

Міністерство освіти і науки України
Національний транспортний університет

КОТ ДМИТРО ВЛАДИСЛАВОВИЧ

УДК 624.21.012.45

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПРОЄКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ
ПЛИТИ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ З НЕЗНІМНИМИ ОПАЛУБКАМИ
НА ТРАНСПОРТНИХ СПОРУДАХ**

Спеціальність 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2025

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, професор
КОВАЛЬ Петро Миколайович,
Національна академія образотворчого мистецтва та
архітектури Міністерства освіти і науки України
(м. Київ), завідувач кафедри архітектурних
конструкцій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
КОВАЛЬЧУК Віталій Володимирович,
Інститут механічної інженерії та
транспорту Національного університету «Львівська
політехніка» Міністерства освіти і науки України
(м. Львів), професор кафедри залізничного
транспорту;

кандидат технічних наук, доцент
ДУБИК Олександр Миколайович,
Державний університет «Київський авіаційний
інститут» Міністерства освіти і науки України
(м. Київ), завідувач кафедри інфраструктури
авіаційного транспорту.

Захист відбудеться «16» вересня 2025 р. о 15:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 17.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. Михайла Бойчука, 42.

Автореферат розісланий «15» серпня 2025 р.

В. о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради
доктор економічних наук, професор



Олена ЛОЖАЧЕВСЬКА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зростання темпів транспортного будівництва в Україні вимагає освоєння та впровадження нових високоефективних технологій на базі науково-технічних досягнень з урахуванням умов ринку та перспектив його розвитку. Це, зі свого боку, потребує осучаснення наявних технологій зведення інженерних споруд з метою забезпечення їх міцності, стійкості, жорсткості, тріщиностійкості, надійності та довговічності несних конструкцій. Одним із сучасних підходів до спорудження збірно-монолітних конструкцій прогонових будов є використання незнімної опалубки, яку можна розглядати як один із заходів, спрямованих на досягнення необхідних конструктивних та технологічних параметрів, скорочення строків будівництва та покращення експлуатаційних характеристик транспортних споруд. Водночас традиційні методи спорудження збірно-монолітних конструкцій із використанням незнімної опалубки потребують значних конструктивних і матеріальних затрат та часу на виконання робіт, що призводить до суттєвих втрат і негативно впливає на експлуатаційні показники транспортних споруд.

Сьогодні в Україні відома обмежена кількість раціональних рішень прогонових будов транспортних споруд, які відповідають вимогам надійності та довговічності. Крім того, усі типові та індивідуальні проекти, що застосовуються нині, не розраховані на високий рівень навантаг відповідно до нових норм і реальних умов експлуатації. Це зумовлює необхідність внесення істотних змін до наявних або розроблення нових типів конструкцій, а також удосконалення технологій виготовлення та монтажу.

Наявні методи розрахунку залізобетонних плит проїзної частини з незнімними опалубками не повною мірою враховують конструктивні та матеріалознавчі чинники під час проєктування транспортних споруд з погляду їх міцності, тріщиностійкості та довговічності за дії навантаги.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливого науково-практичного завдання – удосконалення методу проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах автомобільних доріг з урахуванням конструктивних та матеріалознавчих параметрів за дії навантаги.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт Національного транспортного університету, зокрема за держбюджетною темою: «Розробка методичних рекомендацій із проєктування плит проїзної частини мостів із залізобетонною незнімною опалубкою та відповідної розрахунково-аналітичної системи» (ДР № 0113U003711).

Тема дисертації відповідає актуальним напрямам науково-технічної політики України у сфері управління експлуатаційною надійністю та довговічністю споруд і конструкцій, зокрема напрямам і завданням державної науково-технічної програми «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення методу проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах з урахуванням конструктивних та матеріалознавчих параметрів за дії навантаги.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі **завдання**:

- проаналізувати наукові дослідження, розробки та методи проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах;

- розробити розрахункові схеми та встановити аналітичні залежності для розрахунку залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах, що враховує конструктивні, матеріалознавчі параметри для їх ефективного проєктування;

- експериментально дослідити конструктивні та матеріалознавчі параметри натурних моделей залізобетонних плит проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах за дії навантаги та оцінити їхню міцність, тріщиностійкість і деформативність;

- розробити практичні рекомендації щодо застосування отриманого методу проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах з урахуванням конструктивних та матеріалознавчих параметрів за дії навантаги.

Об’єкт дослідження – процес сприйняття навантаги залізобетонною плитою проїзної частини з незнімною опалубкою.

Предмет дослідження – удосконалення методу проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах з урахуванням конструктивних та матеріалознавчих параметрів, що впливають на її міцність, тріщиностійкість і деформативність.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у дисертаційній роботі використано експериментальні дослідження з застосуванням традиційних методів вимірювання деформацій, методу електротензометрії, методу оптико-цифрової мікроскопії та методу цифрової кореляції зображень. Теоретичні дослідження базуються на методі розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами та методі скінчених елементів. Адекватність методу проєктування перевірялась шляхом порівняння результатів розрахунків із експериментальними вимірюваннями.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше представлено загальну блок-схему розрахунку залізобетонної плити проїзної частини з залізобетонними незнімними опалубками на транспортних спорудах;

- удосконалено метод проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою, що дозволяє оцінювати міцність, тріщиностійкість і деформативність таких конструкцій на транспортних спорудах за дії навантаги;

- вперше проведені експериментальні дослідження на натурних моделях зразків плит як незнімної залізобетонної опалубки, так і збірно-монолітних плит проїзної частини мостів;

– подальшого розвитку дістали методи: числові методи та підходи розв’язування задач теорії пружності й пластичності з використанням аналітичних функцій неперервних аргументів; розрахунок шаруватої плити проїзної частини з незнімною опалубкою за допомогою методу скінченних елементів; моделювання та розрахунок композитної шаруватої плити проїзної частини спільно з балками сталеві прогонової будови; розрахунок плити проїзної частини як елемента деформівної конструкції. Застосування цих методів дозволяє ефективніше розраховувати та проєктувати залізобетонну плиту проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах з урахуванням зазначених факторів.

Практичне значення одержаних результатів. У результаті проведення досліджень: 1) розроблено метод проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах за дії навантаг, який враховує конструктивні та матеріалознавчі параметри для оцінювання її міцності, тріщиностійкості та деформативності; 2) встановлено вимоги до розрахунку та проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою щодо конструкційних і матеріалознавчих характеристик; 3) запропоновано практичні рекомендації та методику розрахунку плит проїзної частини мостів із залізобетонною незнімною опалубкою, що дозволяють проєктувати їх як об’єднаний збірно-монолітний переріз, що значно підвищує ефективність використання ЗБНО; 4) розроблено авторську програму для розрахунку плит проїзної частини транспортних споруд із залізобетонною незнімною опалубкою, що підвищує продуктивність проєктних робіт при проєктуванні транспортних споруд.

Нові підходи, положення та результати досліджень були використані під час виконання науково-дослідної роботи МР В.2.3-0207915-862:2015 «Методичні рекомендації з проєктування плит проїзної частини мостів із залізобетонною незнімною опалубкою» для їх розробки та впровадження у транспортне будівництво. Уточнений метод, розроблений у рамках дисертаційної роботи, застосовувався під час виконання науково-дослідних робіт (номер держреєстрації 0113U003711) на кафедрі опору матеріалів і машинознавства НТУ.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія (освітні програми: «Мости і транспортні тунелі», «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів», «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів». Апробація основних теоретичних та практичних результатів дисертації на підприємствах та організаціях підтверджуються відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійним науковим дослідженням. Результати, викладені в роботі, отримані автором особисто. Зокрема, розроблено, досліджено та практично апробовано удосконалений метод проєктування залізобетонних плит проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах. Формулювання мети й завдань дисертації, планування експериментів та обговорення результатів виконано

спільно з науковим керівником. Усі основні результати дисертаційної роботи отримані самостійно.

Особистий внесок автора в працях, надрукованих у [1–7, 12], полягає в одержанні наукових результатів, викладених у цій роботі, зокрема:

- проаналізовано наукові дослідження, розробки та методи проєктування залізобетонних плит проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах [1, 3, 4];

- удосконалено метод проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою, що дозволяє оцінювати міцність, тріщиностійкість та деформативність таких конструкцій на транспортних спорудах за дії навантаги, з урахуванням аналітичних залежностей, а також конструктивних і матеріалознавчих параметрів [1, 5, 6, 11, 12];

- розроблено метод розрахунку залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах для її проєктування з оцінкою міцності, тріщиностійкості та деформативності за дії навантаги [1, 11];

- експериментально досліджено конструктивні та матеріалознавчі параметри, а також міцність, тріщиностійкість і деформативність залізобетонних плит проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах [1–3, 5–7, 8–10];

- розроблено практичні рекомендації з методу проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах з урахуванням конструктивних і матеріалознавчих параметрів за дії навантаги [1, 12].

Обґрунтованість та достовірність одержаних результатів роботи підтверджується: збіжністю теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень; достатнім обсягом експериментальних даних, отриманих з використанням сучасного лабораторного обладнання; апробацією результатів роботи під час виробничого впровадження.

Апробація результатів дослідження. Основні положення і результати дисертаційної роботи були представлені на наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету Національного транспортного університету № № 78–80 у 2022–2024 рр.; на Міжнародній конференції «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проєктуванні, будівництві та експлуатації об’єктів транспортної інфраструктури в рамках програми Велике будівництво» у 2022 р.; на Міжнародній науково-практичній конференції «Наука, освіта і суспільство: тенденції, виклики, перспективи» (м. Орхус (Данія), 2024 р.), в рамках Міжнародної науково-практичній конференції «Інноваційні підходи у відновленні транспортної інфраструктури в особливих умовах воєнного стану: виклики і перспективи» (НТУ, м. Київ, 2024 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 12 наукових працях, серед яких: 3 статті у фахових виданнях, 2 – у закордонних виданнях; 1 монографія, 1 державні методичні рекомендації; 5 тез доповідей у збірниках наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 278 сторінок, з них основного тексту – 208 сторінок. Дисертація містить 147 рисунків та 9 таблиць. Список використаних джерел налічує 114 найменувань та займає 14 сторінок. Додатки (5) розміщено на 70 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, розкрито зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами; визначено мету і завдання, об'єкт і предмет дослідження, охарактеризовано методи; окреслено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів; наведено відомості про апробацію і публікації результатів дослідження, а також про структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі** на основі літературного огляду здійснено аналіз наукових досліджень і розробок щодо проєктування залізобетонних плит проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах від дії навантаги.

Приведений аналіз наукових досліджень і розробок, з якого встановлено, що, незважаючи на широке застосування збірних елементів заводського виготовлення, для зведення плити проїзної частини необхідно застосовувати опалубку різних типів; при цьому кожен проєкт транспортної споруди з точки зору опалублювання плити проїзної частини є індивідуальним. Це породжує необхідність розробки детального проєктування опалублювальних конструкцій та процесів, вимагає додаткового часу як на проєктування, так і на монтаж опалубки та підтримуючих пристроїв; здійснення демонтажу опалубки затримується до набору бетоном плити певного рівня міцності, а також є необхідним в удосконаленні методу проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незмінними опалубками на транспортних спорудах від дії навантаги. Крім того, є необхідність перекриття транспортної артерії у випадку шляхопроводів, а у випадку мостів – влаштування дороговартісних риштувань або намівання острову. Позбутись цих недоліків дозволяє застосування незнімної опалубки, яке практикується достатньо тривалий період часу. Результати наявних досліджень щодо проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах з урахуванням наявного досвіду їх застосування свідчать про актуальність та необхідність проведення додаткових експериментальних та теоретичних досліджень. Загальний досвід застосування незнімної опалубки для монолітних залізобетонних плит у транспортному будівництві підтверджує економічність, ефективність та довговічність таких конструкцій. Використання незнімної опалубки для малих залізобетонних мостів з прольотами між балками до 1,2 м дозволяє зекономити до 2,5 % вартості влаштування конструкції, у випадку позакласних сталевих залізобетонних мостів з прольотами між балками до 4 м показник економії вартості складає від 8–15 %, в залежності від складності споруди та типу перешкоди.

Дослідженнями методів розрахунку на міцність, тріщиностійкість, деформативність залізобетонних плит проїзної частини транспортних спорудах від дії навантаги у свій час займалися: О. Є. Андрейків, А. Я. Барашиков, І. П. Бабяк, С. О. Бугаєвський, С. Ю. Беляєва, І. П. Гамеляк, В. Г. Дегтяр, О. М. Дубик, А. С. Городецький, Б. Г. Гнідець, Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, М. П. Коваль, М. М. Корнієв, Я. Д. Лівшиц, А. І. Лантух-Лященко, М. Р. Хархаліс, І. Ю. Мартинюк, К. В. Медведєв, А. В. Мішутін, А. М. Онищенко, Л. Л. Янчук, В. П. Снітко, Н. Є. Страхова, П. М. Сташук, О. С. Славінська, В. Г. Піскунов, О. В. Марчук, О. О. Рассказов, А. Є. Фаль, Д. М. Каплінський, Д. Й. Тарнопольський, І. В. Мельник, В. М. Трач, О. В. Шимановський, Е. Е. Gibshman, Н. W. Schreitr, M. Maleca та ін.

Проаналізовано наявні методи та заходи щодо розрахунку залізобетонних плит проїзної частини з незмінними опалубками за дії різних факторів. За результатами аналізу можна зробити висновок, що ці методи не повною мірою враховують особливості експлуатації та розрахункові параметри таких плит на транспортних спорудах. Для розроблення методики розрахунку плит проїзної частини із залізобетонною незнімною опалубкою слід звернути увагу на визначення зусиль у перерізах плити. Більшість існуючих способів визначення зусиль були розроблені для мостів із плоскими плитами відносно невеликої товщини (120–150 мм). Значна товщина монолітної плити (понад 200 мм), застосування незнімної опалубки та збільшення навантажень на прогонову будову змінюють характер перерозподілу зусиль у плиті проїзної частини. Отже, існує необхідність удосконалення методу проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах автомобільних доріг з урахуванням конструктивних і матеріалознавчих параметрів за дії навантаги.

У **другому розділі** наведено теоретичні аспекти розрахунку залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах. Розроблено розрахункові схеми та встановлено аналітичні залежності й конструктивні параметри для оцінки міцності, тріщиностійкості та деформативності таких плит за дії навантаги, що забезпечує удосконалення методу їх проєктування. Удосконалено метод проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою за показниками міцності та тріщиностійкості, що дозволяє проєктувати плити підвищеної міцності на стадії виготовлення та експлуатації. З метою вирішення поставлених завдань розроблено розрахункові схеми та аналітичні залежності, які враховують конструктивні та матеріалознавчі параметри для ефективного проєктування плит проїзної частини на транспортних спорудах.

Удосконалено блок-схему розрахунку системи «монолітна плита – незнімна опалубка» з урахуванням її сумісної роботи та стадійності зведення. Загальна блок-схема розрахунку залізобетонної збірно-монолітної конструкції прогонової будови моста наведена на рис. 1. Вихідними даними для розрахунку є: геометричні розміри конструкції – проліт, розміри поперечних перерізів на всіх етапах виготовлення конструкції плити проїзної частини з незмінними опалубками; характеристики матеріалів елементів залізобетонної плити

проїзної частини з незнімними опалубками та перерізу; навантаги на кожному етапі виготовлення конструкції; послідовність конструктивного формування конструкції – зміна перерізів та розрахункових схем.

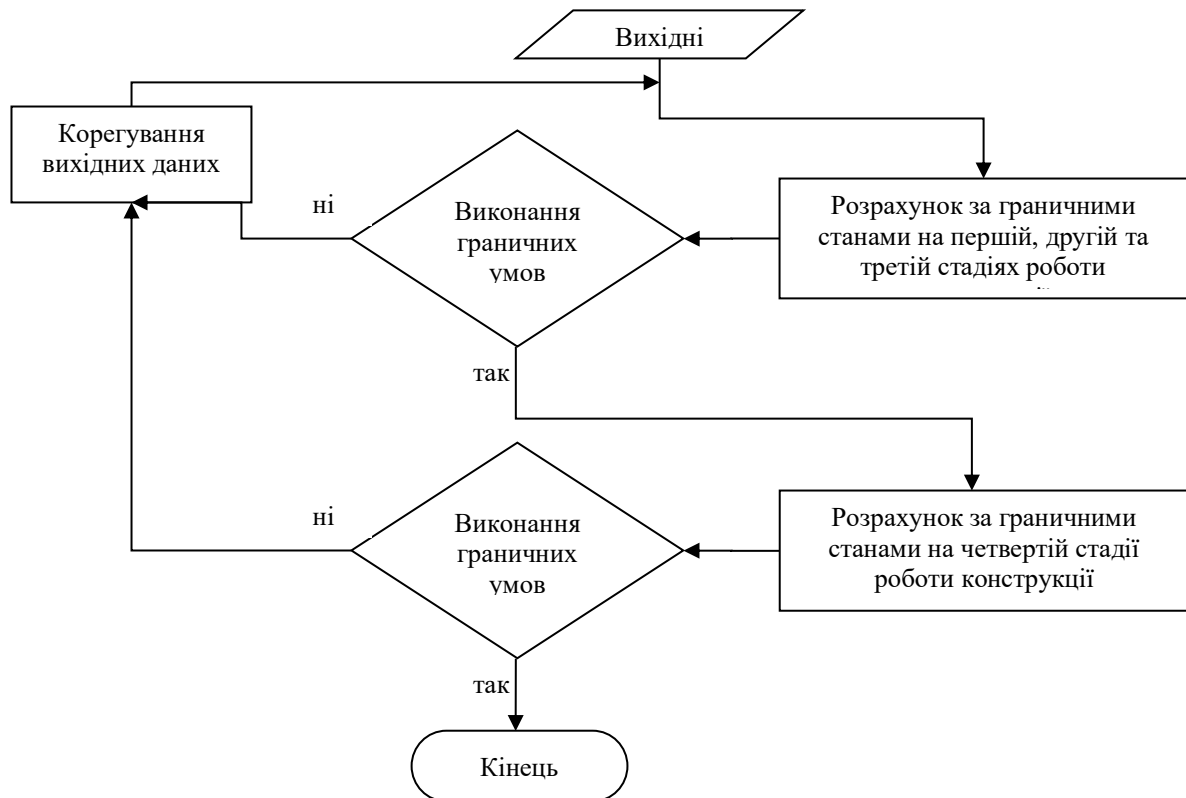


Рис. 1 Загальна блок-схема розрахунку залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах

Виходячи з постановки завдань дослідження, для розрахунку незнімної опалубки застосовано аналітичні залежності. На стадії спорудження плити проїзної частини розрахунки виконуються з урахуванням навантаги від ваги рухомої бетонної суміші. Використані аналітичні рішення базуються на відомих теоретичних положеннях, зокрема на роботах В. Г. Дегтяря, А. С. Городецького, Й. Й. Лучка, П. М. Ковалю, М. М. Корнієва, Я. Д. Лівшица, В. Г. Піскунова, О. В. Марчука та інших науковців.

Виконуються розрахунки на міцність нормальних та похилих перерізів, а також на тріщиностійкість. Розрахунки міцності нормальних перерізів незнімної опалубки виконуються за згинальним моментом. Розрахунок прямокутних перерізів (рис. 2) при $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_y$. При цьому має виконуватись умова:

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_{01} - a'_s) + \sigma_{pc} A'_p (h_0 - a'_p), \quad (1)$$

при цьому висоту стиснутої зони x слід визначати за формулою:

$$R_p A_p + R_s A_s - R_{sc} A'_s - \sigma_{pc} A'_p = R_b b x, \quad (2)$$

де: M – розрахунковий згинальний момент, кНм;
 R_b – розрахунковий опір бетону на стиск, МПа;
 b – розрахункова ширина плити, м;
 x – висота стисненої зони, м;
 h_0 – робоча висота перерізу, м;
 R_{sc} та σ_{pc} – розрахункові опори на стиск напруженої і ненапруженої арматури, МПа;
 A_s' та A_p' – переріз стиснутої напруженої і ненапруженої арматури, м²;
 a_s' та a_p' – захисний шар напруженої і ненапруженої арматури, м.
 R_s та R_p – розрахункові опори на розтяг напруженої і ненапруженої арматури, МПа;
 A_s та A_p – переріз розтягнутої напруженої і ненапруженої арматури, м².

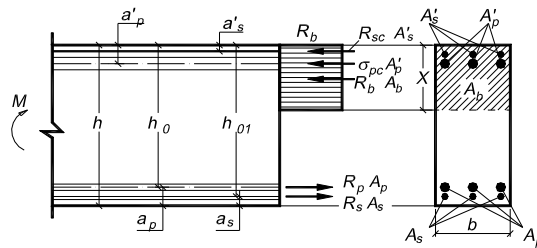


Рис. 2 Розрахункова схема зусиль і епюра напружень у перерізі, нормальному до поздовжньої осі залізобетонного згинаного елемента при розрахунку його міцності

Тут та в інших формулах допускається висоту h_0 приймати від точки прикладення рівнодійної зусилля в арматурі A_p та A_s . За відсутності напружуваної арматури $h_0 = h_{01}$. Розрахунок таврових, двотаврових і коробчатих перерізів із плитою в стиснутій зоні при $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_y$ необхідно виконувати залежно від розташування границі стиснутої зони:

а) якщо границя стиснутої зони проходить у плиті (рис. 3, а), тобто виконується умова:

$$R_p A_p + R_s A_s < R_b b_f' x + R_{sc} A_s' + \sigma_{pc} A_p', \quad (3)$$

розрахунок слід виконувати як для прямокутного перерізу шириною b_f' ;

б) якщо границя стиснутої зони проходить у ребрі (рис. 3, б), тобто умова (3) не виконується, розрахунок слід виконувати, виходячи з умови:

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_b (b_f' - b) h_f' (h_0 - 0.5h_f') + R_{sc} A_s' (h_{01} - a_s') + \sigma_{pc} A_p' (h_0 - a_p'), \quad (4)$$

при цьому висоту стиснутої зони бетону x необхідно визначати за формулою:

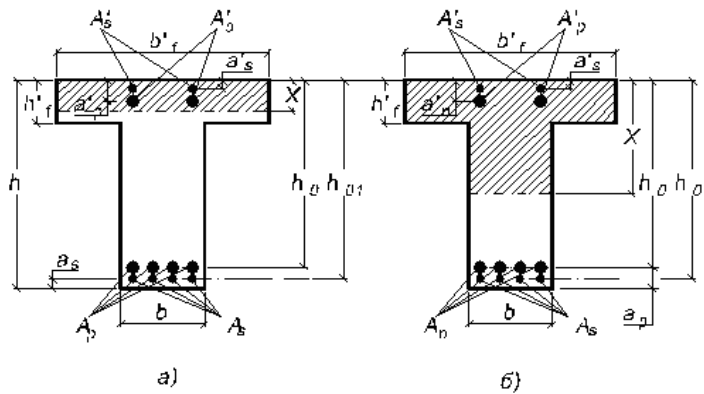
$$R_p A_p + R_s A_s - R_{sc} A'_s - \sigma_{pc} A'_p = R_b b x + R_b (b'_f - b) h'_f, \quad (5)$$

де: b'_f – розрахункова ширина верхньої грані, м;
 h'_f – розрахункова висота верхньої грані, м.

Розрахунки на міцність похилих перерізів незнімної опалубки за поперечною силою необхідно виконувати для залізобетонних елементів із поперечною арматурою, при цьому має бути дотримана умова, що забезпечує міцність стиснутого бетону між нахиленими тріщинами:

$$Q \leq 0,3 \varphi_{w1} \varphi_{b1} R_b b h_0, \quad (6)$$

де: Q – поперечна сила на відстані не ближче h_0 від осі опори, кН;
 φ_{w1} – коефіцієнт, що враховує положення похилих стрижнів;
 φ_{b1} – емпіричний коефіцієнт врахування роботи бетону.



а – при розташуванні границі стиснутої зони в плиті; б – при розташуванні границі стиснутої зони в ребрі

Рис. 3 Розрахункова схема форми стиснутої зони в перерізах залізобетонних елементів із плитою в стиснутій зоні

Коефіцієнт φ_{b1} визначається за формулою:

$$\varphi_{b1} = 1 - 0,01 R_b. \quad (7)$$

Розрахунок нахилених перерізів елементів з поперечною арматурою на дію поперечної сили (рис. 4) необхідно виконувати з умов:

– для елементів із ненапруженою арматурою:

$$Q \leq \sum R_{sw} A_{si} \sin \alpha + \sum R_{sw} A_{sw} + Q_b, \quad (8)$$

де: R_{sw} – розрахунковий опір на розтяг похилої та нормальної арматури, МПа;
 A_{si} та A_{sw} – переріз розтягнутої похилої та нормальної арматури, м²;
 Q_b – поперечне зусилля, що передається на бетон, кН;

– для елементів із напруженою арматурою за наявності ненапружуваних хомутів:

$$Q \leq \sum R_{pw} A_{pi} \sin \alpha + \sum R_{sw} A_{sw} + \sum R_{pw} A_{pw} + Q_b, \quad (9)$$

де: $\sum R_{sw} A_{si} \sin \alpha$, $\sum R_{sw} A_{sw}$ – суми проєкцій зусиль усієї перетнутої ненапруженої (похилої і нормальної до поздовжньої осі елемента) арматури, МПа;

$\sum R_{pw} A_{pi} \sin \alpha$, $\sum R_{pw} A_{pw}$ – те ж, в напруженій арматурі, що має зчеплення з бетоном, МПа;

R_{sw} , R_{pw} – розрахункові опори ненапруженої і напруженої арматури, МПа.

α – кут похилих стрижнів, град.

Поперечне зусилля Q_b , яке передається на бетон стиснутої зони над кінцем похилого перерізу й обумовлене формулою:

$$Q_b = \frac{2R_{bt}bh_0^2}{c} \leq mR_{bt}bh_0, \quad (10)$$

де: R_{bt} – розрахунковий опір на розтяг бетону, МПа;

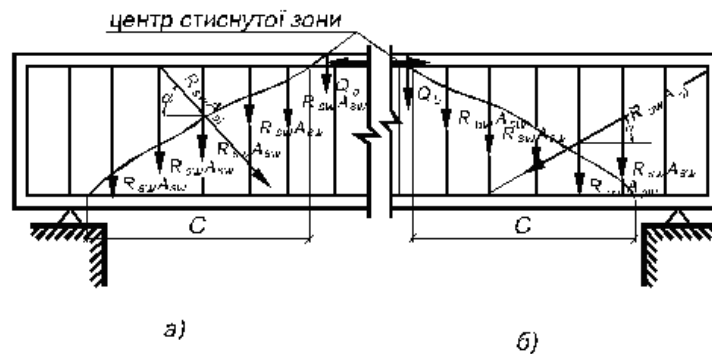
c – довжина проєкції найневигіднішого похилого перерізу, м;

m – коефіцієнт умов роботи, що визначається за формулою (11).

$$m = 1,3 + 0,4 \left(\frac{R_{b,sh}}{\tau_q} - 1 \right), \quad (11)$$

де: $R_{b,sh}$ – розрахунковий опір на сколювання при згині;

τ_q – найбільше сколювальне напруження від нормативної навантаги, МПа, за $\tau_q \leq 0,25R_{b,sh}$ перевірку міцності нахилених перерізів допускається не виконувати, а за $\tau_q > R_{b,sh}$ переріз має бути перепроєктовано.



а – із не напруженою арматурою; б – із напруженою арматурою.

Рис. 4 Розрахункова схема зусиль у перерізі, нахиленому до поздовжньої осі залізобетонного елемента, при розрахунку його міцності на дію поперечної сили

Найневигідніший похилий переріз та його проєкцію на поздовжню вісь елемента потрібно визначати за допомогою порівняльних розрахунків за умови мінімальної поперечної сили, що сприймається бетоном і арматурою. При цьому на ділянках довжиною $2h_0$ від опорного перерізу необхідно виконувати перевірку нахилених перерізів з кутом нахилу до опорного (вертикального) перерізу 45° для конструкцій з ненапруженою арматурою і 60° – із напруженою. При сконцентрованій дії навантаги поблизу опори найбільш небезпечний похилий переріз спрямований від навантаги до опори.

Отримано аналітичні залежності для розрахунку міцності, тріщиностійкості та деформативності залізобетонної плити за різних факторів (матеріалознавчих, конструктивних) та дії навантаги. Запропоновано умову міцності залізобетонної плити проїзної частини за згинальними моментами та поперечними силами, що дозволяє проєктувати плити з незнімною опалубкою на транспортних спорудах підвищеної міцності.

Запропоновано розрахунок монолітної плити із залізобетонною незнімною опалубкою як шаруватої системи. Реалізація моделей деформування шаруватих систем дозволяє отримувати розв'язки актуальних прикладних задач у транспортному будівництві та приймати більш економічні й надійні проєктно-конструкторські рішення. Запропоновано числово-аналітичний підхід, який дає змогу на різних етапах розрахунку поєднувати числові та аналітичні методи. Наприклад, етап моделювання просторової конструкції та збір вихідних даних виконується за допомогою методу скінченних елементів, а надалі застосовується аналітичний метод, який враховує багатошаровість конструкції завдяки функціям розподілу напружень по висоті пакету шарів. У дисертаційній роботі розроблено методики розрахунку залізобетонних плит проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах, які відображають реальні умови їх експлуатації. Це дозволяє визначати напружено-деформований стан плит на будь-якій стадії навантаження, внутрішні зусилля та деформації конструкції, а також її несну здатність. Розрахунок на кожній наступній стадії виготовлення та навантаження балки виконується з урахуванням напружень і деформацій, отриманих на попередній стадії. Розроблено відповідні алгоритми та програмне забезпечення для розрахунку. Запропоновано розрахунок плити проїзної частини як елемента деформівної конструкції. Плита проїзної частини балкових транспортних споруд зазнає складного напружено-деформованого стану під дією статичних і динамічних навантажень та інших негативних факторів. Такий стан спричиняє утворення зон значних розтягуючих напружень, які при одночасному впливі інших факторів знижують надійність і довговічність плити. Тому на стадії проєктування необхідно враховувати всі фактори, що можуть впливати на довговічність залізобетонних плит проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах.

Третій розділ присвячений експериментальному дослідженню конструктивних і матеріалознавчих параметрів натурних моделей

залізобетонних плит проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах під дією навантаги та оцінці їх міцності, тріщиностійкості й деформативності.

Відповідно до завдань була розроблена програма експериментальних досліджень. Для ефективного застосування, підвищення надійності та адекватного підходу до розрахунку конструкції «монолітна плита – незнімна опалубка» було проведено серію експериментальних досліджень. Вони виконувалися етапами: окремо для структури «монолітна плита – незнімна опалубка» та окремо для незнімної опалубки. Для цього було розроблено дві програми досліджень.

Основним завданням досліджень першого етапу було отримання реальної картини напружено-деформованого стану конструкції «монолітна плита – незнімна опалубка» з різними конструктивними формами. Випробування конструкцій проводилися серіями для перевірки відповідності досліджуваних зразків проєктним і нормативним вимогам щодо несучої здатності, жорсткості та тріщиностійкості, а також для визначення переваг і недоліків перед їх впровадженням у масове виробництво та оцінки можливостей застосування у сучасних конструкціях. У кожній серії зразки доводилися до руйнування, що дозволяло виявити найслабкіші місця, визначити фактичні запаси міцності та, за необхідності, передбачити внесення коригувань у конструктивну форму. Досліджувані зразки відрізнялися конструктивними формами та способами армування.

Робочу програму досліджень «монолітна плита – незнімна опалубка» наведено в таблиці 1. Для проведення експериментальних досліджень незнімної опалубки з прийнятих класів бетону було забезпечено відповідні фізико-механічні характеристики. Зразки бетону при виготовленні залізобетонної незнімної опалубки було відібрано та випробувано згідно з ДСТУ Б В.2.7-214, ДСТУ Б В.2.7-217.

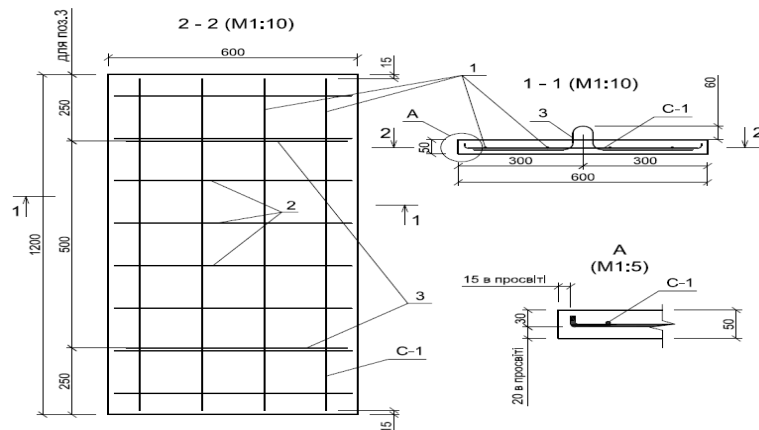
Окремо досліджено типи незнімної опалубки, що використовуються при виготовленні монолітних плит проїзної частини мосту та передбачені програмою випробувань (табл. 1).

Розроблено моделі конструкцій та виготовлено зразки марок ПО та ПМ. Для дослідження прийнято 5 типів незнімної опалубки: *ПО-1*: плоска плита зі звичайною арматурою, плиту опалубки не включено в роботу загального перерізу, тому розрахунок проводився тільки на дію від навантаження власної ваги бетонної суміші; *ПО-2*: *плоска плита зі звичайною арматурою*, плиту опалубки включено в роботу повного перерізу плити проїзної частини, армування її підібране після розрахунку моделі плити проїзної частини за схемою нерозрізної двохпрогонової плити; *ПО-3*: *плоска плита з попередньо напруженою арматурою*, плиту опалубки включено в роботу повного перерізу плити проїзної частини. Для прикладу представлена конструкція плити ПО-1 (рис. 5.).

Робоча програма досліджень залізобетонних плит проїзної частини з
незнімною опалубкою

Тип опалубки	Маркування	Марка бетону	Спосіб випробування	Методи досліджень, прилади
Плоска плита зі звичайною арматурою	ПМ-1	B30	Одноразовий згин $\eta = 0...1$	Мікроскопія, механічні прилади
Плоска плита зі звичайною арматурою (врахована в роботі перерізу)	ПМ-2	B30	Одноразовий згин $\eta = 0...1$	Мікроскопія, механічні прилади
Плоска плита з попередньо напруженою арматурою (врахована в роботі перерізу)	ПМ-3	B30	Одноразовий згин $\eta = 0...1$	Мікроскопія, механічні прилади
Плоска плита з просторовим армуванням (врахована в роботі перерізу)	ПМ-4	B30	Одноразовий згин $\eta = 0...1$	Мікроскопія, механічні прилади
Рибиста плита зі звичайною арматурою (врахована в роботі перерізу)	ПМ-5	B30	Одноразовий згин $\eta = 0...1$	Мікроскопія, механічні прилади
Плоска плита зі звичайною арматурою	ПО-1	B40	Одноразовий згин $\eta = 0...1$	Мікроскопія, механічні прилади
Плоска плита зі звичайною арматурою	ПО-2	B40	Одноразовий згин $\eta = 0...1$	Мікроскопія, механічні прилади
Плоска плита з попередньо напруженою арматурою	ПО-3	B40	Одноразовий згин $\eta = 0...1$	Мікроскопія, механічні прилади
Плоска плита з просторовим армуванням	ПО-4	B40	Одноразовий згин $\eta = 0...1$	Мікроскопія, механічні прилади
Рибиста плита зі звичайною арматурою	ПО-5	B40	Одноразовий згин $\eta = 0...1$	Мікроскопія, механічні прилади

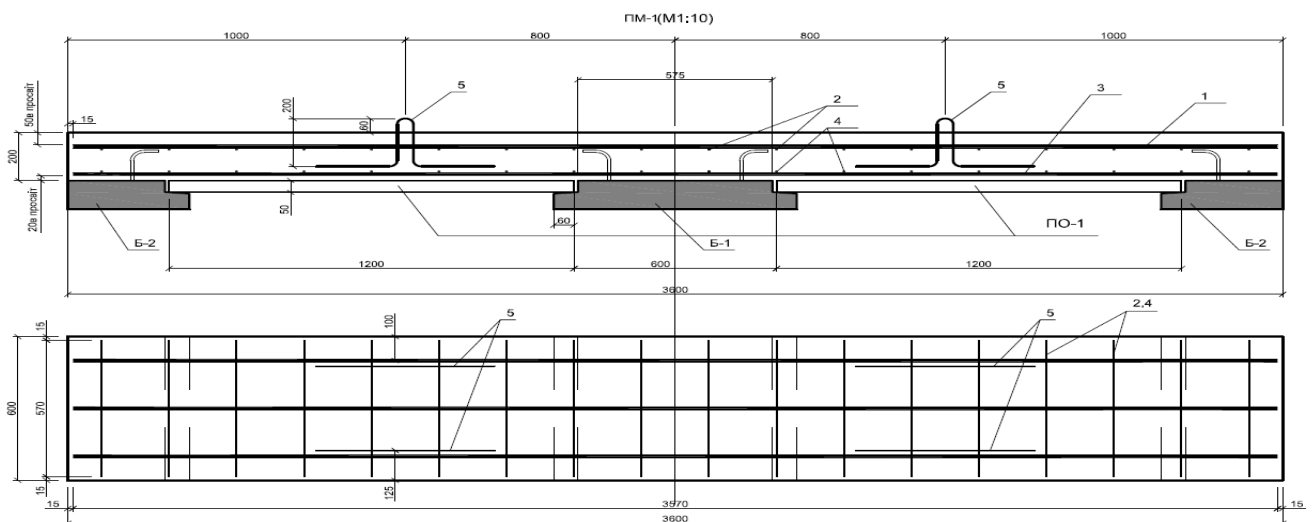
У цій роботі для проведення досліджень прийнято 5 типів конструкцій монолітної плити проїзної частини, що бетонуються на незнімній опалубці: ПМ-1 тип плити проїзної частини з опалублювальними плитами ПО-1, в цьому зразку конструкцію плити незнімної опалубки ПО-1 не включено в спільну роботу повного перерізу плити проїзної частини; ПМ-2: тип плити проїзної частини з опалублювальними плитами ПО-2, в цьому зразку конструкцію плити незнімної опалубки ПО-2 включено в роботу повного перерізу плити проїзної частини; ПМ-3: тип плити проїзної частини з опалублювальними плитами ПО-3, в цьому зразку конструкцію плити незнімної опалубки ПО-3 включено в роботу повного перерізу плити проїзної частини. Для прикладу конструкція плити ПМ-1 наведена на рис. 6.



1 – арматурні стержні Ø8A240 (A-1) (ПО-2 – Ø12 A-III); 2 – арматурні стержні Ø8 A240 (A-1); 3 – монтажні петлі Ø8 A240 (A-1)

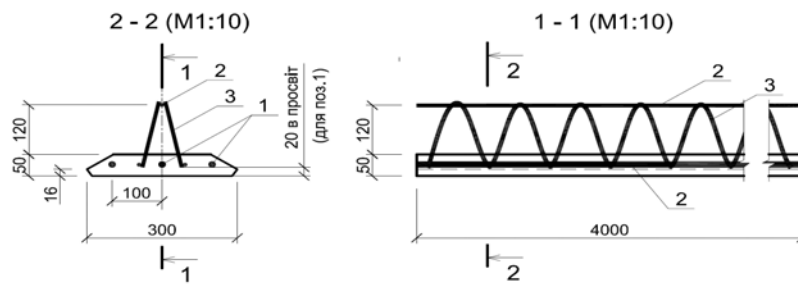
Рис. 5 Конструкція плити опалубки ПО-1 (ПО-2)

Плита ПО-4 (рис. 7) також є плоскою, але має просторове армування. Завдяки застосуванню просторової ферми вдалося зберегти товщину плити та значно збільшити несну здатність опалублювальної плити. Товщина бетону плити проїзної частини, що укладатиметься поверх плити ПО-4, приймається 200 мм. Для зменшення ваги конструкції окремої збірної плити ширину плити зменшено до 300 мм. З обох боків плити влаштовано фаски завглибшки 34 мм для конструктивного підсилення стиків між плитами опалубки в зонах підвищеної концентрації напружень. Решітчаста арматурна балка, використання якої обумовлене технологією даного типу опалубки, одночасно може виконувати функцію опори для верхньої арматурної сітки.



1 – арматурні стержні Ø18 A-III; 2 – арматурні стержні Ø8 A240 (A-1);
3 – арматурні стержні Ø18 A-III; 4 – арматурні стержні Ø8 A240 (A-1);
5 – монтажні петлі Ø12 A240 (A-1)

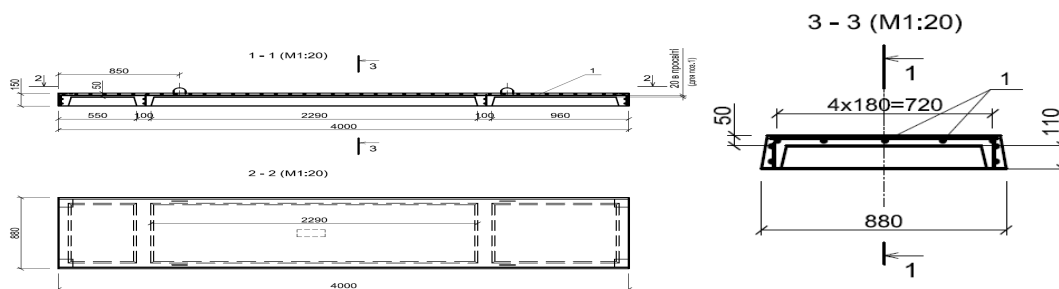
Рис. 6 Конструкція зразків монолітної плити проїзної частини ПМ-1



1 – арматурний стержень Ø14 А-III; 2 – арматурний стержень Ø14 А-III;
3 – монтажні петлі Ø8 А240 (А-1)

Рис. 7 Конструкція плити опалубки ПО-4

Останньою з прийнятих варіантів плит незнімної опалубки є ребриста – ПО-5 (рис. 8). Використання ребристої плити доцільне лише для великих прольотів між балками, незважаючи на технологічну складність її виготовлення. Завдяки застосуванню ребер (тобто збільшенню робочої висоти плити) з'являється можливість відмовитися від просторового каркасу за умови забезпечення надійного зчеплення збірної плити з монолітним бетоном плити проїзної частини.



1 – арматурний стержень Ø22А-III

Рис. 8 Конструкція плити опалубки ПО-5

У цьому дослідженні прийнято, що об'єднання в спільну роботу збірної плити опалубки ПО-5 з монолітною плитою проїзної частини здійснюється за рахунок шорсткості поверхні плити ПО-5. Для цього при виготовленні плити поверхню, що контактуватиме з монолітною плитою проїзної частини, не загладжують. Згідно з розрахунком на зсувні зусилля, таке рішення об'єднання є доцільним, проте його ефективність слід перевірити додатковими експериментами.

Випробування зразків незнімної опалубки зі звичайною арматурою. Плити випробовувалися на одноразовий згин за схемою чистого згину двома зосередженими зусиллями $P/2$. Метою випробувань було визначення несної здатності зазначеної конструкції, а також визначення прогинів і напружень у бетоні та арматурі на етапі вкладання бетонної суміші на плити незнімної опалубки. Схему випробувань наведено на рисунках 9 і 10.

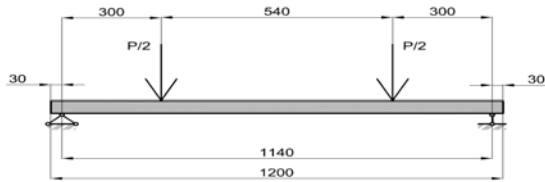
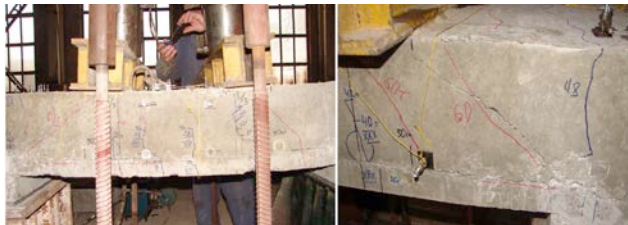


Рис. 9 Схема випробувань залізобетонної плити незнімними опалубками ПО-1,2,3



1 – опорні тумби, 2 – зразок плити, 3 – розподільчі траверси, 4 – домкрат, 5 – станція
Рис. 10 Загальний вигляд стенду для випробування плит незнімної опалубки

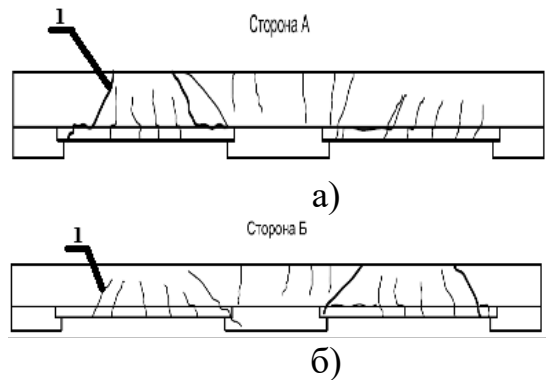
Навантага, за якої утворились перші тріщини, при випробуваннях ПМ-1 (2) становила 44 т сумарно на всю конструкцію. Загальна руйнівна навантага становила 140 т сумарно на всю конструкцію. Загальний вигляд та характер руйнувань плити ПМ-1 (2) після випробувань показано на рисунках 11 та 12.



а) б)

а – в прольоті; б – руйнування від дії поперечної сили

Рис. 11 Характер руйнувань плит ПМ-1



1 – тріщини в плиті
а – вид А; б – вид Б

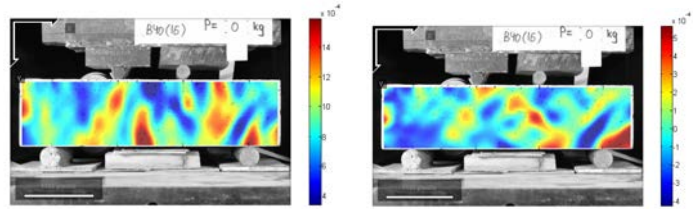
Рис. 12 Схема розкриття тріщин на зразку ПМ-1 (2)

З аналізу результатів випробувань дослідних зразків незнімної опалубки, порівнюючи усереднені прогини всіх трьох серій (див. рис. 15, 16), видно, що кращу роботу в пружній стадії демонструють плити серій ПМ-2 та ПМ-3. Їхні прогини майже співпадають, що свідчить про більшу жорсткість на згин цих плит до появи перших тріщин у порівнянні з ПМ-1. На більших ступенях навантаги стає помітним, що у випадку просковзування канату в ПМ-3 її прогини на 25–30 % більші порівняно з ПМ-1. Якщо порівнювати зразки ПМ-2 та ПМ-1, то за рахунок більшої кількості арматури в розтягнутій зоні ПМ-1 має менші прогини, ніж ПМ-2, хоча різниця складає близько 10–15 %. Загалом по всіх конструкціях незнімних опалубок відповідність експериментальних та розрахункових напружень від дії розрахункових навантажень склала від 90 до 99 %. Слід зазначити, що в серіях ПО-2 – ПО-5 арматура вже розрахована на сумісну роботу збірно-монолітного перерізу.

У роботі проведено дослідження контрольних зразків бетону за допомогою методу оптико-цифрової спекл-кореляції зображень (див. рис. 13, 14).



Рис. 13 Схема застосування методу цифрової кореляції зображень при випробуванні бетонних призм



а) переміщення вздовж осі X;
б) переміщення вздовж осі Y

Рис. 14 Ізополя відносних переміщень поверхні призми ПЗ В40 при навантаженні $P = 1,5 \text{ т}$

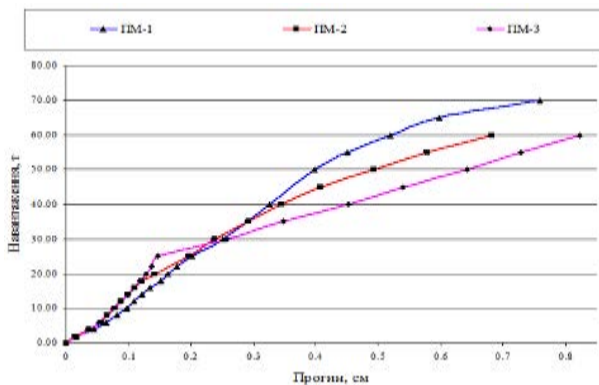


Рис. 15 Графік порівняння прогинів монолітних плит проїзної частини

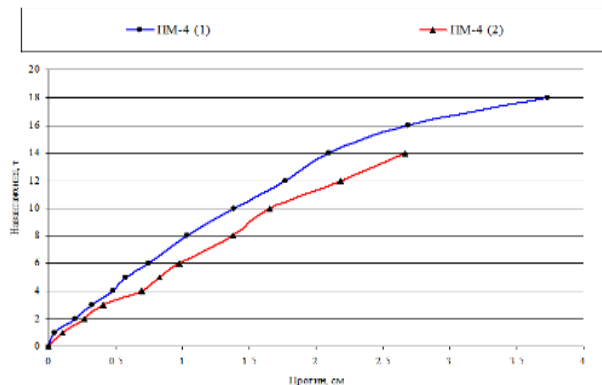


Рис. 16 Отримані прогини зразків плит проїзної частини ПМ-4

Експериментальні дослідження показали, що руйнування конструкції настало після досягнення навантаги в 16 т . Під час статичних випробувань зразків ПМ-4, ПМ-5* та ПМ-5 детально вивчалися деформації та руйнування в прольоті 1–2, де виникали найбільші внутрішні зусилля. Встановлено, що несна здатність нормального перерізу по згинальному моменту забезпечена при досягненні розрахункової навантаги, ознаки руйнування конструкції відсутні. Максимальні значення навантаги на домкраті, які витримали плити, склали: ПМ-4(1) – близько 18 т , ПМ-4(2) – близько 14 т ; ПМ-5* – 16 т , ПМ-5 – 10 т .

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений розробленню практичних рекомендацій щодо методу проектування залізобетонної плити з незнімною опалубкою на транспортних спорудах під дією навантаги, який враховує конструктивні та матеріалознавчі параметри для оцінювання їх міцності, тріщиностійкості, деформативності та витривалості.

Розроблено вимоги до розрахунку та проектування залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками з урахуванням конструкції, матеріалу та навантаг. Загальні вимоги: згідно з прийнятим у нормативних документах методом розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами, розрахунок збірно-монолітних конструкцій за першою групою граничних станів передбачає визначення їх елементів за міцністю, тріщиностійкістю та деформативністю. Відповідно до норм, розрахунок збірно-

монолітних елементів за міцністю необхідно проводити для нормальних і похилих перерізів, а також контактних швів між збірними елементами та монолітним бетоном. За наявності крутих моментів слід також виконувати розрахунки міцності просторових перерізів.

Сформульовані на цій основі рекомендації та методика розрахунку плит проїзної частини мостів із залізобетонною незнімною опалубкою дозволяють проєктувати плити як об'єднаний збірно-монолітний переріз, що значно підвищує ефективність використання ЗБНО. Розроблено авторську програму для розрахунку плит проїзної частини транспортних споруд із ЗБНО, який підвищує продуктивність проєктних робіт у процесі проєктування транспортних споруд.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливого науково-практичного завдання, яке полягає в удосконаленні методу проєктування плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах з урахуванням стадійності зведення та сумісної роботи системи «монолітна плита – збірна плита опалубки». Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволили сформулювати такі висновки:

1. Аналіз наукових досліджень, розробок та методів проєктування залізобетонних плит проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах показав, що, незважаючи на широке використання збірних елементів заводського виготовлення, для зведення плити проїзної частини необхідно застосовувати опалубку різних типів. При цьому кожен проєкт транспортної споруди з точки зору опалублювання плити є індивідуальним, що зумовлює потребу у розробці детального проєктування опалублювальних конструкцій та технологічних процесів. Це потребує додаткового часу як на проєктування, так і на монтаж опалубки та допоміжних пристроїв. Демонтаж опалубки можливий лише після досягнення бетоном плити певного рівня міцності. Також існує необхідність удосконалення методів проєктування залізобетонних плит проїзної частини з урахуванням дії навантаги та конструктивних і матеріалознавчих параметрів. Усунути ці недоліки дозволяє застосування незнімної опалубки, яка успішно практикується протягом тривалого часу.

Використання незнімної опалубки для малих залізобетонних мостів з прольотами між балками до 1,2 м дозволяє зекономити до 2,5 % вартості влаштування конструкції. У разі позакласних сталезалізобетонних мостів з прольотами між балками до 4 м економія вартості складає від 8–15 %, залежно від складності споруди та типу перешкоди.

2. Удосконалено блок-схему розрахунку системи «монолітна плита – незнімна опалубка», з урахуванням її сумісної роботи та стадійності зведення. Покращена методика проєктування залізобетонної збірно-монолітної конструкції прогонової будови моста враховує конструктивні, матеріалознавчі параметри для ефективного проєктування.

Також удосконалено метод проектування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою, що дозволяє оцінювати міцність, тріщиностійкість та деформативність таких конструкцій під дією навантаги на транспортних спорудах. Особливу увагу приділено методиці розрахунку міцності контактного шва, яка передбачає кілька точок перевірки: для розрізних плит – біля вільної опори, на ділянці між вільним торцем елемента та похилим перерізом; для нерозрізних плит – також біля проміжної опори, на ділянці між двома похилими перерізами, розташованими в прольоті та на опорі, у зонах дії моментів різних знаків.

3. Експериментально досліджено конструктивні та матеріалознавчі параметри натурних моделей залізобетонних плит проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах під дією навантаги з метою оцінки їх міцності, тріщиностійкості та деформативності. Встановлено, що розбіжність між експериментальними та розрахунковими результатами не перевищує 12 % при рівні довірчої ймовірності 0,95, що свідчить про високий рівень адекватності запропонованого методу проектування залізобетонних плит проїзної частини з незнімними опалубками. Загалом для всіх конструкцій із незнімною опалубкою відповідність експериментальних та розрахункових напружень під дією розрахункових навантажень становила від 90 до 99 %. Слід зауважити, що в серіях ПО-2 – ПО-5 арматура була вже розрахована на сумісну роботу збірно-монолітного перерізу.

З'ясовано, що руйнування конструкції настало після досягнення рівня навантаги в 16 т. під час статичних випробувань зразків ПМ-4, ПМ-5* та ПМ-5 детально вивчалися деформації та процеси руйнування в прольоті 1–2, де виникали найбільші внутрішні зусилля. Результати випробувань підтвердили, що несуча здатність нормального перерізу за згинальним моментом була забезпечена: при досягненні розрахункової навантаги не виявлено жодних ознак руйнування конструкції. Максимальне значення навантаги на домкраті, яке витримали плити ПМ-4(1) та ПМ-4(2), становило близько 18 та 14 т відповідно, а для плит ПМ-5* та ПМ-5 – 16 та 10 т відповідно. Щодо збірно-монолітних конструкцій плит, відповідність експериментальних та розрахункових напружень під дією розрахункових навантажень становила приблизно 88–90 %. Виявлена різниця результатів між натурними моделями та розрахунками в програмному комплексі «ЛІРА-САПР 2019» пояснюється, по-перше, більшою складністю конструкції, а по-друге – значним рознесенням у часі проведення матеріалознавчих досліджень зразків матеріалів та самих плит ПМ. Це могло спричинити незначну розбіжність у напруженнях бетону через його постійний набір міцності.

4. Розроблено практичні рекомендації щодо застосування запропонованого методу проектування залізобетонної плити проїзної частини з незнімною опалубкою на транспортних спорудах із урахуванням конструктивних і матеріалознавчих параметрів під дією навантаги. Метод передбачено для використання під час проектування споруд, розташованих на автомобільних дорогах загального користування, вулицях і дорогах міст та сільських населених пунктів; на внутрішньогосподарських дорогах і проїздах; а також на пішохідних транспортних спорудах над залізницями, автомобільними

та міськими дорогами. При проектуванні таких плит необхідно враховувати як конструктивні, так і матеріалознавчі параметри з урахуванням дії розрахункової навантаги. Особливу увагу приділено методиці розрахунку міцності контактної шва, яка передбачає кілька точок перевірки: для розрізних плит – біля вільної опори, на ділянці між вільним торцем елемента та похилим перерізом; для нерозрізних плит – додатково біля проміжної опори, на ділянці між двома похилими перерізами, розташованими у прольоті та на опорі, у зонах дії моментів різних знаків.

5. Нові підходи, положення та результати досліджень були використані під час виконання науково-дослідної роботи МР В.2.3-0207915-862:2015 «Методичні рекомендації з проектування плит проїзної частини мостів із залізобетонною незнімною опалубкою» для їх розробки та впровадження у транспортне будівництво. Уточнений метод, розроблений у рамках дисертаційної роботи, застосовувався під час виконання науково-дослідних робіт (номер держреєстрації 0113U003711) на кафедрі опору матеріалів і машинознавства НТУ. Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія (освітні програми: «Мости і транспортні тунелі», «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів», «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів». Апробація основних теоретичних та практичних результатів дисертації на підприємствах та організаціях підтверджуються відповідними актами впровадження.

За результатами дисертаційного дослідження отримано науково-прикладні результати, які можуть слугувати основою для більш ефективного проектування залізобетонних плит проїзної частини з незнімними опалубками, що дозволить забезпечити економічно обґрунтовані рішення щодо їх проектування та експлуатації на транспортних спорудах автомобільних доріг.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографія:

1. Онищенко А.М., Кот Д.В., Башкевич І.В. Теоретичні та практичні методи проектування залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах: монографія. Київ: Видавництво Людмила, 2024. 476 с. ISBN 978-617-555-207-0. DOI: https://doi.org/10.32751/Mono_plyty2024.

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних науко метричних баз:

2. Koval' M. P., Kot D. V. Usage of permanent formwork for bridge deck slabs in bridge building in Ukraine. *Science, Technology and Higher Education*. 2013. Vol. II. P. 171–177.

3. Kot D., Kot O. Testing of models of bridge decks with reinforced concrete fixed formwork. *World Science*. Vol 3 (85). DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092024/8221.

Статті у наукових фахових виданнях України:

4. Кот Д.В., Коваль М.П. Незнімна залізобетонна опалубка для плит проїзної частини мостів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. 2015. Вип. 93. С. 206–216. DOI: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/93/206-216.pdf.

5. Кот Д.В. Випробування моделей плит проїзної частини мостів із залізобетонними незнімними опалубками методом оптико-цифрової спекл-кореляції зображень. *Дороги і мости* : збірник наукових праць. 2022. Вип. 26. С. 183–191. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.26.183>.

6. Кот Д.В. Дослідження зразків плит незнімних залізобетонних опалубок з напруженою арматурою для плит проїзної частини мостів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. 2022. Вип. 111. С. 174–183. DOI: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/111/174-183.pdf.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

7. Онищенко А.М., Кот Д.В. Експериментальні дослідження зразків плит незнімних опалубок з напруженою арматурою для плит проїзної частини транспортних споруд. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2023. №. 1. С. 13–16.

8. Кот Д.В. Випробування зразків моделей плит проїзної частини мостів з незнімною залізобетонною опалубкою. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ, НТУ, 2014. С. 142.

9. Кот Д.В. Плити проїзної частини мостів із залізобетонними незнімними опалубками. *LXXVIII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ, НТУ, 2022, Вип. 78. С. 141. DOI: <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2022-78>.

10. Онищенко А.М., Кот Д.В. Аналіз експериментальних досліджень зразків плит незмінних залізобетонних опалубок з напруженою арматурою для плит проїзної частини транспортних споруд. *LXXVIV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ: НТУ, 2023. Вип. 79. С. 196–197. DOI: <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2023-79>.

11. Онищенко А.М., Башкевич І.В., Кот Д.В., Мусурівський Б.Д. Удосконалення методу проектування плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах. *Ювілейна наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ: НТУ, 2024. Вип. 80. С. 247–248. DOI: <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2024-80>.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

12. МР В.2.3-0207915-862:2015 Методичні рекомендації з проектування плит проїзної частини мостів із залізобетонною незнімною опалубкою. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63356.

Кот Д. В. Удосконалення методу проектування залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми. – Національний транспортний університет. – Київ, 2025.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-практичного завдання – підвищенню довговічності та ефективності застосування залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах автомобільних доріг загального користування за рахунок удосконалення методу їх проектування. На стадії будівництва незнімна опалубка виконує роль формуючої конструкції плити проїзної частини, а на стадії експлуатації, за дотримання низки конструктивних вимог, може включатися в спільну роботу з бетоном плити як збірно-монолітна конструкція.

Проведено аналіз наукових досліджень, розробок та методів проектування залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах. Встановлено, що, незважаючи на широке застосування збірних елементів заводського виготовлення, для зведення плити проїзної частини необхідно використовувати опалубку різних типів, при цьому кожен проект транспортної споруди з точки зору опалублювання є індивідуальним. Це зумовлює необхідність детального проектування опалублювальних конструкцій і процесів, що потребує додаткового часу як на проектування, так і на монтаж опалубки та підтримуючих пристроїв. Демонтаж опалубки здійснюється після досягнення бетоном плити певного рівня міцності. Позбутися цих недоліків дозволяє застосування незнімної опалубки, що успішно практикується протягом тривалого часу. Використання незнімної опалубки для малих залізобетонних мостів з прольотами між балками до 1,2 м дозволяє зекономити до 2,5 % вартості конструкції; у випадку позакласних сталезалізобетонних мостів з прольотами до 4 м економія вартості складає 8–15 % залежно від складності споруди та типу перешкоди.

Наведено теоретичні аспекти розрахунку залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах під дією навантаги. Розроблено розрахункові схеми та аналітичні залежності, що враховують конструктивні та матеріалознавчі параметри, для ефективного проектування таких плит. Удосконалено метод проектування залізобетонної плити з незнімними опалубками, що дозволяє оцінювати міцність, тріщиностійкість та деформативність конструкцій під дією навантаги. При дослідженні встановлено, що розбіжність результатів порівняння не перевищує 12 % при рівні довірчої ймовірності 0,95, що свідчить про високий рівень адекватності запропонованого методу. Загалом, відповідність експериментальних та розрахункових напружень від дії розрахункових навантажень по всіх конструкціях незнімних опалубок складає 90–99 %. Слід зазначити, що у серіях ПО-2 – ПО-5 арматура вже розрахована на сумісну роботу збірно-монолітного перерізу.

Наведено практичні рекомендації щодо застосування розробленого методу проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками на транспортних спорудах із урахуванням конструктивних і матеріалознавчих параметрів під дією навантаги: на автомобільних дорогах загального користування, вулицях і дорогах міст та сільських населених пунктів; на внутрішньогосподарських дорогах та проїздах; на пішохідних транспортних спорудах над залізницями та автомобільними дорогами. При проєктуванні необхідно враховувати матеріалознавчі та конструктивні параметри, а також розрахункову навантагу.

За результатами дисертаційного дослідження одержано науково-прикладні результати, які можуть слугувати основою для більш ефективного проєктування залізобетонної плити проїзної частини з незнімними опалубками, що дозволяє забезпечити економічно обґрунтовані рішення щодо проєктування та експлуатації таких конструкцій на транспортних спорудах автомобільних доріг.

Ключові слова: автодорожній міст, транспортна споруда, плита проїзної частини моста, залізобетонні незнімні опалубки, випробування бетону, метод скінченних елементів, статична навантага, проєктування, довговічність, тріщиностійкість, прогонова будова.

ABSTRACT

Kot D. V. Improvement of the design method for reinforced concrete roadway slabs with permanent formwork on transport structures. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.22.11 – highways and airfields. – National Transport University. – Kyiv, 2025.

The dissertation is devoted to addressing a relevant scientific and practical problem – increasing the durability and efficiency of reinforced concrete roadway slabs with permanent formwork on transport structures of public roads through the improvement of their design method. During the construction stage, the permanent formwork serves as the shaping structure of the roadway slab, and during the operation stage, subject to compliance with certain design requirements, it can be incorporated into the joint work with the slab concrete as a composite cast-in-place and precast structure.

An analysis of scientific studies, developments, and design methods for reinforced concrete roadway slabs with permanent formwork on transport structures was carried out. It was established that, despite the widespread use of factory-made precast elements, the construction of roadway slabs requires the use of different types of formwork, and each transport structure project is unique in terms of formwork design. This necessitates detailed design of formwork structures and processes, which requires additional time for both design and installation of formwork and supporting devices. Formwork removal is carried out after the concrete slab reaches a certain level of strength.

The use of permanent formwork, which has been successfully practiced for a long time, eliminates these drawbacks. For small reinforced concrete bridges with

spans between beams up to 1.2 m, the use of permanent formwork allows saving up to 2.5 % of the structure's cost; for over-standard steel-reinforced concrete bridges with spans up to 4 m, cost savings range from 8–15 %, depending on the complexity of the structure and the type of obstacle.

Theoretical aspects of calculating reinforced concrete roadway slabs with permanent formwork under applied loads are presented. Design schemes and analytical dependencies were developed, taking into account structural and material parameters for effective slab design. The design method for reinforced concrete slabs with permanent formwork has been improved, allowing for the assessment of strength, crack resistance, and deformability of the structures under applied loads. The study established that the discrepancy between comparison results does not exceed 12 % at a confidence level of 0.95, indicating a high degree of adequacy of the proposed design method. Overall, the agreement between experimental and calculated stresses under design loads for all permanent formwork structures ranges from 90 to 99 %. It should be noted that in series PO-2 – PO-5, the reinforcement is already designed for the composite action of the cast-in-place and precast cross-section.

Practical recommendations are provided for applying the developed design method of reinforced concrete roadway slabs with permanent formwork on transport structures, considering structural and material parameters under applied loads: on public roads, streets, and roads in urban and rural settlements; on internal farm roads and driveways; and on pedestrian transport structures over railways and roads. During design, it is necessary to consider material and structural parameters as well as design loads.

The dissertation research yielded scientific and practical results that can serve as a basis for more effective design of reinforced concrete roadway slabs with permanent formwork, enabling economically justified solutions for the design and operation of such structures on transport structures of public roads.

Key words: road bridge, transport structure, bridge deck slab, reinforced concrete permanent formwork, concrete testing, finite element method, static loading, design, durability, crack resistance, span structure.

Наклад 100. Папір офсетний. Ум.-др. арк. 0,9.
Підписано до друку 14.08.2025. Замовлення 275.

Надруковано в «МП Леся».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи серія ДК № 892 від 08.04.2002.

«МП Леся»
03148, Київ, а/с 115.
Тел./факс: (066) 60-50-199, (068) 126-49-26
E-mail: lesya3000@ukr.net