

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ У ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ НЕРОЗРІЗНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВАХ АВТОДОРОЖНИХ МОСТІВ З РЕГУЛЮВАННЯМ ЗУСИЛЬ

© Сало В.Ю., 2012

**Розглянуто особливості розрахунку збірно-монолітних нерозрізних прогонових будов з регулюванням зусиль.**

**Ключові слова:** збірно-монолітні конструкції, попередньо напружені стики, напружено-деформований стан.

**The features of calculation of multi – span longitudinal reinforced concrete bridges with prestressed joints.**

**Key words:** multi – span constructions, prestressed joints, tensely deformed state.

**Вступ.** Одним із перспективних напрямків вдосконалення конструкцій збірно-монолітних прогонових будов є їх об'єднання в нерозрізні системи, що веде до зменшення витрати арматури і бетону, зниження будівельної висоти прогонових будов, збільшення жорсткості усєї конструкції порівняно з розрізними. Регулювання зусиль за допомогою натягу надпорної арматури дає змогу монтувати збірно-монолітні балкові конструкції як звичайні збірні, а також повніше використовувати несучу здатність збірних елементів, включаючи усю або частину монтажного навантаження в роботу за нерозрізною схемою.

На кафедрі мостів та будівельної механіки Національного університету “Львівська політехніка” розроблені нові конструктивні рішення збірно-монолітних нерозрізних прогонових будов з попередньо напруженими стиками для прогонів 18–42 м із застосуванням збірних балок і плит [1].

**Постановка проблеми.** Особливості роботи прогонових будов – просторовий характер їх деформування, за якого основні елементи конструкції сприймають вплив складного напруженого стану. У збірно-монолітних прогонових будовах мостів правильне визначення зусиль в головних балках, плиті проїзної частини, поперечних в'язях дає можливість раціонально розподілити матеріал у конструкції і одержати її оптимальне вирішення. Елементи з комбінованим перерізом вступають в роботу по-різному, залежно від технології зведення конструкцій, способів монтажу, що необхідно враховувати під час розрахунку. У зв'язку з існуванням різних методів просторового розрахунку виникає задача порівнювального їх аналізу і вибору найраціональнішого методу залежно від поставленої мети.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сучасні вимоги до проектування залізобетонних прогонових будов мостів передбачають виконання розрахунків з мінімальним відступом від дійсних умов роботи конструкцій під час експлуатації з врахуванням особливостей їх виготовлення і монтажу [2]. У зв'язку з цим методи розрахунку повинні враховувати просторову роботу конструкції, багатостадійність її зведення, вплив довготривалих процесів, а також вплив регулювання і попереднього напруження. Для розрахунку прогонових будов залізобетонних мостів використовують методи, розроблені докторами техн. наук Б.Е. Уліцьким, А.В. Александровим, М.Е. Гібшманом, А.А. Потапкіним і кандидатами техн. наук В.Г. Донченко, Л.В. Семенцем, М.П. Лукіним, Ю.М. Єгорушкіним [3]. Як правило, під час розрахунків збірно-монолітних мостових конструкцій коло задач просторового типу дуже широкий, що унеможливує рекомен-

дувати загальний шлях вирішення усіх питань просторового розрахунку. Сьогодні теорія просторових розрахунків розвивається у напрямку створення спеціалізованих програм [4]. Прийнята методика відображає досягнутий рівень досліджень, досвід проектування і будівництва попередньо напружених залізобетонних нерозрізних прогонових будов.

**Мета роботи.** Для вивчення дійсної роботи збірно-монолітних прогонових будов були проведені випробування дослідних зразків прогонових будов з прольотами завдовжки 3 м (5). Оцінка просторової роботи експериментальних прогонових будов виконана на основі перевіркових просторових розрахунків з використанням існуючих методів просторових розрахунків.

**Виклад основного матеріалу.** У розрахунках нерозрізних прогонових будов мостів внутрішні зусилля від дії постійного і тимчасового навантаження визначають, використовуючи класичні методи будівельної механіки і теорії пружності: метод сил, метод переміщень з врахуванням ефективного використання ЕОМ. Тоді метод просторового розрахунку використовують тільки для виконання першої частини розрахунку – розподілу навантаження по поперечному перерізу прогонової будови (рис. 1).

У результаті розрахунку одержують значення зайвих невідомих зусиль, прикладених до основної статично визначеної системи, замість видалених зайвих зв'язків. Здебільшого визначення зайвих невідомих зводиться до розв'язання системи лінійних рівнянь з числом невідомих, що дорівнюють числу статичної невизначеності системи:

$$\begin{aligned} d_{11}X_1 + d_{12}X_2 + \dots + d_{1n}X_n + \Delta_{1p} &= 0 \\ d_{21}X_1 + d_{22}X_2 + \dots + d_{2n}X_n + \Delta_{2p} &= 0 \\ &\dots\dots\dots \\ d_{n1}X_1 + d_{n2}X_2 + \dots + d_{nn}X_n + \Delta_{np} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Значення  $d_{in}^3\Delta_i$  можуть бути одержані методом фіктивних навантажень, перемноженням епюр тощо.

При об'єднанні розрізних збірних елементів в нерозрізні системи за допомогою напруженої надпорної арматури попереднє напруження викликає у них внутрішні зусилля. Розрахунок збірно-монолітних нерозрізних конструкцій на дію сил попереднього напруження проводять для врахування впливу цих сил на жорсткість і тріщиностійкість прогонових будов, а також для регулювання зусиль з метою включення монтажного навантаження по нерозрізній схемі на стадії будівництва. Зайві невідомі  $X_n$ , які виникають в результаті напруження арматури, знаходять з розв'язання системи рівнянь (1), в яку замість вільного члена  $\Delta_{np}$ , необхідно ввести величини переміщень в основній системі за напрямом дії зайвих невідомих від зусиль в попередньо напруженій арматурі  $\Delta_{nN}$  (рис. 2).

Для вивчення дійсної роботи основної системи збірно-монолітних прогонових будов були проведені випробування дослідних зразків моделей розрізних прогонових будов у масштабі 1:5 (рис. 3). Дві перші моделі дослідної конструкції були виконані з чотирьох попередньо напружених балок і ребристих плит, третя модель – з таких самих балок і монолітної плити проїзної частини. Випробування кожної конструкції проводились двома етапами і на схемах завантаження. На першому етапі для двох схем завантаження конструкції завантажували до утворення тріщин у прогонах, а на другому етапі – до руйнування. Під час експериментальних досліджень моделей на усіх етапах завантажень вимірювали деформації бетону і арматури, зміни реакцій на опорах, а також велись спостереження за утворенням і розкриттям тріщин.

Просторову роботу експериментальних прогонових будов оцінювали на основі просторових розрахунків (таблиця). Для перевіркових розрахунків дослідних зразків прогонових будов використали методи Х. Хомберга, В.Г. Донченко і програми просторового розрахунку МАДІ, ХАДІ, ВНДІ транспортного будівництва. За результатами розрахунків побудовані графіки з лініями

впливу зусиль на крайні балки усередині прогону (рис. 4). Проведено також додатковий розрахунок прогонової будови з діафрагмами зменшеної висоти, що дорівнює висоті поздовжнього ребра. Таке конструктивне рішення дає змогу спростити технологію виготовлення збірних ребристих плит і влаштування збірно-монолітних діафрагм.

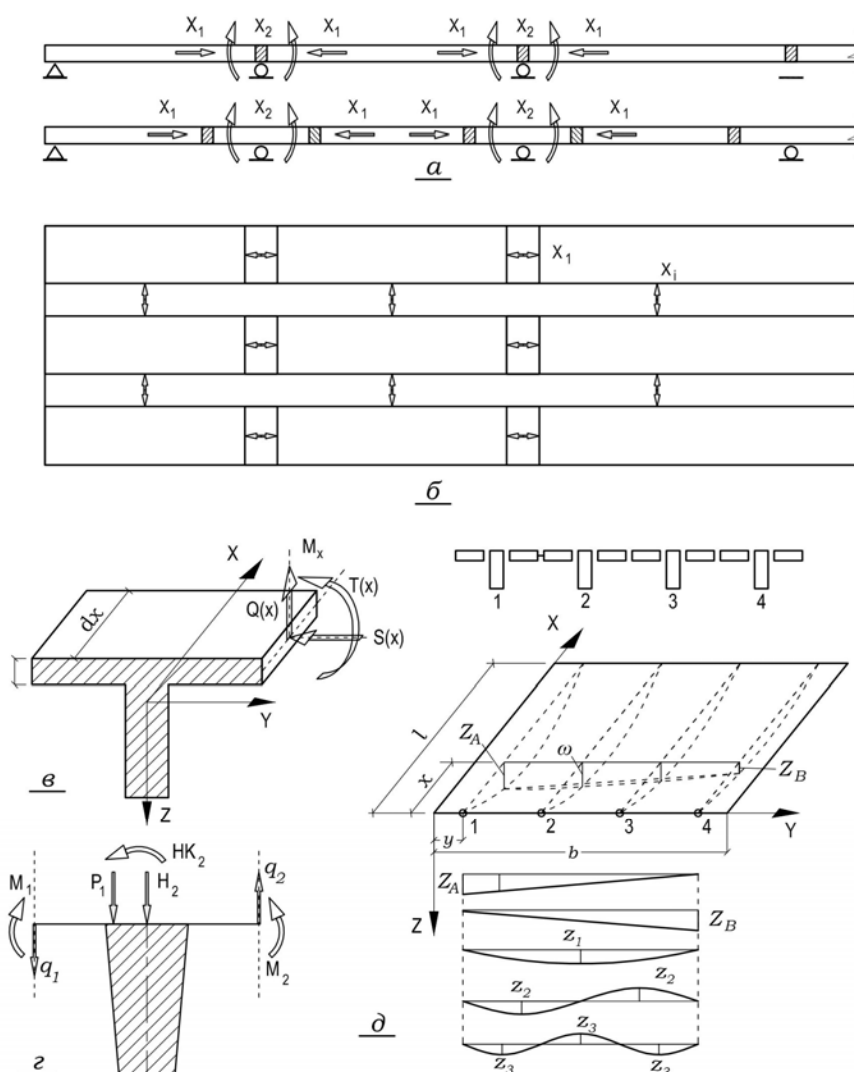


Рис. 1. Схеми до просторового розрахунку збірно-монолітних нерозрізних прогонових будов:  
*a* – невідомі для методу сили; *б* – поділ складної конструкції на блоки; *в* – за методом плитно-балкових конструкцій; *г* – за методом М.Е. Гішмана; *д* – за енергетичним методом

Результати випробувань і розрахунку дослідних зразків прогонових будов різними методами дають можливість зробити висновок, що величини експериментальних і теоретичних зусиль у головних балках збірно-монолітного перерізу відрізняються, як правило, на 7–9 %, що свідчить про достатню жорсткість дослідних конструкцій збірно-монолітних прогонових будов.

Аналіз графіків показує, що загальний характер розподілу зусиль по поперечному перерізу збірно-монолітної прогонової будови аналогічний у більшості методів. Заниження значення зусиль, визначених за методом В.Г. Донченка, пояснюється доволі вузьким діапазоном зміни основних параметрів прогонової будови.

Порівняння ординат епюр впливу головних балок показує, що збірно-монолітні діафрагми зменшеного перерізу беруть участь у розподілі навантаження між балками, їх постановка “випрямляє” епюри впливу, зменшуючи крайні ординати і збільшуючи середні порівняно з бездіафрагмовими.

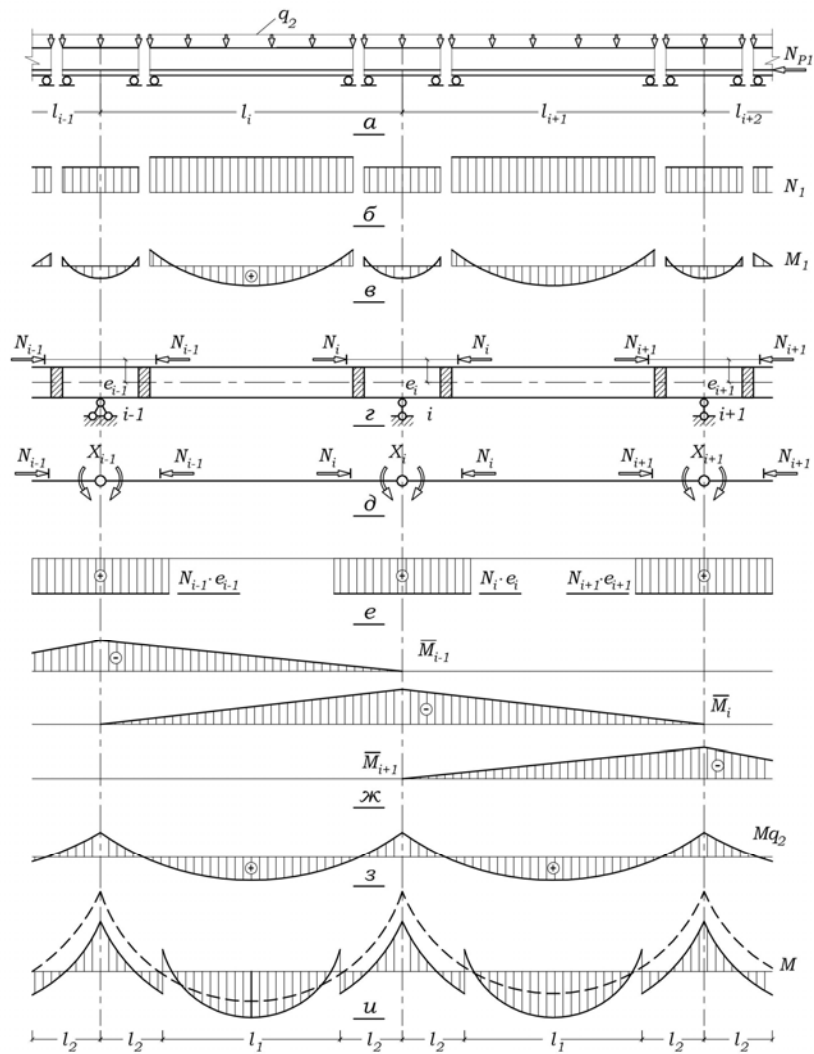


Рис. 2. До визначення зусиль у нерозрізних балках за натягу арматури стиків

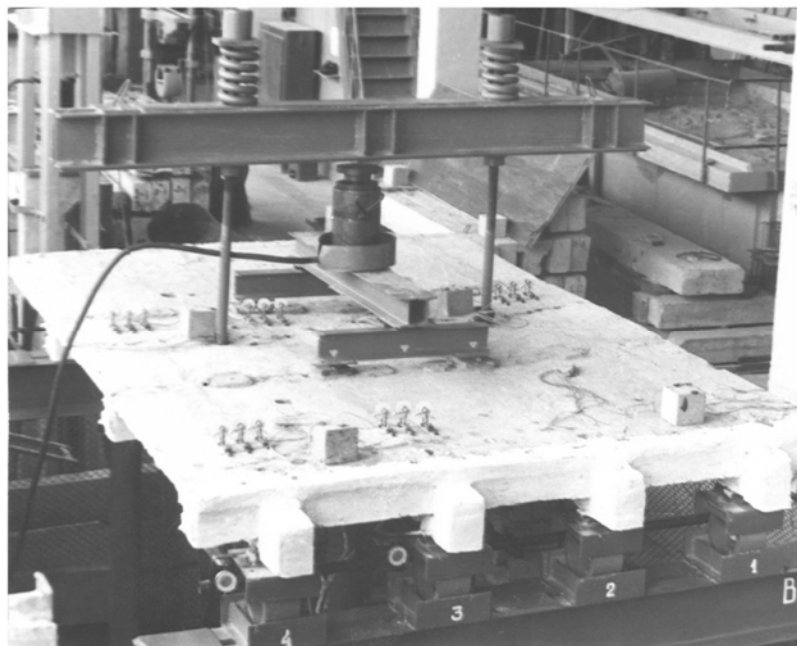


Рис. 3. Випробування дослідної моделі збірно-монолітної прогонової будови моста

Для виявлення впливу діафрагм на роботу плити проїзної частини була проведена серія розрахунків. Як приклад, були взяті дослідні зразки моделей прогонових будов, випробування яких були проведені на статичне руйнівне навантаження. Розрахунки виконувались для варіантів, в яких збірні балки об'єднуються за допомогою: монолітної плити – тільки по плиті; збірних балок і бетону замоноличення – по плиті і чотирьох діафрагмах; збірних плит і бетону замоноличення – по плиті і чотирьох діафрагмах зменшеного перерізу.

#### Порівняння фактичних і розрахункових значень коефіцієнтів поперечного розподілу

Вид прогонової будови	Балка	Значення коефіцієнта поперечного розподілу							
		під час завантаження крайніх балок				під час завантаження середніх балок			
		за методом М.Е. Гібшмана	за енергетичним методом	за методом плитно-балкових конструкцій	одержані експериментально	за методом М.Е. Гібшмана	за енергетичним методом	за методом плитно-балкових конструкцій	одержані експериментально
Прогонова будова з діафрагмами	1	0,416	0,412	0,385	0,325	0,231	0,224	0,201	0,200
	2	0,316	0,305	0,316	0,348	0,267	0,271	0,302	0,300
	3	0,196	0,205	0,223	0,232	0,267	0,271	0,302	0,300
	4	0,071	0,075	0,088	0,094	0,231	0,224	0,201	0,200
Прогонова будова без діафрагм	1	0,387	0,395	0,395	0,375	0,121	0,166	0,180	0,136
	2	0,404	0,355	0,361	0,450	0,379	0,332	0,323	0,364
	3	0,182	0,181	0,202	0,208	0,379	0,332	0,323	0,364
	4	0,019	0,050	0,069	0,040	0,121	0,166	0,180	0,136

На основі проведених розрахунків були побудовані лінії впливу згинальних моментів, поперечних сил і крутних моментів у плиті проїзної частини (рис. 5). За формою ліній впливу і величинами максимальних ординат можна судити про вплив діафрагм на зусилля в плиті. У розглядуваному прикладі за постановки діафрагм згинальні моменти в плиті зменшуються більше ніж у два рази, поперечні сили – в 1.1 рази, а крутні моменти – більше ніж у два рази. Постановка діафрагм зменшує різницю кутів закручування балок і в такий спосіб складає зусилля в плиті внаслідок зміщення її граней зменшується.

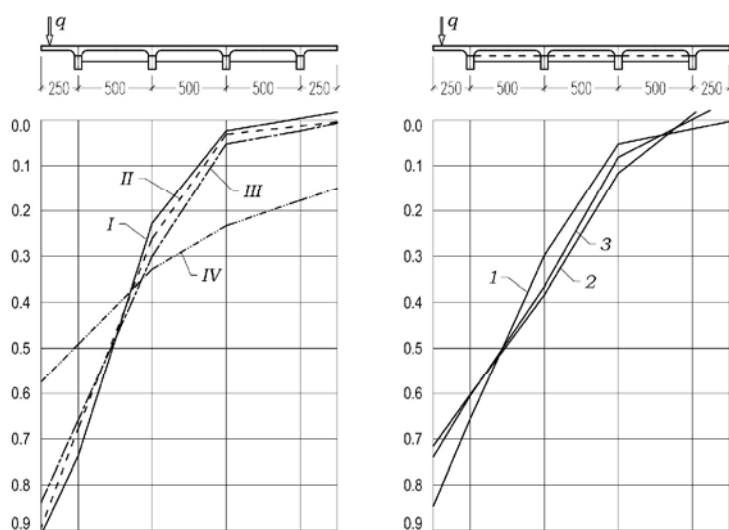


Рис. 4. Лінії впливу зусиль для крайньої балки прогонових будов: I – “PNR” МАДІ; II – за Хомбергом; III – “ЕМ-5” ХАДІ; IV – за В.Г. Донченком; 1 – без діафрагм; 2 – з діафрагмами; 3 – з діафрагмами зменшеного перерізу

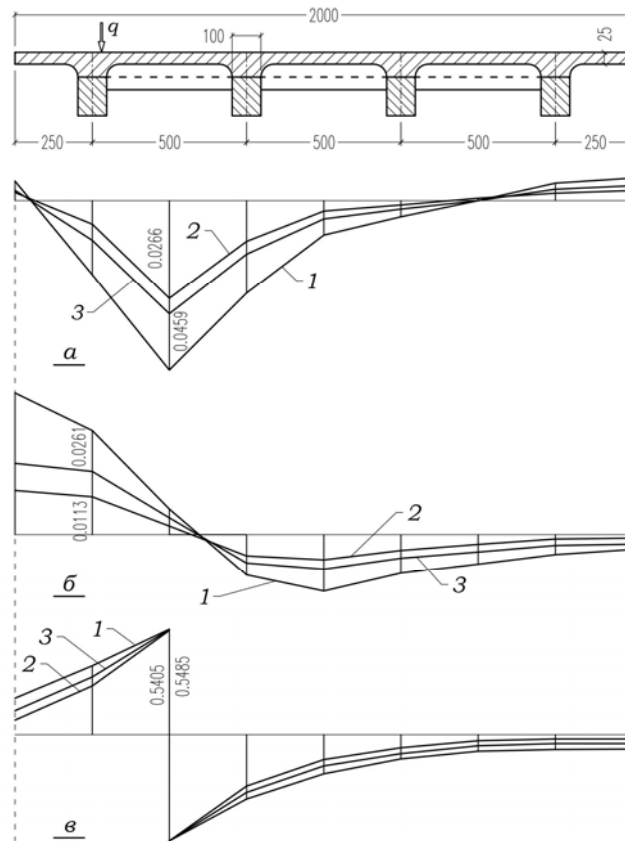


Рис. 5. Лінії впливу зусиль у плиті проїзної частини: а – згинальних моментів; б – крутних моментів; в – поперечних сил: 1 – прольотна будова без діафрагм; 2 – те саме, з діафрагмами; 3 – те саме, з діафрагмами зменшеного перерізу

**Висновки.** Аналіз результатів досліджень запропонованих збірно-монолітних конструкцій нерозрізних прогонових будов підтвердить можливість застосування таких систем у будівництві мостів і шляхопроводів. Ці вирішення дають змогу отримати просту форму збірних елементів; забезпечити їх просторову роботу у збірно-монолітній конструкції моста.

Виконані дослідження показали, що:

- розрахунок збірно-монолітних діафрагм повинен виконуватись з врахуванням просторової роботи усієї конструкції для раціонального використання особливостей взаємодії елементів під час компонування поперечного перерізу;
- зусилля в плиті повинні визначатись з врахуванням просторової роботи усієї конструкції загалом.

1. Гнидець Б.Г., Сало В.Ю. Совершенствование конструктивно-технологических решений сборно-монолитных неразрезных пролетных строений мостов // Труды Союздор НИИ. – М., 1987. – С. 28–34. 2. ДБН В 2.3-14-2006. Мости та труби. Правила проектування. – К.: Мін. буд. України. – 2006. – 359 с. 3. Пространственные расчеты мостов / Б.Е. Улицкий, А.А. Потапкин, В.Н. Руденко и др. – М.: Транспорт, 1967. – 406 с. 4. Лукин Н.П. Пространственный расчет бездиафрагменных мостов энергетическим методом // Сопротивление материалов и теория сооружений. – Вып. 6.– К., 1968. – С. 112–123. 5. Сало В.Ю. Результаты испытания модели бездиафрагменного пролетного строения моста с монолитной плитой проезжей части // Вестн. Львов. политех. ин-та “Резервы прогресса в архитектуре и строительстве”. – 1983. – №173. – С. 104–106.