

ПРОСТОРОВІ РОЗРАХУНКИ ПРОГОНОВИХ БУДОВ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

Краснов С.М., к.т.н. доцент, Бережна К.В., к.т.н. доцент, Зимбицький С. магістр

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

krasnov56@ukr.net, berezna@gmail.com

Вибір моделі для розрахунку прольотної будови визначається декількома факторами, серед яких – якомога більш точний збіг теоретичних результатів розрахунку з даними випробування мостів і мінімізація витрат часу на проектування. Проаналізувавши в даній роботі тенденції й методи розрахунку, що мають місце при моделюванні напружено-деформованого стану прольотних будов, ми намагаємось обрати адекватну розрахункову модель прольотної будови з урахуванням її просторової роботи та конструктивних особливостей. Розрахунок просторових систем вручну є досить трудомістким і вимагає більших витрат часу, тому раціональним буде використання в розрахунку електронно-обчислювальної техніки. Інструментарієм було обране середовище ПК „ЛІРА”, що використовує в метод скінченних елементів, представлений у вигляді методу переміщень [1, 2].

Кафедрою мостів, конструкцій та будівельної механіки ХНАДУ регулярно проводяться роботи по обстеженням, випробуванням і перевірочним розрахунками існуючих і проєктованих мостових споруд. Для аналізу результатів розрахунків і випробувань були обрані данні випробувань двох мостів з ребристими збірними пролітних будовами в місті Суми (об'єднання балок по діафрагмах) і в Луганській області (об'єднання по плиті проїзної частини).

Прогонову будову шляхопроводу в Луганській області виконано за типовим проєктом 3.503-14. Довжина прогону 21 м, габарит Г-11,5, в поперечному перерізі встановлено 6 балок з кроком 2,4 м. Об'єднання балок між собою здійснено по плиті проїжджої частини. Для навантаження використовували автомобілі КраЗ 256 Б1 з причепом ПСБ-10 загальною масою 40т. Завантаженість проводилася за трьома схемами, які враховують послідовну установку першої, другої і третьої колони автомобілів.

Скінчено-елементна модель (СЕМ) створена з СЕ-41 плити, які моделюють плиту прогонової будови і КЕ-10 - стрижнів, що моделюють балки двотаврового перетину (рис. 1). Геометричні розміри поперечного перерізу задані виходячи з реальних розмірів конструкції: загальна висота двотавру 120 см, ширина верхньої полиці 240 см, товщина 15 см, товщина ребра 16 см, висота нижньої полиці 30 см, ширина 60 см. При розрахунках розглядалися два варіанти: робота прогонової будови без урахування шарів їздового полотна і з включенням в роботу вирівнюючого шару з бетону товщиною 3 см.

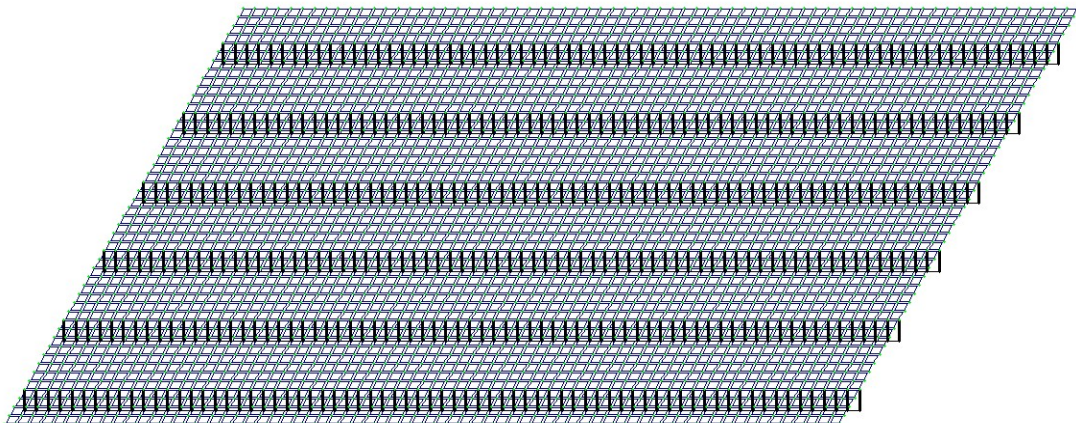


Рисунок 1 – Скінчено-елементна модель прогонової будови шляхопроводу

Таблиця 1 – Прогини у головних балках шляхопроводу у Луганській обл.

№ балки	Прогини (схема 1; схема 2; схема 3)			
	експеримент. прогини, мм	теорет. прогини, мм	прогини СЕМ (плита 15 см), мм	прогини СЕМ (плита 18 см), мм
1	-4,11; -5,09; -5,19	-5,65; -6,36; -6,04	-5,26; -5,9; -5,7	-5,08; -5,99; -5,9
2	-3,53; -6,37; -7,33	-4,66; -8,51; -9,22	-4,99; -8,2; -8,78	-4,5; -7,57; -8,35
3	-1,74; -6,06; -8,52	-2,56; -7,14; -9,97	-2,23; -7,2; -9,75	-2,26; -6,6; -9,15
4	-0,62; -3,76; -7,87	-0,52; -3,66; -8,28	-0,44; -3,6; -8,5	-0,62; -3,6; -7,94
5	-0,07; -1,33; -4,47	0,33; -0,65; -4,77	0,06; -0,82; -4,7	0,00; -1,08; -4,63
6	0,01; -0,01; -1,02	0,07; 0,42; -0,63	0,10; 0,24; -0,84	0,15; 0,19; -1,14

Результати розрахунку прогонової будови з застосуванням скінчено-елементної моделі створеної в ПК «Ліра», а так само отримані методом пружних опор і під час натурних випробувань шляхопроводу, наведені в таблиці 1. Для наочності отриманих результатів були побудовані криві прогинів в середині прольоту для третьої схеми завантаження (рис. 2). Зіставлення теоретичних

результатів з результатами експерименту свідчить про більшу адекватності даних отриманих на основі просторової моделі конструкції, що враховує також спільну роботу плити і вирівнюючого шару.

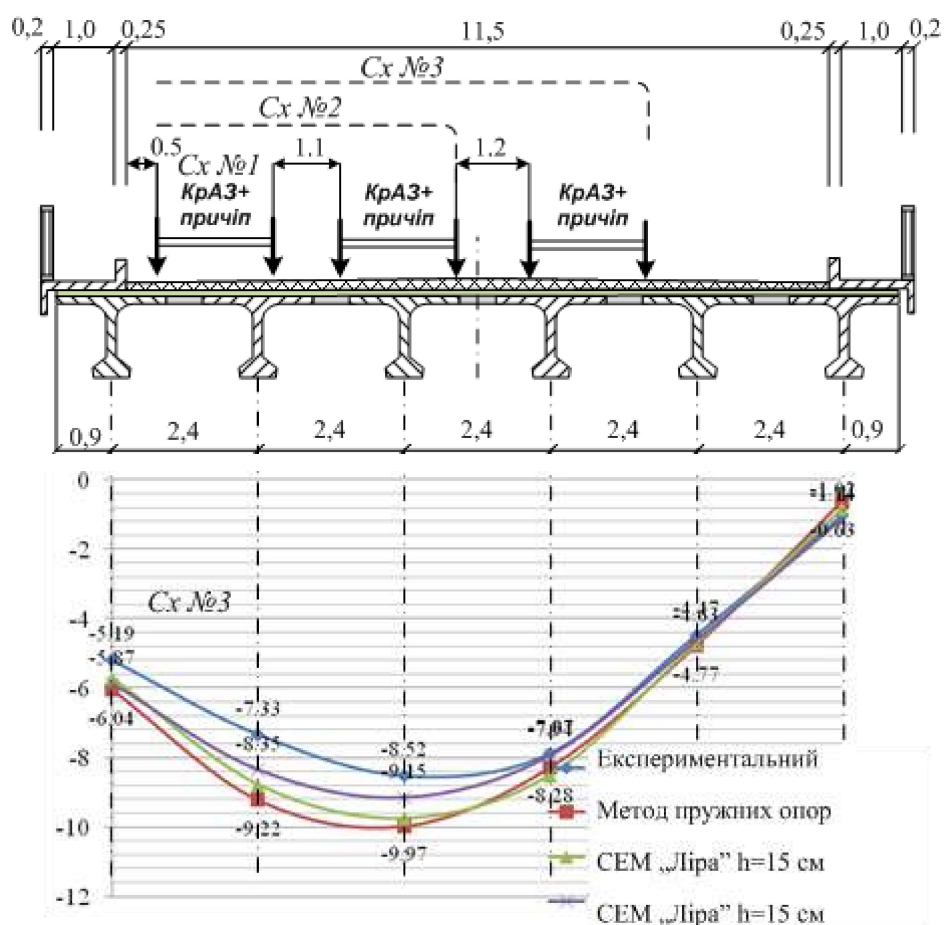


Рисунок 2 – Лінії прогинів у середині прольоту (експериментальні та теоретичні) від третьої схеми навантаження

Аналіз роботи прогонової будови, об'єднання головних балок якого виконано по діафрагм, проведено на прикладі шляхопроводу в місті Суми. Пролітна будова складається з дев'яти балок довжиною 22,16 м (розрахунковий проліт 21,5 м), виконаних за типовим проектом 122-63. Крок балок в поперечному напрямку 1,66 м, крок діафрагм 4,3 м. Габарит - 11,05 м, тротуари – 2 × 1,90 м.

Для навантаження використовувалися чотири автомобілі КрАЗ і два автомобіля КАМАЗ, масою від 19 до 23 т, які встановлювалися за трьома схемами поетапного завантаження конструкції. Вертикальні переміщення замірялися

прогиноміром Максимова марки ПМ (9 прогиномірів в середині прольоту і по 4 на опорах).

Скінчено-елементна модель створена з KE-41 плити, які моделюють плиту прогонової будови і KE-10 - стрижнів, що моделюють головні балки і діафрагми. Об'єднання балок між собою виконано стрижнями, які моделюють закладні деталі діафрагм (рис. 3).

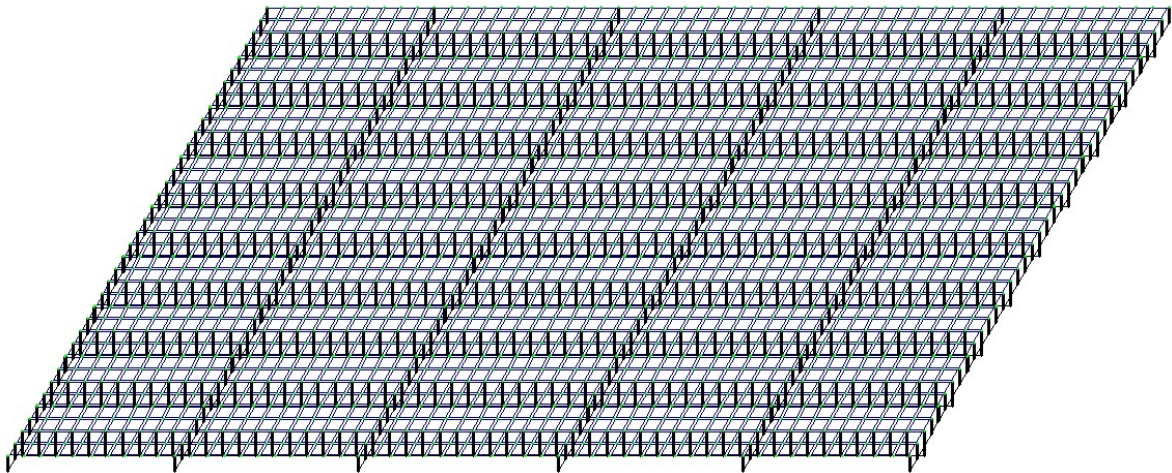


Рисунок 3 – Скінчено-елементна модель прогонової будови шляхопроводу у м. Суми

Поперечний та приведений перерізи балки показані на рисунку 4. Для урахування арматури в бетоні, при моделюванні прогонової будови, вводимо приведений модуль деформації. Момент інерції приведенного перерізу балки без урахування арматури становить $I_{red} = 5591333 \text{ см}^4$, момент інерції приведенного перерізу балки з урахуванням арматури - $I_{red,s} = 8116393,9 \text{ см}^4$.

Коефіцієнт переводу модуля деформації матеріалу балки

$$n = \frac{I_{red,s}}{I_{red}} = \frac{8116393,9}{5591333} = 1,45 \quad E_{red} = E_{\sigma} \cdot n = 360000 \cdot 1,45 = 5,23 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2$$

Для більш репрезентативного порівняння результатів розрахунку СЕМ і натурних випробувань, розрахунок прогонових будов так само виконаний методами Лукіна Н.П. і Кожушко В.П. Всі отримані результати зведені в таблицю 2. За даними

обробки вимірів побудовані лінії прогинів в головних балках пролітної будови в середині прольоту, на рисунку 5 наведені лінії прогинів для третьої схеми завантаження.

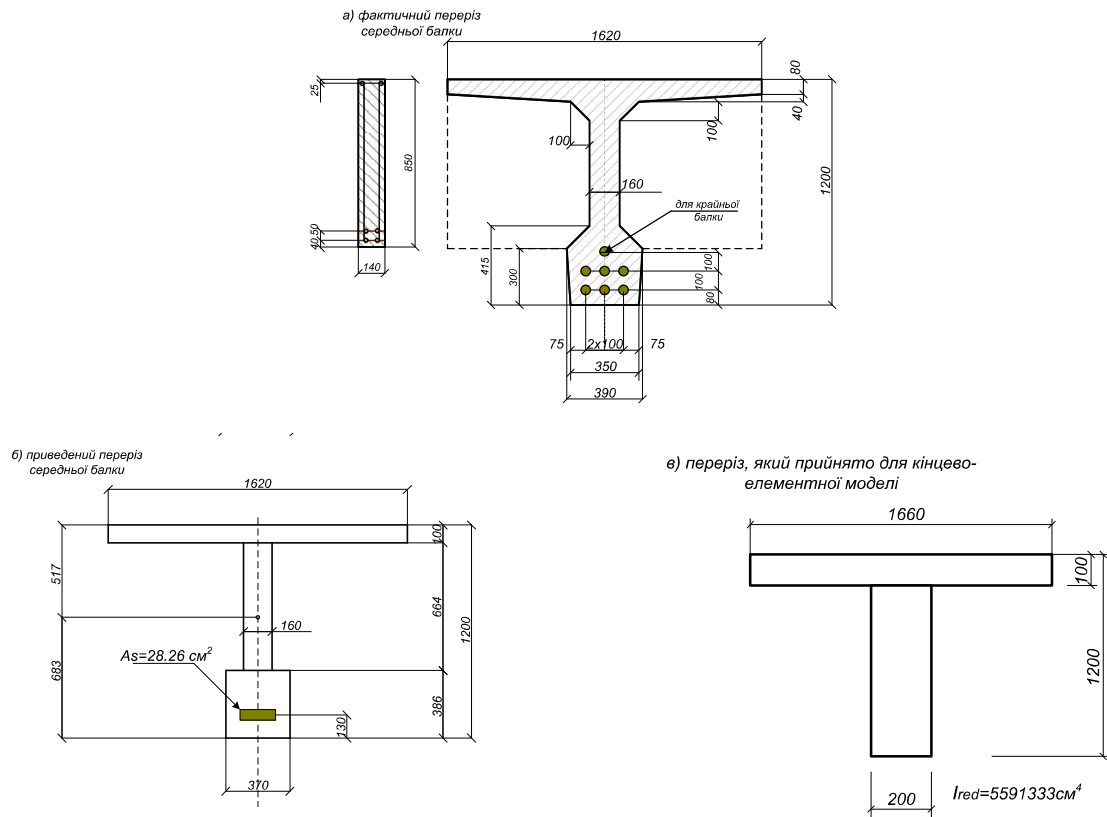


Рисунок 4 – Поперечний і приведенний переріз балок прогонової будови по ТП 122-63, довжиною 22,16 м

Таблиця 2 –Прогини у головних балках шляхопроводу у м. Суми

№ балки	Прогини (схема 1; схема 2; схема 3)			
	прогини СЕМ, мм	експеримент. прогини, мм	теор. прогини (мет Лукіна), мм	теор. прогини (мет Кожушко), мм
1	0,24; 0,3; -3,96	0,5; -0,14; -3,62	0,32; 0,025; -3,45	0,57; 0,6; -2,7
2	0,17; -0,88; -5,12	0,233; -1,24; -4,88	-0,0315; -0,98; -4,1	0,096; -0,72; -3,81
3	-0,38; -2,18; -5,96	-0,18; -3,24; -5,47	-0,385; -1,7; -4,4	-0,29; -1,75; -4,37
4	-0,97; -3,66; -6,5	-0,904; -3,24; -5,97	-1,046; -2,5; -4,98	-0,86; -2,89; -4,94
5	-1,77; -5,1; -6,94	-1,44; -4,5; -6,33	-1,6; -3,8; -5,33	-1,41; -3,76; -5,18
6	-2,74; -6,02; -7,04	-2,25; -5,3; -6,34	-2; -4,25; -5,34	-2,01; -4,31; -5,15
7	-3,59; -6,16; -6,58	-3,37; -5,37; -6,1	-2,6; -4,6; -5,1	-2,59; -4,53; -4,84
8	-4; -5,64; -5,62	-3,75; -4,83; -4,83	-2,9; -4,56; -4,56	-3,03; -4,4; -4,24
9	-3,97; -4,66; -4,31	-3,7; -4,15; -4	-3,32; -4,32; -3,99	-3,21; -3,97; -3,39

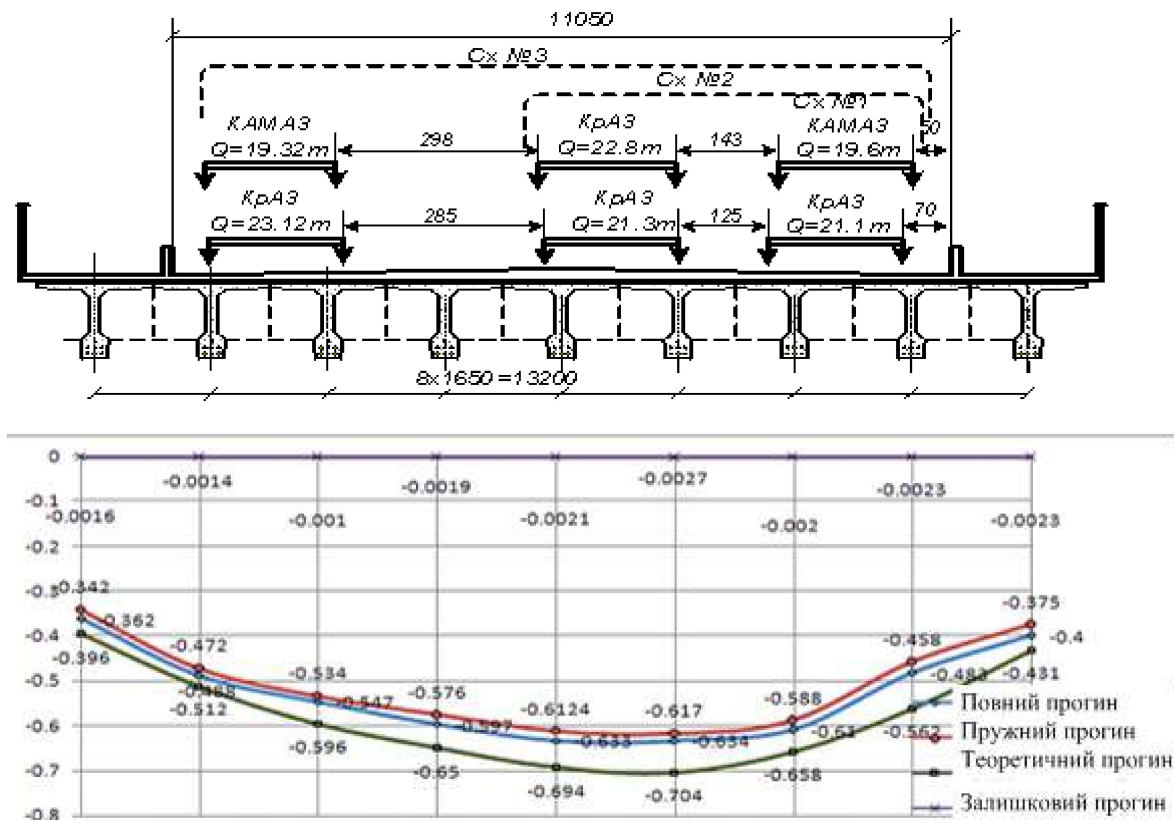


Рисунок 5 – Лінії прогинів у середині прольотів (експериментальні та теоретичні) від третьої схеми навантаження

Характер експериментальних і теоретичних прогинів, визначених за методами Лукіна Н.П., Кожушко В.П. і розрахунку скінчено-елементної моделі ідентичні, що свідчить про коректність моделі.

Використання запропонованих моделей дозволяє виконувати розрахунки прогонових будов з урахуванням їх реального стану, тобто враховувати зміну геометричних характеристик перерізів, властивостей матеріалів, розрахункової схеми і сучасних рухомих навантажень.

1. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич – М.: Мир, 1975. – 541с.
2. Программный комплекс ЛИРА-САПР® 2013. Учебное пособие. [Электронное издание] / Д.А. Городецкий, М.С. Барабаш, Р.Ю. Водопьянов, В.П. Титок, А.Е. Артамонова – Режим доступа до ресурсу: <http://www.liraland.ru/files/#lira>