

УДК 624.21

## ДО ПИТАННЯ ПЕРЕРЕЗПОДІЛУ ЗУСИЛЬ В СТАЛЕВИХ НЕРОЗРІЗНИХ БАЛКАХ МОСТОВИХ СПОРУД

**В. А. Стичук, Р. В. Терей-Ковальчук**

здобувачі вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія (мости і транспортні тунелі)», навчально-науковий інститут будівництва та архітектури

Науковий керівник – к.т.н., доцент М. М. Хоружий

*Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне, Україна*

**За використання програмного комплексу «ЛІРА-САПР» виконаний розрахунок сталевий нерозрізної балки прогонової будови мосту. Проаналізовано вплив величини просідання середньої опори на перерозподіл внутрішніх зусиль та на напружено-деформований стан балки в цілому.**

**Ключові слова:** міст, прогонова будова, нерозрізна балка, напружено-деформований стан, метод скінчених елементів.

**The paper presents the calculation of a steel continuous beam of a bridge span structure using the LIRA-SAPR software package. The influence effect of the amount of the middle support subsidence on the redistribution of internal forces and on the stress-strain state of the beam as a whole is analysed.**

**Keywords:** bridge, span structure, continuous beam, stress-strain state, finite element method.

**Традиційний розрахунок** будівельних конструкцій базується на тому, що конструктивні елементи ідеально пружні та їхні жорсткості не залежать від величини й тривалості дії сили, а також на тому, що незначні деформації дозволяють рахувати незмінними геометричні величини, які входять в умови рівноваги [1].

Проте, на практиці в інженерних конструкціях спостерігаються, крім пружних деформацій, також деформації непружні: текучості, повзучості, усадки, температурні, зміщення опор та інші.

Через це напружено-деформований стан (НДС) будівель і споруд як в умовах експлуатації, так і на межі несучої спроможності суттєво відрізняється від стану, визначеного із розрахунку цієї ж системи як пружної. При рості навантажень, пропорційних одному параметру, НДС системи зростає в більшості випадків непропорційно цьому параметру. Співвідношення між різними напруженнями та деформаціями змінюються в доволі широких межах. Непружні деформації призводять до перерозподілу зусиль, який нерідко здійснює значний вплив на несучу здатність конструкцій та її жорсткість.

**В статті [1] авторами** проаналізовано вплив сумісної роботи системи «основа – фундамент – будівля» на перерозподіл внутрішніх зусиль у надземній частині. При розгляді завдання залучено механіку суцільних середовищ і числовий метод скінчених елементів (МСЕ).

У роботі [2] наведені результати випробувань двопротітних нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень, в яких виявлені особливості зміни опорного і прольотних, згинальних моментів та деформацій бетону і арматури. Встановлено, що процес зміни вказаних величин стабілізується на 5–6 циклах

навантаження за дії малоциклових повторних навантажень, про що не можна сказати за процес зміни за дії малоциклових знакозмінних навантажень.

В статті [3] проаналізовано і доведено до практичного застосування методи визначення внутрішніх зусиль у нерозрізних сталезалізобетонних балках з урахуванням їх перерозподілу. Вказано переваги та недоліки методів, межі їх можливого застосування.

Аналіз наукових досліджень показує, що урахуванням перерозподілу зусиль при проектуванні споруд є актуальним для сьогодення, оскільки дозволяє найбільш ефективно використовувати матеріал конструкції.

**В статті виконано** розрахунок сталевій нерозрізній балці прогонової будови мосту (рис. 1). Прогін балки становить  $L=6,0$  м. Навантаження прийняте  $q=10$  т/м. Поперечний переріз балки запроектований із прокатного двотавра № 60 згідно з [4].

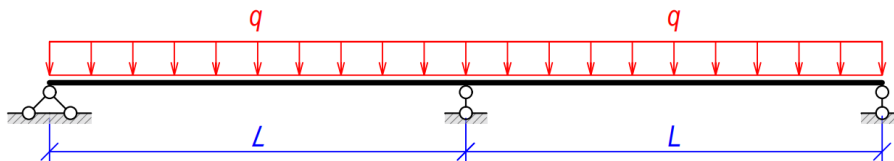


Рис. 1. Розрахункова схема нерозрізної балки прогонової будови мосту

Проаналізовано вплив величини просідання середньої опори  $\delta$  (рис. 2) на перерозподіл внутрішніх зусиль та на напружено-деформований стан сталевій нерозрізній балки в цілому

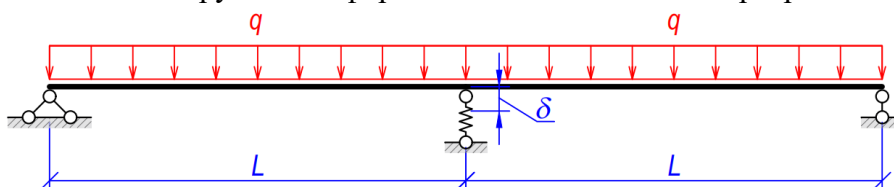


Рис. 2. Розрахункова схема нерозрізної балки прогонової будови мосту у випадку просідання середньої опори

**Методика досліджень.** Розрахунок зазначеної конструкції проводився в середовищі програмного комплексу «ЛІРА-САПР» [5]. Для моделювання балки використаний універсальний просторовий стержневий скінченний елемент (№ 10 в бібліотеці СЕ), а для середньої опори – одновузловий КЕ пружної в'язі (№ 51 в бібліотеці СЕ). Даний СЕ застосовується для введення пружної в'язі по напрямку (або навколо) однієї з глобальних або локальних осей координат вузла. Зусилля, отримане в такому елементі, є реакцією у вузлі по заданому напрямку.

Розрахунок напружено-деформованого стану балки виконаний згідно з [6].

**Результати досліджень.** На рис. 3 представлена скінченно-елементна модель нерозрізної балки, а на рис. 4 та рис. 5 – відповідно епюри згинних моментів та прогинів, які отримані в результаті статичного розрахунку для проектного випадку розташування середньої опори, тобто коли відсутнє її просідання ( $\delta=0$ ).

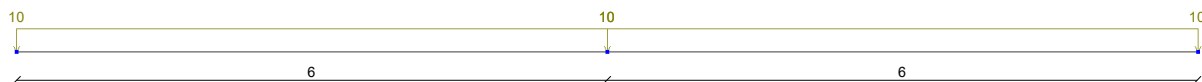


Рис. 3. Скінченно-елементна модель нерозрізної балки

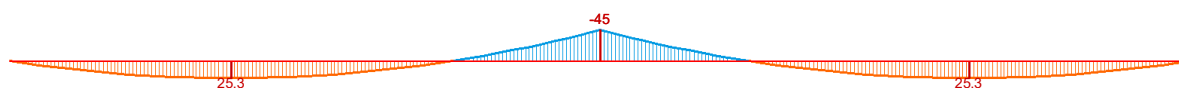


Рис. 4. Епюра згинних моментів, тм



Рис. 5. Епюра прогинів, мм

У випадку проектного розташування середньої опори максимальний згинний момент в прогоні становить  $M_{np}=25,3$  тм, а на опорі –  $M_{op}=45$  тм. Максимальний прогин дорівнює  $f_{max}=4,35$  мм. Розрахунок балки за першим граничним станом (1 ГС) сталевих елементів згідно з [6] показав використання несної здатності призначеного поперечного перерізу (двотавр № 60) 74,9%, а за другим граничним станом (2 ГС) – 13,9%.

В таблиці представлені результати розрахунку напружено-деформованого стану балки у випадку послідовного просідання середньої опори на величину  $\delta$  до граничного значення  $1/200L=30$  мм.

Таблиця

Результати розрахунку напружено-деформованого стану нерозрізної сталеві балки

Просідання середньої опори $\delta$ , мм	Максимальні згинні моменти		Максимальний прогин $f_{max}$ , мм	Використання несної здатності перерізу балки, %	
	В прогоні $M_{np}$ , тм	На опорі $M_{op}$ , тм		1 ГС	2 ГС
0	25,3	45	-4,35	74,9	13,9
5	27,9	38,3	-7,64	63,7	25,4
10	30,6	31,6	-11,50	52,6	37
15	33,4	24,8	-15,70	54,3	52,2
20	36,4	18,1	-20,30	59,9	67,5
25	39,5	11,4	-25,10	65,5	83,4
30	42,7	4,64	-30,00	71,1	100

На рис. 6. показана графічна залежність максимальних згинних моментів в прогоні і на опорі нерозрізної балки від величини просідання середньої опори.

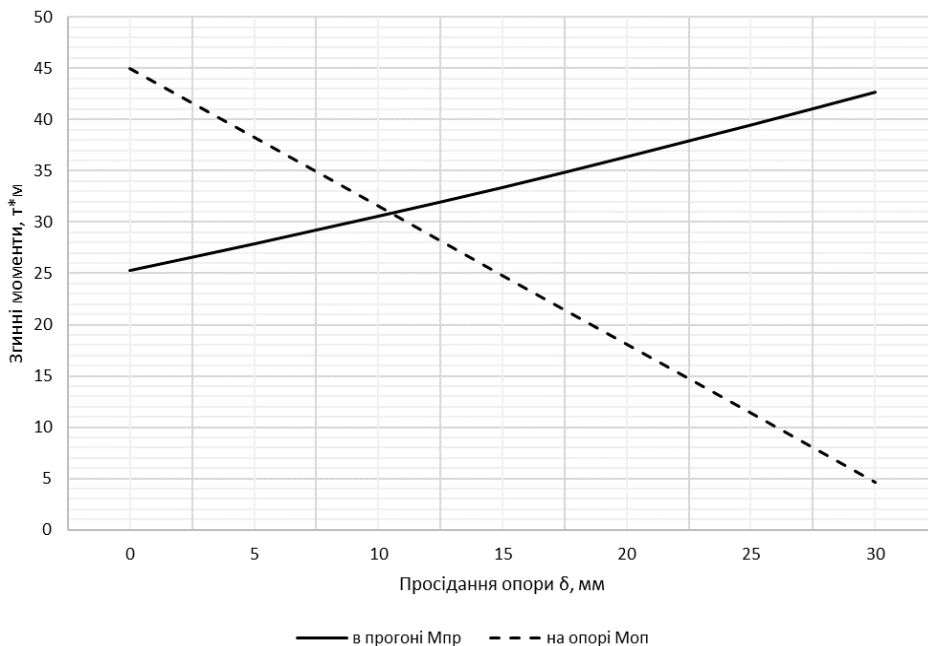


Рис. 6. Залежність максимальних згинних моментів від величини просідання середньої опори

Графіки на рис. 7 характеризують використання несної здатності призначеного поперечного перерізу нерозрізної балки (двотавр № 60) за першим (1 ГС) та другим (2 ГС) граничним станом за розрахунком згідно з [6].

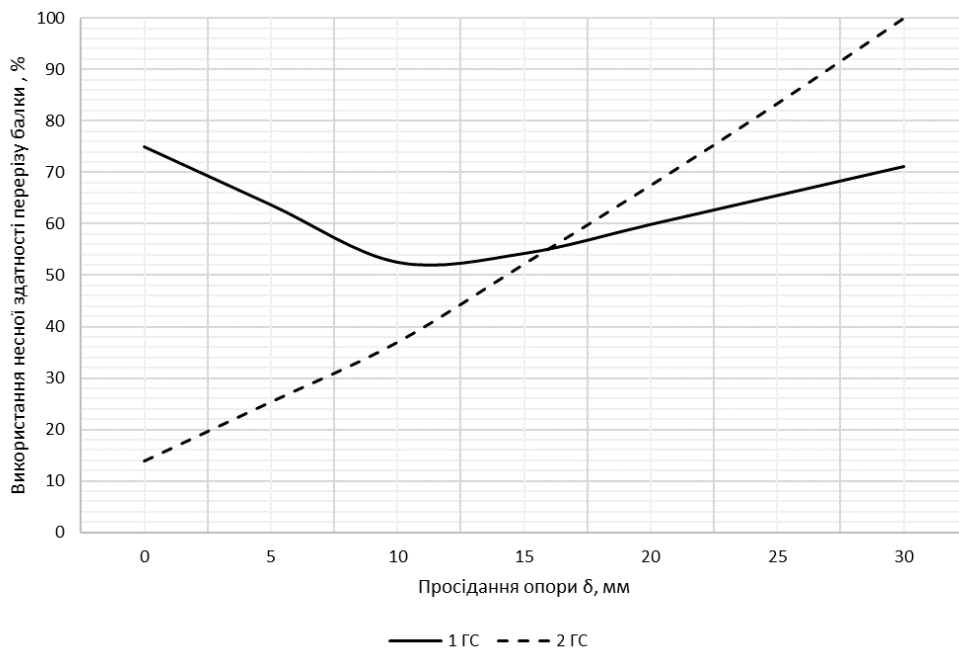


Рис. 7. Використання несної здатності призначеного поперечного перерізу балки в залежності від величини просідання середньої опори

На основі проведених розрахунків двопрогонової сталеві нерозрізної балки виявлено, що в її проектному положенні ( $\delta = 0$ ) максимальний згинний момент виникає над середньою опорою. У випадку просідання цієї опори відбувається перерозподіл внутрішніх зусиль: опорний згинний момент зменшується, а прогоновий, навпаки, збільшується. При величині  $\delta \approx 10$  мм, що становить  $\approx 1/600L$ , вони досягають однакових значень.

Розрахунок міцності нерозрізної балки згідно [6] показав зменшення напружень в ній у випадку просіданні середньої опори, але тільки до величини  $\delta \approx 10$  мм ( $\approx 1/600L$ ). З подальшим збільшенням  $\delta$  величина напружень знову починає зростати.

Аналізуючи отримані графіки на рис. 7, можна стверджувати, що оптимальне використання поперечного перерізу балки буде при просіданні середньої опори на величину  $\delta \approx 15$  мм, що становить  $\approx 1/400L$ . В такому випадку використання несної здатності за першим (1 ГС) та другим (2 ГС) граничним станом становить 55%.

В подальшому планується досліджувати вплив просідання опор на перерозподіл внутрішніх зусиль та на напружено-деформований стан нерозрізних балок з іншими параметрами.

1. Моргун А. С., Меть І. М. Врахування перерозподілу зусиль в дослідженнях НДС сумісної роботи системи «основа-фундамент-будівля». *Наукові праці ВНТУ. Комп'ютерний журнал*. 2009. № 2. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/143/142> (дата звернення: 22.03.2024).
2. Масюк Г. Х., Ющук О. В., Федюк М. А. Експериментальні дослідження перерозподілу зусиль у двохпролітних нерозрізних залізобетонних балках за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк: ЛНТУ, 2019. № 11. С. 78–83.
3. Семко О. В., Гудзь С. А., Дарієнко В. В. Методи врахування перерозподілу зусиль у нерозрізних сталезалізобетонних балках. *Дороги і мости*. Київ, 2008. Вип. 9. С. 234–242.
4. ДСТУ 8768:2018. Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
5. Програмний комплекс ЛІРА-САПР. Приклади розрахунку і проектування. К.: LIRALAND, 2023. 635 с. URL: [https://lira.land/public\\_private/lira/2023/lira\\_sapr\\_examples\\_ua.pdf](https://lira.land/public_private/lira/2023/lira_sapr_examples_ua.pdf) (дата звернення: 22.03.2024).
6. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Мінрегіон України. К.: ДП «Укрархбудінформ», 2014.