вимогами інших чинних норм України, наприклад з [2]. Однак ці норми значно спростили підходи до збору навантажень порівняно з вимогами розділу 2 норм [5], що втратив чинність, зменшили кількість можливих розрахункових ситуацій, прибравши малоімовірні (як от, розташування екіпажу НК поперек дороги), та системно описали підходи до збору всього комплексу впливів на мостові та інші автотранспортні споруди.

Для об'єктів дорожньо-транспортного господарства методологія збору навантажень від сейсмічних впливів значно відрізняється від методології, що застосовується у разі проектування будівель і споруд промислового та цивільного будівництва. У існуючих навчальних та методичних джерелах, на жаль, цьому важливому питанню приділяється незначна увага. По-перше, розрахунки на сейсмічні впливи для мостів та інших дорожніх споруд передбачені тільки, якщо сейсмічність будмайданчика складає 7 або

більше балів. По-друге, для мостів із високим ступенем відповідальності (СС-3 за класифікацією [3]), або І за класифікацією [5] вибирається карта районування України за сейсмічною активністю ЗСР-2004-В за ДБН В 1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» [4], а не ЗСР-2004-С [4] (частина Одеської області та Кримської автономії).

У нормативному документі [1], який є базовим для виконання цієї контрольної роботи, описана методологія збору ймовірних навантажень на транспортні споруди, однак переважно і докладно описана методологія збору саме транспортних впливів.

Більш точне розв'язання задачі аналізу напружено-деформованого стану таких споруд дають програмні комплекси, що реалізують метод скінченних елементів, наприклад «Lira», «SCAD», «Мономах». Розв'язування задач на таких комплексах дозволяє знизити витрати праці на проектування та підвищити ефективність моделювання, що у кінцевому підсумку приведе до економії матеріальних ресурсів на зведення таких будівель. Тому у цьому навчальному посібнику, окрім збору навантажень для класичних аналітичних розрахунків приділена значна увага збору тимчасових рухомих навантажень для скінченно-елементних моделей транспортних споруд автодорожнього господарства.

Отже, зазначений посібник дозволяє ознайомити здобувача з методологією збору навантажень на об'єкти дорожньо-транспортного будівництва для аналітичного та скінченно-елементного моделювання, з основним упором на тимчасові навантаження від рухомого складу. Запропонована методологія проілюстрована численними прикладами.

1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

В рамках дисциплін «Будівельні конструкції» та «Будівельні конструкції дорожньо-транспортних споруд», які викладаються для здобувачів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія», зокрема, для освітньо-професійної програми «Автомобільні дороги, вулиці та дорожньо-транспортні споруди», передбачено виконання контрольної роботи за індивідуальним завданням на тему: «Збір навантажень на прогонову будову автодорожнього мосту від рухомого складу».

У індивідуальному завданні за варіантом зазначаються параметри мостової споруди, а саме, клас відповідальності споруди згідно з ДБН В.1.2-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування» [3], кількість смуг руху, габарити проїзної частини, кількість та габарити тротуарної частини. Основною задачею контрольної роботи є формування здобувачем графічного зображення поперечника, а також повздовжнього розрізу мосту з зазначенням навантажень від рухомого складу та навантажень від пішоходів (кресленики формату А3 – 1, 2 аркуші та текстова частина (пояснювальна записка) з 9, 10 аркушів А4 основного тексту.

Контрольна робота виконується згідно з індивідуальним кафедральним завданням (додаток А), в якому містяться відомості про габарити мостової споруди, тип та товщину дорожнього та тротуарного покриття, охоплюючи проїзну та тротуарну частини, тип прогонової будови (плитний, балковий), тип та товщину дорожнього та тротуарного покриття, клас відповідальності, район забудови, категорію ґрунтових умов.

Згідно з цими даними за прикладом здобувачі оцінюють коефіцієнт надійності за відповідальністю γ_r за вимогами табл. 4.1 ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [7]. Далі – здійснюють збір постійних навантажень (для прогонової будови, конструкцій автодорожнього та тротуарного покриття – згідно з геометричними міркуваннями, для перильного та бар'єрного огородження – за прикладом). Після цього визначаються тимчасові впливи, а саме: здобувачі визначають тип моделей рухомих впливів (НК-100 або НК-80, А-15 або А-11), навантаження від натопту пішоходів та обчислюють відповідні числові значення, замальовують потрібні схеми перерізів із навантаженнями. Після цього здійснюється збір кліматичних навантажень. Як зазначено у нормах ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1], до кліматичних навантажень на автодорожні споруди належать: навантаження від вітру, льодові навантаження, температурні кліматичні навантаження. Оскільки льодові навантаження передаються виключно на мостові опори та не впливають на прогонові будови здобувачам слід зібрати тільки навантаження від вітру та температури. До тих навантажень, які не розглядаються в рамках контрольної роботи, належать навантаження від навали суден, які, також, можуть чинити вплив виключно на мостові опори.

Щодо сейсмічних впливів, то здобувачу згідно з коефіцієнтом надійності за відповідальністю γ , слід визначитися з картою сейсмічного районування (ЗСР-2004-А чи ЗСР-2004-В), та, з урахуванням місця знаходження, визначитися з сейсмічністю будівельного майданчика. Здобувач не заглиблюється у сейсмічні розрахунки, а лише декларативно формулює тезу про те, потрібно враховувати сейсмічні навантаження чи ні. Якщо, з урахуванням геологічних умов, сейсмічність не перевищує 7 балів, здобувач робить висновок, що вимоги розділу 8, п. 8.4 ДБН В.1.1.12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» [4] (спеціальні антисейсмічні вимоги до мостових споруд) розповсюджуються на мостові споруди при сейсмічності будівельного майданчика 7 балів і вище (п. 23.2 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1]), у разі проектування капітального ремонту мостової споруди особливих вимог до проектних рішень щодо сейсмостійкості не висувається. Якщо ж сейсмічність складає 7 балів і вище, здобувач, посилаючись на норми ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1], робить висновок про необхідність виконання спеціальних сейсмічних розрахунків за ДБН В.1.1.12:2014 [4].

Основний акцент у цьому посібнику зроблено на формуванні у здобувача вмінь та навичок, пов'язаних із правильним збиранням динамічних навантажень від рухомого складу (НК або АК), вмінні визначати найбільш не вигідне розташування умовних рухомих візків для прогонових будов, опор та фундаментних конструкцій, вмінні правильно комбінувати навантаження і впливи згідно з вимогами чинної нормативної документації на базі напрацьованого усталеного інженерного досвіду.

1.1 Основні правила оформлення контрольної роботи

Рекомендується, щоб пояснювальна записка до контрольної роботи складала за обсягом не більше 10 аркушів формату А4 та містила відповідні графічні схеми (формат А3). Зміст пояснювальної записки має віддзеркалювати основні етапи визначення коефіцієнтів надійності та збору навантажень проектування мати такі обов'язкові складові частини:

- титульний аркуш;
- індивідуальне завдання;
- розрахунки основних навантажень і впливів із посиланням на відповідні нормативні документи (5–6 аркушів А4);
- висновки (мають віддзеркалювати конкретні результати збору навантажень, є узагальненням зазначених вище розрахунків);
- література (містить чинні нормативні та методичні джерела).

Графічна частина контрольної роботи складається з 1–2 аркушів формату А3 (або 1 аркуш А2), на яких відображуються схеми прикладання навантажень у перерізі та по довжині споруди з основним упором на рухомі навантаження від ваги умовних візків АК, НК.

При оформленні текстової частини (пояснювальної записки) контрольної роботи потрібно дотримуватись вимог чинного на сьогодні стандарту ГОСТ 2.105-95 «Єдина система конструкторської документації. Загальні вимоги до текстових документів». Допускається оформлення пояснювальної записки за ДСТУ 9243.4:2023 «Система проєктної документації для будівництва. Основні вимоги до проєктної та робочої документації». В пояснювальній записці слід обов'язково здійснювати посилання на графічну частину контрольної роботи та на літературні джерела, зокрема чинні нормативи.

1.2 Оформлення графічної частини контрольної роботи

Графічна частина контрольної роботи має повністю відповідати пояснювальній записці, більш глибоко роз'яснювати прикладання навантажень на мости у вигляді креслеників поперечників та повздовжнього розрізу споруди. Графічна частина подається у мінімально необхідному обсязі для подальшого внесення у робочу документацію (яка розробляється, наприклад, в рамках бакалаврського дипломного проєкту (БДП) або магістерської кваліфікаційної роботи (МКР), присвяченої проєктуванню та оптимізації транспортних споруд. На титульному аркуші обов'язковим є підписи здобувача та керівника контрольної роботи, який її прийняв та перевірів. Оформлення графічної частини слід здійснювати згідно з вимогами ДСТУ 9243.7:2023 «Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень» [9], ДСТУ 9243.4:2023 «Система проєктної документації для будівництва. Основні вимоги до проєктної та робочої документації» [10] та ГОСТ 2.105-95 «Єдина система конструкторської документації. Загальні вимоги до текстових документів». Графічна частина оформлюється на одному–двох аркушах формату А3 (А2) залежно від габариту мостової споруди згідно з завданням.

Основна інформація, яка має міститися у графічній частині:

Невигідний варіант завантаження поперечника смуговим навантаженням АК (зображується максимальна кількість смуг).

1. Невигідний варіант завантаження поперечника колісним екіпажем НК.

2. Невигідний варіант завантаження мосту навантаженням АК по довжині (одне з коліс тандему – у центрі прогону).

3. Невигідний варіант завантаження мосту навантаженням ЕК по довжині (друге або третє колесо екіпажу – у центрі прогону).

На креслениках поперечників відповідні навантаження слід зобразити стрілочками з відповідними роз'ясненнями у вигляді текстових блоків.

Залежно від габаритів проїзної частини мостової споруди рекомендований масштаб відображення на графічній частині – 1:50 (у випадку загальної кількості смуг руху 1 або 2) та 1:100 (у випадку загальної кількості смуг руху 3 або більше).

2 ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ОЗНАЧЕННЯ. НОРМАТИВНА БАЗА. КЛАСИФІКАЦІЯ МОСТОВИХ СПОРУД. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗРАХУНКУ.

2.1 Терміни та означення

Для правильного розуміння суті нормативної документації у галузі проектування об'єктів автодорожнього господарства потрібно вміти оперувати основними термінами та означеннями. Нижче наведено основний, але, далеко неповний перелік термінів, якими слід вміти оперувати здобувачам, що вивчають дисципліну «Будівельні конструкції» в розрізі спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійна програми «Автомобільні дороги, вулиці та дорожньо-транспортні споруди».

Автодорожній міст – міст на автомобільній дорозі, призначений для руху по ньому автомобілів. На мосту можуть бути тротуари для пішоходів.

Автомагістраль – автомобільна дорога, яка має чотири і більше смуг руху, огороження на узбіччях і розділювальній смузі, перетинає на різних рівнях інші дороги, залізничні і трамвайні колії, пішохідні і велосипедні доріжки, шляхи проходу тварин та обгороджена сіткою або іншим видом огорожі, що мінімізує можливість несанкціонованого доступу на дорогу тварин і людей.

Біоперехід – спеціальна транспортна споруда у вигляді мосту або тунелю (труби), що призначена для проходу диких або домашніх тварин.

Віадук – транспортна споруда, що перетинає ущелину або іншу природну западину.

Витривалість – спроможність конструкції або її елемента витримувати циклічні навантаження без зниження несучої здатності.

Втома матеріалу – зниження несучої здатності матеріалу за рахунок появи мікротріщин внаслідок дії циклічних навантажень.

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

Габарит наближення конструкції – контур, всередині якого не можуть бути розміщені елементи споруди або її пристрої.

Габарит транспорту – контур, за межі якого не може виступати жоден елемент транспортного засобу.

Граничні стани – стани, за межами яких споруда або її елемент не задовольняє вимоги експлуатації.

Граничні стани I групи – стани, що призводять до повної непридатності до експлуатації конструкцій, основ або втрати несучої здатності споруди в цілому.

Граничні стани II групи – стани, що заважають нормальній експлуатації споруди або зменшують її довговічність порівняно з проектним строком служби.

Динамічне навантаження – навантаження на дорожній одяг від транспортного засобу, який рухається.

Довговічність – здатність елемента автомобільної дороги, або її частини взагалі, або елемента мосту чи мостової споруди в цілому зберігати протягом певного часу працездатний стан при встановленій системі технічного обслуговування. Довговічність визначається в роках.

Довжина мосту визначається як відстань між внутрішніми гранями шафових стінок. У випадку, коли шафові стінки відсутні, довжиною моста вважається відстань між крайніми торцями прогонових будов моста.

Допоміжний елемент мосту – елемент, який не входить до складу несучих конструкцій мосту. Руйнація такого елемента не призводить до зміни напружено-деформованого стану споруди, а тільки ускладнює її експлуатацію (наприклад, бар'єрна огорожа, перила, оглядові пристрої).

Другорядний елемент мосту – елемент, руйнація якого не призводить до руйнації мосту в цілому, але є серйозною загрозою руйнації у разі подальшої його експлуатації (наприклад, вітрові зв'язки, опорні частини)

Естакада – багатопрогонова споруда, що зводиться замість насипу або для використання підестакадного простору для різних цілей.

Міст – транспортна споруда, призначена для перепуску через перешкоди потоків рейкового, автомобільного транспорту, пішоходів та комунікацій різного призначення.

Міст міський – міст, що є частиною вуличної мережі міста.

Мостовий перехід – комплекс споруд, що складається з мосту (мостів), підходів, інших транспортних і гідротехнічних споруд.

Надійність мосту – здатність мосту виконувати задані функції в певних умовах експлуатації, зберігаючи протягом встановленого часу нормативні експлуатаційні показники. Надійність визначається ймовірністю того, що не буде досягнуто жодного з розрахункових граничних станів.

Несуча здатність – граничне зусилля, що його може сприймати переріз або елемент конструкції.

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

Ремонт – комплекс будівельно-монтажних робіт, спрямованих на відновлення проектних параметрів мосту.

Коефіцієнт динамічний – безрозмірний коефіцієнт, який враховує ефект динамічного впливу тимчасових рухомих навантажень.

Коефіцієнт комбінацій навантажень – безрозмірний коефіцієнт, що враховує ймовірність одночасної появи розрахункових навантажень і впливів.

Коефіцієнт надійності за відповідальністю – безрозмірний коефіцієнт, більший або менший одиниці, залежно від відповідальності споруди

Коефіцієнт надійності за матеріалом – безрозмірний коефіцієнт, який вводиться до характеристичних значень матеріалу для отримання розрахункових значень.

Коефіцієнт надійності за навантаженням – безрозмірний коефіцієнт, який вводиться до характеристичних навантажень для отримання розрахункових значень.

Коефіцієнт надійності за призначенням – безрозмірний коефіцієнт, що враховує стадію роботи конструкції (стадію експлуатації або стадію будівництва) при перевірці стійкості на перекидання.

Навантаження розрахункове – величина нормативного статичного навантаження на вісь транспортного засобу, прийнята як розрахункова величина за результатами аналізу прогнозованого транспортного потоку протягом розрахункового строку експлуатації дорожнього покриття.

Основний елемент – елемент, руйнування якого безпосередньо призводить до руйнації або суттєвої зміни напружено-деформованого стану мосту в цілому.

Проектний строк служби – період, протягом якого споруда (конструкція або елемент), за умов належного утримання, може виконувати передбачені проектом функції. Проектний строк служби мосту в цілому визначається за мінімальним строком служби основного елемента.

Проектування доріг – галузь інженерної діяльності з виконання робіт щодо розроблення комплексу проектно-кошторисної документації в обсязі, необхідному для будівництва автомобільної дороги.

Розрахункова комбінація навантажень – комбінація навантажень і впливів, що приймається для розрахунку елемента в заданій проектній ситуації.

Пішохідний міст – споруда, призначена для руху по ній пішоходів (можливий поодинокий проїзд автомобілів).

Смуга безпеки – смуга, яка примикає до проїзної частини з боку узбіччя та розділювальної смуги і призначена для можливості виконання водієм необхідного маневру з метою уникнення аварійної ситуації.

Суміщений міст – міст, суміщений під автомобільний рух та рух рейкового транспорту (залізничного, метрополітену, трамваїв ...).

Труба – транспортна споруда, призначена для пропускання водотоку, пішоходів, транспорту безпосередньо у тілі насипу дороги (залізничного насипу).

Транспортна розв'язка – інженерна споруда (або комплекс споруд), яка забезпечує можливість змінювати напрямки руху транспортних потоків у місцях їх примикань або пересічень. Транспортна розв'язка може влаштовуватись в одному, двох або більше рівнях.

Характеристика безпеки – параметр, більший від одиниці, математично пов'язаний з надійністю. Вказує на границі інтервалу, в якому відмова неможлива.

Шляхопровід – транспортна споруда (міст) над залізницею, автомобільною дорогою або вулицею.

У подальшому розглядаються виключно компоненти автомобільних доріг взагалі та автодорожні мости, зокрема.

2.2 Нормативна база

Питання проектування об'єктів дорожньо-транспортного господарства загалом, збору навантажень та аналізу напружено-деформованого стану, зокрема, регламентовані на сьогодні низкою нормативних документів, які описують оснвні вимоги проектування, особливості збору навантажень і впливів, а, також, власне, правила проектування, охоплюючи розрахунковий апарат. Серед цих нормативних джерел слід особливо виділити нижче-вказані.

1) ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] – регламентує правила визначення навантажень і впливів, які слід враховувати у разі проектування об'єктів автодорожнього господарства (компонентів автомобільних доріг, мостів, труб, шляхопроводів, естакад ...) і тим самим гарантувати безпечну експлуатацію протягом проектного строку служби зазначених споруд.

2) ДБН В.1.202:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування» [2] – доповнює інформацію [1] в частині вітрового районування. Служить для збору снігових навантажень при розгляді розрахункової ситуації, коли мостова споруда не експлуатується. Вивчається здобувачем для розуміння основних понять та означень щодо навантажень і впливів.

3) ДБН В.1.2-14-2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [3] – визначає клас наслідків (відповідальності об'єкта дорожнього господарства (наприклад, мосту, ділянки автодороги, що проектується, водопропускних труб під автодорогою тощо). Коефіцієнт надійності γ_n , який визначається за класом наслідків (відповідальності), для мостових споруд та інших споруд на автодорожніх шляхах не визначається, а замінюється на коефіцієнт надійності γ_r (галузеві автодорожні вимоги) згідно з нормативом [4]. Вивчається здобувачем для розуміння основних понять та означень щодо надійності будівель і споруд.

4) ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» [4] – визначає сейсмічність території забудови (згідно з місцезорозташуванням за індивідуальним завданням). Дозволяє оцінити сейсмічність будівельного майданчика залежно від категорії ґрунтових умов (табл. 6.6 норм [4]), містить додаткові рекомендації та вимоги щодо проектування транспортних споруд у разі сейсмічності будівельного майданчика, що дорівнює 7, або вище (Розділ 8 [4]).

5) ДБН В.2.3-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування» [5] Містить основні відомості з моделювання та розрахунку сталевих і залізо-

бетонних мостових споруд. Містить інформацію щодо збору навантажень на мостові споруди (розділ 2), який втратив чинність та замінений на норми [1]. Містить, також, понятійну базу, яка розширює базові терміни і означення, наведені у нормах [6] та [7].

6) ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [71] Норматив встановлює основні правила проектування нових і реконструкції існуючих мостів та труб, дозволяє оцінити проектний строк служби споруди, або її частини, вимоги до надійності, описує можливі граничні стани, вимоги до розрахункових схем, а також, вимоги щодо планувальних рішень мостів, основні вимоги до конструкцій мостів, допустимі та рекомендовані габаритні розміри, окреслює загальні конструктивні вимоги до автотранспортних споруд.

7) ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво» [8]. Містить відомості щодо основних термінів та означень об'єктів автомобільної дороги, категорійності автомобільних доріг, проїзних та тротуарних габаритів.

2.3 Типові конструктивні матеріали для будівництва мостів

Для правильного виконання збору навантажень від власної ваги мостових конструкцій слід знати і розуміти основи конструювання мостів, зокрема, вміти правильно підбирати конструктивні мостові матеріали. Класифікацію мостових споруд слід розглядати разом з матеріалами п. 2.1.

На сьогодні в світовій та вітчизняній практиці мостобудування застосовуються класичні та композитні конструкційні матеріали:

- залізобетон;
- метал (сталь та алюмінієві сплави);
- сталобетон (матеріал, що поєднує в собі залізобетонну та металеву частини);
- композитні (метало-пластикові, пластикові армовані) матеріали.

Іноді, в основному переважно для мостів під низькі корисні навантаження, або для мостів в історичному центрі міст, застосовують дерев'яні конструкції, бутобетон, кладку з гранітних блоків.

Для несучих і допоміжних конструкцій мостів з металу слід використовувати матеріали та напівфабрикати, наведені в додатках А, Б, Г ДБН В.2.3-26:2024 «Мости і труби. Проектування сталевих конструкцій» [11]:

- сталевий прокат (листовий, сортовий, фасонний);
- труби та гнуті профілі;
- відливки та поковки з вуглецевої та легованої сталі;
- високоміцні та звичайні метизи;
- зварювальні матеріали, з дотриманням загальних вимог до сталевих прокату.

Такі складові елементи мостів, як канати, опорні частини та деформаційні шви приймаються відповідно до додатків Л, П, Р, С ДБН В.2.3-26:2024 «Мости і труби. Проектування сталевих конструкцій» [11].

Для більшості великопрогонових мостових споруд, особливо виготовлених з залізобетону, саме власна вага опорних та прогонових елементів є визначальною у процесі виконання перевірочних розрахунків міцності та жорсткості споруди.

2.4 Сучасна класифікація мостових споруд. Переваги та недоліки мостів різних типів

Перед виконанням процесу збору навантажень на мостову конструкцію інженер-проектувальник має визначитися з конструктивною схемою мосту, яка залежить від різних факторів (глибини та ширини водної перешкоди, дорожнього трафіку, архітектурно-містобудівних вимог, спеціальних технологічних вимог тощо).

На сьогодні мости класифікують за параметром довжини, призначенням, типом мостових опор і прогонових будов, виду конструкційного матеріалу прогонової будови, рівня проїзду, статичної системи, забезпеченості пропускання високих вод і льодоходу, шириною проїзної частини, характером перетину перешкоди.

Наведена нижче класифікація не є повною та докладною. Її задача – ознайомлення здобувачів з основними засадами раціонального проектування мостових споруд у рамках дисциплін, що вивчається на старших курсах.

А) Класифікація мостових споруд за *параметром довжини*.

Згідно з п. 1.2 ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [7] за *параметром довжини* мости поділяють на:

- малі (до 25 м);
- середні (від 25 до 100 м);
- великі (понад 100 м);
- позакласні мости.

Автомобільні (зокрема міські) мости завдовжки менше 100 м, але з прогонами понад 60 м також відносять до великих.

До *позакласних* мостів віднесено:

- споруди з прогонами понад 100 м;
- мости завдовжки понад 300 м з прогонами понад 60 м;
- споруди завдовжки понад 500 м з індивідуальними конструкціями прогонових будов та опор;
- мости зі складними статичними схемами різних систем суміщених мостів з їздою в одному або у різних рівнях;
- мости з розвідними прогонами.

Мости за своїм функціональним призначенням та місцем розташування поділяються на: автодорожні, залізничні, міські, пішохідні суміщені мости, віадуки, біопереходи та шляхопроводи (додаток Б [7]).

Б) За шириною проїзної частини мости бувають:

- з однією смугою руху тільки в одному напрямку;
- з двома смугами руху (по одній у кожному напрямку);
- з декількома смугами руху та з однаковою кількістю смуг в обох напрямках руху;
- з декількома смугами руху з різною кількістю смуг руху в обох напрямках.

Кількість смуг руху залежить від категорії дороги або магістралі, на якій знаходиться міст; може складати від однієї до восьми і більше. Найчастіше будують мости з двома смугами руху (по одній у кожному напрямку).

В) За призначенням розрізняють мости:

- автодорожні (частина автомобільної дороги над перешкодою), що служать для пропускання всіх видів транспортних засобів і пішоходів;
- залізничні – призначені для пропуску залізничних поїздів;
- міські – для пропускання всіх видів міських транспортних засобів (автомобілів, тролейбусів, трамваїв, метро) і пішоходів;
- пішохідні – можуть використовуватись тільки для пропускання пішоходів;
- суміщені – призначені для пропускання автомобілів і залізничних поїздів;
- спеціальні – для пропускання трубопроводів, силових кабелів.

Г) За типом мостових опор розрізняють мости:

- із жорсткими опорами, що передають навантаження від прогонових будов через фундаменти безпосередньо на ґрунт (рис. 2.1, а, б, рис. 2.2, рис. 2.3). Головною перевагою жорстких опор є їх мінімальне осідання під дією комплексу зовнішніх впливів. До недоліків – складнощі зі спорудженням опор і фундаментів, висока вартість;
- на плавучих опорах, що передають навантаження на воду (наплавні мости на понтонах або баржах, рис. 2.1, в). Головною перевагою таких мостів є мінімальні витрати на спорудження. Однак такі мости можуть мати значні тимчасові зрушення (осідання, зміщення).

Д) За типом взаємного положення прогонової будови і опор мости бувають:

- нерухомі, в яких прогонова будова завжди займає відносно пор незмінне положення (рис. 2.1, а, рис. 2.2, рис. 2.3);
- розвідні, в яких для пропускання суден влаштовують спеціальний розвідний прогін шляхом повороту відносно опор у вертикальній площині половин прогонової будови (рис. 2.1, б) або шляхом підйому прогонової будови на потрібну висоту.

Е) За рівнем розташування проїзної частини відносно конструктивів мосту розрізняють мости:

- по верхньому обрізу мостових конструкцій, коли їздове полотно розташоване на верхньому рівні прогонової будови (рис. 2.1, а, рис. 2.2). До речі, таких автомобільних мостових споруд на сьогодні у нашій державі найбільше;

- по нижньому обрізу мостових конструкцій. У цьому випадку проїзна частина знаходиться в рівні низу прогонової будови (рис. 2.3). У такий спосіб часто будують залізничні мости;

- по серединній частині мостових конструкцій, коли проїзна частина знаходиться в середній по висоті частині прогонової будови (рис. 2.1, рис. 2.4).

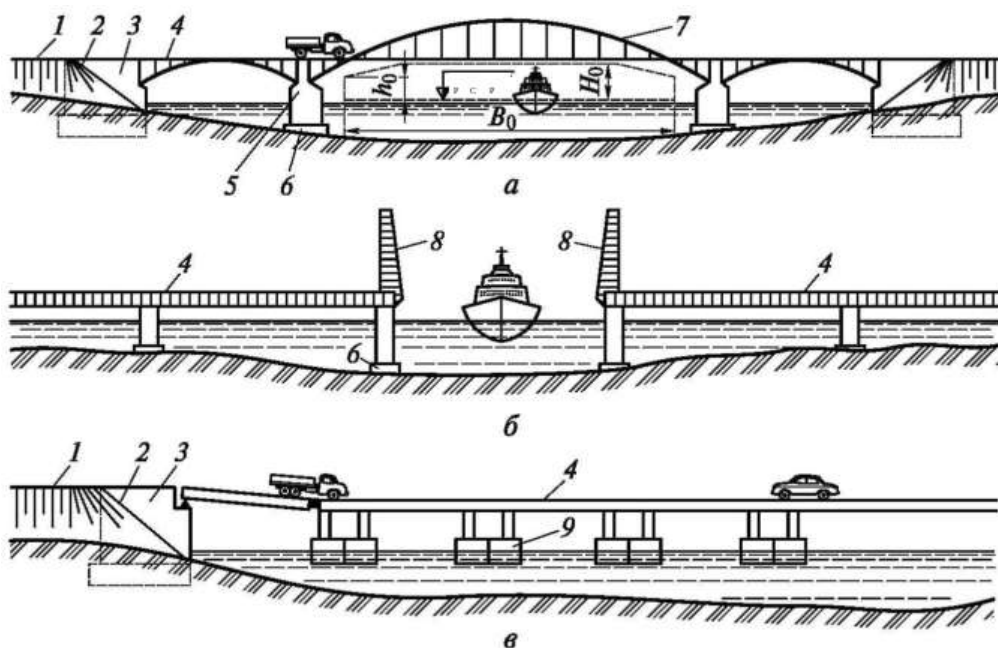


Рисунок 2.1 – Види мостів за типом опор і прогонової будов (1 – земляний насип підходу; 2 – конус насипу, який часто укріплений бетонними накладними плитами чи габіонами; 3 – берегова мостова опора; 4 – прогонова будова (аркова) з їздою згори; 5 – проміжна опора; 6 – фундаменти проміжних мостових опор; 7 – прогонова будова (вантово-аркова) з їздою автомобілів посередині; 8 – розвідна прогонова будова; 9 – плавуча (понтонна) опора наплавного мосту) [7]

Ж) За розрахунковою схемою головних несучих конструкцій прогонових будов розрізняють мости:

- балкових систем – розрізної (рис. 2.2, 2.5, а), нерозрізної консольної), у прогонових будовах яких від вертикальних навантажень виникають тільки вертикальні опорні реакції;

- розпірних систем – арочної (рис. 2.5, б), рамної (рис. 2.5, в), підвісної (рис. 2.4, рис. 2.5, г), в яких при дії вертикальних навантажень виникають похилі опорні реакції, що мають горизонтальну складову – розпір;
- комбінованих систем, в яких поєднуються системи перших двох груп, водночас способи таких поєднань різноманітні.



Рисунок 2.2 – Висоководний балочний балковий автомобільний міст у м. Гайсин, Вінницька область, з їздовим полотном по верху мостової споруди та жорсткими опорами. Проект і фотографія Попова В. О.



Рисунок 2.3 – Автомобільний міст через р. Десна у Чернігівській обласні із їздовим полотном в рівні нижнього поясу ферм і жорсткими опорами. Фотографія взята з джерела [12]



Рисунок 2.4 – Арково-підвісний автомобільний міст через р. Дніпро у м. Київ з їздовим полотном в рівні середньої лінії арки.
 Фотографія взята з джерела [13]

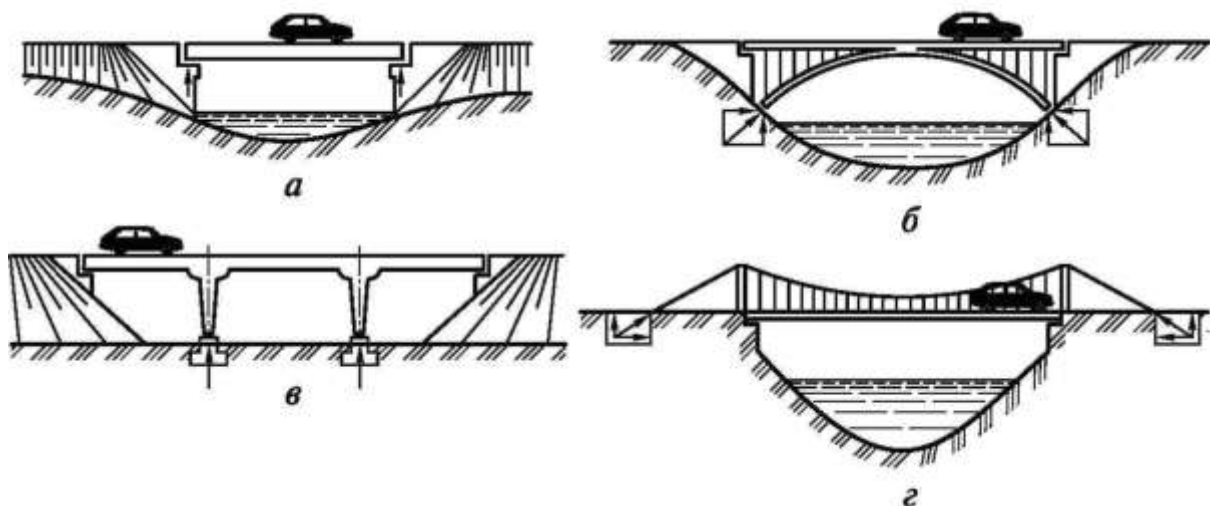


Рисунок 2.5 – Основні конструктивні системи (схеми) мостів:
 а – балкова (найпростіша, найбільш розповсюджена);
 б – арочна; в – рамна; г – підвісна (вантова)

И) За розташуванням прогонових будов відносно горизонту високих вод розрізняють:

- висоководні мости (рис. 2.2–2.4), прогонові будови яких знаходяться над річкою на рівні, що забезпечує пропускання паводкових вод і льодоходу;

- низьководні мости, прогонові будови яких затопляються при проходженні високих вод; це тимчасові мости, що зводяться в період військових дій;

- підводні мости, прогонові будови яких розташовуються під водою на глибині, що забезпечує рух автомобілів убрід. Підводні мости застосовуються з метою забезпечення скритності їх положення і підвищення їх живучості в період військових дій.

2.5 Стисла класифікація автомобільних доріг, на яких зводяться мостові споруди

Розуміння класифікації доріг є визначальним для збору збирання навантажень на мостові конструкції, оскільки саме категорія дороги визначає клас наслідків (відповідальності) мостової споруди, який впливає на коефіцієнт надійності за відповідальністю.

Згідно з Законом України «Про автомобільні дороги», траси загально-го користування поділяються на дороги місцевого і державного значення. Так, згідно з Постановою Кабінету Міністрів України [14] затверджений перелік автомобільних доріг загального користування державного значення містить такі види доріг:

- міжнародні (позначається з індексом М, наприклад М-01, М-02 тощо);
- національні (позначається з індексом Н, наприклад Н-01, Н-02 тощо);
- регіональні (позначається з індексом Р, наприклад Р-01, Р-02 тощо);
- територіальні (позначається з індексом Т, наприклад Т-01-01, Т-01-02 тощо).

Міжнародні дороги з'єднані з міжнародними транспортними коридорами. Вони, крім іншого, забезпечують міжнародні автоперевезення. Їх спрощено можна визначити як магістральні.

Регіональні дороги з'єднують між собою області України, порти міжнародного значення, курорти з міжнародними дорогами і міжнародні дороги одна з одною.

Мережа територіальних автодоріг з'єднує адміністративні центри областей, районів, дороги від аеропортів і залізничних вузлів.

Дороги місцевого значення бувають обласні та районні. Призначення обласних зрозуміло з їх назви. Районні з'єднують районні центри, населені пункти між собою, великі підприємства в межах району.

В Україні на сьогодні наявні 30 автомобільних доріг міжнародного транспортного сполучення (М-01 ... М-30), які є частиною доріг Європейського значення (Е-38, Е-40, Е-50 ... Е-583).

За значенням автомобільні дороги бувають:

- загального користування державного та місцевого значення.
- вулиці і дороги міст та інших населених пунктів;
- відомчі (технологічні) дороги. До них належать внутрішньогосподарські технологічні дороги, що знаходяться у власності юридичних або фізичних осіб;

- дороги на приватних територіях. До них належать автомобільні дороги, що розташовані на територіях, власниками яких є юридичні (недержавні) або фізичні особи.

Згідно з розділом 4 ДБН В.2.3-4:2-2015 «Автомобільні дороги. Частина 1. Проектування» [8] автомобільні дороги класифікують за категорійністю. Категорійність дороги опосередковано пов'язана зі значенням автомобільної дороги для держави. Дороги національного та міжнародного значень здебільшого, відносять до I і II категорії. Регіональні автомобільні дороги – до III категорії.

Технічну класифікацію автомобільних доріг за категорією залежно від розрахункової середньорічної добової перспективної інтенсивності руху наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна класифікація автомобільних доріг в Україні

Категорія дороги	Розрахункова перспективна інтенсивність руху, автомобілів на добу	
	У транспортних одиницях	У приведених одиницях до легкового автомобіля
I-а, I-б	Понад 10 000	Понад 14 000
II	від 3 000 до 10 000	від 5 000 до 14 000
III	від 1 000 до 3 000	від 2 500 до 5 000
IV	від 150 до 1 000	від 300 до 2 500
V	до 150	до 300

Примітка. За однакових вимог до доріг I-а та I-б категорій вони позначаються, як дороги I категорії

2.6 Сучасні тенденції у способах розрахунку мостів та застосування програмного забезпечення

Розрахунок мостових споруд є однією з найважливіших складових проектування та забезпечення їхньої надійності, довговічності й безпеки. У сучасному мостобудуванні відбувається постійна еволюція методів розрахунку, що зумовлено розвитком комп'ютерної техніки, нових матеріалів, інженерних підходів та нормативної бази. Особливу увагу в розрахунках приділяють діям від рухомого складу, який формує основне експлуатаційне навантаження на прогонову будову автомобільного мосту.

На сьогоднішній день можна виділити такі тенденції у розрахунках мостів:

1. *Перехід від спрощених до просторових моделей.* Сучасна інженерна практика все частіше використовує тривимірні розрахункові моделі замість спрощених балкових або площинних схем. Це дає змогу точніше враховувати просторову роботу конструкції, взаємодію елементів прогонової будови, нерівномірність розподілу навантаження та жорсткість поперечних елементів;

2. *Широке застосування методу скінченних елементів (МСЕ).* Метод скінченних елементів є основою для більшості сучасних програмних продуктів і дозволяє виконувати як лінійні, так і нелінійні розрахунки, включно з урахуванням геометричної та фізичної нелінійності, тріщиноутворення, повзучості бетону тощо;

3. *Імітація рухомого навантаження.* Замість розрахунку за окремими схемами розташування навантаження сучасні системи дозволяють змоделювати реальний рух транспортних засобів по мосту з урахуванням швидкості, прискорення, амортизації та динамічних ефектів. Це підвищує точність визначення напружено-деформованого стану конструкції;

4. *Автоматизоване генерування навантажень згідно з нормативами.* Програмні комплекси надають вбудовані бібліотеки навантажень згідно з різними стандартами (зокрема Єврокодами, нормами AASHTO (США), ДБН В.2.3-14:2006 (Україна) та ін.), що значно спрощує процес моделювання дорожнього руху на мостах;

5. *Урахування впливу динаміки та втоми матеріалів.* Зростаючі вимоги до довговічності конструкцій зумовлюють потребу в оцінюванні втомної міцності матеріалів і конструктивних вузлів. Для цього застосовують спектральні методи аналізу, а також розрахунки за навантажувальними циклами, що моделюють тривалу експлуатацію споруди;

6. *Інтеграція з BIM-технологіями.* Все більше проєктів виконуються із застосуванням BIM (Building Information Modeling). Це дозволяє створювати цифрові двійники мостових споруд, інтегрувати розрахункові моделі з креслениками, технологічними картами, кошторисною документацією тощо.

Програмні продукти для розрахунку мостів

У зв'язку з ускладненням методик розрахунку та необхідністю точного врахування різноманітних чинників, зросла роль спеціалізованого програмного забезпечення. Ось деякі з найпоширеніших рішень, які використовуються в мостобудуванні:

1. MIDAS Civil [15]. Один із найпотужніших програмних комплексів для мостового проєктування (США). Підтримує МСЕ-аналіз, моделювання етапів будівництва, аналіз динаміки, втоми, попереднього напруження, інтеграцію з BIM, імпорт навантажень за ДБН та Єврокодами;

2. LUSAS Bridge [16]. Потужна система для аналізу та проєктування мостів різного типу, також висячі та вантові конструкції (Великобританія). Підтримує нелінійний аналіз, аналіз стабільності, динаміки, втоми та ефекти зчеплення матеріалів;

3. SOFiSTiK Bridge Modeler [17]. Інтегрується з AutoCAD та Revit, дозволяє генерувати геометрію мостів з наступною передачею у розрахунковий модуль (Німеччина). Забезпечує тісну взаємодію з BIM-середовищем і підтримує розрахунки згідно з Єврокодами;

4. RM Bridge (Bentley Systems) [18]. Програма з великим досвідом практичного застосування для складних мостів, охоплюючи вантові та аркові (Канада). Дозволяє виконувати аналіз на вібрації, втомлення, вплив часу та фаз будівництва;

5. CSI Bridge [19]. Продукт від розробників SAP2000 (США). Має потужний інтерфейс для моделювання мостових конструкцій із застосуванням шаблонів та автоматичних навантажень. Здатен виконувати комплексний аналіз руху, динаміки, фази зведення;

6. SCAD Office [20] / LIRA-SAPR [21]. Найбільш популярні вітчизняні комплекси з підтримкою українських норм (ДБН). Підходять для моделювання балкових мостів, шляхопроводів, естакад. Забезпечують розрахунок просторових моделей, аналіз втоми, сейсмостійкості та ін.

Отже, варто відмітити, що сучасні методи розрахунку мостів характеризуються глибоким рівнем деталізації, просторовістю моделей та інтеграцією з технологіями інформаційного моделювання. Це дозволяє інженерам більш точно оцінювати роботу прогонової будови під дією рухомого складу, прогнозувати потенційні проблеми експлуатації та приймати обґрунтовані технічні рішення. Використання спеціалізованого програмного забезпечення стало невід'ємною складовою проєктного процесу, а вибір конкретного ПЗ залежить від складності споруди, вимог замовника та нормативної бази, що застосовується.

3 ОСНОВНІ НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ НА КОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ АВТОДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА

3.1 Загальні положення щодо збору навантажень

Збір навантажень, виконаний за методикою, наведеною у [1], забезпечує розрахунок транспортних споруд на:

- міцність, стійкість і витривалість за першою групою граничних станів;

- жорсткість і тріщиностійкість за другою групою граничних станів (крім того, для мостових споруд (як великопрогонових будов) слід виконувати розрахунки на кут повороту опорних частин).

Моделі навантажень, розглянуті у нормах [1], і значення параметрів навантажень від рухомого складу транспортних засобів і пішоходів є обов'язковим для застосування в усіх розрахунках споруд на автомобільних дорогах. За певних умов можуть застосовуватися інші вагові параметри рухомих навантажень, що дають більш несприятливий ефект, ніж параметри, прийняті у моделях згідно з [1].

На відміну від кліматичних навантажень для об'єктів промислового та цивільного будівництва, які збираються згідно з нормами [2], кліматичні навантаження на об'єкти дорожнього господарства не є визначальними. Їх прийнято збирати не за нормами [2], а за відповідними главами норм [1]. До таких навантажень відносять: вітрові навантаження, навантаження від льодоставу (льодові навантаження), температурні кліматичні навантаження.

3.2 Розрахункові ситуації

Конструкції об'єктів дорожньо-транспортного господарства слід розраховувати на навантаження і впливи, що приймаються відповідно до таблиці 3.1 [1, С. 2].

Розрахунки об'єктів дорожньо-транспортного господарства на витривалість виконують на сполучення, до яких, окрім постійних навантажень і впливів (п. 1–6), входять тимчасові навантаження 7–9, водночас вертикальне навантаження від пішоходів на тротуарах із вертикальним навантаженням від рухомого складу враховувати не слід.

Розрахунки за граничними станами другої групи слід виконувати тільки на сполучення навантажень і впливів 1–9, 15, 16. Водночас в розрахунках залізобетонних конструкцій за тріщиностійкістю також слід враховувати навантаження 11, а при розрахунку горизонтальних переміщень верхівок опор – навантаження 10, 12, 13.

Таблиця 3.1 – Загальний перелік навантажень на об’єкти дорожнього господарства

Номер навантаження	Навантаження і впливи	Номер навантаження, що враховується із зазначеним впливом
А. Постійні		
1	Власна вага конструкцій	-
2	Вплив попереднього напруження (зокрема, пост напруження та напруження регулювання зусиль)	-
3	Тиск ґрунту насипу	-
4	Гідростатичний тиск	-
5	Вплив усадки і повзучості бетону	-
6	Вплив осідання ґрунту	-
Б. Тимчасові від рухомого складу і пішоходів		
7	Вертикальні навантаження	16
8	Тиск ґрунту від рухомого складу	16
9	Горизонтальне поперечне навантаження від відцентрової сили	10, 16
10	Горизонтальні поперечні удари рухомого складу	9, 11, 12, 16, 17
11	Горизонтальне повздовжнє навантаження від гальмування або сили тяги	10, 13, 14, 16
В. Інші		
12	Вітрові навантаження	10, 14, 17, 19, 20
13	Льодові навантаження	11, 14, 17, 19, 20
14	Навантаження від навалу суден	11–13, 15–17, 19, 20
15	Температурні кліматичні впливи	14, 17, 19, 20
16	Будівельні навантаження при зведенні	7–11, 14, 17, 19, 20
17	Сейсмічні навантаження	10, 12–16, 19, 20
18	Тертя в опорних частинах	11, 14, 17, 19, 20
Г. Специфічні навантаження		
19	Будівельні навантаження при ремонтах	12–18, 20
20	Аварійні навантаження	12–19

Якщо мова йде про прогонові будови мостів, мостових переходів, шляхопроводів, то, виходячи з даних таблиці 3.1, розрахункові ситуації (невигідні сполучення) спрощено можна описати у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахункові сполучення навантажень для прогонових будов мостів

Навантаження	Сполучення							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Постійні (власна вага мостових конструкцій, дорожнього та тротуарного покриття, бар'єрного та перильного огорожень, комунікацій)	+	+	+	+	+	+	+	+
Вертикальні навантаження від рухомого складу (моделі візків А-15)	+	-	-	+	-	-	+	+
Вертикальне навантаження від рухомого складу (модель впливів НК-100)	-	+	-	-	+	-	-	-
Вертикальне від натовпу пішоходів на тротуарах	+	-	+	+	-	+	+	+
Вертикальне від натовпу пішоходів на проїзній частині	-	-	+	-	-	+	-	-
Горизонтальне поперечне навантаження від рухомого складу	+	-	-	+	-	-	-	-
Горизонтальне повздовжнє навантаження від рухомого складу	-	-	-	-	-	-	+	+
Вітрове навантаження поперек мостової споруди	-	-	-	+	+	+	-	+

3.3 Визначення коефіцієнта надійності за відповідальністю та терміну служби автодорожньої споруди

Збір навантажень на об'єкт дорожньо-транспортного господарства розпочинають з визначення коефіцієнта надійності за відповідальністю та терміну служби споруди.

Для автодорожніх споруд, взагалі, та мостів і шляхопроводів, зокрема, встановлено три рівні відповідальності за економічними, соціальними і екологічними наслідками їхніх відмов. Врахування рівня відповідальності здійснюється за рахунок введення коефіцієнта γ_r . Величину коефіцієнта γ_r слід приймати відповідно до табл. 4.1 ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [7], якщо інше не передбачено замовником. Проектувальниками слід звернути увагу, що табл. 1.1 [7] втратила чинність, тому при проектуванні слід користуватися коефіцієнтами γ_r з табл. 4.1 [5].

У процесі визначення коефіцієнта γ_r значення має категорійність дороги (див. п. 2.5, табл. 2.1), на якій зведена мостова споруда, що розглядається, а, також, довжина мостової споруди.

Коефіцієнт надійності γ_r за відповідальністю вводиться (шляхом ділення) до правої частини нерівності перевірки граничного стану.

Існує різночитання коефіцієнтів надійності нормативного документа ДБН В.1.2-14-2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [3] та ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [7], охоплюючи навіть позначення. У першому випадку коефіцієнт надійності позначається γ_n , у другому – γ_r . Відповідно до роз'яснень, наданих профільними державними установами, перевагу слід віддавати галузевому стандарту, тобто нормативу ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [7], табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнтів надійності за відповідальністю для мостових споруд

Клас відповідальності згідно з [3]	Характеристика мостів і труб	Коефіцієнт надійності за відповідальністю γ_r , за [5] чи [7]
СС-3	Мости, що мають велике соціальне та економічне значення: - суміщені під рейковий та автомобільний транспорт; - служать безальтернативним шляхом сполучення; - мости через водні шляхи 1–3 класів та мости завдовжки понад 300 м, а також такі, що входять до складу цих мостових переходів; - шляхопроводи та естакади завдовжки понад 600 м	1,05
СС-2	Залізничні та всі інші мости і труби, що не віднесені до класу наслідків (відповідальності) СС-1 та СС-2	1,0
СС-1	Тимчасові мости	0,95

Силами фахівців профільного Державного підприємства «Національний інститут розвитку інфраструктури» («ДержДорНДІ») ведеться активна робота з подолання протиріч норм [3] і [5] у частині коефіцієнта надійності. Пропоновані підходи будуть втілені у новій редакції норм [5].

Для змінних у часі кліматичних навантажень, а також для визначення перспективної інтенсивності руху велике значення має проектний строк служби споруд та їх елементів.

У практиці будівництва об'єктів дорожньо-транспортного господарства, що є новобудовами, прийнято приймати проектні строки служби для основних елементів мостів за даними табл. 3.4. Водночас, термін експлуатації об'єктів після реконструкції чи капітального ремонту зменшують. Строк служби вказується у завданні на проектування, і стосовно зазначених споруд часто сягає 50 років.

Таблиця 3.4 – Проектний строк служби основних конструктивних елементів мосту

Номер пункта	Основні елементи мосту	Проектний строк служби, років
1	Сталеві прогонові будови	100
2	Сталобетонні прогонові будови	100
3	Залізобетонні монолітні прогонові будови	100
4	Залізобетонні збірно-монолітні прогонові будови	80
5	Залізобетонні збірні прогонові будови	70
6	Елементи прогонової будови з облагородженої деревини	50
7	Опори всіх типів (крім п. 8)	100
8	Пальові безростверкові опори	70
9	Фундаменти всіх типів (крім п. 8)	100

Значення коефіцієнтів надійності та динамічних коефіцієнтів для транспортних споруд, загалом, та мостів під автомобільний транспорт, зокрема, наведено в табл. 4.2 ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [7] та у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Значення коефіцієнтів

Проектні ситуації	Коефіцієнти до рухомих навантажень	
	надійності, γ_r	динаміки, $1 + \mu$
Довготривалі	≥ 1	≥ 1
Короткочасні	1	1
Випадкові	$\leq 0,75$	1

Для збору навантажень у подальшому розглянуті виключно довготривалі розрахункові ситуації.

3.4 Перелік задач із збору навантажень на міст в рамках контрольної роботи

В рамках виконання контрольної роботи здобувач має виконати спрощений збір навантажень на мостову автодорожню споруду у такому мінімальному обсязі:

- визначення коефіцієнта надійності;
- збір постійних навантажень;
- визначення вертикальних тимчасових впливів від рухомого складу за схемою АК (модель 1);
- визначення вертикальних навантажень від одиночного рухомого чотиривісного екіпажу НК (модель 2).

Завдання з визначення горизонтальних навантажень вздовж та поперек мостової автотранспортної споруди від навантажень НК та АК, навантажень від трамваїв та метрополітену, визначення кліматичних та сейсміч-

них впливів на транспортну споруду, а також збір навантажень на споруду для розрахунку за допомогою систем автоматизованого проектування видаються здобувачу як факультативні та у рамках цієї спрощеної контрольної роботи не передбачені.

Згідно з вимогами чинних норм [2, С. 4] у процесі проектування будівельних конструкцій мостів, шляхопроводів та інших транспортних споруд слід враховувати навантаження, що виникають під час зведення та експлуатації споруд, а також у разі виготовлення, зберігання та транспортування будівельних конструкцій.

Основою для призначення навантажень є їхні характеристичні значення. Характеристичні значення ймовірних навантажень і впливів на автотранспортні споруди слід збирати згідно з вимогами чинних норм ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1]. Ці норми містять вичерпну інформацію щодо методології збору навантажень та їх величин. Цей посібник складений на основі [1] та зосереджує увагу на автодорожніх мостах. Збір навантажень на залізничні мости виходить за межі матеріалів, наведених у посібнику, та вивчаються у профільних закладах вищої освіти.

До постійних навантажень на автодорожні мости та інші автотранспортні споруди належить власна вага конструкцій, вага покриття, вага засобів безпеки (бар'єрного та перильного огорожень), див. п. 3.5 посібника.

До змінних навантажень відносять кліматичні впливи, навантаження від рухомого складу (див. п. 3.6 та 3.7) посібника.

До епізодичних навантажень на автодорожні мости відносять сейсмічні впливи.

3.5 Постійні навантаження на мости

Згідно з нормами ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1, п. 6] характеристичне вертикальне навантаження для мостів та інших споруд транспортної інфраструктури слід визначати від всіх елементів (несучих та допоміжних), охоплюючи вагу оглядових пристроїв та комунікацій. Коефіцієнти надійності за навантаженням для постійних навантажень наведена у таблиці 3.6, яка є вибіркою з табл. 6.2 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1].

З таблиці 3.6 добре видно, що коефіцієнти надійності, які вводяться на постійні впливи для мостів та інших споруд дорожньо-транспортного господарства, γ_f , значно більші за коефіцієнти, надійності, для будівельних конструкцій промислового та цивільного призначення γ_{fm} див. ДБН В.1.2-2:2006 [2, табл. 5.1].

Таблиця 3.6 – Коефіцієнт надійності за навантаженням для постійних впливів (вибірка з табл. 6.2 [1])

Навантаження та впливи	Коефіцієнт надійності за навантаженням для автодорожніх мостів, γ_f *
Від власної ваги мостових та допоміжних конструкцій	1,25 (0,9)
Вага покриття проїзної частини мосту і тротуарів автодорожніх і міських мостів	2,0 (0,9)
Горизонтальний тиск ґрунту насипу на опори мостів	1,4 (0,7)
Вплив осідання ґрунту	1,5 (0,5)

* величина γ_f у дужках приймається у випадках, коли у разі сполучення навантажень створюється найбільш несприятливий ефект у процесі зменшення власної ваги конструкції, наприклад, дослідження споруди на стійкість рівноваги.

Наприклад, вага монолітних залізобетонних конструкцій за нормами [1] враховується у розрахунках за першою групою граничних станів із коефіцієнтом $\gamma_f = 1,25$, а за нормами [2] – із коефіцієнтом $\gamma_{fm} = 1,1$.

Те саме для дорожнього покриття – за нормами [1] із коефіцієнтом $\gamma_f = 2,0$, а за нормами [2] – із коефіцієнтом $\gamma_{fm} = 1,2$.

Зазначена невідповідність (вищий запас) обґрунтовується складними умовами експлуатації, нашаруванням (потовщенням) дорожніх конструкцій при ремонтних роботах та іншими причинами.

Нормативне навантаження від власної ваги збірних залізобетонних конструкцій, виготовлених в заводських умовах, визначають, використовуючи паспорт на вирів заводу-виробника. Вагу монолітних залізобетонних конструкцій визначають за проєктним об'ємом залізобетонної монолітної конструкції з урахуванням об'ємної ваги 25 кН/м^3 .

Вага сталевих мостових конструкцій (зокрема, деформаційних швів, опорних частин, бар'єрного та перильного огорожень враховується за даними виробника металевої конструкції, або обчислюється за даними конструкторської документації на виріб з урахуванням ваги монтажних метизів і зварних швів.

3.6 Тимчасові кліматичні навантаження на мости

3.6.1 Вітрові навантаження на мости

Вітрове навантаження на мости приймають по швидкісному напору вітру. Вітрові впливи на мостові та інші споруди транспортного призначення згідно з п. 19 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] слід враховувати як короточасні змінні навантаження, для яких встановлені граничні та експлуатаційні розрахункові значення:

- граничне значення використовується для розрахунків стійкості положення, міцності та стійкості форми;
- експлуатаційне значення використовується для розрахунків витривалості та розрахунків за другою групою граничних станів.

Зазвичай, для низьких балкових мостів з залізобетону, які є найбільш розповсюдженими мостовими спорудами в Україні, вітрове навантаження не є визначальним. Однак у п. 19.1 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] вказано, що має виконуватися окремий розрахунок для мостових конструкцій на появу таких аеропружних явищ, як згинально-крутильний флатер галопування і вітрове збудження та знаходження значень відповідних критичних швидкостей вітру. Визначення розрахункових характеристик вітрових впливів здійснюється шляхом комбінування вимог норм ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] та ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проєктування» [2].

Розрахункове значення вітрового навантаження згідно з п. 19.2 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] визначають за формулою (3.1):

$$W_m = \gamma_f \cdot W_0 \cdot C, \text{ [кН/м}^2\text{]}, \quad (3.1)$$

де W_0 – характеристичне значення вітрового тиску (табл. 3.6);

$\gamma_f = 1,15$ – коефіцієнт надійності за граничним значенням вітрового навантаження (для граничного значення вітрового навантаження) та $\gamma_f = 0,5$ – для експлуатаційного значення вітрового навантаження;

C – коефіцієнт, що враховує вплив форми елемента мостової споруди, його рівень над землею та інерційні сили при коливанні у вітровому потоці (формулу (3.2)).

Таблиця 3.6 – Характеристичне значення вітрового тиску

Вітровий район за [2]	1	2	3	4	5
Характеристичний тиск, W_0 , Па	400	450	500	550	600
Швидкість вітру, V_0 , м/с	26	27	29	30	31

Як бачимо, формула (3.1) ідентична формулі ДБН В.1.2-2:2006 [2, п.9.4]. Однак присутня значна відмінність. Коефіцієнт надійності за вітровим навантаженням не залежить від терміну експлуатації споруди, як у ДБН В.1.2-2:2006 [2, п.8.11], а є сталим. Причому, якщо взяти до уваги плановий термін експлуатації мосту 100 років, то згідно з табл. 8.1 ДБН В.1.2-2:2006 [2] $\gamma_{fm} = 1,14$. Отже, як і для постійних навантажень, коефіцієнт надійності для вітрових впливів при розрахунку мостів вищий, аніж при розрахунку промислових та цивільних будівель і споруд.

Коефіцієнт C згідно з п.19.5 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] визначається за формулою (3.2), яка суттєво відрізняється від формули (9.3) згідно п. 9.7 ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування» [2]:

$$C = C_{aer} \cdot C_h \cdot C_d, \quad (3.2)$$

де C_{aer} – аеродинамічний коефіцієнт, який визначається відповідно до додатка Л ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1];

C_h – коефіцієнт висоти споруди, який враховує зростання вітрового навантаження залежно від висоти над рівнем землі для I типу місцевості та визначається за табл. 19.2 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] та табл. 3.7;

C_d – коефіцієнт динамічності, який враховує інерційні сили при коливанні конструкцій мосту, а також вплив пульсаційної складової вітрового навантаження і просторову кореляцію вітрового тиску. Цей коефіцієнт допускається приймати: $C_d = 1,0$ (коли період власних коливань мостових конструкцій за 1 формою не більше 0,25 с та $C_d = 1,2$ при періоді власних коливань мостових конструкцій за 1 формою від 0,25 с до 0,35 с).

Таблиця 3.7 – Значення коефіцієнта висоти споруди

Період коливань за першою формою	Значення C_h при висоті z , м над землею поверхнею								
	$\leq 0,5$	10	20	40	60	80	100	150	200
$\leq 0,25$ с	0,9	1,2	1,25	1,6	1,75	1,9	1,95	2,15	2,3
$> 0,25$ с	1,4	1,8	1,95	2,25	2,45	2,65	2,7	2,95	3,1

Коефіцієнт C_{aer} , який враховує опір елемента у вітровому потоці, залежно від його форми і положення за графіками, наведеними на рис. Л.1 та Л.2 додатку Л ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] для різних напрямків ($C_{f,x}$ – у напрямку вздовж Ox , $C_{f,y}$ – у напрямку вздовж Oy , $C_{f,z}$ – у напрямку вздовж Oz).

Для спрощення у нормах [1] були визначені найбільш розповсюджені випадки для $C_{f,x}$ (який часто називають коефіцієнтом лобового опору). Значення $C_{f,x}$ наведені у таблиці Л.1.1 [1].

Для прикладу: кам'яні та залізобетонні опори мосту вздовж та попереку мосту $C_{f,x} = 2,1$ при прямокутному перерізі та $C_{f,x} = 1,8$ при круглому перерізі; прогони дерев'яних мостів $C_{f,x} = 1,95$. Балкові залізобетонні прогонові будови, що не продуваються при співвідношенні ширини мосту до висоти більше 4 з наскрізними перилами, що продуваються, $C_{f,x} = 1,3$ (див. рис. Л.1 норм [1]).

Інші коефіцієнти, які впливають на вітрові впливи згідно з [2], такі як C_{rel} – коефіцієнт рельєфу, C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти; C_{dir} – коефіцієнт напрямку, при зборі вітрових впливів на мости згідно з [1] не враховуються.

Вітрове навантаження змінюється залежно від висоти. Однак для невисоких балкових автодорожніх мостів, виготовлених з залізобетону, яких в Україні переважна більшість, вітровий вплив на прогонову будову майже сталий, та, з огляду на невелику навітряну площу, мало впливає на несучу здатність мостів.

А) Урахування аеропружних явищ

Оцінка впливів на мости у разі аеропружних явищ окремих елементів мостів та мостів у цілому описано у додатку Л, п. Л.2 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [2]. Алгоритм для оцінки містить визначення критичних швидкостей вітру при вітровому збудженні, згинально-крутильному флатері та при галопуванні. В рамках цієї контрольної роботи для здобувачів бакалаврату аеропружні явища не розглядаються, оскільки мають складний науковомісткий математичний апарат, який вивчається у магістратурі та аспірантурі.

3.6.2 Снігові навантаження на мости

У нормах ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] снігові впливи не враховуються у разі розрахунку мостових споруд, що експлуатуються. Водночас, враховуючи вітчизняні реалії, з огляду на проблеми з експлуатаційним утриманням, іноді слід враховувати тиск снігу на мости, оскільки снігові намети часто можуть складуватися на смугах безпеки та тротуарах мостів. У межах цієї контрольної роботи сніговий вплив на міст, який взаємо унеможливорює транспортні технологічні навантаження (унеможливорює переміщення автомобілів і пішоходів), не враховується.

3.7 Моделі тимчасових навантажень від рухомого складу автодорожніх мостів

У п. 8.1 галузевого нормативу ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1], який є основним для збору навантажень на об'єкти дорожньо-транспортного господарства, зазначено, що завантаження автодорожніх мостів тимчасовими навантаженнями від рухомого складу мають створювати в елементах, що розраховуються, найбільш несприятливі навантажувальні ефекти. Характеристичне тимчасове вертикальне навантаження від автотранспорту у разі проектування мостів слід приймати за двома моделями, якщо немає додаткових вказівок замовника проектування, а саме: модель 1 – враховує 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.

Досвід проектування показує, що для протяжних мостових споруд, довжина прогонів у яких більше 20 м, майже для всіх конструкцій найбільш несприятливими є моделі 1 (АК). Модель 2 може бути більш несприятливою у процесі розгляду напружено-деформованого стану перехідних конструкцій (плит), у випадку невеликих прогонів мостів (до 20 м); у випадку вузьких мостів із однією або двома смугами руху.

Більшість проєктувальників розглядають обидві моделі рухомих тимчасових навантажень у разі проектування нового будівництва чи реконструкції мостових споруд.

3.7.1 Модель 1 навантаження від рухомого складу АК

Модель 1 навантаження від автотранспортних засобів у вигляді смуг АК застосовується разом з іншими рухомими навантаженнями, передбаченими нормами [1], окрім навантажень за моделлю 2, тобто НК, а також, окрім взаємовиключного впливу (навантаження від натовпу пішоходів на проїзну частину). Дійсно, якщо проїзна частина зайнята натовпом людей, наприклад, у разі евакуації, навантаження від смуг АК є неможливим. До супутніх навантажень АК можна віднести: навантаження від натовпу пішоходів на тротуарну частину, навантаження від трамваїв, навантаження від рухомого складу метрополітену.

Навантаження від автотранспортних засобів на кожен смугу навантаження приймається у вигляді рівномірно розподіленого з інтенсивністю ν та тандему з навантаженням на вісь P . Значення ν і P згідно з п. 8.3.1 норм [1] можна обчислити за формулами (3.3) та (3.4).

$$\nu = 0,98 \cdot K, \text{ [кН/м]} \quad (3.3)$$

$$P = 9,81 \cdot K, \text{ [кН]} \quad (3.4)$$

У формулах (3.3) та (3.4) K – це клас навантаження, який приймається згідно з п. 8.3.2 норм [1]. Модель 1 має два класи навантажень K , що приймаються залежно від технічної класифікації дороги, на якій збудована споруда, що розраховується. З фізичної точки зору клас навантажень K є навантаженням у тонах на вісь важкоवाгового транспортного засобу.

$K = 15$ – 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 згідно з класифікацією норм [8].

$K = 11$ – на всіх інших дорогах та вулицях населених пунктів.

Фізичною суттю параметра K у навантаженнях моделі АК є нормативне навантаження на вісь умовного візка, що виражене у тоннах. Навантаження А-15 – 15 т на вісь, навантаження А-11 – 11 т на вісь.

Увага! Зазначені у [8] категорії доріг розраховуються з урахуванням перспективної інтенсивності руху, а не поточної. Наприклад, згідно з розрахунками дорога IV категорії, враховуючи перспективи логістичного розвитку, стане III через 5 років. Зрозуміло, що при зборі навантажень враховують цю, збільшену, категорію.

Згідно з вимогами норм [1], п. 8.3.3 на одній смузі навантаження АК має знаходитися тільки один тандем. Винятком є завантаження двома тандемами, що виконується для опорного перерізу балки над проміжною опорою, або в рамних системах для визначення згинального моменту. Водночас мінімальна відстань між тандемами становить 20 м. До навантажень двома тандемами вводиться понижувальний коефіцієнт $s_0 = 0,85$. Зазначене правило застосовується для дуже протяжних мостів із великими прогонами.

Ширина розрахункової смуги складає 3,5 м. Кількість смуг на мостовій споруді може відрізнятись від кількості смуг навантажень АК. Для визначення кількості смуг габарит проїзної частини ділиться на 3,5 м. Водночас необхідно враховувати наявність стаціонарних розділювачів, тротуарні підвищення та інші перешкоди руху.

У разі просторової (більш деталізованої та точної) постановки задачі, коли мостова споруда моделюється у вигляді тривимірної конструкції, моделювання рухомих впливів потрібно здійснювати максимально наближено до реального стану. Тому замість навантажень на осі та смуги під екіпажами слід моделювати навантаження на окремі колеса екіпажів та на окремі смуги у створі коліс екіпажів. Зрозуміло, що для знаходження зосередженого навантаження на одне колесо умовного візка потрібно враховувати навантаження $P/2 = 9,81 \cdot K/2$, [кН], смуга розподілених навантажень у створі з одним колесом у перерізі буде мати інтенсивність $v/2 = 0,98 \cdot K/2$, [кН/м]. Схематичне розташування навантажень АК при русі вздовж мосту показано на рис. 3.1.

Розміщення смуг навантажень АК поперек мосту виконується за двома правилами згідно з вимогами п. 8.3.5 норм [1]:

- мінімальна відстань від осі смуги до огорожі (бар'єра, парапету, бордюру становить 1,5 м);
- мінімальна відстань між осями смуг становить 3 м (тобто, 3 м і більше).

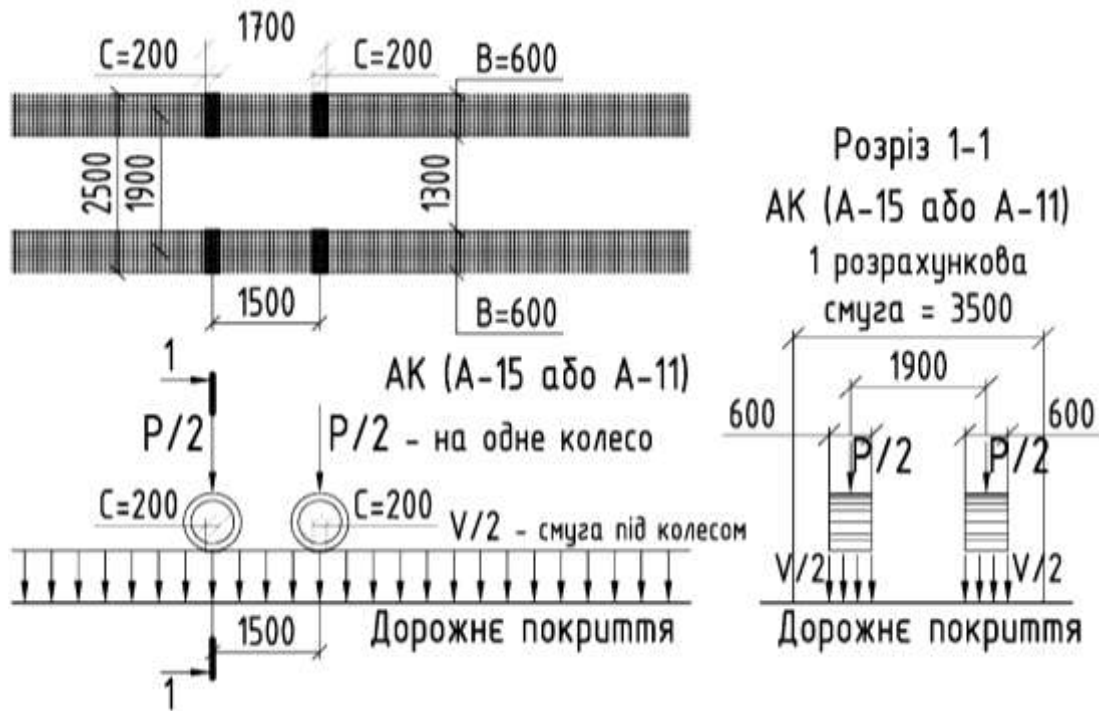


Рисунок 3.1 – Модель 1 тимчасового навантаження від рухомого складу (АК) у плані, по довжині і в перерізі

Останній абзац слід розуміти так. Навантаження АК слід влаштовувати у поперечному перерізі проїзду на відстані від 3 м і більше у кількості, яка дорівнює розрахунковій кількості смуг. При декількох смугах руху часто проєктувальники встановлюють візки АК на мінімальній відстані (3 м), або на відстані в осях, що дорівнюють розрахунковій ширині смуги ($3,5$ м), це більш реалістична модель порівняно з попередньою.

У разі однієї прогонової будови 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.

У разі декількох смуг у проїзді навантаження з першої смуги (яке створює найбільш несприятливий ефект) приймається з коефіцієнтом $s_1 = 1$. З решти смуг навантаження приймають з коефіцієнтами s_1 , що дорівнюють:

- для тандемів навантаження АК:
 - першої і другої смуг – $s_1 = 1$;

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

б) для розподіленого навантаження АК:

- першої смуги – $s_1 = 1$;
- другої та всіх наступних смуг – $s_1 = 0,6$;
- для усіх додаткових смуг навантажень – $s_1 = 0,25$.

Проектувальники часто у бік запасу приймають коефіцієнти для тандемів навантажень АК та розподілених навантажень НК однакові коефіцієнти s_1 (як це зазначено для тандемів).

Увага! У розділі 2 норм ДБН В.2.3-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування» [5] зазначені дещо інші (більші) коефіцієнти s_1 . Ці дані є застарілими. Їх не слід використовувати для мостів, труб та шляхопроводів, збудованих після 01.03.2010. Для перевірних розрахунків мостових споруд, збудованих у період з 2006 по 2010 рік, коли розділ 2 був чинним, збір навантажень слід виконувати згідно з проектом.

У суміщених мостах, згідно з п. 8.3.8 норм [1], у разі одночасного завантаженні смуг автомобільним навантаженням (у випадку завантажених тротуарів) і рейкових колій (трамвайних колій, метрополітену) тимчасове вертикальне навантаження, що має менший навантажувальний ефект (як вертикальний, так і горизонтальний) слід вводити до розрахунку з коефіцієнтом s_2 , що визначається за формулою (3.5):

$$s_2 = 1 - 0,002 \cdot \lambda, \text{ але не менше } 0,75 \quad (3.5)$$

де λ , [м] – довжина завантаження прогонової будови навантаженням, що має менший навантажувальний вплив.

В рамках цієї контрольної роботи суміщені мости під автотранспорт та трамваї (метрополітен) не розглядаються.

3.7.2 Модель 2 навантаження від колісного екіпажа НК

Модель 2 подана у вигляді одиночного навантаження НК, що являє собою чотиривісний колісний екіпаж (рис. 3.2).

Прийнято два типи навантажень НК:

- НК-100 з навантаженням на вісь $P = 245 \text{ кН}$;
- НК-80 з навантаженням на вісь $P = 196 \text{ кН}$.

Фізичною суттю числового позначення у навантаженнях моделі НК є загальне навантаження від екіпажу, що виражене у тоннах. Навантаження НК-100 позначає відповідно 100 т ваги колісного екіпажу. Екіпаж НК-80 відповідно важить 80т.

Тип навантаження НК приймається залежно від технічної класифікації автомобільних доріг та 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 згідно з класифікацією норм [8].
- НК-80 на всіх інших 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.

Навантаження НК встановлюється тільки в межах габариту проїзду. Вісь екіпажу встановлюється не ближче 1,75 м до бар'єрної огорожі.

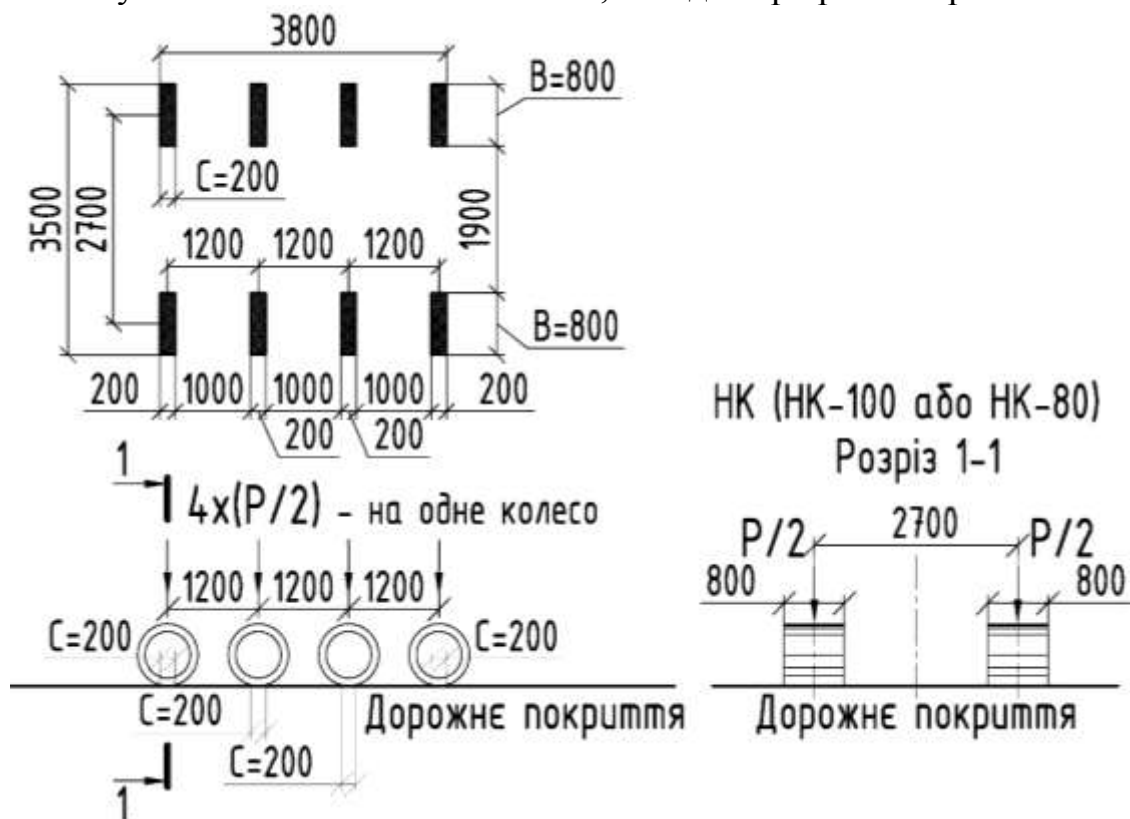


Рисунок 3.2 – Модель 2 тимчасового навантаження від колісного екіпажу (НК) у плані, по довжині і в перерізі

Увага! У розділі 2 норм ДБН В.2.3-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування» [5], який є відмінним, зазначено, що навантаження НК може розташовуватися як вздовж напрямку руху, так і поперек. Ця інформація є застарілою та не є чинною.

3.7.3 Модель тимчасового навантаження від трамваїв

Згідно з п. 9.1 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] тимчасове навантаження від трамваїв у разі проектування мостів з розташуванням трамвайних шляхів на відокре-

мленій або невідокремленій проїзній частині слід приймати з кожної колії у вигляді потягів з чотиривісних вагонів (рис. 3.3).

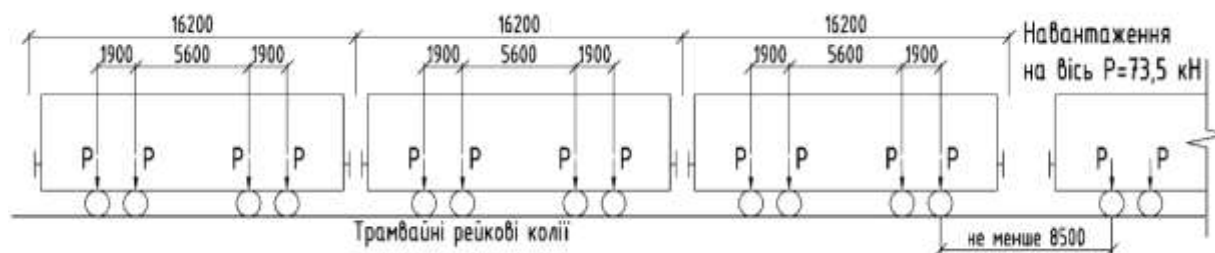


Рисунок 3.3 – Модель тимчасового навантаження від трамваїв

Вага кожного завантаженого вагона становить 294 кН, порожнього – 147 кН. Число вагонів у трамвайному потязі і відстань між потягами мають відповідати найнесприятливішому завантаженню при таких обмеженнях: число вагонів в одному потязі не більше 4, відстань між крайніми осями суміжних потягів не менше 8,5 м.

У всіх розрахунках елементів мостів, що сприймають тимчасове навантаження з декількох смуг руху, навантаження від рухомого складу трамваїв зі всіх смуг приймаються з коефіцієнтом $s_1 = 1$.

Згідно з галузевим стандартом ГКН 04.05.016– 2003 ширина нормальної колії на прямих ділянках має бути 1524 мм. У разі застосування рейок залізничного типу допускається зменшення ширини до 1521 мм. Ширина колії на прямих ділянках та кривих радіусом більше 200 м лінії швидкісного трамваю мають бути 1521 мм.

У деяких містах (зокрема у Вінниці, Львові, Житомирі) застосовують вузькоколійні трамвайні колії шириною 1 м.

У перерізі трамвайні колії потрібно розміщувати відповідно до габаритів наближення. Габаритна ширина вагона має відповідати ДСТУ 4070-2002 та ДСТУ 4876:2007, та не має перевищувати 2,6 м.

3.7.4 Модель тимчасового навантаження від метрополітену

Згідно з п. 10.1 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] при проєктуванні автомобільних мостів під суміщений рух автотранспорту і метрополітену навантаження з кожної колії потрібно приймати у вигляді потягу розрахункової довжини, що складається з чотирьохвісних вагонів (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Модель тимчасового навантаження потягу метрополітену

Загальна вага кожного вагона потягу метрополітену – 588 кН та навантаженням на одну вісь – 147 кН. При завантаженні мостової споруди, використовуючи лінії впливу, що мають дві і більше ділянок одного знака, слід завантажувати порожніми вагонами вагою кожен 294 кН.

Спеціалізовані мости під метрополітен слід розраховувати за граничними станами першої групи на випадок завантаження однієї з колій потягом, що має довжину вдвічі більшу за довжину розрахункового потягу без урахування динамічної дії. При цьому друга колія має бути завантажена потягом розрахункової довжини.

У всіх розрахунках елементів або окремих конструкцій мостів, що сприймають тимчасові навантаження з декількох смуг руху, навантаження від рухомого складу поїздів метрополітену зі всіх смуг приймається з коефіцієнтом $s_1 = 1$.

Потяги метро складаються з кількох вагонів. Ширина колії метрополітену неоднакова в різних країнах: зазвичай відповідає прийнятій ширині колії залізниці. В Україні ширина колій складає 1520 мм.

3.7.5 Характеристичні горизонтальні поперечні і повздовжні навантаження від рухомого складу

Згідно з п. 14.1 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] характеристичне горизонтальне повздовжнє навантаження виникає внаслідок гальмування, або сили тяги рухомого складу. Характеристичне горизонтальне поперечне навантаження на мостові споруди, згідно з п. 13.1, 13.2 [1], виникає від відцентрової сили для мостів, або їх фрагментів, розташованих на кривих, або від ударів рухомого складу об елементи огорожі, тротуарні чи парапетні виступи тощо.

А) Горизонтальне повздовжнє навантаження від гальмування чи тяги рухомого складу на автодорожні та міські мости

Характеристичне горизонтальне повздовжнє навантаження від гальмування або сили тяги рухомого складу, згідно з п. 14.1 норм [1], слід приймати таким, що дорівнює:

а) для розрахунку елементів прогонових будов та опор мостів: від рівномірно розподіленої частини навантаження на смугу АК (вага тандемів у навантаженні не враховується) – 50% від характеристичного тимчасового вертикального рухомого навантаження, але не менше ніж 7,8 кН і не більше 24,5 кН. Висоту прикладання горизонтальних поздовжніх навантажень слід приймати для навантаження АК – 1,5 м, а для вагонів метрополітену та трамваїв – 2,0 м;

б) для розрахунку деформаційних швів автодорожніх мостів – $6,86 \cdot K$ [кН].

Згідно з п. 14.4 норм [1] поздовжнє навантаження автодорожніх мостів слід приймати з усіх смуг навантаження одного напрямку. Водночас слід враховувати коефіцієнти s_1 , див. п. 8.3.7 норм [1] або п. 7.3.1 цього посібника.

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

- проїзної частини – у разі розрахунку стоянів;
- центрів опорних частин – у разі розрахунку проміжних опор, водночас допускається не враховувати згинальні моменти, які виникають від перенесення навантаження.

Згідно з п. 14.7 норм [1] поздовжнє зусилля від гальмування або сили тяги, що передається на нерухомі опорні частини, слід приймати 100% від повного поздовжнього зусилля, що діє на прогонову будову. Водночас не слід враховувати поздовжнє зусилля від встановлених на цій же опорі рухомих опорних частин сусіднього прогону, окрім випадків розташування в розрізних прогонах нерухомих опорних частин з боку меншого з прилеглих до опори прогонів. Зусилля на опорі в цьому випадку треба приймати таким, що дорівнює сумі поздовжніх зусиль, які передаються через опорні частини, але не більше за зусилля, що передається з боку більшого прогону в разі роботи його опорної частини як нерухомої.

Згідно з п. 14.8 норм [1] зусилля, що передаються на опорі з нерухомих 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 опорі при розподіленні повного поздовжнього зусилля між всіма проміжними опорами пропорційно їх жорсткості.

Б) Горизонтальне поперечне навантаження від гальмування чи тяги рухомого складу

Горизонтальне поперечне навантаження від відцентрової сили автомобільного навантаження АК на смугу для всіх мостів з радіусами кривих

250 м і менше визначається за формулою (3.6), а при радіусах у межах від 250 до 600 м – за формулою (3.7):

$$v_h = P \cdot K / \lambda, [\text{кН} / \text{м}], \quad (3.6)$$

$$v_h = M \cdot K / (r \cdot \lambda), [\text{кН} / \text{м}], \quad (3.7)$$

але не менше $12,7 \cdot K / r, [\text{кН} / \text{м}]$ та більше ніж $0,49 \cdot K, [\text{кН} / \text{м}]$.

У формулах (3.6) та (3.7) позначено:

- сила $P = 4,4 \text{ кН}$;
- момент $M = 1079 \text{ кН} \cdot \text{м}$;
- $\lambda, [\text{м}]$ – довжина завантаження прогонової будови відцентровим навантаженням;
- радіус кривої у плані $r, [\text{м}]$.

Висоту прикладання навантаження v_h від поверхні тертя проїзної частини слід приймати для навантаження АК – 1,5 м, а для вагонів метрополітену та трамваїв – 2,0 м.

Увага! Відцентрові сили від навантаження НК (модель 2) при розрахунку мостів не враховуються.

В) Навантаження від ударів рухомого складу

Характеристичне горизонтальне поперечне навантаження від ударів рухомого складу, незалежно від кількості колій або смуг навантаження АК на автомобільному мосту, слід приймати виключно від навантаження АК – у вигляді рівномірно розподіленого навантаження, що дорівнює $0,39 \cdot K, [\text{кН} / \text{м}]$, або зосередженої сили, що дорівнює $5,9 \cdot K, [\text{кН}]$, прикладеної в рівні верху покриття поїзної частини, де $K = 15$ ($K = 11$).

Характеристичне горизонтальне навантаження на елементи огорож автопоїзду автодорожніх мостів слід приймати:

- для бордюрів – у вигляді поперечного навантаження $200 \cdot h, [\text{кН}]$, прикладеного на довжині 1 м на рівні верху бордюру (h – висота бордюру в м);
- для залізобетонних парапетів – у вигляді поперечного навантаження на довжині 1 м на рівні $2/3$ висоти парапету від верху проїзної частини, величиною 160 кН при висоті парапету 0,75 м і 120 кН при висоті 0,6 м;
- для консольних стояків напівжорсткої бар'єрної огорожі у разі відстані між стояками $\leq 2,0$ м у вигляді сил, прикладених на рівні балки огорожі, що дорівнюють:
 - поперек проїзду – $4,41 \cdot K, [\text{кН}]$;
 - вздовж проїзду – $2,45 \cdot K, [\text{кН}]$ при безперервній балці огорожі, яка спирається на чотири стояки.

У п. 13.3 норм [1] вказано, що огорожі певної стримувальної здатності та їх належного закріплення до плити проїзду, що виконано відповідно

до вимог Європейських стандартів на огорожі, не потребують додаткових розрахунків. Отже, розрахунку потребують виключно експериментальні конструкції огорож, або бар'єрні огорожі, які поставляються без належних сертифікатів.

3.7.6 Характеристичні тимчасові навантаження від пішоходів

Згідно з п. 15.1 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] характеристичне тимчасові навантаження на пішохідні мости та тротуари слід приймати:

1) як вертикальне рівномірно розподілене навантаження:

- на пішохідні мости та тротуари міських мостів – 3,92 кПа;

- на тротуари мостів при розрахунках з урахуванням інших рухомих навантажень – 1,96 кПа;

2) як рівномірно розподілене навантаження, що враховується за відсутності інших тимчасових навантажень:

- вертикальне зосереджене – у разі розрахунку тротуарів міських мостів при наїзді на тротуар колеса автомобіля – 9,8 кН з ділянкою розподілення $0,15 \times 0,1$ м ($0,015$ м²);

- вертикальне зосереджене – при розрахунку тротуарів інших автомобільних мостів при наїзді на тротуар колеса автомобіля – 3,4 кН з ділянкою розподілення $0,15 \times 0,1$ м ($0,015$ м²).

Згідно з п. 15.2 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] у розрахунках елементів службових проходів мостів на мостах автомобільних доріг віх категорій рівномірно розподілене навантаження приймають таким, що дорівнює 1,96 кПа і разом з іншими тимчасовими навантаженнями не враховується.

В реальній практиці розрахунку мостових споруд у запас до розрахунку приймають навантаження від натовпу 3,92 кПа з коефіцієнтом надійності, зазначеним у табл. 3.8 на тротуари та технологічні проходи мостів, яке комбінують з навантаженнями від рухомого складу АК. Навантаження від пішоходів не комбінують з навантаженням від екіпажу НК.

3.7.7 Коефіцієнти надійності до рухомих навантажень автомобільних мостів

Згідно з п. 16.1 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] коефіцієнт надійності γ_f до навантажень від рухомого складу автомобільних і міських доріг слід приймати відповідно до таблиці 16.2 [1], вибірка з якої наведена у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Коефіцієнти надійності γ_f до навантажень від рухомого складу

Навантаження	Розрахунки елементів мостів від навантажень	Коефіцієнт надійності γ_f
Тандем АК	Вертикальних і горизонтальних	1,5
Розподілене АК		1,5
Екіпаж НК		1,0
Трамвай		1,3
Метро		1,3
Натовп	Вертикальні на тротуари при врахуванні разом із навантаженнями від рухомого складу	1,2
	Вертикальних у разі завантаження прогонової будови мосту тільки натовпом пішоходів, або пішохідні мости	1,4

Аналіз табл. 3.8 вказує на закономірність, яка свідчить про значне можливе перевантаження мостових споруд внаслідок впливу колісних та смугових впливів АК, а також, натовпу пішоходів.

3.7.8 Динамічні навантаження до рухомих навантажень

Згідно з п. 17.1 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] динамічні коефіцієнти $(1 + \mu)$ до навантажень від рухомого складу автомобільних і міських доріг слід приймати відповідно до таблиці 3.9 або таблиці 17.2 норм [1].

Таблиця 3.9 – Динамічні коефіцієнти для рухомого складу

Навантаження	Характеристика мостових споруд та елементів	Динамічний коефіцієнт $(1 + \mu)$
Тандем АК Трамвай Метрополітен	Для всіх елементів, крім наведених нижче	1,3
Розподілене АК Екіпаж НК Натовп		1,0
Всі навантаження	Для ланок труб, тунелів і підземних пішохідних переходів у разі загальної товщини засипання (враховуючи товщину дорожнього одягу) не менше ніж 1 м – для залізобетонних ланок труб і не менше 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	1,0
	Для деформаційних швів	2,0

4 ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ ЗБОРУ НАВАНТАЖЕНЬ НА МОСТИ

4.1 Приклад 1. Збір навантажень на автодорожній міст через р. Роська у с. Якимівка Гайсинської ТГ, Вінницької області

А) Індивідуальне завдання

Виконати збір навантажень на мостову споруду через р. Роська у с. Якимівка Гайсинської ТГ Вінницької області після капітального ремонту на автомобільній дорозі загального користування державного значення Р-17 для аналітичного та програмного розрахунків за 1-ю та 2-ю групами граничних станів. Проектна кількість смуг руху на мосту – 2 шт. Кількість прогонів – 2 шт. Довжина прогонів в осях – 5,63 м. Ширина смуги руху – 3,5 м з урахуванням смуги безпеки (0,5 м) – 4,0 м. Споруда обладнана тротуаром (з лівого боку) та технологічним проходом (з правого боку) габаритами, відповідно, 2,45 м та 1,72 м з консольними звисами 1,39 та 1,09 м (рис. 4.1 та 4.2). Категорія ґрунту основи за сейсмічними властивостями згідно з результатами геологічних вишукувань – 2.

Плита прогонової будови – монолітна, без попереднього напруження. У розрахунках прийняти товщину прогонової плити – 450 мм.

Тротуарна частина та технологічний прохід виготовлені у вигляді монолітних плит товщиною $h = 250$ мм, що жорстко зв'язані з прогоновою плитою арматурними випусками.

Дорожній одяг проїзної частини запроектований багатошаровим і складається з асфальтобетонного покриття та гідроізоляції. Загальна середня проектна товщина дорожнього одягу складає 110 мм.

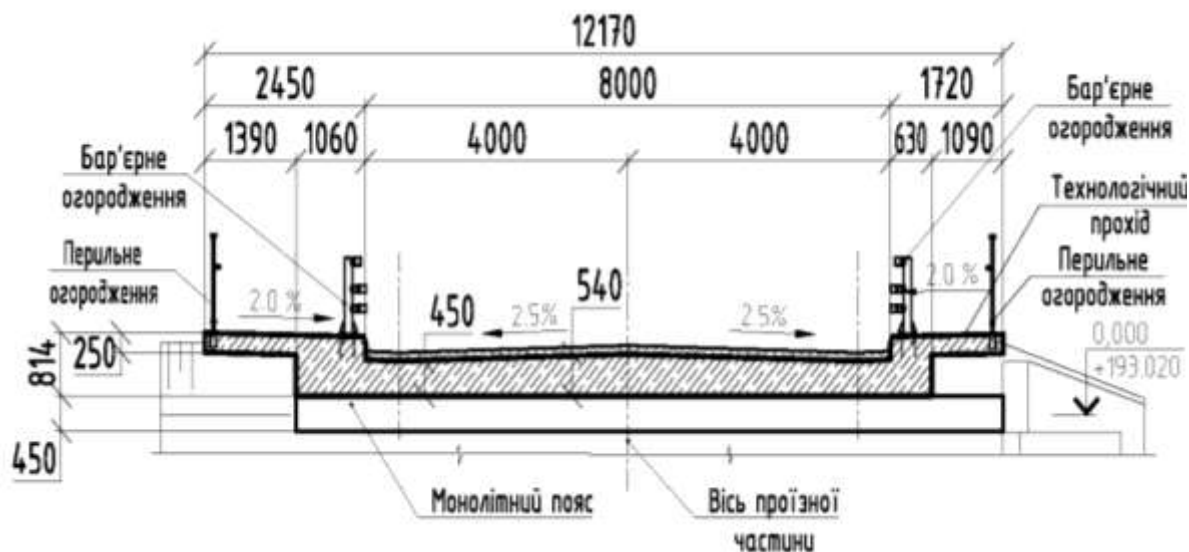


Рисунок 4.1 – Поперечний переріз прогонової будови проектованої мостової споруди

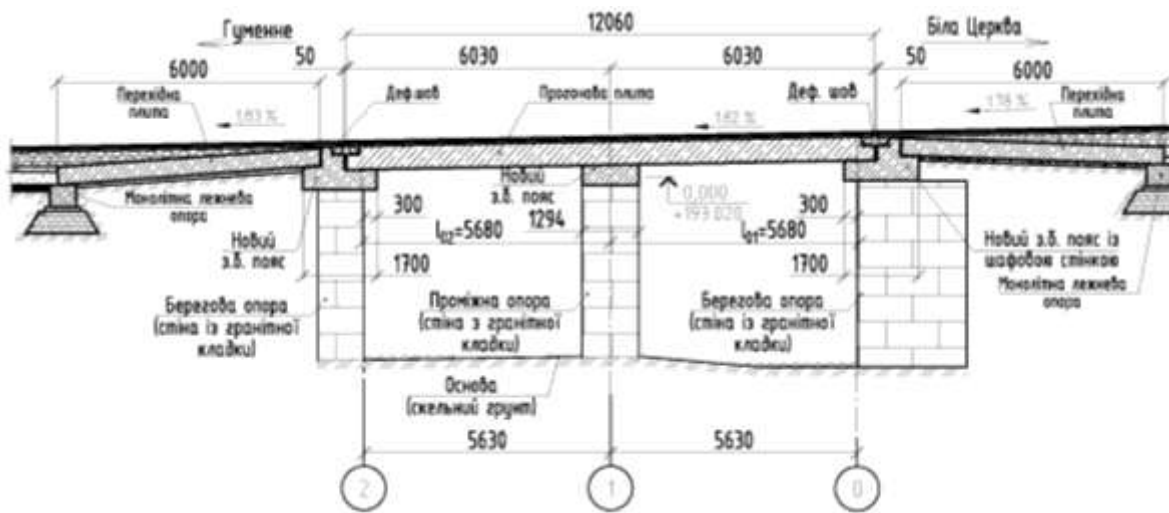


Рисунок 4.2 – Повздовжній переріз мостової споруди

4.1.1 Аналіз вихідних даних

Територія, де розташований об'єкт капітального ремонту, знаходиться у I кліматичній зоні та, згідно з класифікацією ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [2], у 2-му вітровому, 5-му сніговому та 3-му ожеледному районі та має такі кліматичні характеристики: снігове навантаження – 1600 Па; вітровий тиск – 450 Па; товщина стінки ожеледі – 19 мм.

Згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 55 від 30 січня 2019 року «Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення», дорога Р-17, на якій знаходиться мостова споруда, віднесена до регіональних автомобільних доріг. Тобто, мостова споруда, розташована на цій дорозі, враховуючи можливі економічні збитки, належить до класу наслідків (відповідальності) – СС-2 (середні наслідки), згідно з ДБН В.1.2-14-2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [3]. За ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [7] приймаємо клас наслідків – II (мости, що не віднесені до I та III рівня відповідальності).

У процесі виконання розрахунків основних несучих конструкцій перекриття (клас А) слід враховувати коефіцієнт надійності за відповідальністю за табл. 4.1 ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [7] $\gamma_r = 1,0$ (див. табл. 3.2).

Оскільки мостова споруда не є новобудовою (у завданні вказано, що вона експлуатується після капітального ремонту) згідно з усталеною практикою автодорожнього будівництва її проєктний строк служби – 50 років.

Згідно з картою ЗСР-2004-А сейсмічного районування території України ДБН В.1.1.12:2014 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво в сейсмічних районах України» [4] об'єкт проектування знаходиться в с. Якимівка, яке віднесено до зони – 5 балів. Враховуючи дані інженерно-геологічних ви-

шукувань, категорія ґрунту основи за сейсмічними властивостями – 2. Відповідно, сейсмічність будівельного майданчику – до 6 балів. Оскільки вимоги розділу 8, п. 8.4 ДБН В.1.1.12:2014 [4] (спеціальні антисейсмічні вимоги до мостових споруд) розповсюджуються на мостові споруди у разі сейсмічності будівельного майданчика 7 балів і вище (див. п. 23.2 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1]), у випадку проектування капітального ремонту мостової споруди особливих вимог до проектних рішень щодо сейсмостійкості не висувається.

4.1.2 Збір навантажень на споруду для аналітичного розрахунку за 1-ю групою граничних станів

Кількість розрахункових смуг навантаження А-15 визначаємо згідно з п. 8.3.4 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] шляхом ділення габариту проїзду (8,0 м) на 3,5 м та заокругленням до цілого: $8,0 \text{ м} / 3,5 \text{ м} = 2,28 = 2$ розрахункових смуги. Кількість розрахункових смуг (2) рівна кількості проектних смуг руху (2) згідно з умовами задачі. Таким чином, додаткової смуги руху на мостовій споруді не передбачається.

Згідно з вимогами норм розташування осей смуг розподілених впливів АК (відстань між осями у перерізі) має бути не менше 3 м (див. п. 3.7.1). Через невеликий габарит проїзної частини мостової споруди у перерізі прийнято рішення про симетричне розташування навантажень на відстані в осях 3,5 м, що задовольняє вимоги чинних норм [1]. Згідно з вимогами до контрольної роботи для навантаження АК вказуємо поперечник із завантаженням усіх (тобто, двох) розрахункових смуг.

Для навантаження НК прийняте невідгідне місце розташування у перерізі поблизу тротуарних конструкцій на допустимій відстані від осі екіпажу до тротуарного підвищення – 2,65 м (не ближче 1,75 м), див. п. 3.7.2.

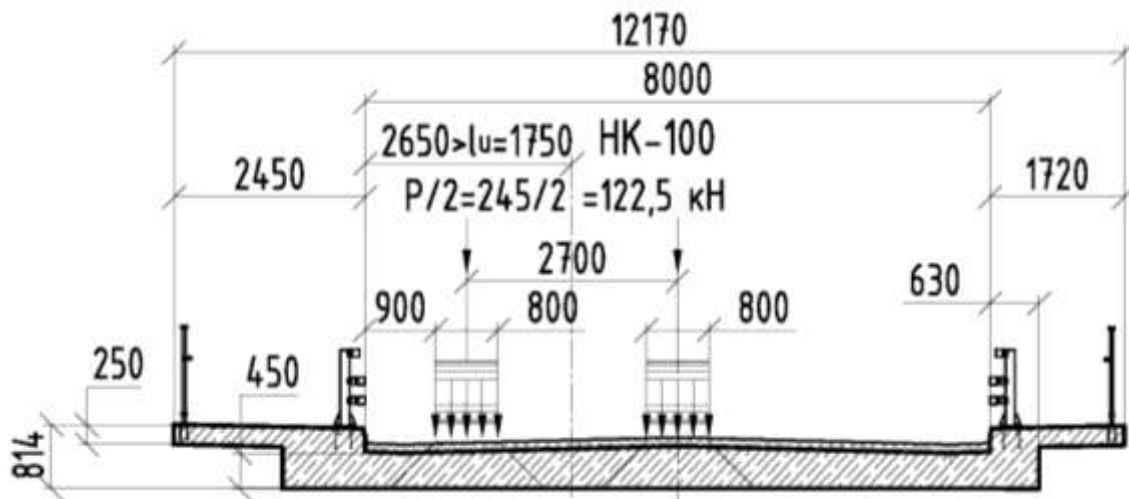
Для дороги загального користування державного значення Р-17 (3-я категорія), на якій знаходиться мостова споруда, навантаження НК буде НК-100, а АК – А-15.

Схеми прикладання тимчасових колісних впливів екіпажу НК-100 та смугового впливу А-15 показані на рис. 4.3; 4.4; 4.5.

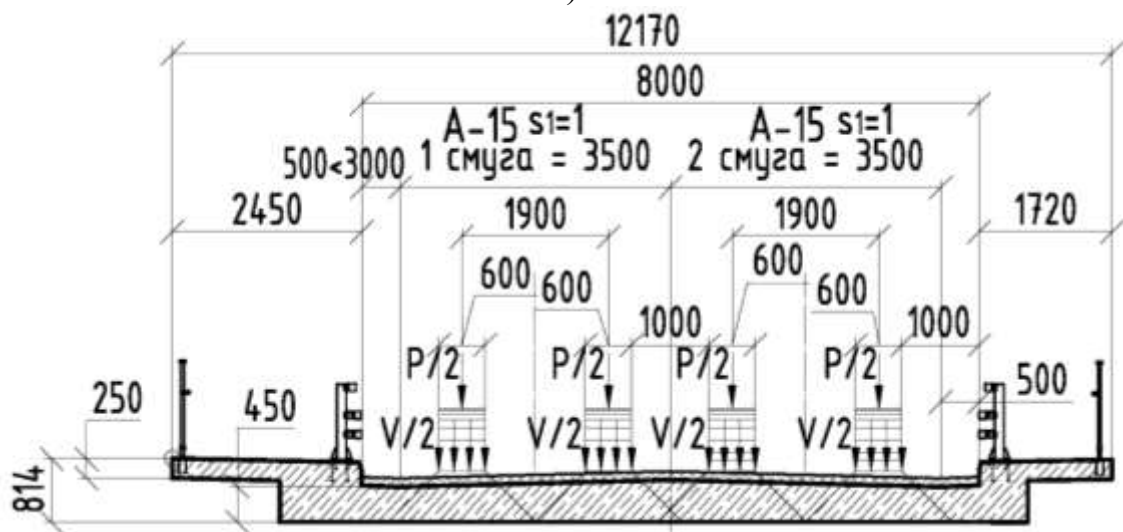
Рисунки 4.3–4.5 рекомендуються до відображення на графічній частині контрольної роботи у масштабі 1:50.

А) Опис розрахункової схеми прогонової будови в межах проїзної частини.

Згідно з індивідуальним завданням розглядається двоугонова монолітна ребриста плита в осях «0-1-2», розрахунковими прогонами $l_{01} = l_{02} = 5,68 \text{ м}$, яка обпирається на берегові опори по осях «0» та «2» та проміжну опору по осі «1». Товщина плитної частини – 450 ... 540 мм.



а)



б)

Рисунок 4.3 – Поперечник мостової споруди під дією тимчасового навантаження: а – НК-100, б – А-15

В бік запасу для розрахунків приймається мінімальна товщина $h = 450 \text{ мм}$ (рис. 4.3). Потовщення, яке виникає для забезпечення водовідвідної розуклонки враховується коефіцієнтом надійності.

Згідно з прийнятими проектними рішеннями на прогонову будову мостової споруди впливають постійні і тимчасові навантаження.

Постійні навантаження (власна вага прогонової будови, вага перильного та бар'єрного огороження, конструкцій асфальтобетонного покриття товщиною 110 мм). Згідно з завданням плита прогонової будови – монолітна, без попереднього напруження густиною $2,5 \text{ т/м}^3$.

Також на мостову споруду впливають тимчасові навантаження від рухомого складу, що прийняті відповідно до ДБН В.1.2-15:2009 «Мости та труби. Навантаження та впливи» [1].

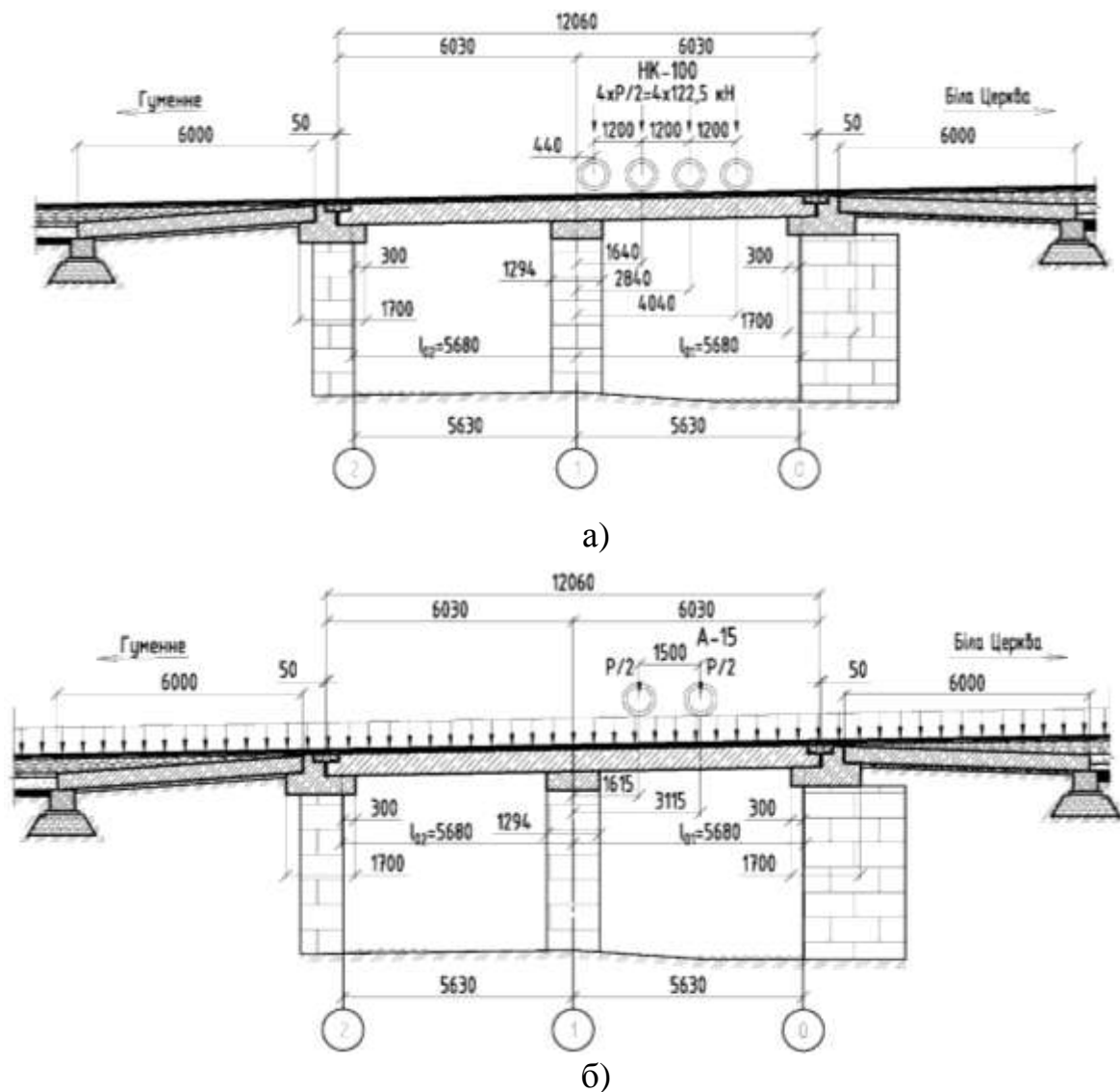


Рисунок 4.4 – Схема мостової споруди для розрахунку прогонової будови після капітального ремонту під дією тимчасового навантаження:
а – НК-100, б – А-15

Тимчасові рухомі впливи складаються з навантаження на проїзну частину за моделлю 1 та 2 (відповідно, А-15 та НК-100) та тимчасового навантаження на тротуарну частину від натопту людей, яке складає 3,92 кПа.

Крім того, на споруду чинять вплив кліматичні навантаження – температурні, вітрові та інші.

Б) Коефіцієнти надійності

Згідно з ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [3], мостова споруда віднесена до класу наслідків (відповідальності) СС-2 (середні наслідки). Клас наслідків за ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [7] – II (мости, що не віднесені до I та III рівня відповідальності).

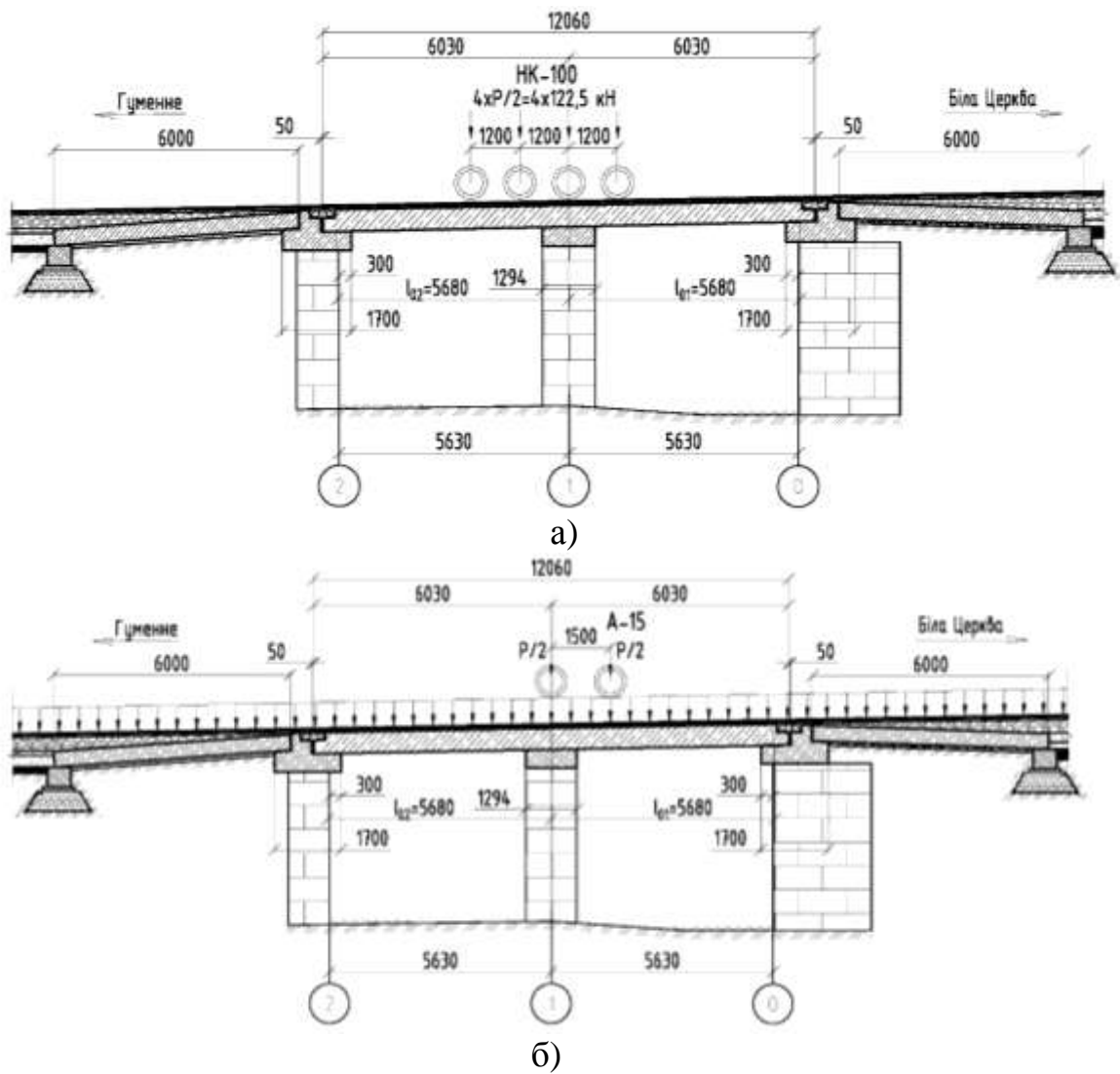


Рисунок 4.5 – Схема мостової споруди для розрахунку проміжної опори по осі «1» після капітального ремонту під дією тимчасового навантаження: а – НК-100, б – А-15

Виконуючи розрахунки основних несучих конструкцій (клас А), слід враховувати коефіцієнт надійності за відповідальністю $\gamma_r = 1,00$ за табл. 4.1 ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [7].

В) Методика виконання аналітичних розрахунків

Аналіз напружено-деформованого стану будівельних конструкцій мостової споруди доводить, що, виходячи з симетрії, прогонові будови в осях «0-1» та «1-2» завантажені однаково. Тому, надалі, розглядаємо варіант прогонового завантаження в осях «0-1». За лініями впливу з геометричних міркувань навантаження від колісних треків тимчасового навантаження за моделями 1 і 2 - А-15 та НК-100 розподіляються на смуги плити, відповідно, 1,8 м та 1,6 м. В бік запасу міцності умовно приймаємо розподіл вказаних корисних навантажень на смугу шириною 1 м з знижувальними коефі-

цієнтами для навантаження НК-100 $K_{НК-100} = 1/1,8 = 0,55 \Rightarrow 0,7$, для А-15 $K_{А-15} = 1/1,6 = 0,625 \Rightarrow 0,8$. Отже, надалі, розглядаємо розрахункову смугу плити шириною 1 м.

Г) Постійні впливи на умовну смугу плити в межах проїзної частини Розрахункові та нормативні впливи на мостову споруду в осях «1-3»:

- власна вага умовної смуги плити товщиною 450 мм шириною 1 м на 1 м.п. довжини, нормативне значення:
 $q_{1n} = 0,45 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot 10 = 11,25$ (кН / м.п.), розрахункове значення
 $q_{1p} = q_{1n} \cdot \gamma_f = 11,25 \cdot 1,25 = 14,06$ (кН / м.п.), (де $\gamma_f = 1,25$, табл. 3.5 або табл. 6.2 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1]);

- рівномірно розподілене навантаження від тиску дорожнього покриття (асфальтобетон середньою товщиною від 110 мм, разом з гідроізоляцією з вантажної ширини $b = 1$ м, нормативне значення:
 $q_{2n} = 1 \cdot 0,11 \cdot 1 \cdot 2,45 \cdot 10 = 2,7$ (кН / м.п.), розрахункове значення:
 $q_{2p} = q_{2n} \cdot \gamma_f = 2,7 \cdot 2,0 = 5,4$ (кН / м.п.), (де $\gamma_f = 2,0$, табл. 6.2 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1]).

Загальне погонне навантаження від постійних впливів з вантажної ширини $b = 1$ м:

$$\text{Нормативне} \quad q_n = q_{1n} + q_{2n} = 11,25 + 2,7 = 14,0 \text{ (кН / м)}.$$

$$\text{Граничне} \quad q = q_{1p} + q_{2p} = 14,06 + 5,4 = 19,5 \text{ (кН / м)}.$$

Д) Тимчасові впливи на умовну смугу плити в межах проїзної частини за моделлю 1

Навантаження А-15 – двовісний візок з нормативним навантаженням на 1 вісь – $P_n = 9,81 \cdot 15 = 147,15$ (кН) + смуга рівномірно розподіленого навантаження на $V_n = 0,98 \cdot 15 = 14,7$ (кН / м) по двох смугах під колесами. Навантаження від тимчасового впливу А-15 ($\gamma_f = 1,5$, $1 + \mu = 1,3$) на 1 колесо – $(P_n / 2) \cdot (1 + \mu) \cdot \gamma_f = (147,15 / 2) \cdot 1,3 \cdot 1,5 = 143,5$ (кН) та смуга рівномірно розподіленого навантаження $(V_n / 2) \cdot \gamma_f = (14,7 / 2) \cdot 1,5 = 11,03$ (кН / м). Оскільки відстань між тандемами А-15 має бути не менше 20 м, що перевищує довжину мостової споруди, у розрахунковий прогін мосту потрапляє 1 розрахунковий тандем. Інтенсивність зосереджених впливів, що припадають на смугу шириною 1 м, дорівнює:

$$N_{А-15} = (P_n / 2) \cdot (1 + \mu) \cdot \gamma_f \cdot K_{А-15} = 143,5 \cdot 0,8 = 114,8 \text{ (кН)}, \text{ частина розподілених (смугових) впливів, що припадає на розрахункову смугу,}$$

$$v_{А-15} = (V_n / 2) \cdot \gamma_f \cdot K_{А-15} = 11,03 \cdot 0,8 = 8,83 \text{ (кН / м)}.$$

Е) Тимчасові впливи на умовну смугу плити в межах проїзної частини за моделлю 2

- навантаження НК-100 – чотиривісний візок з нормативним навантаженням на 1 вісь $P_n = 245 \text{ кН}$ з коефіцієнтом надійності $\gamma_f = 1,0$. Навантаження від тимчасового впливу НК-100 на одне колесо, враховуючи динамічний коефіцієнт, $1 + \mu = 1$ (табл. 17.2 ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1]), $P_n / 2 \cdot (1 + \mu) \cdot \gamma_f = 245 / 2 \cdot 1 \cdot 1 = 122,5 \text{ (кН)}$. Зосереджений вплив на умовну смугу плити шириною 1 м

$$N_{\text{НК-100}} = (P_n / 2) \cdot (1 + \mu) \cdot \gamma_f \cdot K_{\text{НК-100}} = 122,5 \cdot 0,7 = 85,75 \text{ (кН)}.$$

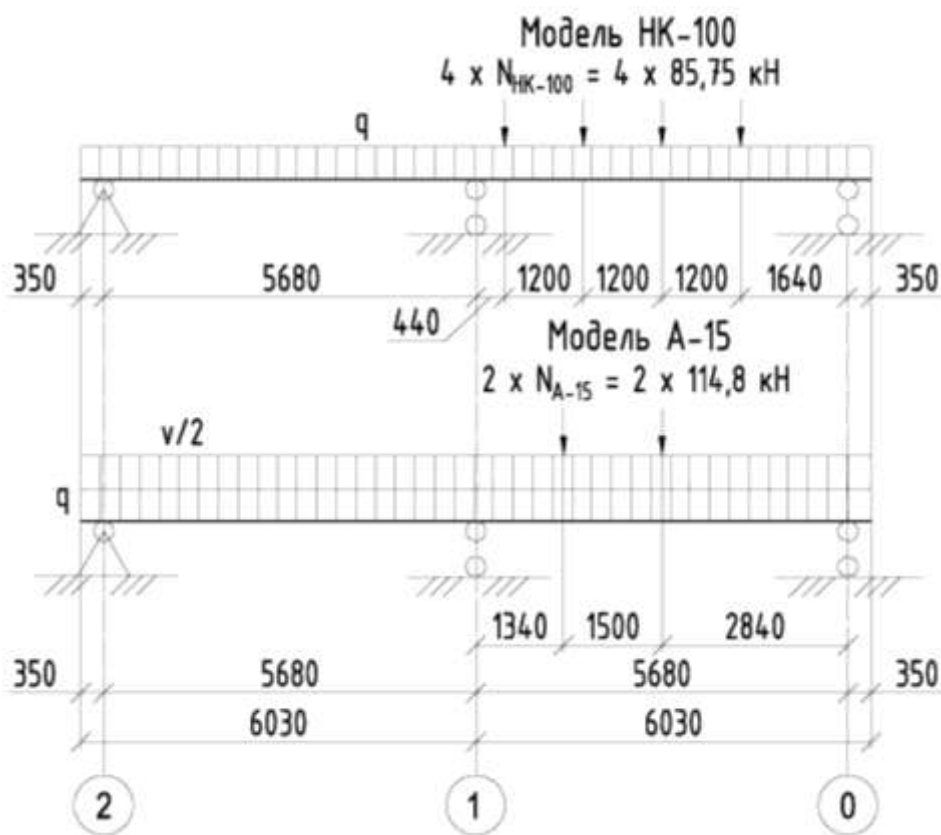
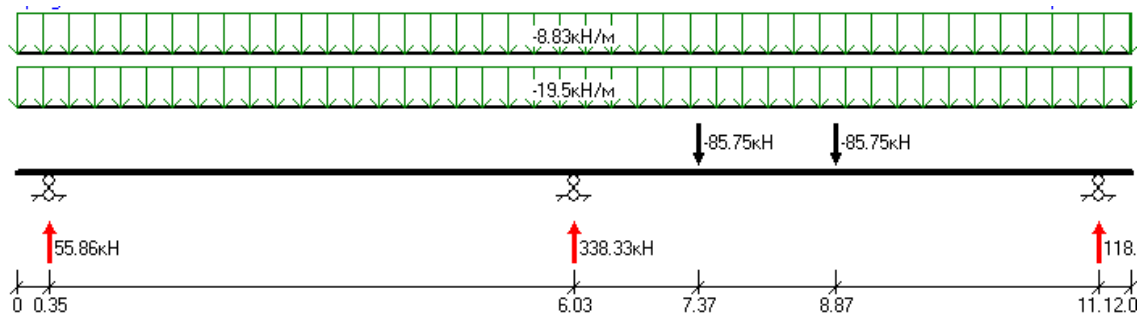


Рисунок 4.6 – Розрахункові схеми фрагмента прогонової плити в осях «0-2» під дією тимчасових впливів НК-100 та А-15

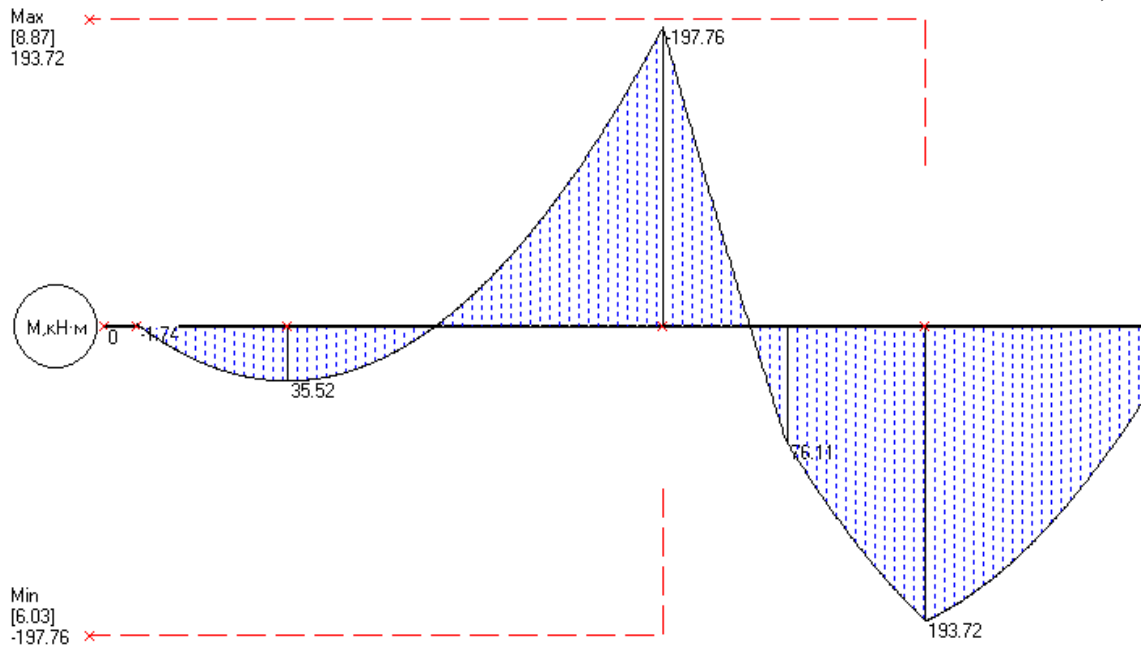
4.1.3 Побудова епюр внутрішніх силових факторів

Розглядається фрагмент плити умовною шириною $b = 1 \text{ м}$, який являє собою один раз статично невизначену балку прямокутного перерізу на трьох опорах. В бік запасу прийнято, що балка умовно шарнірно обперта по опорах.

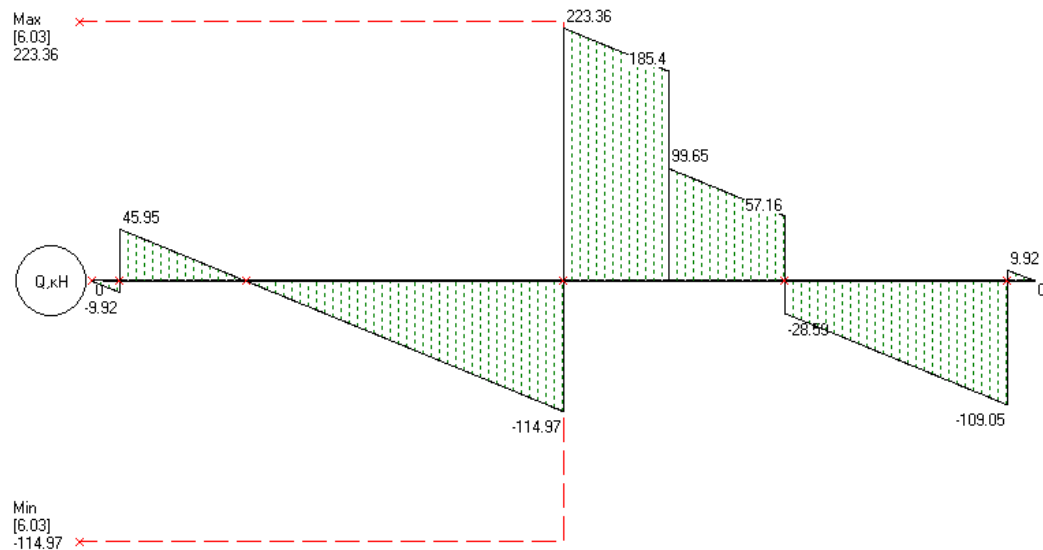
Епюри згинальних моментів та поперечних сил від розрахункових (граничних) значень навантажень показані на рис. 4.7 та на рис. 4.8.



a)



б)



в)

Рисунок 4.7 – Розрахунковий прогін найбільш навантаженої умовної балки шириною 1 м під дією тимчасового впливу А-15 (модель 1): а – розрахункова схема; б – епюра згинальних моментів, $\text{kN} \cdot \text{m}$ в – епюра поперечних сил, kN

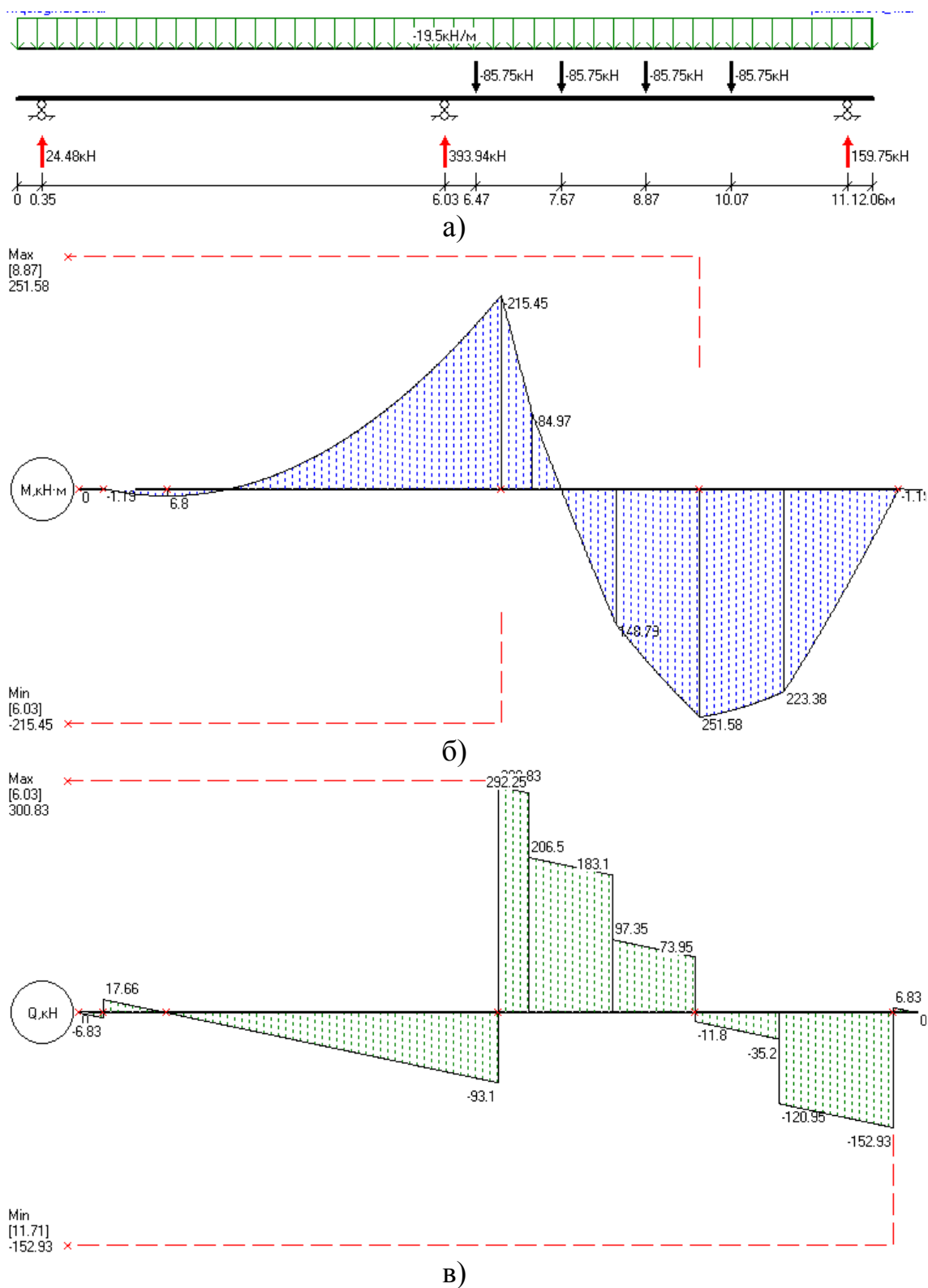


Рисунок 4.8 – Розрахунковий прогін найбільш навантаженої умовної балки шириною 1 м під дією тимчасового впливу НК-100 (модель 2): а – розрахункова схема; б – епюра згинальних моментів, $\text{kN}\cdot\text{m}$ в – епюра поперечних сил, kN

Найбільший та найменший згинальні моменти від граничних (розрахункових) навантажень складає: при тимчасовому навантаженні НК-100: $M_{НК-100}^{\max} = 251,58 \text{ кН}\cdot\text{м}$; $M_{НК-100}^{\min} = -215,45 \text{ кН}\cdot\text{м}$ гранична поперечна сила дорівнює $Q_{НК-100}^{\max} = 292,25 \text{ кН}$. При тимчасовому навантаженні А-15: $M_{А-15}^{\max} = 193,72 \text{ кН}\cdot\text{м}$; $M_{А-15}^{\min} = -197,76 \text{ кН}\cdot\text{м}$; $Q_{А-15}^{\max} = 223,36 \text{ кН}$.

Оскільки $M_{НК-100}^{\max} > M_{А-15}^{\max}$, $|M_{НК-100}^{\min}| > |M_{А-15}^{\min}|$, $Q_{НК-100}^{\max} > Q_{А-15}^{\max}$, подальші розрахунки для перевірки граничних станів першої групи ведемо тільки за тимчасовим впливом НК-100 як більш невідповідним.

4.1.4 Збір навантажень на споруду для розрахунку за 2-ю групою граничних станів

Розрахунок деформацій проєктованої прогонової плити мостової споруди слід виконувати за методикою нормативу ДСТУ Б В.1.2-3:2006 «Прогини і переміщення» [6].

Деформації розрахункового фрагмента плити (розрахунок за другою групою граничних станів) визначаємо за експлуатаційними значеннями постійних та довготривалих навантажень. Оскільки навантаження НК-100 враховується тільки при розрахунках за граничними станами першої групи, експлуатаційний тимчасовий вплив визначаємо від навантажень А-15.

Навантаження А-15 – двовісний візок з нормативним навантаженням на 1 вісь – $P_n = 9,81 \cdot 15 = 147,15 \text{ (кН)}$ + смуга рівномірно розподіленого навантаження на $V_n = 0,98 \cdot 15 = 14,7 \text{ (кН / м)}$ по двох смугах під колесами. При розрахунку за другою групою граничних станів коефіцієнт γ_f не враховується. Тому навантаження від тимчасового впливу А-15 на 1 колесо – $(P_n / 2) \cdot (1 + \mu) = (147,15 / 2) \cdot 1,3 = 95,65 \text{ (кН)}$ та смуга рівномірно розподіленого навантаження $V_n / 2 = 14,7 / 2 = 7,35 \text{ (кН / м)}$. Приймаємо квазіпостійну складову тимчасового навантаження – 60% від нормативного значення з урахуванням понижувального коефіцієнта для А-15 $K_{А-15} = 0,8$. Звідки:

$$P_{n1} = 0,6 \cdot (P_n / 2) \cdot (1 + \mu) \cdot K_{А-15} = 0,6 \cdot 95,65 \cdot 0,8 = 45,91 \text{ (кН)}.$$

$$v_{n1} = 0,6 \cdot V_n / 2 \cdot K_{А-15} = 0,6 \cdot 7,35 \cdot 0,8 = 3,53 \text{ (кН / м)}.$$

Нормативне рівномірно розподілене постійне навантаження на розрахункову балку від дорожнього покриття та власної ваги балки $q_n = 14,0 \text{ кН / м}$.

Розрахункова схема, епюри згинальних моментів та поперечних сил від експлуатаційних постійних, квазіпостійних та тривалих впливів на мостовій споруді для розрахунку тріщиностійкості та деформацій показана на рис. 4.9.

Найбільший згинальний момент від експлуатаційних навантажень становить $M_{n, А-15} = 108,44 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

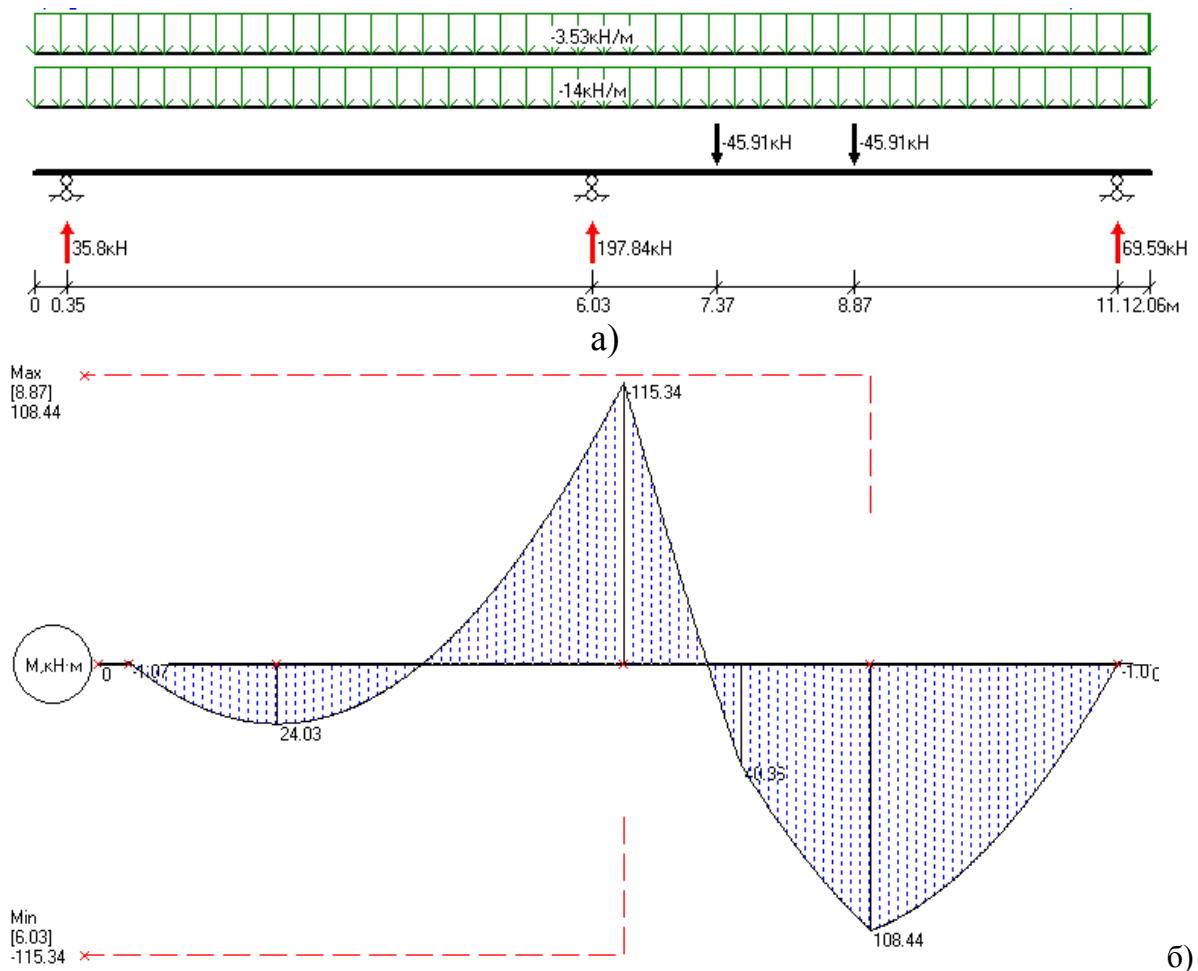


Рисунок 4.9 – Розрахунковий прогін умовної балки шириною 1 м під дією експлуатаційних впливів від постійних та квазіпостійних навантажень а – розрахункова схема; б – епюра згинальних моментів

4.2 Просторове моделювання мосту

Для уточненого моделювання напружено-деформованого стану мостів, шляхопроводів та інших автодорожніх споруд застосовують деталізоване скінченно-елементне моделювання. Водночас засобами стандартних програмних комплексів моделюється прогонова будова споруди, мостові опори тощо. У подальшому на прикладі мостової споруди, зазначеної у індивідуальному завданні (п. 4.1, А) виконаємо збір навантажень на просторову модель споруди.

Завдання є факультативним у разі виконання контрольної роботи та служить навчально-методичним матеріалом для здобувачів-дипломників освітньо-професійної програми «Автомобільні дороги, вулиці та дорожньо-транспортні споруди», які обрали для бакалаврського дипломного проєкту чи для магістерської кваліфікаційної роботи тему, пов'язану з моделюванням та розрахунком мостової споруди.

4.2.1 Опис розрахункової моделі споруди

Розрахунок напружено-деформованого стану мостової споруди через р. Роська у с. Якимівка Гайсинської ТГ Вінницької області після капітального ремонту на автомобільній дорозі загального користування державного значення Р-17 виконується шляхом деталізованого моделювання основних елементів у вигляді тривимірної моделі за допомогою програмного комплексу «Lira-САПР», що є комп'ютерною системою для структурного аналізу та проєктування.

Теоретичною основою використаної програми є метод скінченних елементів (МСЕ). Реалізований варіант МСЕ використовує принцип можливих переміщень (більш детально дивись інструкцію до програми).

Модель мостової споруди прийнята у вигляді просторової системи, що складається з пластинчатих елементів, які імітують роботу прогонової плити, консольних звисів тротуарної плити. З огляду на конструктивне рішення плита прогонової будови в осях «0-2» працює як одне ціле (за нерозрізною схемою). В бік запасу міцності зміна товщини плитної частини в проїзній частині поперечнику мостової споруди не враховувалася.

Товщина пластинчастих скінченних елементів плити проїзної частини в осях «0-2», згідно зі схемою поперечника (див. рис. 4.1), у запас прийнята сталюю, 450 мм, що моделюють роботу тротуарної плити – 770 мм. Товщина пластинчастих елементів консольного звису тротуарної частини та технологічного проходу – 250 мм.

Характеристики пластинчастих елементів моделі. Густина для збору навантажень $R_0 = 2,500 \text{ т} / \text{м}^3$. Крок дискретизації пластинчастої моделі – 100×100 мм.

Асфальтобетонне покриття проїзної та пішохідної частин, гідроізоляція, бордюрне і бар'єрне огороження, поруччя, гідроізоляція змодельовані корисним навантаженням.

4.2.2 Збір навантажень на скінченно-елементну модель споруди

Навантаження та впливи на конструкції споруди, прийняті згідно з ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [1] та ДБН В.1.2-2-2006 «Навантаження і впливи. Норми проєктування» [2].

А) Постійні впливи

До постійних впливів на мостову споруди відносять той самий перелік навантажень, який наведено у п. 4.1.2,В), а, саме.

А.1) Власна вага монолітних залізобетонних конструкцій мостової споруди з коефіцієнтом надійності $\gamma_f = 1,25$ див. табл. 3.6 (або табл. 6.2 норм [1]) прикладається програмою автоматично відповідно до перерізів елементів. Потовщення плити на водовідвідну розуклонку враховано коефіцієнтом надійності.

А.2) Власна вага їздового полотна, або, правильніше, дорожнього покриття (асфальтобетон 110 мм згідно з індивідуальним завданням), наплавної гідроізоляції, а також, бордюрного огородження враховуємо з коефіцієнтом надійності $\gamma_f = 2,0$, див. табл. 3.6 (або табл. 6.2 норм [1]).

Тиск від асфальтобетонного покриття на проїзну частину (експлуатаційне значення): $q_{1n} = 0,11 \cdot 2,45 \cdot 10 = 2,7$ (кПа), граничний тиск:

$$q_1 = q_{1n} \cdot \gamma_f = 2,7 \cdot 2,0 = 5,4 \text{ (кПа)}.$$

А.3) Власна вага тонкостінного покриття тротуарів (в бік запасу прийнято асфальтобетон 50 мм, який, з часом, може бути укладений на тротуарах організацією, яка експлуатує мостову споруду). Експлуатаційне значення тиску: на тротуар $q_{2n} = 0,05 \cdot 2,45 \cdot 10 = 1,225$ (кПа), граничний тиск $q_2 = q_{2n} \cdot \gamma_f = 1,225 \cdot 2,0 = 2,45$ (кПа).

А.4) Власна вага металокопункцій бар'єрного огородження (довідкова маса за ДСТУ Б В.2.3-28:2011, табл. 1, – $q_{б,н} = 0,60$ кН / м) $q_{б,р} = q_{б,н} \cdot \gamma_f = 0,60 \cdot 1,25 = 0,75$ (кН / м).

Власна вага металокопункцій перильного огородження (довідкова маса $q_{п,н} = 0,50$ кН / м). У цьому та попередньому пунктах враховано коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_f = 1,25$; див. табл. 3.6 (або табл. 6.2 норм [1]) $q_{п,р} = q_{п,н} \cdot \gamma_f = 0,5 \cdot 1,25 = 0,63$ (кН / м).

Б) Тимчасові впливи від рухомого складу та пішоходів.

Б.1) Тимчасовий вплив на споруду за моделлю 1 – А-15 (два розрахункових візки $\gamma_f = 1,5$, динамічний коефіцієнт $1 + \mu = 1,3$). Кількість смуг навантажень було встановлено на попередньому етапі розрахунків (див. п. 4.1.2). Рухоме смугове навантаження прикладене, як змінна рухома динамічна складова умовно рівномірно розподілений тиск на 4 майданчиках $0,6 \times 0,2$ м, що улаштовані з кроком $1,5 \times 1,9$ м (рис. 4.10) з нормативною інтенсивністю

$$p_{A-15,n} = \frac{(P_n / 2) \cdot (1 + \mu)}{C \cdot B} = \frac{(147,5 / 2) \cdot 1,3}{0,2 \cdot 0,6} = 799 \text{ (кПа)}$$

та граничною величиною $p_{A-15} = p_{A-15,n} \cdot \gamma_f = 799 \cdot 1,5 = 1198$ (кПа).

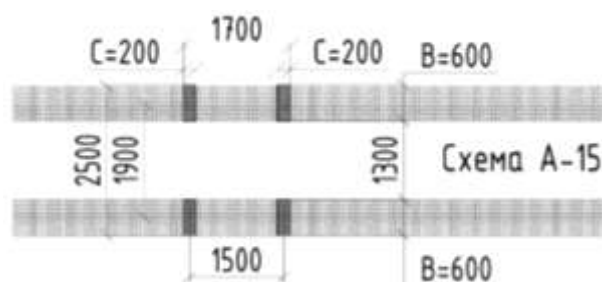


Рисунок 4.10 – Схема прикладання навантаження А-15 для просторової моделі

Смугове умовно статичне рівномірно розподілене навантаження по смузі, шириною 600 мм.

Нормативне значення

$$v_{A-15, n} = \frac{V_n / 2}{B} = \frac{14,7 / 2}{0,6} = 12,25 \text{ (кПа)}$$

розрахункове значення

$$v_{A-15} = v_{A-15, n} \cdot \gamma_f = 12,25 \cdot 1,5 = 18,38 \text{ (кПа)}$$

Найбільш не вигідне розрахункове розташування смуг v_{A-15} та плям P_{A-15} тисків для розрахунку проектованої монолітної плити мостової споруди показано на рис. 4.3, б) та рис. 4.4, б). Водночас колеса умовних візків по смугах умовно співвісні.

Б.2) Тимчасовий вплив на споруду за моделлю 2 – НК-100 прикладений як умовно рівномірно розподілений тиск на 8 майданчиків 0,8 x 0,2 м, що влаштовані з кроком 1,2 x 2,7 м (рис. 4.12), граничною інтенсивністю $P_{НК-100} = \frac{P / 2}{C \cdot B} = \frac{245 / 2}{0,2 \cdot 0,8} = 766 \text{ (кПа)}$.

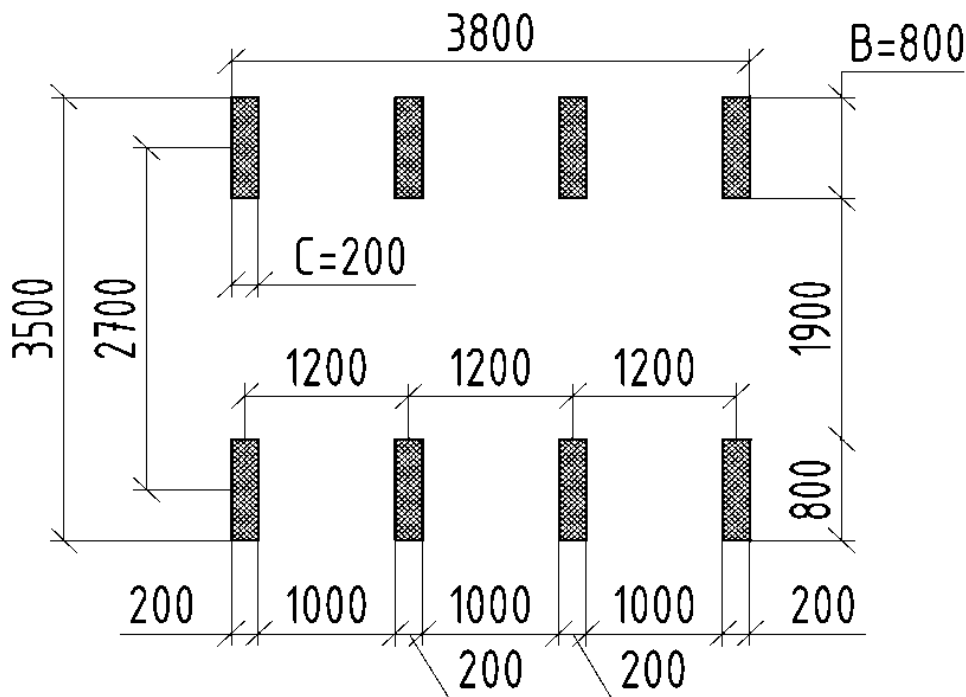


Рисунок 4.11 – Схема прикладання навантаження НК-100 для просторової моделі.

Найбільш не вигідне розрахункове розташування тисків $P_{НК-100}$ для розрахунку проектованої монолітної плити мостової споруди було показано на рис. 4.3, а) та рис. 4.4, а). При цьому, пара коліс другої осі візка НК-100 – прикладається в середині прогону максимально близько до краю прогонової будови.

Б.3) Тимчасове навантаження від натовпу пішоходів (3,92 кПа, $\gamma_f = 1,4$). Експлуатаційне значення тиску $q_{3n} = 3,92 \text{ кПа}$, граничний тиск $q_3 = q_{3n} \cdot \gamma_f = 3,92 \cdot 1,4 = 5,5 \text{ (кПа)}$.

В) Кліматичні тимчасові впливи

В.1) Вітровий тиск для 2-го вітрового району згідно з [2] $q_{w,f} = 0,45 \text{ кПа}$.

В.2) Сніговий тиск для 4-го вітрового району згідно з [2] $q_{s,f} = 1,6 \text{ кПа}$ (не враховується разом з НК-100 чи А-15 як взаємно виключні, оскільки снігові намети загромождають проїзне полотно).

В.3) Товщина кірки ожеледі – 19 мм для 3-го ожеледного району згідно з [3] (не враховується разом з НК-100 чи А-15, як взаємно виключні).

Г) Граничні стани моделі.

При розрахунку за 1-ою групою граничних станів потрібно використовувати розрахункові навантаження, за 2-ою групою граничних станів – експлуатаційні.

Д) Скінченно-елементна модель під дією рухомого навантаження

Скінченно-елементні моделі мостової споруди для розрахунку прогнаної будови показані на рис. 4.12; 4.13 та 4.14.

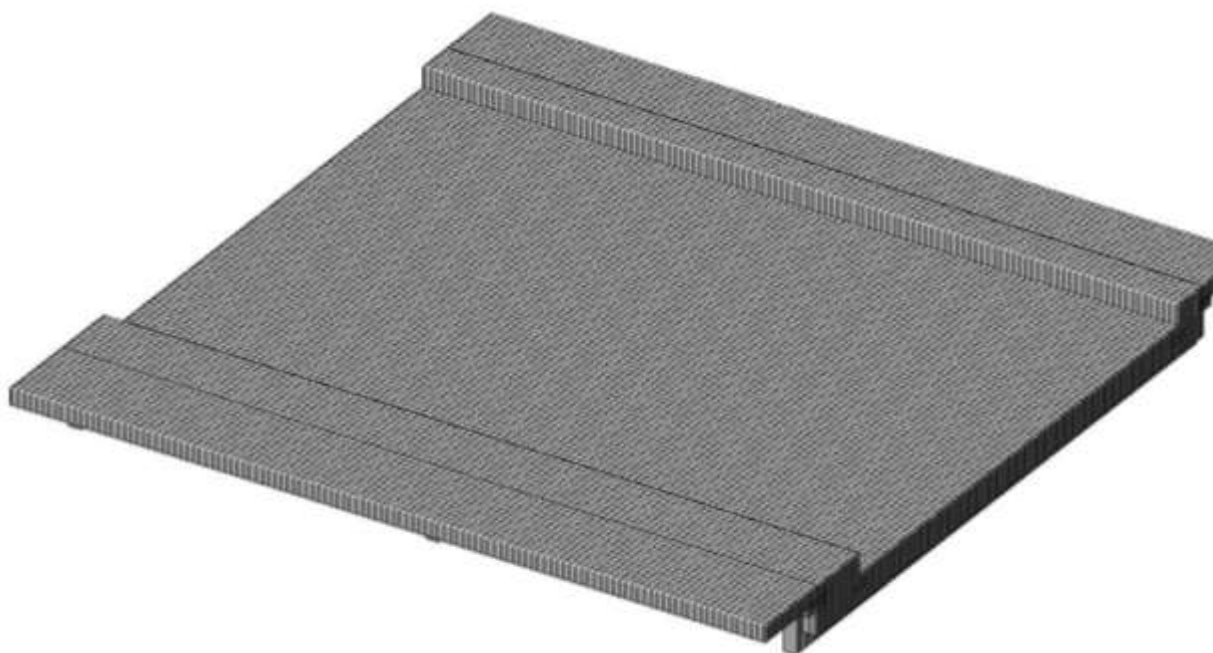


Рисунок 4.12 – Тривимірна візуалізація розрахункової моделі мостової споруди в осях «0-2» (вид згори)

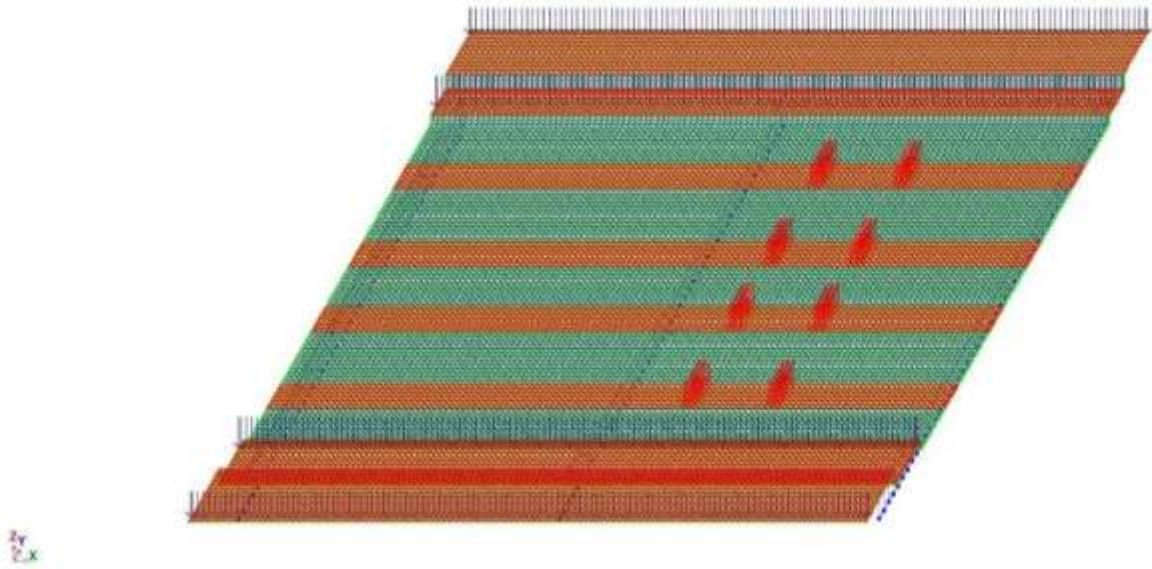


Рисунок 4.13 – Розрахункова модель мостової споруди з тимчасовим впливом А-15 (розглянуто одне з невігідних положень)

Червоним виділено тимчасові впливи від натовпу людей на тротуари, тиск від коліс візків та смуги умовного стрічкового впливу А-15.

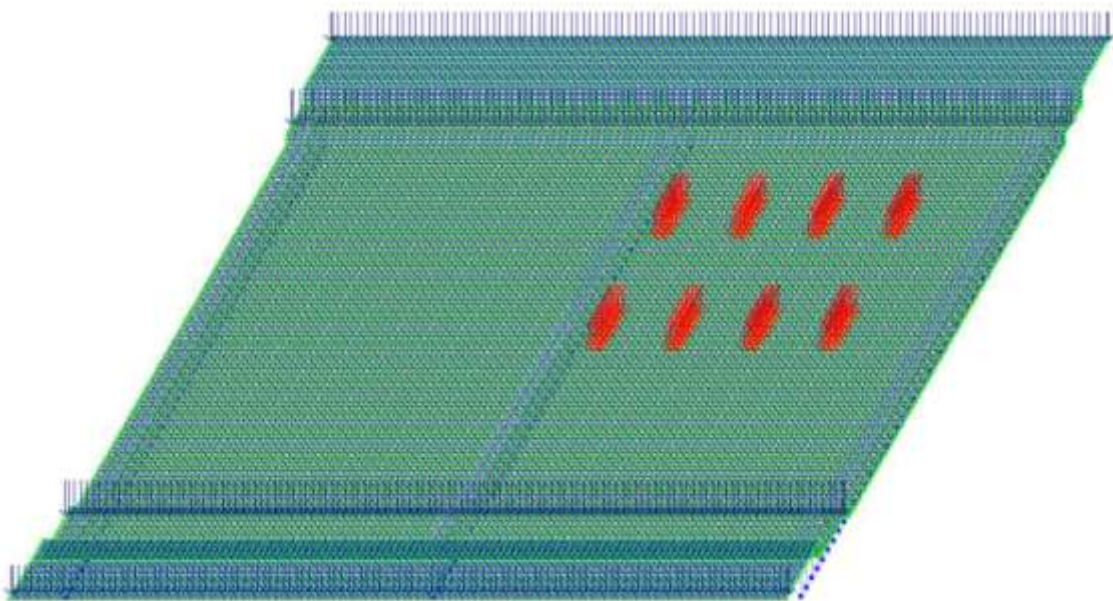


Рисунок 4.14 – Розрахункова модель мостової споруди з тимчасовим впливом НК-100

Червоним на рис. 4.13 та 4.14 виділено тимчасові впливи за моделлю 2 в одному з невігідних положень – тиск від коліс екіпажу НК-100. Навантаження від натовпу людей не прикладаються.

5 ВИСНОВКИ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

В рамках розглянутого прикладу до контрольної роботи з дисципліни Будівельні конструкції на тему «Збір навантажень на прогонову будову автодорожнього мосту від рухомого складу» було проаналізовано вихідні дані згідно з індивідуальним завданням, встановлено клас наслідків за нормами [3] та клас відповідальності за нормами [7] мостової споруди, визначено коефіцієнти надійності.

Згідно з геометричними параметрами мосту визначено постійні навантаження на розрахункову смугу проїзної частини мосту шириною 1 м, а також навантаження від пішоходів та колісних впливів із урахуванням перерозподілу зусиль між сусідніми фрагментами прогонової будови мосту з урахуванням коефіцієнтів надійності за навантаженнями для аналітичного розрахунку за методикою норм [1]. Від зазначених впливів для невідгінних розташувань колісних навантажень АК та НК було побудовано епюри згинальних моментів і поперечних сил для подальшого аналізу, що охоплює підбір армування.

Було виконано факультативне завдання зі збору постійних і тимчасових рухомих навантажень на просторову модель споруди, що потрібно для здобувачів-випускників, які обрали за бакалаврський дипломний проект чи магістерську кваліфікаційну роботу тему, пов'язану з аналізом напружено-деформованого стану мосту чи шляхопроводу.

Вказані розрахункові моделі навантажень можуть бути використані здобувачами для розрахунку міцності, жорсткості та тріщиностійкості мостових споруд та їх частин в рамках дисциплін «Дорожньо-транспортні вузли та споруди на шляхах сполучення», «Вишукування та проектування автомобільних доріг та штучних споруд», що вивчаються на четвертому курсі у бакалавраті, дисципліни «Залізобетонні конструкції спеціального призначення», що вивчається в магістратурі, а також, під час розробки бакалаврського кваліфікаційної проекту чи магістерської кваліфікаційної роботи, що присвячені проектуванню та оптимізації конструкцій мостів.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. [Чинний від 03-01-2010] Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 84 с. (Державні будівельні норми).
2. ДБН В.1.2-2-2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінбуд України, 2006. 71 с. (Державні будівельні норми).
3. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2018. 30 с. (Державні будівельні норми).
4. ДБН В 1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. [Чинний від 2014-10-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 110 с. (Державні будівельні норми).
5. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. Правила проектування. [Чинний від 2006-05-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. 217 с. (Державні будівельні норми).
6. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінбуд України, 2006. 10 с. (Національний стандарт України).
7. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування. [Чинний від 2009-11-11]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 217 с. (Державні будівельні норми).
8. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2015. 91 с. (Державні будівельні норми).
9. ДСТУ 9243.7:2023. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень. [Чинний від 2024-04-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2024. 48 с. (Національний стандарт України).
10. ДСТУ 9243.4:2023. Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної документації. [Чинний від 2023-07-03]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 56 с. (Національний стандарт України).
11. ДБН В.2.3-26:2024. Мости і труби. Проектування сталевих конструкцій. [Чинний від 2025-03-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2024. 15 с. (Державні будівельні норми).

12. Електронна газета Рубрика. URL: <https://rubryka.com/2022/03/23/u-chernigovi-rosijski-zagarbnyky-rozbombyly-avtomobilnyj-mist-shho-viv-do-kyyeva/> (дата звернення 10.02.2025).

13. Подільський мостовий перехід. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%85%D1%96%D0%B (дата звернення 10.02.2025).

14. Постанова КМУ від 15 грудня 2023 р. № 1318. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1318-2023-%D0%BF#n6> (дата звернення 10.02.2025).

15. Midas Civil. URL: <https://www.midasoft.com/bridge-library/civil/products/midascivil> (дата звернення 10.02.2025).

16. Engineering analysis + design software. URL: <https://www.lusas.com/products/index.html> (дата звернення 10.02.2025).

17. Bridge + Infrastructure Modeler. URL: <https://www.sofistik.com/en/products/bim-cad/bridge-infrastructure-modeler> (дата звернення 10.02.2025).

18. RM Bridge. URL: <https://www.globalum.ca/RM-Bridge/> (дата звернення 10.02.2025).

19. Bridge analysis, design and rating. URL: <https://www.csiamerica.com/products/csibridge> (дата звернення 10.02.2025).

20. SCAD Office. URL: <https://scadsoft.com/> (дата звернення 10.02.2025).

21. Розрахунок та проектування конструкцій. URL: <https://www.liraland.ua/> (дата звернення 10.02.2025).

ДОДАТОК А

Індивідуальне завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни
«Будівельні конструкції» на тему: «Збір навантажень на прогонову будову
автодорожнього мосту від рухомого складу»

Таблиця А.1

№ варіанта	Тип будови (2)	Перешкода (3)	Населений пункт (4)	Область (5)	Статус будівництва (6)
1	2	3	4	5	6
1	міст	річка Сіб	м. Липовець	Вінницька	Кап. ремонт
2	міст	річка Сібок	с. Уланів	Вінницька	Реконструкція
3	шляхопровід	залізниця	м. Калинівка	Вінницька	Нове будівництво
4	шляхопровід	автодорога	с. Лука Барська	Вінницька	Кап. ремонт
5	міст	річка Тетерів	м. Житомир	Житомирська	Реконструкція
6	міст	річка Тетерів	м. Коростишів	Житомирська	Нове будівництво
7	шляхопровід	залізниця	м. Коростень	Житомирська	Кап. ремонт
8	шляхопровід	автодорога	с. Андріївка	Житомирська	Реконструкція
9	міст	річка Серет	м. Тернопіль	Тернопільська	Нове будівництво
10	міст	річка Гнізна	м. Збараж	Тернопільська	Кап. ремонт
11	шляхопровід	залізниця	м. Зборів	Тернопільська	Реконструкція
12	шляхопровід	автодорога	с. Кам'янка	Тернопільська	Нове будівництво
13	міст	річка Рокач	м. Буча	Київська	Кап. ремонт
14	міст	річка Супій	с. Свобода	Київська	Реконструкція
15	шляхопровід	залізниця	м. Фастів	Київська	Нове будівництво
16	шляхопровід	автодорога	с. Городище	Київська	Кап. ремонт
17	міст	річка Десна	с. Максим	Чернігівська	Реконструкція
18	міст	річка Білоус	с. Гучин	Чернігівська	Нове будівництво
19	шляхопровід	залізниця	м. Конотоп	Чернігівська	Кап. ремонт
20	шляхопровід	автодорога	м. Батурин	Чернігівська	Реконструкція
21	міст	річка Ворскла	м. Полтава	Полтавська	Нове будівництво
22	міст	річка Кустолове	с. Варварівка	Полтавська	Кап. ремонт
23	шляхопровід	залізниця	м. Кременчук	Полтавська	Реконструкція
24	шляхопровід	автодорога	м. Карлівка	Полтавська	Нове будівництво
25	міст	річка Горинь	с. Волошки	Рівненська	Кап. ремонт
26	міст	річка Устя	м. Городок	Рівненська	Реконструкція
27	шляхопровід	залізниця	с. Олександрія	Рівненська	Нове будівництво
28	шляхопровід	автодорога	с. Нагірне	Рівненська	Кап. ремонт
29	міст	річка Плоска	с. Водички	Хмельницька	Реконструкція
30	міст	річка П. Буг	м. Летичів	Хмельницька	Нове будівництво
31	шляхопровід	залізниця	м. Городок	Хмельницька	Реконструкція
32	шляхопровід	автодорога	с. Міцівці	Хмельницька	Нове будівництво

Продовження таблиці А.1

№ варіанта	Статус і категорія і автомобільної дороги (7)	Кількість смуг руху (8)	Кількість прольотів споруди (9)	Довжина прольотів в осях, м (10)	Ширина смуги руху, м (11)	Габарит тротуару, м (12)
1	7	8	9	10	11	12
1	загальноміська	2	1	12	3,75	3,0
2	районна (IV)	2	1	15	3,0	1,5
3	державна (III)	4	2	24	3,5	2,25
4	районна (IV)	4	3	30	3,25	1,5
5	магістральна (I)	4	3	30	3,75	3,0
6	районна (IV)	2	3	24	3,0	1,5
7	магістральна (I)	2	2	18	4,0	3,0
8	районна (IV)	2	3	15	3,3	1,5
9	державна (II)	4	1	12	3,75	3,0
10	державна (III)	4	2	24	3,5	2,25
11	загальноміська	2	2	9	3,5	3,0
12	державна (III)	2	1	30	3,5	2,25
13	магістральна (I)	4	1	24	3,75	3,0
14	районна (IV)	2	3	8	3,0	1,5
15	державна (III)	2	3	33	3,5	2,25
16	районна (IV)	4	1	27	3,0	1,5
17	державна (III)	2	2	18	3,5	2,25
18	магістральна (I)	4	2	12	3,75	3,0
19	державна (II)	4	1	10	3,75	2,25
20	загальноміська	2	3	8	3,5	2,25
21	загальноміська	2	4	6	3,5	3,0
22	районна (IV)	2	3	12	3,0	1,5
23	магістральна (I)	4	2	18	3,75	3,0
24	державна (III)	2	3	14	3,5	2,25
25	державна (III)	4	1	10	3,5	2,25
26	загальноміська	2	3	12	3,5	3,0
27	районна (IV)	2	4	14	3,0	1,5
28	районна (IV)	2	1	30	3,1	1,5
29	районна (IV)	2	2	18	3,0	1,5
30	загальноміська	4	3	24	3,5	2,25
31	загальноміська	2	2	18	3,5	2,25
32	районна (IV)	2	1	30	3,0	1,5

Кінець таблиці А.1

Тротуарний звис (консоль), м (13)	Тип проговонової будови (14)	Висота бордюру (15)	Параметри дорожнього одягу		Геометрія Наявність виражу та його радіус (18)
			Тип (16)	Товщина, мм (17)	
13	14	15	16	17	18
1,4	плита	180	жорсткий	120	Є, 240 м
0,9	плита	120	нежорсткий	110	Немає
1,2	ортотропна плита	200	жорсткий	130	Є, 400 м
1,1	ортотропна плита	150	нежорсткий	140	Є, 600 м
1,3	ортотропна плита	200	жорсткий	120	Немає
1,0	ортотропна плита	140	нежорсткий	120	Немає
1,4	ортотропна плита	190	жорсткий	140	Є, 260 м
1,25	плита	150	нежорсткий	135	Немає
1,35	плита	180	жорсткий	110	Є, 480 м
1,4	ортотропна плита	190	нежорсткий	120	Є, 620 м
1,3	плита	180	жорсткий	120	Немає
1,2	ортотропна плита	170	нежорсткий	140	Немає
1,25	ортотропна плита	180	жорсткий	115	Є, 320 м
0,9	плита	140	нежорсткий	135	Немає
1,0	ортотропна плита	150	жорсткий	110	Є, 800 м
1,0	ортотропна плита	145	нежорсткий	125	Є, 1200 м
1,35	ортотропна плита	160	жорсткий	115	Немає
1,3	плита	150	нежорсткий	135	Немає
1,25	плита	170	жорсткий	125	Є, 420 м
1,15	плита	160	нежорсткий	115	Немає
1,05	плита	165	жорсткий	125	Є, 650 м
0,9	плита	150	нежорсткий	110	Є, 290 м
1,4	ортотропна плита	180	жорсткий	115	Немає
1,45	плита	185	нежорсткий	120	Немає
1,25	плита	170	жорсткий	110	Є, 640 м
1,35	плита	160	нежорсткий	130	Немає
1,0	плита	140	жорсткий	110	Є, 630 м
0,95	ортотропна плита	140	нежорсткий	125	Є, 490 м
1,0	ортотропна плита	140	жорсткий	110	Немає
1,4	ортотропна плита	170	нежорсткий	125	Немає
1,25	ортотропна плита	170	жорсткий	125	Є, 1200 м
0,95	ортотропна плита	150	нежорсткий	110	Є, 1000 м

Електронне навчальне видання

**Володимир Олексійович Попов
Юрій Семенович Бікс**

**БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ
ЗБІР НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРОГОНОВУ БУДОВУ
АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТУ ВІД РУХОМОГО
СКЛАДУ**

Навчальний посібник

Рукопис оформив *В. Попов*

Редактор *В. Дружиніна*

Оригінал-макет виготовила *Т. Старічек*

Підписано до видання 07.11.2025 р.
Гарнітура Times New Roman.
Зам. № P2025-155.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
press.vntu.edu.ua;
E-mail: rvv.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.