

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Запоточний Роман Миколайович**

УДК 624.21

**ДЕФОРМАТИВНІСТЬ І ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ ДВОБАЛКОВИХ  
НЕРОЗРІЗНИХ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ  
ДЛЯ СКЛАДНИХ УМОВ БУДІВНИЦТВА**

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ -2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка»  
Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Гнідець Богдан Григорович**  
Національний університет  
«Львівська політехніка»  
професор кафедри мостів та  
будівельної механіки

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Лантух-Лященко Альберт Іванович**  
Національний транспортний університет  
професор кафедри мостів та тунелів

кандидат технічних наук, професор  
**Коваль Петро Миколайович**  
Національна академія образотворчого мистецтва і  
архітектури, завідувач кафедри архітектурних  
конструкцій

Захист відбудеться «11» березня 2016 р. о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої  
вченої ради **К 26.062.12** при Національному авіаційному університеті за адресою:  
03058, Україна, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1, корп. 5, ауд. 303.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці Національного  
авіаційного університеті за адресою: 03058, Україна, м. Київ, просп. Космонавта  
Комарова, 1.

Автореферат розісланий «9» лютого 2016 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради К 26.062.12  
доктор технічних наук, с.н.с., доцент

Д. Е. Прусов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** При вирішенні проблем автомобільного та міського транспорту враховуючи постійне зростання інтенсивності його руху, особливо в приміських зонах і в зонах щільної міської забудови, виникає необхідність прискорення темпів зведення шляхопроводів, мостів, естакад та багаторівневих транспортних розв'язок в складних умовах будівництва. Це вимагає необхідність вирішення специфічних технологічних задач і застосування не типових проектно-конструктивних рішень, що актуалізує питання дослідження роботи нових конструктивних рішень прогонових будов мостів в складних умовах будівництва.

Дослідження роботи прогонових будов мостів для складних умов будівництва із застосуванням збірно-монолітного залізобетону викликає науковий інтерес і практичну доцільність. Враховуючи, те що на сучасному етапі досліджень пов'язаних із оцінюванням деформативності та тріщиностійкості залізобетонних конструкцій прогонових будов мостів складної конфігурації є недостатніми, тому питання, які пов'язані із експериментальними дослідженнями та вивченням їх напружено-деформованого стану, вдосконалення їх розрахунків із застосування сучасних методів, є проблемою - актуальною, що має велике теоретичне і практичне значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась в рамках науково-дослідних робіт, які проводить кафедра «Мости та будівельна механіка» Інституту будівництва та інженерії довкілля Національного університету «Львівська політехніка» за напрямком:

- «Розроблення та вдосконалення методів розрахунку конструкцій мостів, будівель та споруд» (державний реєстраційний номер 0114U005249).

За госпрозрахунковою тематикою на замовлення Львівської філії «ЗАХІДДІПРОШЛЯХ» ДП «УКРДІПРОДОР»:

- «Будівництво стадіону по вул. Стрийській – кільцевій дорозі в м. Львові: влаштування дорожньої розв'язки», (договір №66/1 від 05.05.2015р.).

**Мета і завдання досліджень.** Метою дослідження є визначення особливостей деформативності та тріщиностійкості нерозрізних двобалкових збірно-монолітних залізобетонних конструкцій прогонових будов мостів для складних умов будівництва, розробка рекомендацій по їх розрахунку. Для досягнення мети поставлені завдання:

- розробити конструкцію двобалкової нерозрізної прогонової будови для складних умов будівництва;

- розробити програму, методику експериментальних досліджень, масштабну дослідну конструкцію прогонової будови з криволінійною та прямолінійною частинами, провести їх випробування;

- на основі експериментальних даних визначити вплив об'єднання криволінійної і прямолінійної частин дослідної конструкції на зміну їхньої

деформативності та тріщиностійкості, величину згинальних моментів в крайніх прогонах.

- провести аналіз-співставлення деформативності та тріщиностійкості частин дослідної конструкції до і після їх об'єднання на основі даних експериментальних досліджень з результатами розрахунку за діючими нормами.

- розробити просторові розрахункові моделі дослідної конструкції та встановити характер розподілу їх деформацій за різних статичних схем і схем навантаження у ПК «ЛІРА-САПР». Результати розрахунків порівняти з експериментальними даними;

- розробити методику інженерного розрахунку по визначенню моментів і прогинів двобалкових криволінійних нерозрізних прогонових будов мостів. Результати інженерного розрахунку порівняти з експериментальними даними.

**Об'єкт дослідження:** робота нової конструкції нерозрізної двобалкової збірно-монолітної залізобетонної прогонової будови мосту для складних умов будівництва під дією статичного навантаження.

**Предмет досліджень:** деформативність і тріщиностійкість дослідної конструкції двобалкової нерозрізної збірно-монолітної залізобетонної прогонової будови.

**Методи досліджень:** аналіз літературних джерел для формулювання мети та задач досліджень; аналіз концепцій теорій загальної методики механіки деформованого твердого тіла, теорії залізобетону та механіки руйнування; експериментальні методи досліджень будівельних конструкцій; моделювання та чисельні дослідження із застосуванням програмного комплексу ПК «ЛІРА САПР»; математичні та статистичні методи визначення порівняльних характеристик для опрацювання результатів експериментальних досліджень, статистичних даних, чисельного моделювання, визначення збіжності експериментальних і чисельних результатів досліджень.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

- вперше запропоновано нове конструктивне рішення двобалкових нерозрізних збірно-монолітних залізобетонних прогонових будов мостів для складних умов будівництва при малих радіусах поворотів і наявності віражів, із застосуванням для стиків неметалевої стрічкової арматури і зовнішнього сталювання для підсилення стисненої зони на опорах;
- розроблено методику та обладнання для проведення експериментальних досліджень деформативності та тріщиностійкості прямолінійної і криволінійної нерозрізних частин двобалкової збірно-монолітної залізобетонної прогонової будови для складних умов будівництва при різних статичних схемах і схемах навантаження;
- одержано нові експериментальні дані деформативності та тріщиностійкості двобалкової нерозрізної збірно-монолітної залізобетонної прогонової будови для складних умов будівництва при різних статичних схемах і схемах навантаження;

- встановлено, що величини деформативності і тріщиностійкості, при змінній статичній схемі і схем навантаження двобалкової залізобетонної прогонової будови з прямолінійною і криволінійною частинами, за результатами розрахунків та порівняння їх з даними експерименту задовільно співпадають, з відхиленням до 9%.
- розвинуто і удосконалено інженерну методику розрахунку деформативності та тріщиностійкості двобалкових нерозрізних залізобетонних прогонових будов мостів складної конфігурації в плані.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується високою збіжністю отриманих результатів порівняльного аналізу експериментальних і чисельних досліджень за розробленою методикою, в основу якої закладені передумови діючих регламентованих норм проектування та будівництва. Достовірність висновків і рекомендацій підтверджуються адекватністю практичних ситуацій досліджень і результатами впровадження за даною методикою.

**Висока вірогідність отриманих результатів** підтверджується:

- достовірністю та обґрунтуванням вихідних передумов та висновків;
- досконалістю постановки задач дослідження, точних методів механіки твердого деформованого тіла та механіки руйнування;
- задовільним співпадінням отриманих результатів експериментальних та чисельних досліджень.

**Наукове і практичне значення отриманих результатів** полягає в розробці та дослідженні нових конструкцій збірно-монолітних двобалкових нерозрізних прогонових будов мостів для складних умов будівництва, методики проведення складних експериментальних досліджень деформативності та тріщиностійкості, їх розрахунку з використанням сучасних методів, аналізі результатів дослідження і розробці інженерної методики по їх розрахунку.

**Упровадження результатів роботи.** На замовлення Львівської філії «ЗАХІДДПРОШЛЯХ» ДП «УКРДІПРОДОР» (№66/1 від 05.05.2015р) автором розроблено проектні пропозиції шляхопроводу із застосуванням, запропонованих у дисертаційній роботі, двобалкових нерозрізних залізобетонних прогонових будов по об'єкті: «Будівництво стадіону по вул. Стрийській – кільцевій дорозі в м. Львові: влаштування дорожньої розв'язки». Також результати дослідження впроваджені в навчальний процес на кафедрі «Мости та будівельна механіка» Національного університету «Львівська політехніка».

**Особистий внесок здобувача.** Наведені в роботі результати досліджень отримані автором самостійно. Особистий внесок автора полягає в наступному:

- проведення експериментальних досліджень;
- розробка всіх методик, їх порівняльний аналіз, виконання моделювання та чисельні дослідження, наведені у дисертації;
- систематизація та науковий аналіз отриманих результатів;

- розробка конструкції двобалкової нерозрізної збірно-монолітної прогонової будови мостів для складних умов будівництва.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на таких конференціях: VII всеукраїнська науково-технічна конференція «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» (Київ - Рівне - 2013р.), Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг» (Харків – 2013р.), Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми в будівництві» (Полтава – 2013р.), VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Ресурсоекономні матеріали, конструкції будівлі та споруди» (Рівне 2014), Международная научно-практическая конференция «Наука сегодня. Предложения» (Щецин-2014, Польша).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 8 статей, у тому числі 5 публікації у спеціалізованих фахових виданнях внесених до переліку ДАК України, 1 у фаховому періодичному закордонному виданні та 2 за матеріалами міжнародних науково-технічних конференцій.

**Обсяг та структура роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 119 найменувань, 3 додатків. Робота викладена на 222 сторінках, із них 148 сторінки основного тексту, 9 сторінок списку використаних джерел, 63 таблиць, 241 рисуноків та 34 сторінок додатків.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, наведена її загальна характеристика, сформульовані мета та задачі дослідження, визначена її наукова новизна та практична цінність.

**У першому розділі** описано та проаналізовано конструктивні рішення збірно-монолітних залізобетонних конструкцій прогонових будов мостів для нового будівництва та реконструкції існуючих транспортних споруд, які були розроблені і дослідженні в Національному університеті «Львівська політехніка» на кафедрах будівельних конструкцій та мостів і будівельної механіки. Такі конструкції досліджували науковці - Гнідець Б.Г., Демчина Б.Г., Іваник І.Г., Кваша В.Г., Клименко Ф.Є., Коваль П.М., Курило А.С., Ониськів Б.М., Попович Б.С., Мельник І.В., СалоВ.Ю., Собко Ю.М., а також з інших наукових установ України: Лантух-Лященко А.І., Беятинський А.О., Лівшиць Я.Д., Мазурак А.В., Назаренко В.Б., Снітко В.Ф., Шаповал І.П., Шкуратовський А.О., Едельман Є.І., Ковальов П.М., Штільман Є.І., Лукін М.П., Назаренко Б.П., Гібшман М.Є., Золотов П.В., Цейтлін О.Л., Богданов Н.Н., Гібшман М.Є., Єгорушкін Ю.М., Крамер Є.Л., Уліцький Б.Л., та інші.

Теорії та практиці створення, моделювання, розрахунку, конструювання, дослідження несучої здатності будівельних конструкцій, особливостям формування розрахункових моделей присвячені роботи Т.Н. Азізова, М.С. Барабаш, Є.А. Бакуліна, А.Я. Барашикова, В.М. Бондаренко, О.І. Голоднова, О.С. Городецького,

М.І. Карпенка, В.А. Пермякова, В.М. Першакова, А.В. Шимановського та інших вчених.

Розглянуто також відомі конструктивні вирішення двобалкових прогонових будов мостів із збірного, монолітного і збірного-монолітного залізобетону, що досліджувалися і використовувалися у минулому в звичайних умовах в Україні та за кордоном. Описано складні умови будівництва, що можуть виникати при проектуванні і будівництві мостів, особливо у місцевостях зі щільною забудовою.

Запропоноване конструктивне вирішення прогонових будов мостів для складних умов будівництва у виді двобалкових нерозрізних збірно-монолітних залізобетонних конструкцій показано на рис.1 і 2.

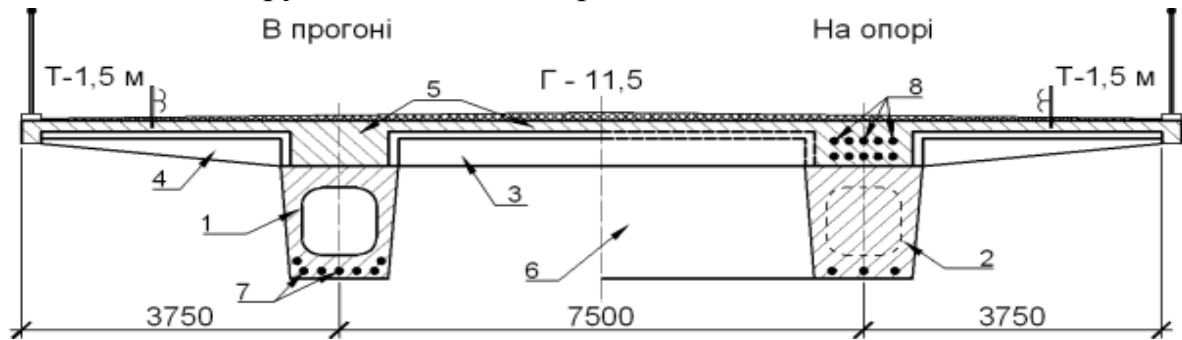


Рис.1. Поперечний переріз запропонованої залізобетонної прогонової будови мосту

У поперечному перерізі така конструкція прогонової будови виконується із прогонових збірних балок 1, надпорних збірних або монолітних балок 2, збірних плит проїзної частини: прогонової 3 та консольної 4, і бетону замоноличування плити проїзної частини та балок 5 (рис.1).

По довжині головні балки поділені на збірні прогонові 1, надпорні монолітні або збірні 2, що об'єднанні між собою стиками розміщеними в зонах нульових моментів (рис. 2.).

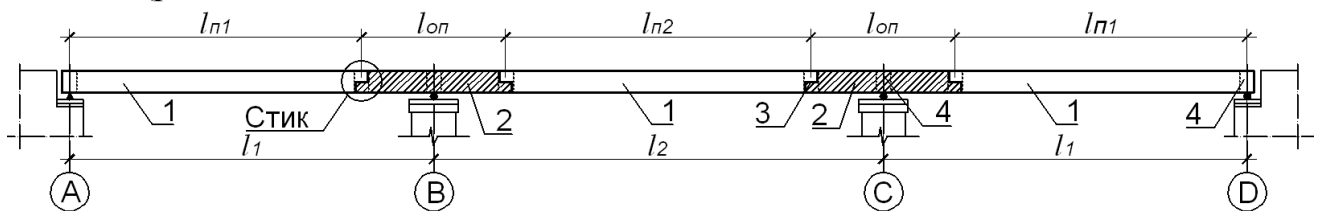


Рис. 2. Поділ на елементи нерозрізних балок запропонованої конструкції по довжині: 1-прогонова збірна балка, 2- надпорна збірна або монолітна балка, 3-поперечна балка в зоні стику, 4-поперечна балка над опорою

Монолітні надпорні балки виконують криволінійними або з переломами, що дає змогу споруджувати прогонову будову моста з малими в плані радіусами поворотів. Стики прогонових і надпорних головних балок можуть бути виконані попередньо напруженими із металевої високоміцної арматури, або із застосуванням сучасної неметалевої високоміцної стрічкової арматури (CFR і т.д.).

Поздовжнє робоче армування 7 виконується з попереднім напруженням збірних балок у заводських умовах, а над опорами на будівельному майданчику із натягом арматури 8 на упори до замоноличування (рис.1), що в свою чергу краще

забезпечує надійне щеплення цієї арматури із бетоном порівняно із монолітними і збірно-монолітними конструкціями, де попереднє напруження арматури виконується з натягом на бетон у закритих каналах, особливо на криволінійних ділянках.

Особливістю розробленої двобалкової нерозрізної конструкції є застосування зовнішнього листового сталюого армування на опорах нижньої частини головних балок для підсилення зони стиску та застосування зовнішнього неметалевого високоміцного стрічкового армування над опорами і у зоні стиків збірних і монолітних головних балок на верхній грані плити. У поперечному напрямку головні балки об'єднанні між собою ребристими збірними плитами 3 і монолітною частиною плити 5 і бетоном між ребрами збірних плит (рис.1), а також поперечними балками 6 над опорами та в зонах стиків (рис.2). Для більш ефективного включення в роботу всіх елементів по ширині прогонової будови можна застосувати попередньо напружену арматуру розміщену в поперечних балках і між поздовжніми ребрами збірних плит з подальшим їх замонолічуванням.

Поєднання переваг збірного і монолітного залізобетону у запропонованій двобалковій прогоновій будові дозволяє більш ефективно застосовувати багатопрогонові нерозрізні конструкції у складних умовах будівництва. Наведено приклади застосування таких конструкцій у багаторівневих транспортних розв'язках.

У **другому розділі** описано розроблену дослідну конструкцію двобалкової нерозрізної збірно-монолітної залізобетонної прогонової будови мосту для складних умов будівництва з прямолінійною і криволінійною частинами та стенд для їх випробування (рис.3,4).

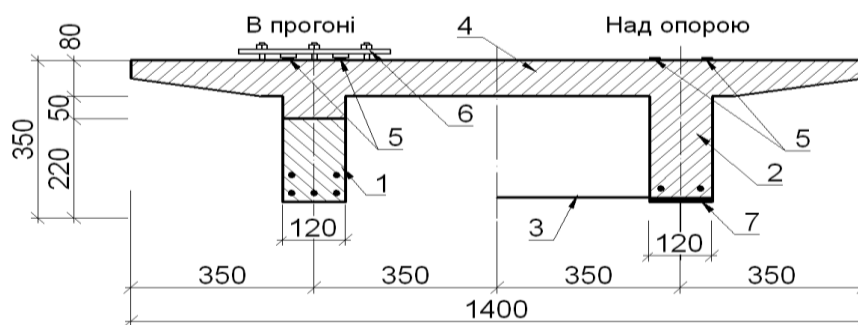


Рис.3. Поперечні розрізи дослідної конструкції: 1 – збірна прогонова балка, 2 – надопорна монолітна балки, 3 – монолітна поперечна балка, 4 – монолітна плита, 5 – надопорна неметалева стрічкова арматура Sika Carbodur S212, 6 - анкерна деталь для кріплення стрічкової над опорної арматури; 7-зовнішня листова арматура стиснутої зони на опорах



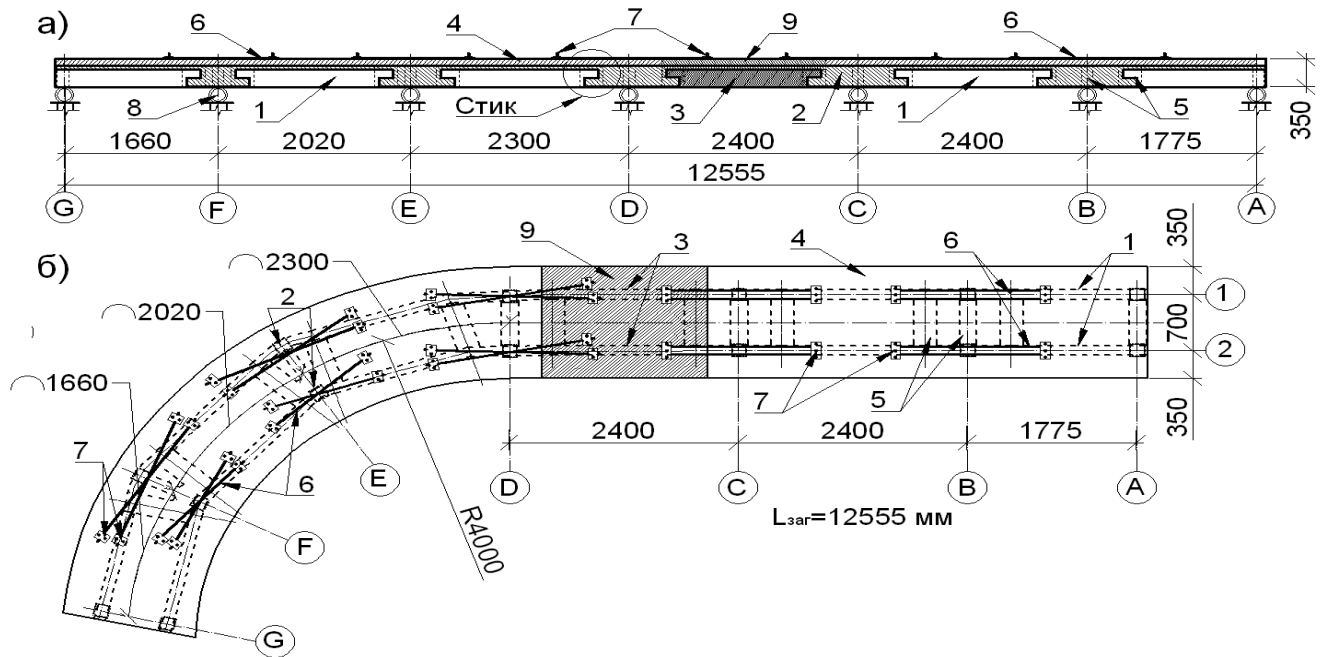


Рис.4. Дослідна конструкція двобалкової нерозрізної збірно-монолітної прогонової будови моста: 1 – збірні прогонові балки, 2 – надопорні прямолінійні і криволінійні монолітні балки, 3 – збірна балка, що об'єднює криволінійну і прямолінійну частину конструкції, 4 – монолітна частина балок і плит, 5 – поперечні балки, 6 – надопорна неметалева стрічкова арматура, 7 – анкери стрічкової арматури, 8 – опора стенду із кільцевим динамометром; 9- монолітна плита для об'єднання криволінійної і прямолінійної частин конструкції

Дослідна конструкція виконана із двопрогової прямолінійної і трипрогової криволінійної нерозрізних частин на консолі яких опирались збірні балки, які об'єднували їх в шестипрогову. Після випробувань окремо двох нерозрізних частин дослідної конструкції вони були об'єднанні в шестипрогову нерозрізну систему, після чого проведено їх випробування при таких самих схемах статичного навантаження (Рис.4.).

Детально описано елементи конструктивного вирішення дослідної конструкції. Криволінійну частину дослідної конструкції показано на рис.5.



Рис.5. Криволінійна частина дослідної конструкції на випробувальному стенді

При дослідженні деформативності і тріщиностійкості запропонованих конструктивних вирішень прогонових будов було проведено випробування дослідної конструкції за три етапи.

**Етап 1.** Випробування прямолінійної частини дослідної конструкції при двох схемах навантаження: в прогоні В-С і в прогонах А-В та В-С одночасно.

**Етап 2.** Випробування криволінійної частини дослідної конструкції при двох схемах навантаження: в прогоні D-E і в прогонах D-E та E-F одночасно.

**Етап 3.** Випробування дослідної конструкції після об'єднання її прямолінійної і криволінійної частин (рис.4.) в шестипрогову нерозрізну при п'ятьох схемах навантаження: в прогоні В-С; в прогонах А-В та В-С одночасно; в прогоні E-F; в прогоні D-E; в прогонах D-E та E-F одночасно.

У третьому розділі приведені результати експериментальних досліджень деформативності і тріщиностійкості частин дослідної конструкції до і після об'єднання в шестипрогову нерозрізну систему та проведено їх аналіз.

Прогини головних балок при випробуванні криволінійної частини дослідної конструкції за схемою навантаження прогону D-E до і після об'єднання з прямолінійною частиною показано графічно на рис.6.

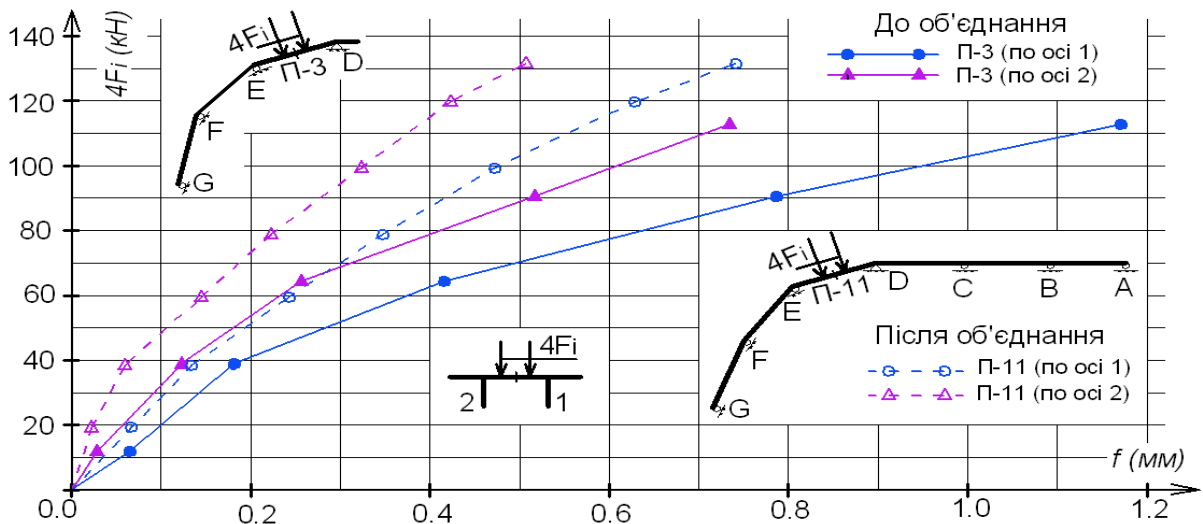


Рис.6. Прогини головних балок криволінійної частини дослідної конструкції при навантаженні прогону D-E за різних статичних схемах

Схеми розміщення приладів для визначення відносних деформацій нормальних перерізів криволінійної частини дослідної конструкції за різних статичних схем показано на рис.7.

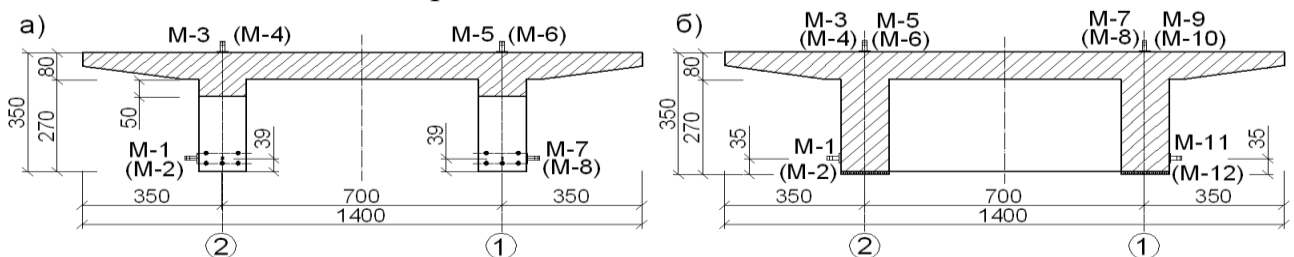


Рис.7. Схема розміщення приладів: а) в середині прогону D-E; б) над опорою Е: М-4, М-6, М-8 і М-10 – розміщені на неметалевій стрічковій арматурі

Залежність відносних деформацій нормальних перерізів в середині прогону D-E і над опорою E від величини прикладеного навантаження при різних статичних схемах і схемах навантаження показано на рис. 8 і 9.

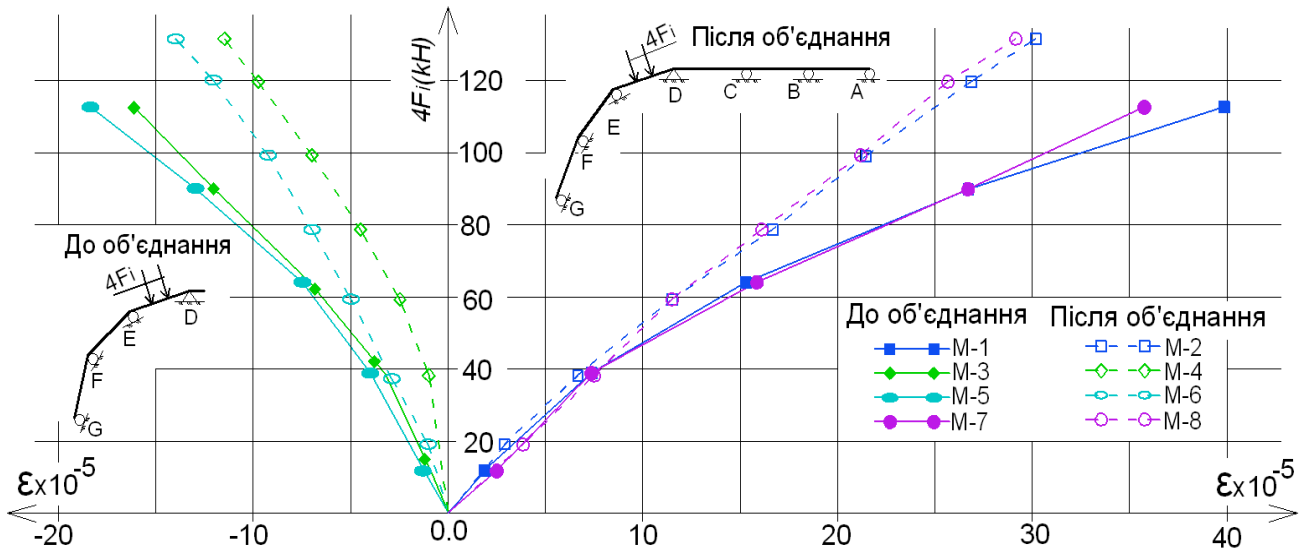


Рис.8. Відносні деформації нормальних перерізів в середині прогону D-E при навантаженні дослідної конструкції за різних статичних схемах

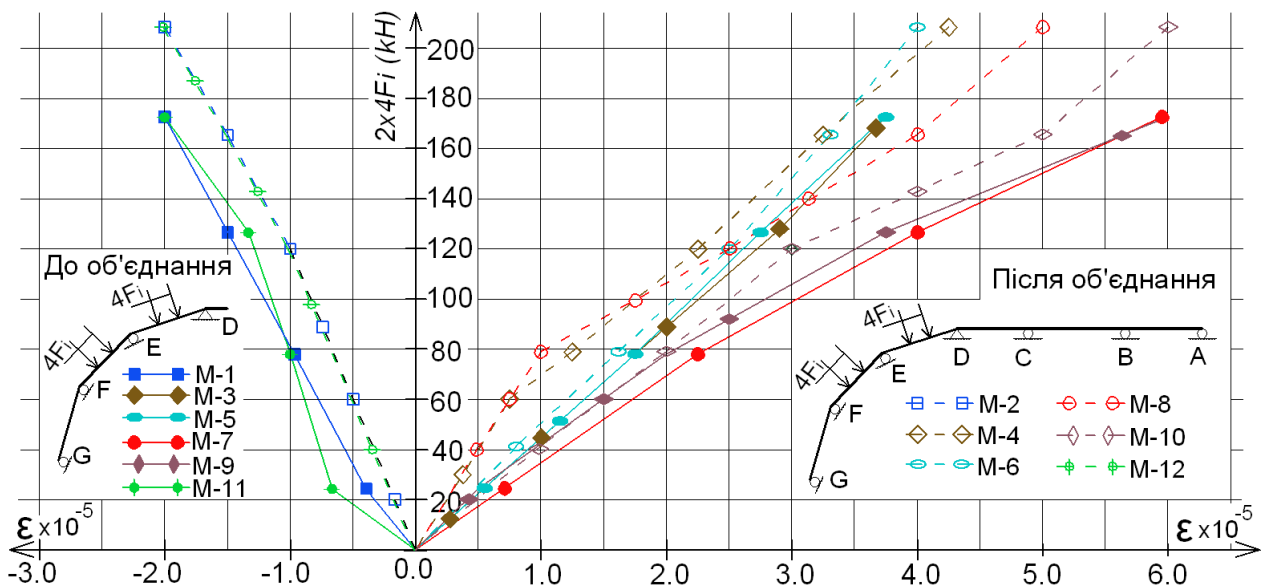


Рис.9. Відносні деформації нормальних перерізів над опорою E криволінійної частини дослідної конструкції при навантаженні двох прогонів

Описано роботу стиків збірних і монолітних головних балок за різних статичних схемах і схемах навантаження дослідної конструкції.

Випробування окремо частин дослідної конструкції за схемою навантаження в прогоні B-C та D-E проведено до появи видимих у мікроскоп тріщин на поверхні головних балок в середині навантажених прогонів.

Характер поширення тріщин на збірних балках у середині криволінійного прогону D-E прогонової будови показано на рис.10.

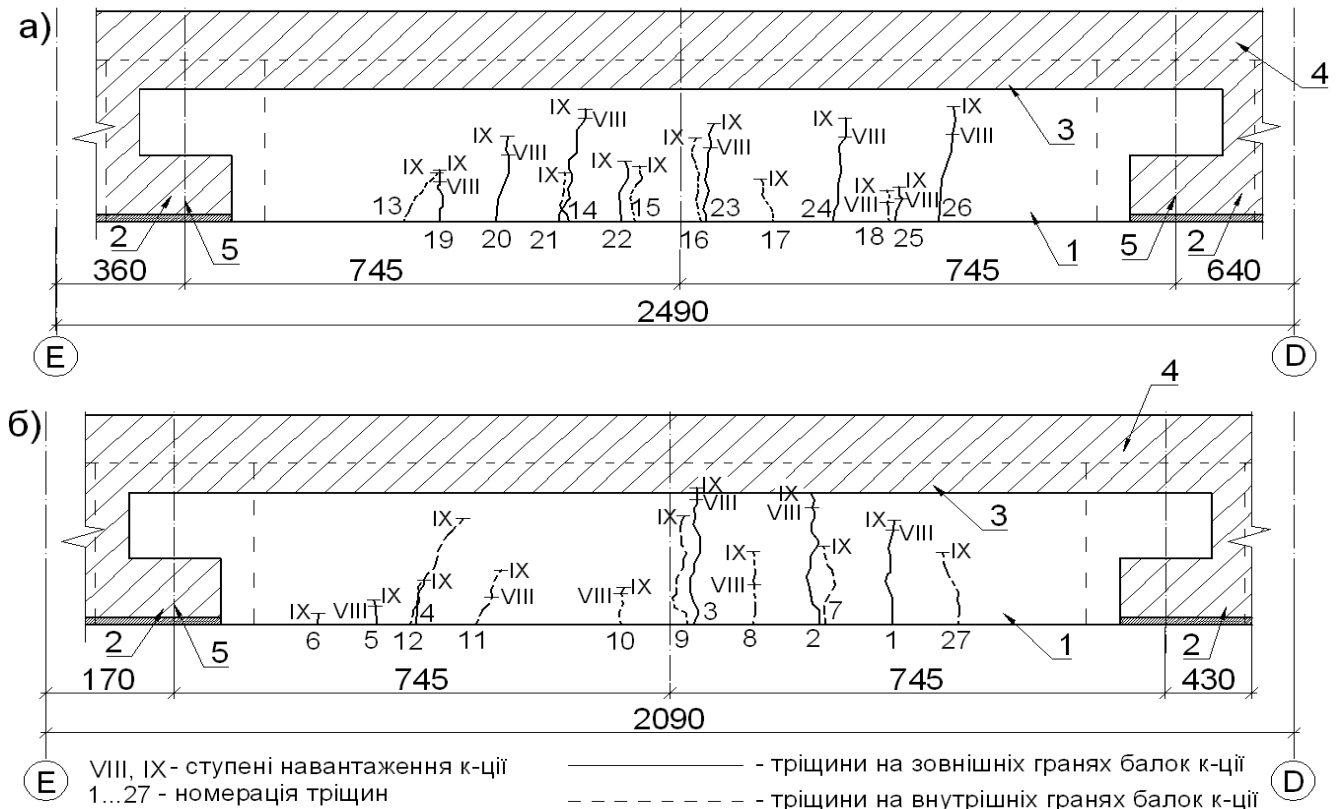


Рис.10. Характер поширення тріщин на балці в прогоні D-E криволінійної частини дослідної конструкції: а) і б) по осі 1 і 2 зовнішньої і внутрішньої грані:

1- збірна прогонова балка, 2 – монолітна над опорна балка, 3- монолітна частина балки в прогоні, 4 – монолітна плита, 5 – вісь стику збірної і монолітної балок

Встановлено, що сумарна величина згинальних моментів балок по осі 1 і 2 дослідної конструкції при яких було зафіксовано появу тріщин в прямолінійній ( $M_{cr}^{exp} = 41.74$  кНхм) і криволінійній ( $M_{cr}^{exp} = 43.16$  кНхм) частинах збігаються із різницею до 3%.

В четвертому розділі наведено результати розрахунків, за формулами діючих норм (ДБН В.2.3-14:2006), прогинів і тріщиностійкості прямолінійної і криволінійної частин дослідної конструкції до і після їх об'єднання в шестипрогонову нерозрізну систему за різних схем навантаження. Статичний розрахунок полягав у визначенні згинальних моментів за лініями впливу по осі дослідної конструкції у характерних перерізах: в середині навантажених прогонів та на опорах. Розрахункові схеми частин дослідної конструкції розглянуто, як стержневі системи, таким чином, що опорні реакції приймалися, як сумарні двох балок по осі конструкції.

Експериментальні величини прогинів балок по осі 1 і 2 дослідної конструкції приймалися як середні, які порівнювались із величинами прогинів отриманими в результаті розрахунків за формулами діючих норм.

Прогини на основі даних розрахунків за діючими нормативами та експерименту для частин дослідної конструкції показано на рис.11.

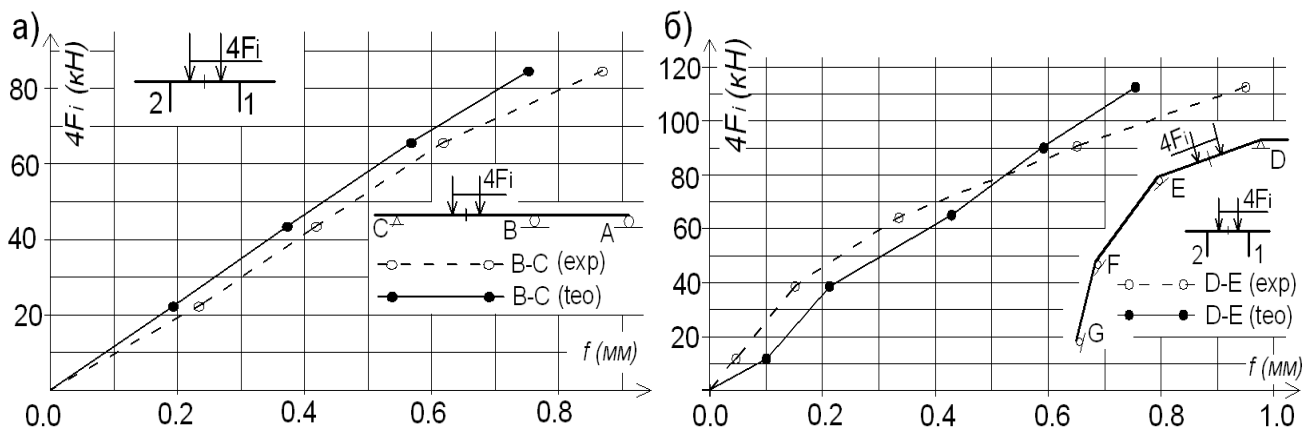


Рис.11. Теоретичні та експериментальні прогини частин дослідної конструкції:

- а) в середині навантаженого прямолінійного прогону В-С,  
 б) в середині навантаженого криволінійного прогону D-E

Для визначення характеру розподілу деформацій прямолінійної і криволінійної частин дослідної конструкції проведено чисельні розрахунки з використанням ПК «ЛІРА-САПР».

При створенні моделей для чисельного розрахунку, враховано різні класи бетону елементів дослідної конструкції, а також зовнішнє стальне листове армування стисненої зони нижніх частин головних надпорних монолітних балок; зовнішнє неметалеве армування надпорних монолітних балок та в зонах стиків у постановці роботи матеріалів у лінійних залежностях.

Модель криволінійної частини дослідної конструкції для чисельного розрахунку за МСЕ у ПК «ЛІРА-САПР» показано на рис.12.

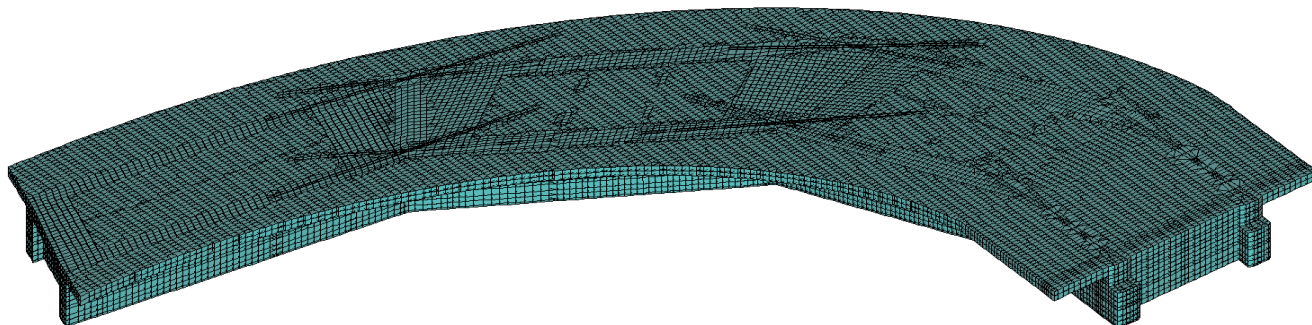


Рис.12. Скінчено-елементна модель криволінійної частини дослідної конструкції

З використання числового розрахунку встановлено характер розподілу деформацій моделі дослідної конструкції до і після об'єднання її частин, за різних схем статичного навантаження. А також встановлено вплив зміни статичної схеми моделі дослідної конструкції на зменшення прогинів у крайніх прогонах.

Для визначення зусиль і прогинів двобалкових криволінійних нерозрізних прогонових будов мостів і розрахунку тріщиностійкості запропоновано замінити їх однобалковою стержневою конструкцією, а розподілення їх виконувати із врахуванням коефіцієнтів розподілу для балок різної довжини, які визначаються з умов (рис.13.).



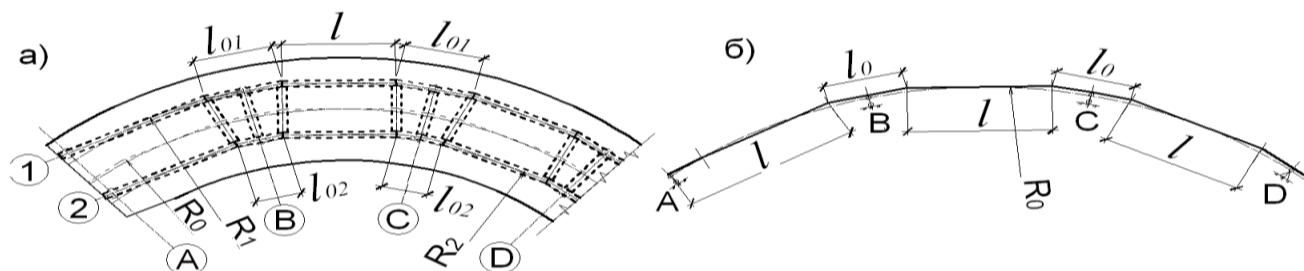


Рис.13. Схеми до розрахунку криволінійних двобалкових прогонових будов мостів: а) конструкція в плані; б) статична схема для розрахунків:  $l$  – довжина прямолінійних збірних балок,  $l_{01}$ ,  $l_{02}$ ,  $l_0$  – довжини надопорних балок,  $R_1$ ,  $R_2$  та  $R_0$  – радіуси на кривих по осях

Величину  $l_0$  визначаємо, як середнє значення довжин надопорних балок  $l_{01}$  і  $l_{02}$  на зовнішній і внутрішній кривих з радіусами  $R_1$  і  $R_2$ .

Розрахункову величину прогону між опорами по осі середнього прогону  $l_c$  (наприклад В-С), приймаємо рівною:

$$l_c = l_0 + l \quad (1)$$

Розрахунки пропонується виконувати поетапно. Розглянемо на прикладі для трипрогонової конструкції.

I. Статичний розрахунок виконувати спочатку для всієї конструкції по ширині розглядаючи її по осі, як однобалкову прямолінійну стержневу систему рис.15. Схеми розміщення різних видів навантажень на графіках ліній впливу згинального моменту  $M_1$  в середині крайнього прогону  $l_1$  показано на рис.14.

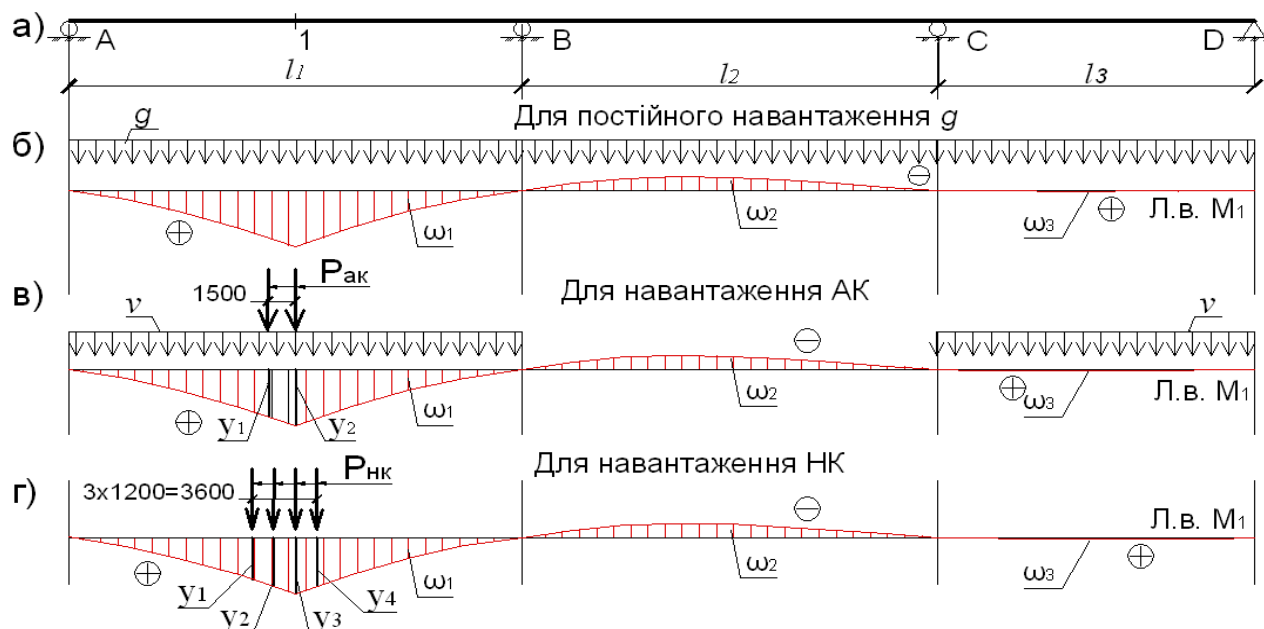


Рис.14. Схеми для визначення згинальних моментів за лініями впливу: а) розгортка криволінійної прогонової будови по осі; б, в, г – розміщеного постійного і тимчасового навантаження на л.в.  $M_1$

Величини згинальних моментів від нормативних навантажень для однобалкової конструкції відповідного перерізу для конструкції вцілому визначаються як сумарні від постійного і тимчасового навантажень:

$$M = M_g + M_{AK}, \quad M = M_g + M_{НК} \quad (2) \quad (3)$$

Нормативні згинальні моменти від постійного ( $M_g$ ) і тимчасових АК ( $M_{ак}$ ) і НК ( $M_{нк}$ ) навантажень визначаються за відомими формулами:

$$M_g = \omega g \quad (4)$$

$$M_{ак} = P_{ак}(y_1 + y_2) + v(\omega_1 + \omega_3) \quad (5)$$

$$M_{нк} = P_{нк}(y_1 + y_2 + y_3 + y_4) \quad (6)$$

де  $\omega$  - сумарна площа Л.в.,  $\omega_1$  і  $\omega_3$  - площа Л.в. для автомобільного смугового навантаження  $v$ ;  $y_1, y_2, y_3, y_4$  - ординати Л.в. для колісних тимчасових навантажень АК ( $P_{ак}$ ) та НК ( $P_{нк}$ ).

II. При визначенні згинальних моментів для криволінійних балок з різними довжинами по осі 1 і 2 пропонується додатково враховувати коефіцієнти розподілу окремо для різних видів навантаження.

Для цього необхідно розглядати конструкцію в прогоні де розміщене навантаження, а саме: по осі 1, по осі 2 та по осі прогонової будови (рис. 15).

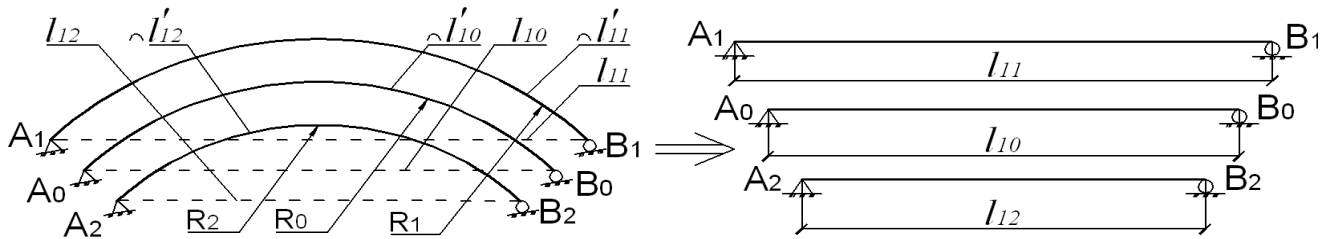


Рис.15. Схеми для визначення коефіцієнту розподілу навантаження між балками різної довжини

Для спрощення розрахунку пропонується коефіцієнти розподілу визначати за лініями впливу, як для прямолінійних розрізних балок з різними довжинами  $l_{10}, l_{11}, l_{12}$  (рис.16.)

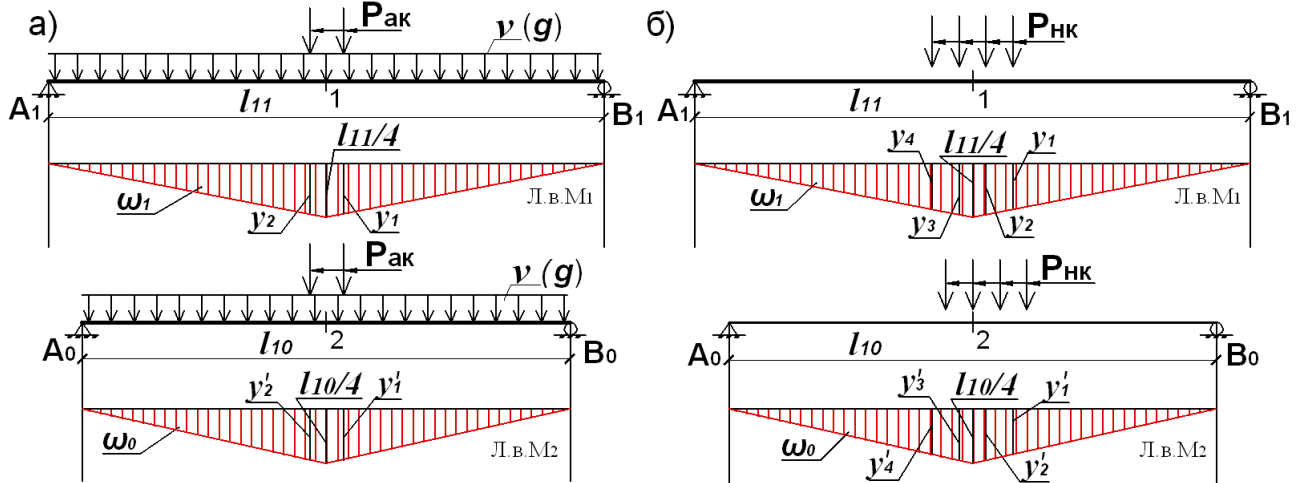


Рис.16. Схеми для визначення коефіцієнтів розподілу навантаження для балок різної довжини: а) для постійного і тимчасового навантаження АК, б) для тимчасового навантаження НК

Так для балки по осі 1 коефіцієнт розподілу навантаження  $K_{кр}$  пропонується визначати (рис.15 і 16.):

- для постійного навантаження як відношення площ Л.в. балок зовнішньої і середньої кривої:

$$K_{кр1}^g = \frac{\omega_1^g}{\omega_0^g} \quad (7)$$

- для тимчасового навантаження АК:
  - для смугового навантаження як відношення площ Л.в. балок зовнішньої і середньої кривої:

$$K_{кр1}^v = \frac{\omega_1^v}{\omega_0^v} \quad (8)$$

- для тандему як відношення сумарних ординат на Л.в. балок зовнішньої і середньої кривої під зосередженими силами  $P_{ак}$

$$K_{кр1}^p = \frac{y_1 + y_2}{y_1' + y_2'} \quad (9)$$

- для тимчасового навантаження НК, як відношення сумарних ординат на Л.в. балок зовнішньої і середньої кривої під зосередженими силами  $P_{нк}$

$$K_{кр1}^{нк} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{y_1' + y_2' + y_3' + y_4'} \quad (10)$$

де у формулах (7 ... 10)  $\omega_1, \omega_0$  – площі Л.в. в навантаженому прогоні для балки по осі 1 і умовної балки по осі 0;  $y_i, y_i'$  - ординати на Л.в. балок по осі 1 і 0 під зосередженими силами навантаження АК і НК.

III. Для розрахунку тріщиностійкості згідно ДБН за 2-ю групою граничних станів, розроблена методика визначення нормативних моментів в балках різної довжини на криволінійних ділянках від різних видів навантажень. При цьому спочатку визначають моменти в середині прогону балки по осі 1 із врахуванням коефіцієнту розподілу в балках різної довжини рекомендується проводити за формулами:

- при дії постійного навантаження  $g$  і тимчасового навантаження АК:

$$M_1 = M_{g1} + M_{ак} \quad (11)$$

- при дії постійного навантаження  $g$  і тимчасового навантаження НК:

$$M_1 = M_{g1} + M_{нк} \quad (12)$$

- згинальний момент від постійного навантаження:

$$M_{g1} = K_{кр1}^g \frac{g}{2} \omega \quad (13)$$

- згинальний момент від тимчасового нормативного навантаження АК:

$$M_{ак}^1 = K_{пр}^p K_{кр1}^p (1 + \mu) P_{ак} (y_1 + y_2) + v K_{пр}^v K_{кр1}^v (\omega_1 + \omega_3) \quad (14)$$

- згинальний момент від тимчасового нормативного навантаження НК:

$$M_{нк}^1 = K_{пр}^{нк} K_{кр1}^{нк} P_{нк} (y_1 + y_2 + y_3 + y_4) \quad (15)$$

де  $K_{кр1}^g, K_{кр1}^p, K_{кр1}^v, K_{кр1}^{нк}$  - додаткові коефіцієнти розподілу на кривих ділянках прогонової будови для балки по осі 1 для навантаження  $g$ , АК і НК;  $K_{пр}^p, K_{пр}^v, K_{пр}^{нк}$



- коефіцієнти поперечного розподілу за нормами для прямолінійної балки по осі 1 при навантаженні АК і НК,  $(1 + \mu)$  - динамічний коефіцієнт,  $g$  - постійне навантаження,  $P_{ак, \nu}$  - осьове і смугове навантаження АК,  $P_{нк}$  - осьове навантаження НК,  $\omega, \omega_1, \omega_3, y_1, y_2, y_3, y_4$  - площі л.в. і ординати під навантаженням АК і НК по осі криволінійної конструкції.

Нормативні згинальні моменти  $M_2$  для балки по осі 2 при різних видах навантаження пропонується визначати як різницю між нормативними моментами  $M$  і  $M_1$ , визначеними за формулами 2-6 і формулами 11-15:

$$M_2 = M - M_1 \quad (16)$$

Для визначення розрахункових величин згинальних моментів згідно ДБН В.1.2-15:2009 (Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи) необхідно враховувати коефіцієнти надійності для постійних і тимчасових навантажень.

IV. При розрахунку криволінійної частини двобалкової конструкції за 2-ю групою граничних станів запропонована методика розрахунку прогинів балок по осі 1 і 2.

Запропоновано для визначення прогинів застосувати коефіцієнт розподілу прогинів  $K_{рп}$  між балками різної довжини при дії різних видів навантажень, а саме для балки по осі 1 в першому прогоні  $l_1$  (рис.15.):

- при дії постійного навантаження  $g$  :

$$K_{рп1}^g = \frac{f_1^g}{f_0^g} = \frac{\omega_1^g}{\omega_0^g} \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} = K_{кр1}^g \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} \quad (17)$$

- при дії тимчасового навантаження АК:
  - для смугового навантаження:

$$K_{рп1}^v = \frac{f_1^v}{f_0^v} = \frac{\omega_1^v}{\omega_0^v} \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} = K_{кр1}^v \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} \quad (18)$$

- для тандему навантаження АК:

$$K_{рп1}^p = \frac{f_1^p}{f_0^p} = \frac{y_1 + y_2}{y_1' + y_2'} \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} = K_{кр1}^p \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} \quad (19)$$

- для тимчасового навантаження НК:

$$K_{рп1}^{нк} = \frac{f_1^{нк}}{f_0^{нк}} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{y_1' + y_2' + y_3' + y_4'} \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} = K_{кр1}^{нк} \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} \quad (20)$$

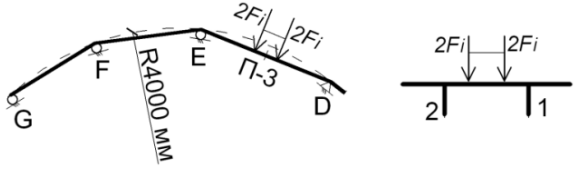
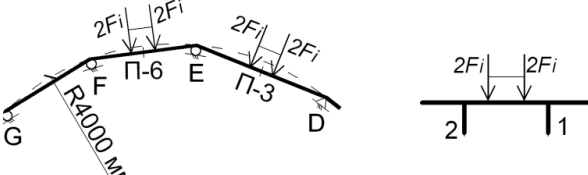
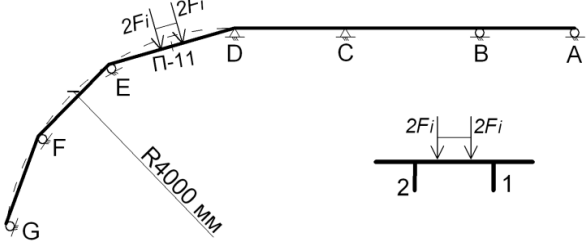
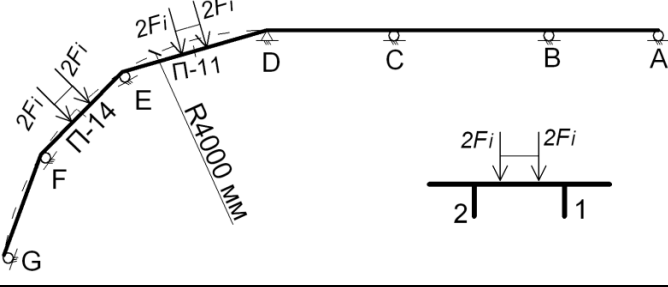
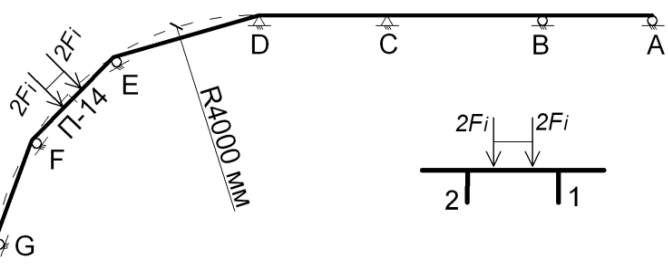
Коефіцієнти розподілу прогинів для криволінійної ділянки згідно з формулами 17-20 визначаються помноженням коефіцієнтів розподілу навантаження, знайдених за формулами 7-10 на співвідношення квадратів величин прогинів балок по осі 1 і по осі прогонової будови.

Порівняння співвідношень прогинів отриманих за результатами випробувань криволінійної частини дослідної конструкції за різних схем навантаження до і після об'єднання її з прямолінійною частиною в шестипрогову нерозрізну систему із

співвідношеннями прогинів визначених за запропованою методикою наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Співвідношення прогинів головних балок криволінійної частини дослідної конструкції

№	Схема навантаження	Співвідношення прогинів для балок по осі 1 і 2 дослідної конструкції		Відхилення
		За експериментом $f_1^{exp} / f_2^{exp}$	За розрахунком $f_1^{teo} / f_2^{teo}$	
1		<b>В середині прогону D-E (П-3):</b>		
		1.642	1.746	6%
2		<b>В середині прогону D-E (П-3)</b>		
		1.772	1.746	1.5%
		<b>В середині прогону E-F (П-6)</b>		
		1.357	1.681	19%
3		<b>В середині прогону D-E (П-3)</b>		
		1.624	1.746	7%
4		<b>В середині прогону D-E (П-11)</b>		
		2.2	1.746	20%
		<b>В середині прогону E-F (П-14)</b>		
		1.708	1.681	2%
5		<b>В середині прогону E-F (П-14)</b>		
		1.413	1.681	15%

Розходження співвідношень прогинів за даними експериментів і за запропованою інженерною методикою розрахунків для криволінійної частини дослідної конструкції при різних статичних схемах і схемах навантаження знаходиться в межах 2–20 %. Значні розходження при різних схемах навантаження можна пояснити необхідністю врахування впливу кручення.

Розрахунок тріщиностійкості, проведений, згідно ДБН В.2.3-14:2006, в перетинах криволінійної ділянки двобалкової конструкції і порівняння їх з результатами випробувань. Результати зведено в таблицю 2.

Таблиця 2

Згинальні моменти тріщиноутворення частин дослідної конструкції

№	Схема навантаження	Згинальний момент (кН·м)		Відхилення (%)
		$M_{cr}^{exp}$	$M_{cr}^{teo}$	
1		41.74	39.72	4.8%
2		43.16	39.72	7.9%

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено нову конструкцію двобалкових нерозрізних збірно-монолітних прогонових будов мостів для складних умов будівництва, при наявності зміни форми в плані, розгалужень, віражив, нетипових величин прогонів і ширини проїжджої частини, для прогонів від 18,0 до 42,0 м.
2. У відповідності поставленим задачам в дисертаційній роботі, розроблено програму та методику проведення експериментальних досліджень, проведено випробування дослідної конструкції двобалкової нерозрізної збірно-монолітної прогонової будови мосту з прямолінійною і криволінійною частинами до і після об'єднання їх в шестипрогонову за дев'яти схем навантаження.
3. Встановлено, що за результатами експериментальних досліджень визначенні величини в середині крайніх навантажених прогонів прямолінійної і криволінійної частин дослідної конструкції після їх об'єднання значно зменшуються, а саме: згинальні моменти на 23% і 27%, відносні деформації нормальних перерізів на 18% і 24 %, а прогини на 21% і 40%, що потрібно враховувати при проектуванні прогонових будов транспортних споруд.
4. Розрахункові величини моментів і прогинів, визначені згідно чинних норм, для прямолінійної і криволінійної частин дослідної конструкції до і після їх об'єднання, задовільно співпадають з експериментальними даними, із різницею в межах: згинальні моменти 3-9%, тріщиноутворення 5 - 8%, а прогини 4-9%.

5. Встановлено, що об'єднання прямолінійної і криволінійної частин дослідної конструкції впливає на характер розподілу деформацій визначених за методом скінченних елементів у ПК «ЛІРА САПР» в постановці роботи матеріалів у лінійних залежностях, та зменшення прогинів у крайніх прогонах в межах 30-40%, які задовільно співпадають з експериментальними даними.
6. Запропоновано методику інженерного розрахунку по визначенню зусиль і прогинів, у якій виведено нові коефіцієнти для врахування особливостей їх розподілу у головних балках в поперечному перетині криволінійних двобалкових прогонових будов при різних видах навантаження, згідно якої визначені величини співпадають з експериментальними даними із відхиленням в середньому від 8 до 20 %.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Статті у фахових виданнях України:**

1. Гнідець Б.Г. Двобалкові збірно-монолітні нерозрізні залізобетонні прогонові будови мостів для складних умов будівництва / Б.Г. Гнідець, Р.М. Запоточний// Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – Київ. ДП НДІБК, 2013.- Вип.78, т.-1. - С.67-75. (внесок здобувача: розроблення нового конструктивного рішення двобалкових залізобетонних прогонових будов, дослідної конструкції і програми їх експериментальних досліджень).
2. Запоточний Р.М. Деформативність дослідної конструкції двобалкової нерозрізної збірно-монолітної прогонової будови моста. / Р.М. Запоточний // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. Випуск 4 (39). Том 2. Полтава-2013 р. С.59 – 65.
3. Запоточний Р.М. Збірно-монолітні конструкції двобалкових нерозрізних прогонових будов залізобетонних мостів з прямою, кривою і перехідною ділянками. / Р.М. Запоточний // Збірник наукових праць. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне-2013.-вип.27.-С.315-320.
4. Запоточний Р.М. Деформативність дослідної конструкції нерозрізної двобалкової збірно-монолітної залізобетонної прогонової будови моста для складних умов будівництва при зміні її статичної схеми. / Р.М. Запоточний // Збірник наукових праць. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне-2014.-вип.29.-С.415-419.
5. Іваницький Я.Л. Оптико-цифровий метод визначення полів деформацій на локальних ділянках залізобетонних мостів / Я.Л. Іваницький, О.П. Максименко, Р.М. Запоточний, Ю.В. Мальков // Фіз.-хім. Механіка матеріалів.-2015 –Том-51- №2. – С.104-108.,(внесок здобувача: безпосередня участь у проведенні експериментальних досліджень, оброблені і аналізі результатів по визначенню деформацій нормальних перерізів стиків збірних і монолітних головних балок дослідної конструкції на основі показів механічних приладів.)

### Статті у закордонних періодичних фахових виданнях:

6. В.Нnidec. Badania doświadczalne dwubelkowych ciągłych przęseł mostów z betonu/ В. Нnidec, R. Zapotochnyj // *Inzynieria i budownictwo*» nr 9/2015- S. 484-487. (внесок здобувача: розроблення дослідної конструкції, безпосередня участь у проведенні її експериментальних досліджень, оброблені і аналізі результатів по визначенню прогинів головних балок і деформацій нормальних перерізів в середині прогонів та на опорах).
7. Ivanyts'kyi Ya.L. Optical-digital method for the determination of strain fields in local areas of reinforced-concrete bridges // Ya.L. Ivanyts'kyi, O.P. Maksymenko, R.M. Zapotochnyi, Yu. V. Mol'kov// *Material Science*, Vol.51, No.2. p. 261-266. (USA-2015) (Translated from *Fizyko-Khimichna Mekhanika Materialiv*, Vol. 51, No. 2, pp. 104–108, March–April, 2015.)

### Статті за матеріалами міжнародних науково-технічних конференцій

8. Запоточний Р.М. Технологія спорудження двобалкових нерозрізних залізобетонних збірно-монолітних прогонових будов мостів для складних умов будівництва. / Р.М. Запоточний // *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг. - Харків, 2013. - С 109-113.*
9. Запоточний Р.М. Деформативність криволінійної двобалкової нерозрізної залізобетонної прогонової будови моста для складних умов будівництва при зміні її статичної схеми. / Р.М. Запоточний // *Сборник научных докладов. Наука сегодня. Предложения. Щецин-2014 (Польша). Часть 1.- С.11-15.*

### АНОТАЦІЯ

Запоточний Р.М. Деформативність і тріщиностійкість двобалкових нерозрізних збірно-монолітних прогонових будов мостів для складних умов будівництва. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - «Будівельні конструкції, будівлі та споруди». – Національний авіаційний університет, Міністерства освіти і науки України, Київ, 2015.

Дисертація присвячена дослідженню деформативності та тріщиностійкості запропонованих автором конструктивних вирішень двобалкових нерозрізних збірно-монолітних залізобетонних конструкцій прогонових будов мостів для складних умов будівництва. Наведено значні результати експериментальних досліджень дослідної конструкції прогонової будови мосту на основі запропонованих конструктивних вирішень, яку виконано із прямолінійною і криволінійною її частинами, що випробувано за різних статичних схем і схем навантаження. Проведено порівняння даних експерименту із результатами розрахунків за формулами діючих норм. Наведено характер просторового розподілу деформацій ідеалізованої дослідної конструкції за різних статичних схем і схем навантаження, що отримані числовим розрахунком із застосуванням МСЕ у ПК «ЛІРА-САПР» в задачі із постановкою лінійних залежностей роботи матеріалів. А також наведено пропозиції до інженерної методики розрахунку двобалкових

залізобетонних конструкцій прогонових будов мостів на криволінійних ділянках транспортної споруди по визначенню згинальних моментів та прогинів. Порівняно дані експерименту із результатами розрахунку за запропонованою методикою.

**Ключові слова:** двобалкова прогонова будова, складні умови будівництва, дослідна конструкція, деформативність, тріщиностійкість.

### АННОТАЦІЯ

Запоточный Р.Н. Деформативность и трещиностойкость двухбалочных неразрезных сборно-монолитных пролетных строений мостов в сложных условиях строительства. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - «Строительные конструкции, здания и сооружения». - Национальный университет «Львовская политехника» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2015.

Диссертация посвящена изучению особенностей деформативности и трещиностойкости неразрезных двухбалочных сборно-монолитных железобетонных конструкций пролетных строений мостов для сложных условий строительства и разработке рекомендаций по их расчету.

Во введении приведены актуальность темы диссертации, изложена цель и задачи исследований, связь работы с научными программами, научная новизна, практическая ценность работы, представлена ее общая характеристика

В разделе 1 выполнен анализ конструктивных решений сборно-монолитных железобетонных пролетных строений мостов для нового строительства и реконструкции существующих транспортных сооружений, которые были разработаны и исследованы в Национальном университете «Львовская политехника», а также опыт применения двухбалочных конструкций в отечественной и зарубежной практике. Описанное предложение конструктивного решения двухбалочных неразрезных пролетных строений мостов из сборно-монолитного железобетона для сложных условий строительства.

В разделе 2 описано конструктивное решение опытной конструкции двухбалочного сборно-монолитного железобетонного пролетного строения моста с прямолинейной и криволинейной его частями, программу и методику ее экспериментальных исследований.

В разделе 3 приведены результаты экспериментальных исследований деформативности и трещиностойкости криволинейной и прямолинейной неразрезных частей опытной конструкции, до и после их объединения в одну шестипрогоновую неразрезную систему при различных схем нагрузки. Графически показано зависимости величин изгибающих моментов, прогибов и относительных деформаций нормальных сечений опытной конструкции от величины приложенной нагрузки при различных статических схем. Приведены результаты анализа и сравнения экспериментальных данных. Определены моменты трещинообразования для прямолинейной и криволинейной частей исследовательской конструкции и характер распространения трещин на главных балках в середине прогонов.

В главе 4 приведены результаты расчета, по действующим нормам, прогибов и момента трещинообразования частей исследовательской конструкции при различных статических схемах, которые сравнивались с данными эксперимента. Также приведены результаты расчета по МСЭ в ПК «ЛИРА-САПР», а именно характера распределения деформаций расчетных идеализированных пространственных моделей исследовательской конструкции. Описаны предложения по инженерному расчету по определению усилий и прогибов в криволинейных двухбалочных неразрезных пролетных строениях мостов.

**Ключевые слова:** двухбалочные пролетные строения, сложные условия строительства, опытная конструкция, деформативность, трещиностойкость.

### ABSTRACT

R.M. Zapotochnyi Deformation and crack resistance of two-beamed rigid prefabricated monolithic bridge spans for complex construction conditions. - The manuscript.

The thesis for degree of candidate of technical sciences, 05.23.01 - "Building constructions, buildings and structures." - National University "Lviv Polytechnic" Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2015.

The thesis is devoted to studies of deformation and crack resistance proposed by the author constructive solutions of two-beamed rigid iron concrete prefabricated constructions of monolithic bridge spans for complex construction conditions. There are important experimental results of research designs with bridge spans based on the proposed design solutions, which is made in scale 1:10 with straight and curved parts of the different schemes and schemes of static load. The comparative calculation of experimental results of data on existing regulations is concluded. In the thesis there is demonstrated the quality indicators of the spatial distribution of deformation of idealized experimental designs according to different schemes for different static load circuits obtained theoretically using the FEM in the PC "LIRA-SAPR" in the task of setting linear dependency of materials. Here is also given the offers with calculations of two-beamed iron concrete constructions of prefabricated monolithic bridge spans on curved sections of transport facilities.

**Keywords:** two-beam bridges span, difficult conditions of construction, research design, deformation, crack.