

УДК 624.21.095.32

## РОЗРАХУНОК АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТА ІЗ АРМУВАННЯМ ПЛИТИ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ МЕТАЛЕВИМ ПРОФІЛЬОВАНИМ НАСТИЛОМ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Коваль М.П.

*Розглянуто просторовий розрахунок прогонової будови із зовнішнім армуванням плити проїзної частини за допомогою методу скінченних елементів. Результати порівняні із даними, отриманими під час натурних випробувань моста. Встановлено, що розрахунок прогонової будови із нелінійними параметрами плити проїзної частини дозволяє отримати результати, максимально наближені до реальних.*

*A calculation of the bridge with external reinforced deck slab using the finite element method is considered. Results compared with data obtained during field tests of the bridge. Determined that the calculation of span structures with nonlinear parameters of the deck slab allows to obtain results that are closest to real.*

**Вступ.** Практика експлуатації мостів в Україні довела, що традиційні конструкції плит проїзної частини (переважно збірні із об'єднанням монолітним швом) морально і технічно застаріли, вони знаходяться у значно гіршому стані, ніж монолітні плити [1]. Зі збільшенням вантажопотоків, маси транспортних засобів та розвитком технології будівництва з монолітного бетону відбувся перехід до оптимальніших конструкцій. Так, згідно з вимогами норм [2] плита проїзної частини має обов'язково бути монолітною. Це сприяє ширшому впровадженню збірно-монолітних мостів — балки заводського виготовлення об'єднуються монолітною плитою товщиною не менше 20 см (на практиці плити найчастіше мають товщину 22 см). Це обумовлено підвищенням вимог до експлуатаційної надійності та довговічності транспортних споруд в цілому, оскільки плита проїзної частини є важливим елементом, який безпосередньо сприймає вплив тимчасового рухомого навантаження і зазнає агресивної дії води із розчиненими в ній хімічними сполуками, будучи таким чином головним фактором забезпечення надійності та довговічності споруди.

Обов'язкове влаштування монолітної плити проїзної частини створило проблему використання опалубки при будівництві мостів. Широкий вибір різних типів балок зумовив перехід до індивідуального проектування прогонових будов, в тому числі і до застосування індивідуальних типів опалубки. Перспективним є використання металевого профільованого настилу, який при експлуатації мостів буде служити незнімною опалубкою, зовнішнім армуванням та підвищувати поперечну жорсткість плити. Роботи у цьому напрямі проводяться і в Росії [3].

Поряд з тим гостро стоїть питання детальних досліджень просторової роботи мостів, зведених за новими нормами. Річ у тім, що робота відносно тонких (до 20 см) плит проїзної частини була детально вивчена за попередні десятиліття. Із збільшенням товщини збільшилась і участь плити в просторовій роботі конструкції через зростання поперечної жорсткості. Проте і досі розрахунки мостів переважно ведуться за спрощеними методиками, що не враховують зусилля у плиті від просторової роботи та вплив плити на роботу прогонової будови [4].

**Постановка задачі.** Міст через струмок на автомобільній дорозі державного значення Н-13 Львів-Самбір-Ужгород, км 57+206, біля с. Луки Львівської області збудований у 2008 році філією Державного дорожнього науково-дослідного інституту ім. Шульгіна — Львівським регіональним науково-технічним центром (ЛРНТЦ).

Технічні параметри моста:

- довжина прогонів моста 16 м;
- габарит Г 11,5+2×0,75;
- статична схема — розрізна однопрогонова балкова;
- прогонова будова моста — залізобетонна попередньо напружена;
- поперечний переріз прогонової будови (рис. 1) складається із восьми двотаврових попередньо напружених залізобетонних балок ЗВет-90, об'єднаних поверху залізобетонною плитою проїзної частини;

— берегові опори — пальові із високим ростверком.

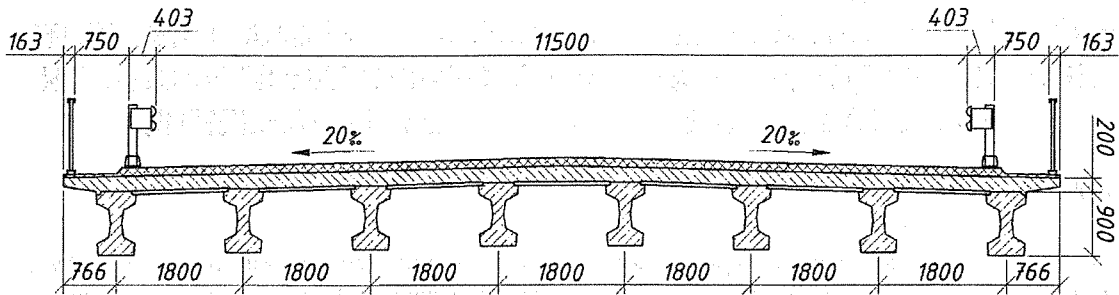


Рис. 1. Поперечний переріз моста

При влаштуванні плити проїзної частини сталевий профільований настил Т-50 компанії «Прушинські-Україна» встановлювався між головними балками на конструктивні виступи верхньої зони. Зважаючи на відсутність в Україні досвіду та рекомендацій по зведенню мостів із незнімною опалубкою плити проїзної частини із сталевго профнастилу, нижню робочу арматуру плити розмістили таким чином, щоби дотриматись вимоги ДБН «Мости і труби» щодо товщини захисного шару бетону (20 мм).



Рис. 2. Поздовжній переріз плити проїзної частини

Міст був розрахований згідно з класичними методами розрахунку — з визначенням коефіцієнтів поперечного розподілу методом позацентрового стиску з крученням та розрахунку плити проїзної частини спрощеним методом як балки на двох опорах з подальшим введенням поправочних коефіцієнтів. Через відсутність рекомендацій з розрахунку незнімної опалубки у мостовому будівництві профільований настил як арматура у розрахунках не враховувався, у рамках виконання вимог щодо захисного шару бетону у нижній зоні плити відстань від верхнього гофра настилу до робочої арматури плити становила 20 мм, висота плити від верхнього гофра настилу до верхнього обрізу — 220 мм. Для дослідження просторової роботи прогонової будови необхідно було створити прийнятну розрахункову схему, що враховувала б наявність профільованого настилу з відповідною геометричною конфігурацією плити. Для вирішення цієї задачі був вибраний програмний комплекс «Ліра 9.6».

**Реалізація задачі.** Первинна розрахункова схема була створена із широким застосуванням об'ємних елементів (рис. 3). Для цього із САПР «AutoCAD» у середовище Лір-Візор були імпортовані контури перерізів головної балки, профільованого настилу, плити проїзної частини та тротуарної консолі. Після створення та триангуляції контурів перерізів балки, плита проїзної частини та тротуарні консолі були змодельовані тривимірними елементами (СЕ №34 та №36). Профільований настил був змодельований пластинами (СЕ №44) товщиною 1 мм. Робоча арматура балок та плити була змодельована стержнями (СЕ №10) круглого перерізу. Попереднє напруження робочої арматури балок задавалось від'ємним температурним навантаженням ( $-468^{\circ}\text{C}$  на нижні стержні та  $-432^{\circ}\text{C}$  на верхні). Асфальтобетонне покриття та вага огорожуючих пристроїв були враховані як розподілене навантаження, прикладене до верхнього обрізу плити. Усі жорсткісні параметри матеріалів були задані лінійними.

На момент створення схеми основною її перевагою була майже повна геометрична ідентичність реальній споруді, що повинно було гарантувати хорошу збіжність роботи схеми із реальною конструкцією. Основним недоліком була громіздкість схеми (272 тис. елементів) та, як наслідок, великий час розрахунку (8-9 годин). Загальна картина деформацій схеми від власної ваги та тимчасових навантажень виглядала достовірною, проте необхідно було перевірити збіжність із результатами від реальної роботи конструкції.

Проведені комплексні випробування моста [5] дали можливість детально дослідити реальну роботу прогонової будови. Прогонова будова була послідовно завантажена 20-ма випробувальними схемами, зокрема при цьому фіксувалися прогини головних балок та плити проїзної частини посередині прогону.

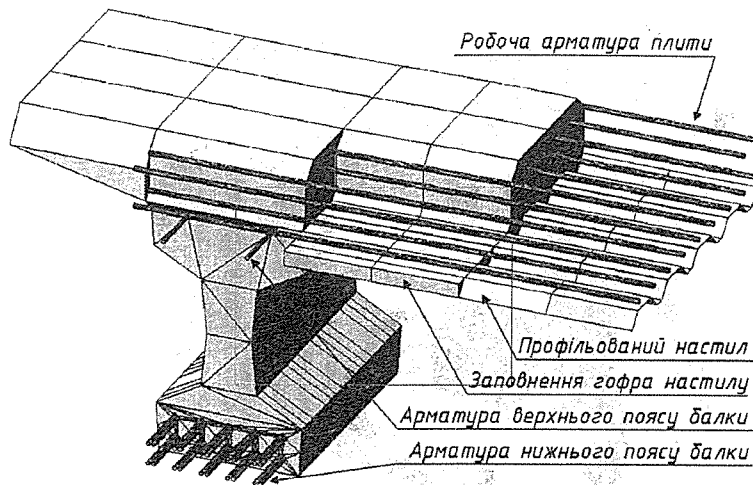


Рис. 3. 3D-візуалізація первинної розрахункової схеми

Для прикладення до розрахункової схеми тимчасового навантаження за програмою випробувань було створене 20 завантажень згідно з програмою випробувань. При цьому схема завантажувалася лише випробувальним навантаженням, постійні навантаження не враховувались. Порівняння результатів розрахунку із даними, отриманими під час випробування, показало, що між ними існують суттєві розбіжності — як в отриманих значеннях, так і в загальному характері роботи конструкції (рис. 4). Спроби наблизити розрахункові результати до реальних за рахунок зниження жорсткісних параметрів та введення шарнірів у вузлах опирання настилу на балки не дало результатів. Таким чином було встановлено, що лінійна розрахункова схема не відображає реальної роботи конструкції.

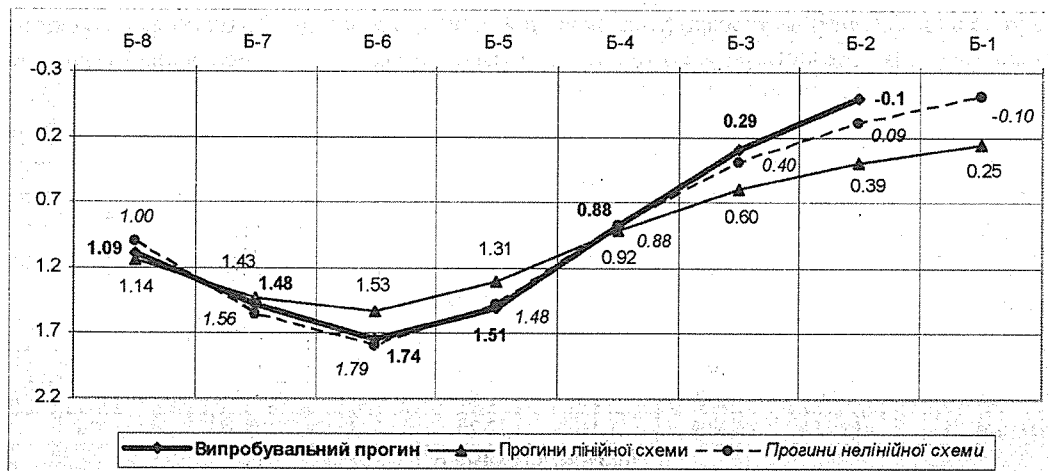


Рис. 4. Порівняння реальних та розрахункових прогинів балок за схемою 2.2

Виходячи з припущення про те, що монолітна плита проїзної частини товщиною 22 см (без врахування профнастилу та бетонного заповнення гофр) відіграє вирішальну роль у просторовій роботі прогонової будови, було прийняте рішення створити схему, що враховувала б нелінійну роботу плити. Для цього була створена нова розрахункова схема (рис. 5).

Основою схеми є тривимірні елементи, що моделюють верхні частини головних балок (СЕ №34 та №36) та бетонні заповнення гофр настилу (СЕ №234 та №236), та пластини (СЕ №44), якими змодельований профнастил. Плита проїзної частини змодельована пластинами товщиною 22 см (СЕ №241), піднятими жорсткими вставками на 11 см над площиною настилу, його заповнення та верхніх частин балок. Головні балки та робоча арматура балок — стержні (СЕ №10), опущені жорсткими вставками на 43,3 см та 76,6 см відповідно від нижнього обрізу верхніх частин балок. Поперечний переріз балок був створений в системі ЛІР-КС із неповного перерізу балки, імпортованого з САПР «AutoCAD», поперечний переріз робочої арматури — круглий, з площею, еквівалентною до сумарної площі робочої арматури. По аналогії із попередньою схемою було створено 20 нелінійних завантажень згідно з програмою випробувань.

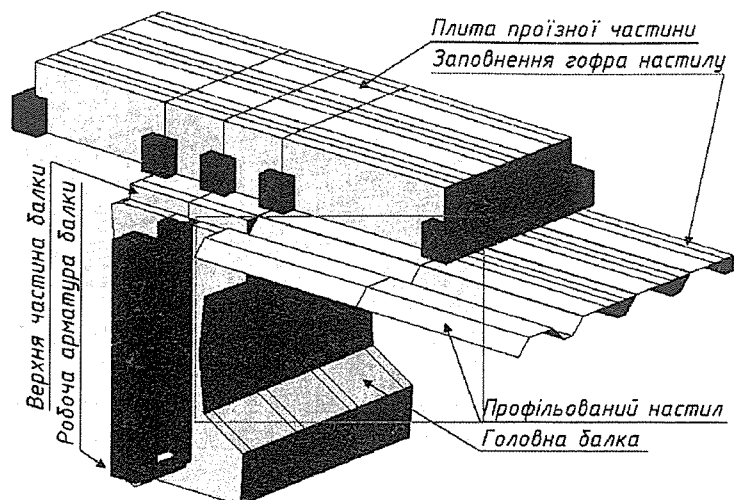


Рис. 5. 3D-візуалізація нелінійної розрахункової схеми

Для реалізації нелінійного розрахунку в параметрах жорсткості пластин плити для матеріалу був заданий 25-й закон деформування для бетону класу В30, тип ТА, та 11-й закон деформування з параметрами арматури А-400С. Параметри армування плити були задані фізичними еквівалентами сіток у вигляді відсотків армування для 2-х рядів арматури — верхнього і нижнього. Для бетонного заповнення гофр був заданий 11-й закон деформування із параметрами бетону класу В30.

Кінцева схема вигідно відрізняється від попередньої компактністю (20 тис. елементів) та швидкістю розрахунку (3 години).

Отримані внаслідок нелінійного розрахунку значення прогинів головних балок по усіх 20 схемах продемонстрували хорошу збіжність результатів із прогинами, отриманими під час випробувань моста. Порівняння випробувальних та розрахункових прогинів наведені на рис. 4 та у табл. 1.

Таблиця 1

Прогини за схемою 1.5								
	Б-8	Б-7	Б-6	Б-5	Б-4	Б-3	Б-2	Б-1
Випр. прог., мм	2.71	2.58	1.89	1.16	0.44	0.11	-0.07	
Нелін. прог., мм	2.81	2.58	1.89	1.03	0.44	0.10	-0.07	-0.17
Різниця, %	3.7%	0.0%	0.0%	-11.2%	0.0%	-9.1%	0.0%	
Прогини за схемою 2.5								
Випр. прог., мм	1.36	1.80	2.19	1.94	1.00	0.39	-0.07	
Нелін. прог., мм	1.20	1.90	2.21	1.80	1.05	0.47	0.11	-0.13
Різниця, %	-11.8%	5.6%	0.9%	-7.2%	5.0%	20.5%	-257.1%	
Прогини за схемою 3.5								
Випр. прог., мм	0.28	1.00	1.85	2.19	1.62	1.04	0.26	
Нелін. прог., мм	0.35	1.04	1.79	2.16	1.79	1.06	0.45	-0.01
Різниця, %	25.0%	4.0%	-3.2%	-1.4%	10.5%	1.9%	73.1%	
Прогини за схемою 4.5								
	Б-8	Б-7	Б-6	Б-5	Б-4	Б-3	Б-2	Б-1
Випр. прог., мм	0.11	0.52	1.04	1.59	2.17	1.95	0.86	
Нелін. прог., мм	-0.02	0.44	1.04	1.77	2.16	1.81	1.06	0.36
Різниця, %	-118.2%	-15.4%	0.0%	11.3%	-0.5%	-7.2%	23.3%	

### Висновки.

1. Використання металевого профільованого настилу як незнімної опалубки плити проїзної частини забезпечило міцність, деформативність та хорошу сумісну просторову роботу всіх елементів прогонової будови.

2. У розрахунках прогонових будов та їх елементів слід враховувати просторову роботу конструкцій. Потужності сучасних ЕОМ та можливості програмних комплексів дозволяють ефективно застосовувати як класичні методи, так метод скінченних елементів.

3. Розрахункова схема із плитою проїзної частини, що володіє нелінійними деформівними параметрами, дає максимально точну збіжність із результатами, отриманими під час натурних випробувань.
4. Лінійний розрахунок складних мостових конструкцій не завжди є коректним. Для повнішого аналізу напружено-деформованого стану слід застосовувати нелінійний розрахунок.
5. Необхідно дослідити можливість зменшення товщини плит проїзної частини з зовнішнім армуванням із профнастилів в поєднанні із раціональним стержневим армуванням.

### Література

1. Фаль А. С. Тріщиностійкість та експлуатаційні якості залізобетонних плит проїзної частини автодорожніх мостів: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01/ Фаль Андрій Євгенович. — Львів, 2004 — 190 с.
2. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування: ДБН В.2.3-14:2006 [чинний від 2007-02-01]. — К.: Мінбуд України, 2006. — 259 с. — (Державні будівельні норми України).
3. Коротин В.Н. Применение несъемной металлической опалубки «Steelcomp» при сооружении сталежелезобетонного пролетного строения моста через р. Медведку / В.Н. Коротин, Е.Н. Бирюков, С.Г. Вейцман, А.И. Дмитриев, Н.В. Смирнов // Вестник мостостроения. — 2000. — № 1-2. — С. 45-49.
4. Розрахунки і проектування мостів: В 2-х т.: Навч. посіб. / [О. Загора, Д. Каплинський, М. Корнієв та ін.]; за ред. А. Лантуха-Лященко — К.: НТУ, 2007 — Том I. — 337 с.
5. Коваль М. П. Випробування плити проїзної частини із зовнішнім армуванням автодорожнього залізобетонного моста / М. П. Коваль // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». — 2010. — № 662. — С 245-253.

УДК 625.71.8:658

## ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ МОДЕЛІ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ / ГАРАНТІЇ ЯКОСТІ

Кононюк Ю.В.

*Запропонована універсальна система контролю якості / гарантії якості (КЯ/ГЯ), яка забезпечує зворотній процес контролю якості (КЯ), що буде постійно ставити у відповідність поточну систему КЯ до продуктивності аналітичної системи для задоволення заданих цілей якості. Модель КЯ/ГЯ є «балансом» системи управління якістю відповідно до змін продуктивності і стабільності аналітичної системи. Процес КЯ не повинен залишатися незмінним в той час коли аналітична система постійно змінюється у достовірності і точності. Відстеження ефективності методу (достовірності і точності) щодо вимог якості відбувається за допомогою показника критичної систематичної помилки ( $\hat{SEC}$ ).*

*Proposed versatile model of Quality Control / Quality Assurance (QC/QA) provides a responsive QC process that will continuously match current QC system to the performance of the analytical system to meet defined quality goals. QC/QA model «balances» the quality control system to meet the changing performance and stability of the analytical system. QC process should not remain the same while the analytical system constantly changes in accuracy and precision. We monitor method performance (accuracy and precision) relative to a quality requirement by calculating critical systematic error ( $\hat{SEC}$ ).*

**Постановка проблеми.** Часи і технології швидко змінюються. Інструменти і методи вимірювання є більш точними і стабільними, ніж вони були десять років тому. Більшість лабораторій прийняли ці нові технічні досягнення, але мало що змінилося відносно контролю якості (КЯ).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У багатьох діагностичних лабораторіях до цих пір використовують правила 1-2s, де s — стандартне відхилення вимірюваного параметру, відповідно до рекомендацій Леві і Дженнінгса (Levey S., Jennings E.R.) в 1950 році [1]. Цей підхід добре працює в неавтоматизованих методах, але з тих пір технології змінилися і покращилися!

У 1981 році Уестгард (Westgard J.O.) [2,3] рекомендував використовувати алгоритм множини правил, щоб уникнути статистичних помилок, що властиві для правила 1-2s. Технологія пройшла довгий шлях з 1981 року, і протягом останніх десяти років лідери галузі, такі як Джеймс Уестгард, Пер Хайлтофт Петерсен і Каллум Фрейзер порадили використовувати різні правила контролю якості відповідно до аналітичних можливостей і стабільності кожного випробування (тесту).