

**УДК 624.012.45**

**Азізов Т.Н., Вільданова Н.Р.**

**ПРОСТОРОВА РОБОТА І ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ  
У МОСТОВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВАХ З УРАХУВАННЯМ  
НЕЛІНІЙНИХ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

*Одеська державна академія будівництва та архітектури,*

*Одеса, Дідріхсона 4, 65029*

**UDC 624.012.45**

**Azizov T.N., Vildanova N.R.**

**THE BRIDGE SUPERSTRUCTURES' SPATIAL WORK  
AND STRAIN REDISTRIBUTION WHILE TAKING  
NONLINEAR STRAIN CHARACTERISTICS INTO ACCOUNT**

*Odessa State Academy of Building and Architecture,*

*Odessa, Didrihsona st. 4, 65029*

Перерозподіл зусиль в елементах просторових систем є актуальною задачею через істотний вплив на напружено-деформований стан і умови роботи конструкції. Запропонована проста і раціональна методика визначення коефіцієнту поперечного розподілу.

*Ключові слова:* просторова робота, крутільна жорсткість, деформації пластичності, діаграма зсуву бетону, чисте кручення.

The stresses' redistribution in the spatial system's elements is the actual problem on account of the essential influence on the structure's deflected mode and working conditions. The simple and efficient transverse location factor's estimation technique has been proposed.

*Keywords:* spatial work, torsional stiffness, plastic deformation, stress-strain diagram for the concrete in pure torsion, pure torsion.

Оскільки сучасна нормативна база передбачає розрахунок конструкцій за пружними жорсткісними характеристиками – а залізобетонні елементи не є суцільними пружними тілами, – завжди є ресурс для більш детального вивчення роботи матеріалів і конструкцій з метою підвищення ефективності їх роботи, виявлення економічних і технічних переваг. Але головна причина необхідності подібних досліджень полягає у тому, що в ряді випадків [1-3] неврахування просторової роботи конструкцій, нелінійних властивостей матеріалів, у тому числі при крученні (що обов'язково має місце при перерозподілі зусиль під час просторової роботи конструкції), призводить не просто до нераціонального використання матеріалів, але, що найважливіше, до невірних висновків щодо роботи конструкцій, розподілення внутрішніх зусиль у часі, характеру розвитку деформацій – і, внаслідок цього, до непередбачуваного руйнування конструкцій, утворення незапланованих тріщин тощо. Тому у даній роботі наведені результати чисельних досліджень просторової роботи мостової прогонової будови, що є продовженням досліджень Т.Н.Азізова [1] і його учнів.

Методи розрахунку залізобетонних конструкцій на кручення, прийняті у найбільш значущих нормативних документах різних країн, істотно відрізняються між собою. Подібні розбіжності призводять до різних результатів розрахунку і вимагають детального дослідження даного процесу, вдосконалення існуючих методів розрахунку залізобетонних елементів як при дії чистого кручення, так і при комбінації інших зусиль з крученням. Вчені вивчають вплив на НДС внутрішніх зусиль від згинальних моментів, поздовжніх і поперечних сил (В.С.Дорофєєвим, О.С.Залєсовим, М.І.Карпенком, В.М.Кобринцем, Т.А.Мухамедієвим, В.М.Совгірою, Т.П.Чистовою, О.Ф.Яременком, Н.Н.Ячменевою, В.Е.Ящуком та ін.), все більш детально досліджують згинальну жорсткість і міцність при згині; в той же час кручення залишається значно менш дослідженим і ще менше освітленим у науковій літературі (вже не кажучи про навчальну, нормативну і науково-популярну). Тому роботи [1-3] присвячені дослідженню деформативних характеристик бетону при крученні.

**Задачею просторового розрахунку** є визначення внутрішніх зусиль від рухомого навантаження в кожному із елементів прогонової будови. Він вимагає єдиного підходу, хоча існуючі методи [1-2, 4-6] переважно дають вирішення для відносно вузького кола задач. Крім того, вони не дозволяють враховувати або враховують частково жорсткісні параметри елементів з тріщинами [2], сумісну роботу полиць з ребрами та інші фактори, які іноді істотно впливають на просторову роботу прольотних будівель і перекриттів. Т.Н.Азізовим [1-2] був розроблений метод розрахунку ребристих систем, окремими випадками якого є монолітні, збірні, збірно-монолітні суцільні і ребристі системи прольотних будов і перекриттів, враховуючи тріщиноутворення і різні схеми опирання і завантаження.

Розрахунок залізобетонних елементів сучасний інженер виконує спираючись на *лінійний закон розподілення деформацій за нормальним перерізом*, на діаграму деформування, за якою напруження в бетоні і арматурі пропорційні деформаціям (тобто стиснута зона бетону має трикутну епюру напружень) [1-2, 4-6]. Але при просторовій роботі конструкції *деформації у перерізі не розподіляються лінійно*, що видно навіть з прийнятої відомої схеми зусиль у просторовому перерізі (рис. 1).

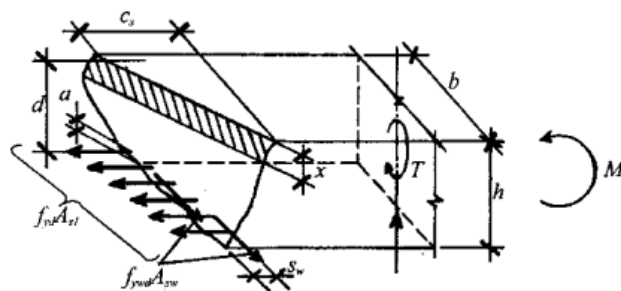


Рис. 1 Схема зусиль у просторовому перерізі залізобетонного елемента, що працює на крученні зі згином, для розрахунку перерізу на міцність

Не лише для перевірки прогинів згинаних ЗБЕ і для оцінки стійкості стиснуто-згинаних елементів, але і для *врахування перерозподілу зусиль у залізобетонних елементах* доцільно проводити *прямий деформативний*

розрахунок [4]. Це дозволяє зменшувати зусилля в зонах їх концентрації і більш рівномірно розподіляти арматуру в залізобетонних елементах.

Відтак, **метою даної роботи** є вивчення просторової роботи перехресно-ребристих конструкцій на прикладі дослідження перерозподілу зусиль у прогоновій мостовій будові. **Новизна** полягає в дослідженні нелінійного перерозподілу зусиль шляхом визначення коефіцієнту поперечного розподілу.

**Чисельний розрахунок прогонової мостової будови.** Просторовий розрахунок прогонової будови моста сьогодні передбачає вирішення задачі визначення зусиль в балкових прогонових будовах за допомогою МСЕ як універсальної точної моделі, проте інша перевірена, класична, значно простіша і швидша у використанні, хоч і менш точна модель продовжує застосовуватись. Застосування *коефіцієнту поперечного розподілу* дозволяє вирішити задачу просторового розрахунку моста. Коефіцієнт поперечного розподілу є безрозмірною величиною, що показує, яка частина рухомого навантаження, встановленого на прогоновій будові, приходить на  $i$ -й елемент (балку) поперечного перерізу [6]. Причому, для визначення КПР існує ряд методів, які варіюються переважно засобами віднаходження ординат ліній впливу різної складності і точності.

Характеристики досліджуваної перехресно-ребристої системи: балки розділені на 20 кінцевих елементів за довжиною, плити – на 5; зміну величин жорсткостей і моментів ми просліджували за довжиною балок. Вихідні дані: ребра перерізом 25x25см, плити – 15x5см, клас бетону С16/20; довжина балок складає 3м, прольот – 1м. Схема прольотної будови наведена на рис.2. Рівномірно розподілене навантаження  $q=5\text{кН/см}$  було прикладене до кожної з трьох балок по чергово (до крайньої – 1-ї або 5-ї, до 2-ї або 4-ї і до 3-ї – центральної).

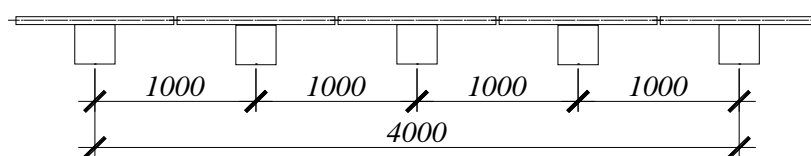


Рис. 2 Схема мостової прогонової будови

Нижче наведені результати розрахунку КІР зазначеної прогонової будови: ординати ліній впливу визначено за допомогою ПК «Лира», КІР – як відношення діючого в кожній балці зусилля до максимально можливого у даному елементі.

При навантаженні на першу балку маємо (табл.1, рис.3-4):

Таблиця 1

**Навантаження на 1-шу балку**

№ балки	1	2	3	4	5
$f_{max}$	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096
$y(i)$	-3.952	-1.664	-0.432	-0.062	0.014
КІР	0.64832	0.27295	0.07091	0.0102	-0.0024

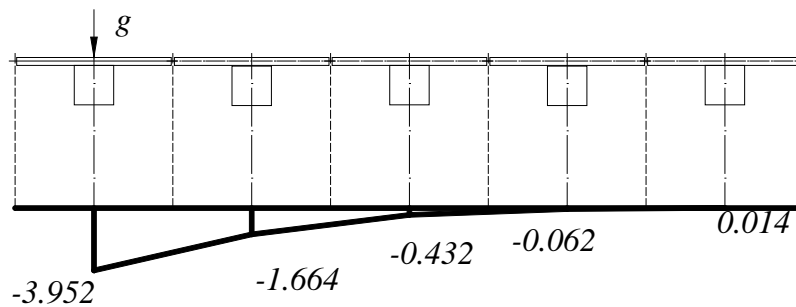


Рис. 3 Лінія впливу при навантаженні першої балки

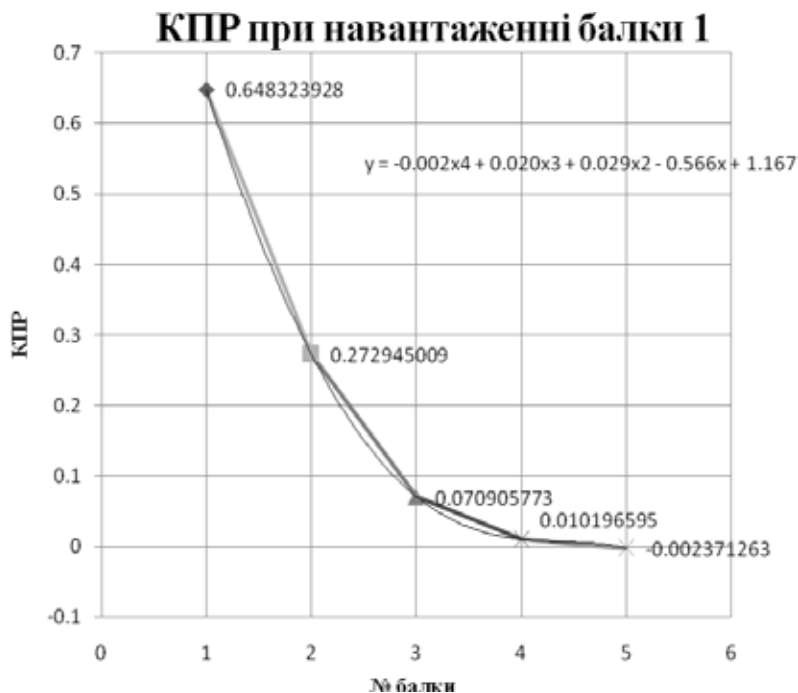


Рис. 4 Розподілення КІР при навантаженні першої балки

Як видно з рис. 4, наведена методика розрахунку дозволяє достатньо точно відобразити нелінійний характер перерозподілу зусиль у ребрах нерозрізної прогонової будови: нелінійне рівняння кривої четвертого ступеня збігається з розрахунковими значеннями.

При навантаженні на другу балку спостерігаємо (табл.2, рис5-6):

Таблиця 2

Навантаження на 2-гу балку

№ балки	1	2	3	4	5
$f_{max}$	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096
$y(i)$	-1.664	-2.595	-1.368	-0.407	-0.062
КІР	0.27294	0.42574	0.22433	0.06679	0.0102

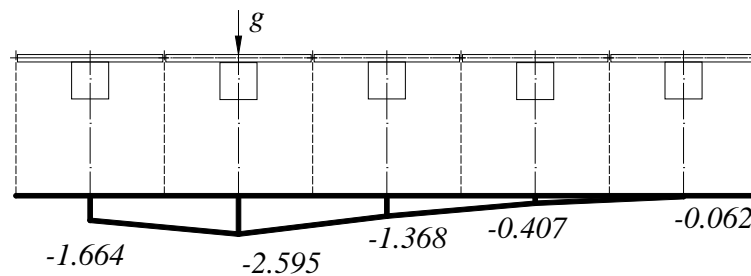


Рис. 5 Лінія впливу при навантаженні другої балки

КІР при навантаженні балки 2

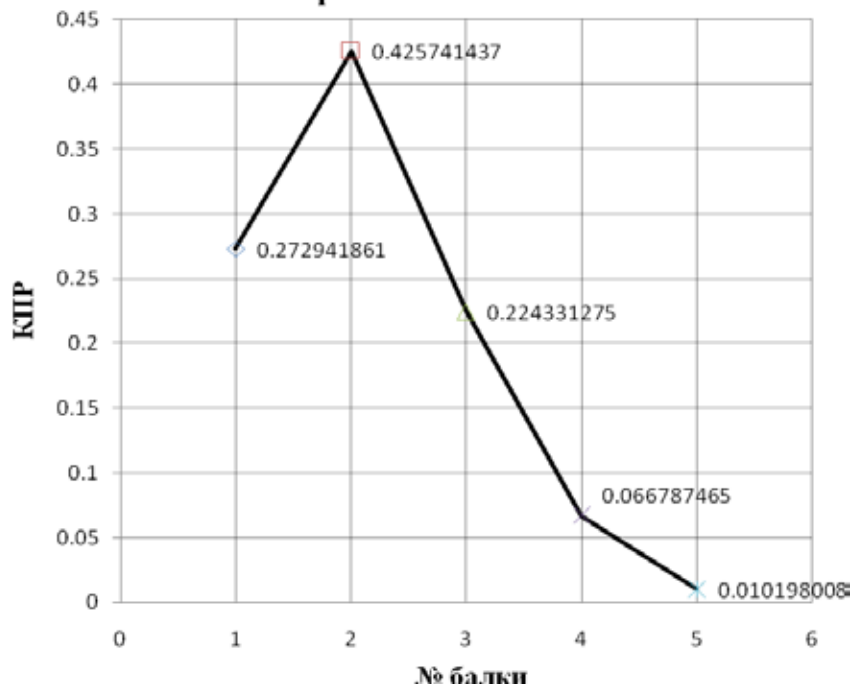


Рис. 6 Розподілення КІР при навантаженні другої балки

КІР при навантаженні на третю балку (табл.3, рис.7-8):

Навантаження на 3-тю балку

№ балки	1	2	3	4	5
$f_{\max}$	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096
$y(i)$	-0.432	-1.368	-2.497	-1.368	-0.432
КІР	0.07091	0.22433	0.40953	0.22433	0.07091

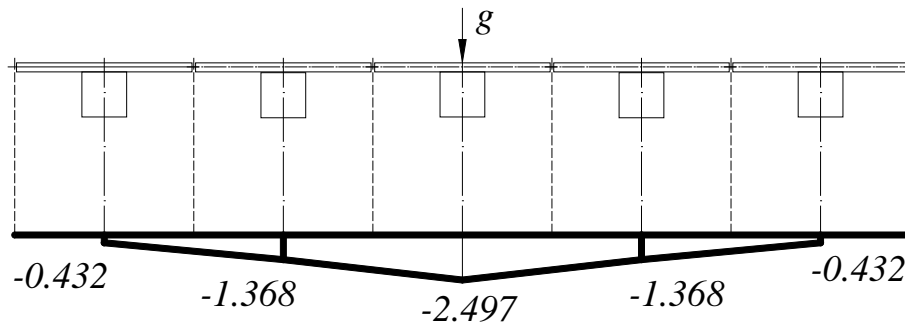


Рис. 7 Лінія впливу при навантаженні третьої балки

КІР при навантаженні балки 3

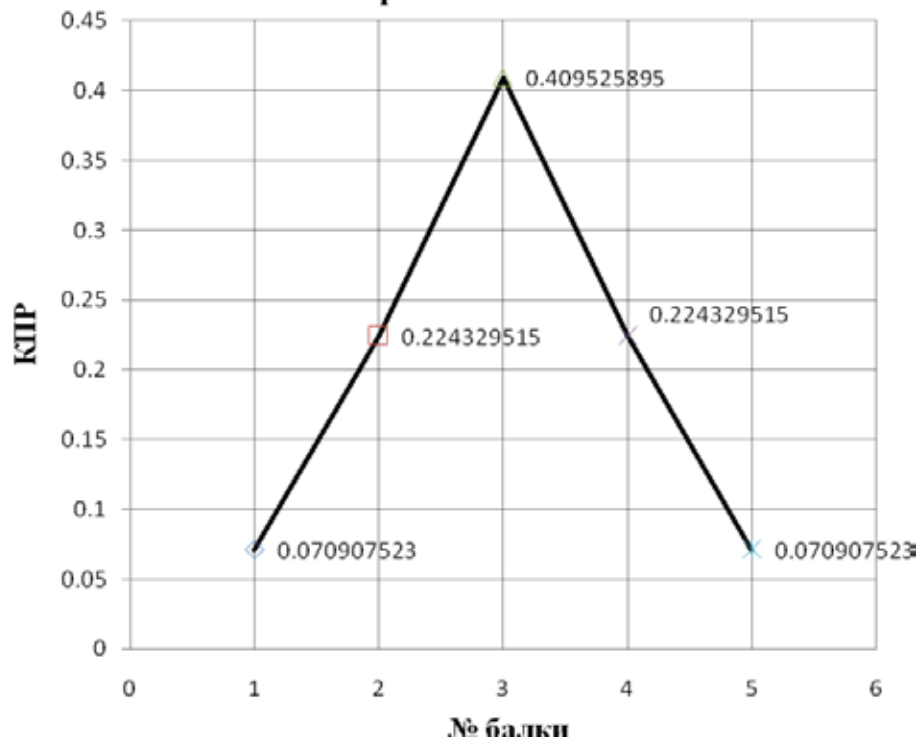


Рис. 8 Розподілення КІР при навантаженні третьої балки

### Висновки і перспективи досліджень.

1. Крутильна жорсткість, яка впливає на перорозподіл зусиль у просторово деформуючихся системах, ще недостатньо досліджена при наявності в елементах нормальних тріщин; ігнорується зазначання нею впливу від зміни

модуля зсуву на різних етапах роботи конструкції, що накладає відбиток на нормативні розрахунки і моделі роботи залізобетону, закладені у програмні комплекси.

2. Наведені результати розрахунку КПП мостової прогонової будови підтверджують: методика відрізняється точністю і легкістю, що дозволяє вирішувати задачу просторового розрахунку конструкції завдяки нескладному визначенню внутрішніх зусиль від навантаження в кожному з елементів прогонової будови, а також враховувати вплив модуля зсуву бетону в залежності від пластичних деформацій як складової крутильної жорсткості ЗБЕ.

3. Доведена важливість прийняття до уваги при дослідженні НДС конструкції не лише змінення моменту інерції як складової крутильної жорсткості, але і змінювання модуля зсуву матеріалів конструкції в залежності від перерозподілу внутрішніх зусиль в елементах за довжиною балки.

#### **Джерела:**

1. Азизов Т.Н. Теория пространственной работы перекрытий. – К: Науковий світ, 2001. – 276с.

2. Азизов Т.Н. Пространственный расчёт железобетонных пролётных строений мостов// Дороги і мости. Збірник наукових праць. Вип. 7. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – С. 8-21.

3. Азизов Т.Н. Експериментальне дослідження діаграми зсуву бетону// Азизов Т.Н., Вільданова Н.Р. – Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 50 – Одеса: ОДАБА, 2013. – С. 3-9.

4. Залесов А.С., Мухамедиев Т.А. Настоящее и будущее расчета железобетона // Бетон и железобетон. – 2005. – №4. – С. 3–6.

5. Лучко Й.Й., Коваль П.М., Корнієв М.М., Лантух-Лященко А.І., Харкаліс М.Р. Мости: конструкції та надійність. – Львів: Каменяр, 2005. – 989с.

6. Розрахунок і проектування мостів. В 2-х т. Навчальний посібник/ За ред. А.Лантуха-Лященко. – К.: НТУ, 2007.-Т.1. – 337с.



7. Яременко О.Ф., Школа Ю.О. Несуча здатність та деформативність залізобетонних стержневих елементів в складному напруженому стані. – Одеса: ОДАБА, 2010. – 136с.

### References:

1. Azizov T.N. Teorija prostranstvennoj raboty perekrytij [Theory of the overlappings' spatial work]. Kiev: Naukovij svit Publ., 2001. 276p.
2. Azizov T.N. Prostranstvennyj raschet zhelezobetonnyh proliotnyh strojenij mostov [Spatial calculation of the reinforced concrete bridge spans] // Roads and bridges. Collection of scientific works. Issue 7.– K.: DerzhdorNDI, 2007.– P.8-21.
3. Azizov T.N. Eksperymental'ne doslidzhennya diagramy zsuvu betonu [Spatial calculation of the reinforced concrete bridge spans] // Roads and bridges. Collection of scientific works. Issue 7.– K.: DerzhdorNDI, 2007.– P.8-21.
4. Zalesov A.S., Muhamediev T.A. Nastoyashee i budushee rascheta zhelezobetona // Beton i zhelezobeton. – 2005. – №4. – P. 3–6.
5. Luchko J.J., Koval P.M., Kornijev M.M., Lantuh-Lyashchenko A.I., Harkalis M.R. Mosty: Konstrukciji ta nadijnist' [Bridges: design and reliability]. – Lviv: Kamenyar, 2005. – 989p.
6. Rozrahnok i proektuvannya mostiv [Calculation and design of bridges] / Ed. A.Lantuh-Lyashchenko – K.: NTU, 2007.-Vol.1. – 337p.
7. Yaremenko O.F., Shkola Yu.O. Nesucha zdatnist ta deformatyvnist zalizobetonnykh sterzhnevyykh elementiv v skladnomu napruzhenomu stani [The reinforced concrete strain elements' bearing capacity and deformability in a compound stress]. Odessa: ODABA, 2010. 136p.