

УДК 624.012.25:539.431

## **ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРУЖЕННЯ ЗАТЯЖКИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМАЦІЙНИЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ДВОХШАРНІРНОЇ АРКИ**

### **INFLUENCE OF PRESTRESSING TIGHTENING ON THE STRESS- DEFORMATION CONDITION OF REINFORCED TWO-HINGED ARCH**

**Кислюк Д.Я.**, (Луцький національний технічний університет м. Луцьк)

**Кислюк Д.Я.**, (Луцкий национальный технический университет, г.Луцк)

**Kysljuk D.J.**, (Lutsk National Technical University, Lutsk)

**Досліджено вплив попереднього напруження затяжки двохшарнірної арки на збільшення несучої здатності конструкції та зменшення прогинів і ширини розкриття тріщин.**

**Исследовано влияние предварительного напряжения затяжки двухшарнирной арки на увеличение несущей способности конструкции и уменьшение прогибов, а также ширины раскрытия трещин.**

В процесі експлуатації арки в складі перекриттів у промислових і цивільних будівлях, а також в спорудах, можуть піддаватись малоцикловим (повторним) навантаженням, а інколи і перевантаженням, які можуть суттєво вплинути на напружено-деформований стан перерізів арки і затяжки. В двохшарнірних арках може відбуватися перерозподіл зусиль у верхньому поясі і затяжці, який може впливати на їх міцність і жорсткість. Вплив повторних навантажень та можливий перерозподіл зусиль при розрахунках арок чинними нормативними документами не розглядаються. Також не розроблено методику розрахунку арок з перерозподілу зусиль у верхньому поясі і затяжці.

Виходячи з наведеного, необхідно дослідити особливості експериментальних досліджень дійсної роботи залізобетонних арок, як при одноразовому монотонному навантаженні до руйнування так і при дії повторних навантажень з регулюванням зусиль і без, та порівняти їх з розрахунковими результатами.

На основі досліджень в будівельній лабораторії ЛНТУ дійсної роботи двохшарнірної залізобетонної арки із затяжкою при дії повторного навантаження було вирішено детальніше дослідити вплив попереднього натягу затяжки на зусилля, які виникають в арці. Було випробувано

залізобетонні двохшарнірні арки, які мали загальну довжину 2160 мм зі стрілою підйому 40 см та поперечний переріз 100×140 мм (рис. 1) [1,2].

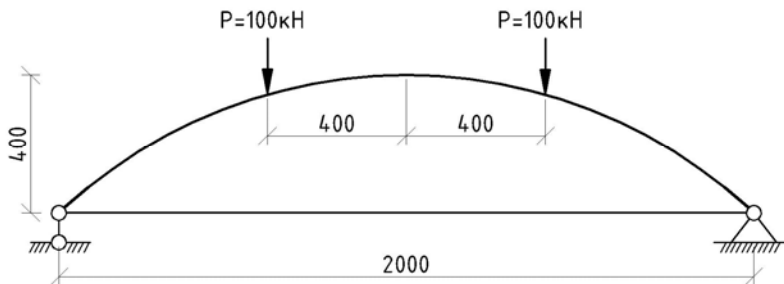


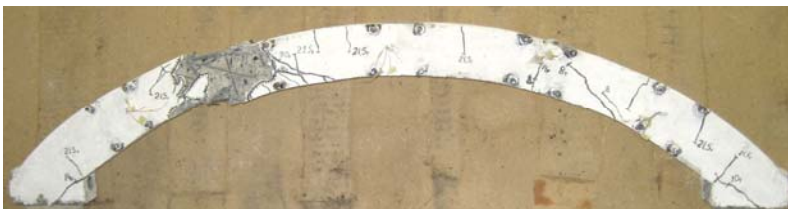
Рис.1.Розрахункова схема арки

Робота арок вивчається в гідравлічному пресі, обладнаному спеціальними траверсами. Арки випробовувалися як вільно оперті з розрахунковим прольотом  $l=200$  см. Навантаження прикладалося у вигляді зосереджених сил на відстані 40 см від осі симетрії арки через траверсу гідравлічним пресом [1,2].

**Результати експериментальних досліджень.** Арка 2А-1 випробовувалась одноразовим монотонним навантаженням до руйнування, яке відбулося внаслідок роздроблення бетону на ділянці прикладання навантаження, рівного  $P_u = 106,0$  кН. Арка 2А-2 також випробовувалась одноразовим навантаженням до руйнування, однак, на відміну від першої в роботу арки включали попереднє напруження зтяжки. Значення додаткового зусилля визначали за допомогою розрахунку із врахуванням перерозподілу зусиль, яке становило  $\Delta H = 8$  кН. Руйнівне навантаження в арці 2А-2 склало  $P_u = 98,0$  кН. Арки 2А-3 і 2А-4 піддавали десятикратному малоцикловому навантаженню, також з попереднім напруження зтяжки. Арки руйнувалися в зоні дії максимального згинального моменту внаслідок роздроблення та зрізу стиснутого бетону (рис. 2) [3].

З метою порівняння результатів дійсної роботи арок, також проведено числовий експеримент за допомогою програмного комплексу Ліра 9.0.

Теоретичне значення зусилля в арці визначено за формулами, наведеними в роботі [4]. При прийнятій схемі навантаження зусилля в зтяжці дорівнює  $H_{th} = 1,41P$ , при коефіцієнті податливості зтяжки  $k_{th} = 0,928$ . Якщо прийняти, що зтяжка абсолютно жорстка, то зусилля в ній буде дорівнювати  $H_r = 1,52P$ . При визначенні розпору за ПК Ліра 9.0. коефіцієнт податливості змінюється від  $k_{ліра} = 0,891$  до  $k_{ліра} = 0,916$ [5]. Для навантаження  $P = 100,0$  кН зусилля в зтяжці  $H_{ліра} = 142,6$  кН (рис. 3.).



Арка 2А-1



Арка 2А-2

Рис. 2. Характер руйнування арок другої серії

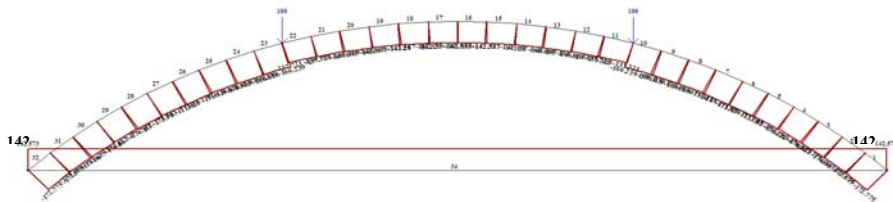


Рис. 3. Розрахунок лінійної арки, зусилля в зтяжці без попереднього натягу

Для відтворення напружено деформівного стану арки в програмному комплексі Ліра було змодельовано 2D експериментальну арку та проведено розрахунок з впливом нелінійного деформування.

Експериментальна арка розділена на 14 пластинок 1см×1см та шириною 10см, що відповідає поперечному перерізу. Пластинкам задавались характеристики деформування бетону, а в пластинках, де в арці знаходиться поздовжня арматура – задається процент армування, який дорівнює кількості арматури. Навантаження прикладалось ступенями по 10кН до 100кН (рис. 4).

При розрахунку без напруження зтяжки було визначено зусилля  $H_1 = 142,6$  кН (рис. 3, 4), яке сприймає зтяжка при навантаженні  $P = 100,0$  кН, і для подальших розрахунків умовно замінюємо зтяжку на силу  $H_1$  і додаємо до неї значення попереднього натягу 4, 8, та 12 кН. В результаті було змодельовано чотири навантаження з прикладеною силою в лівому вузлі відповідно 142,6 кН, 146,6 кН, 150,6 кН, та 154,6 кН. Результати обчислень для лінійної задачі зведені у таблицю 1.

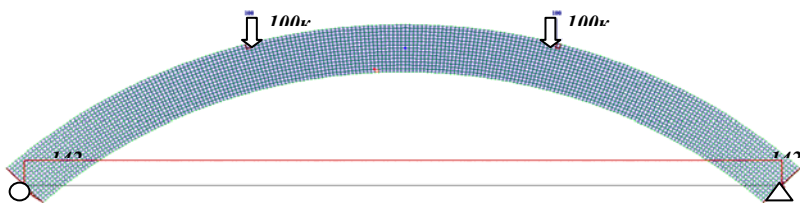


Рис. 4. Розрахунок 2D арки, поздовжні зусилля в затяжці без попереднього напруження

Таблиця 1

Результати розрахунку арки для лінійної задачі

$N_0$ n/ n	$\Delta H$ кН	$H$ кН	$\Delta_0$ мм	$\Delta$ мм	$f_0$ мм	$f$ мм	$M_0$ кН/м	$N_0$ кН	$Q_0$ кН	$M$ кН/м	$N$ кН	$Q$ кН
1	0,0	142,6	0,0	-4,6	0,0	-5,6	0,0	0,0	0,0	10,5	-166,3	-51,8
2	4,0	146,6	1,47	-2,3	1,4	-3,5	-1,3	-3,8	1,2	9,13	-170,1	-50,65
3	8,0	150,6	3,83	-0,3	3,8	-1,7	-2,7	-7,6	2,4	7,77	-173,9	-49,44
4	12,0	154,6	6,75	1,5	6,8	-0,2	-4,1	-11,0	3,6	6,4	-177,7	-48,22

З отриманих результатів видно, що максимальний згинальний момент при попередньому натягу затяжки 4кН зменшився на 12,3%, при 8кН на 24,9%, і при 12 кН на 37,5% від початкового значення. Значно зменшуються прогини арки при незначному збільшенні поздовжньої сили  $N$ . При розрахунку 2D експериментальної арки отримали певні результати (див. таблицю 2) та ізополя напружень (рис.6, 7).

Таблиця 2

Результати розрахунку арки для 2D задачі

$N_0$ n/ n	$\Delta H$ кН	$H$ кН	$\Delta_0$ мм	$\Delta$ мм	$f_0$ мм	$f$ мм
1	0,0	142,6	0,0	-4,8	0,0	-5,54
2	4,0	146,6	1.2	-2,3	1,03	-3,4
3	8,0	150,6	2.52	-0,1	2,17	-1,7
4	12,0	154,6	3.97	1,8	3,43	-0,28

Як, видно з таблиці 1, 2 результати розрахунку при однакових завантаженнях мають невелику розбіжність, це дає можливість вважати, що арки однорідні.

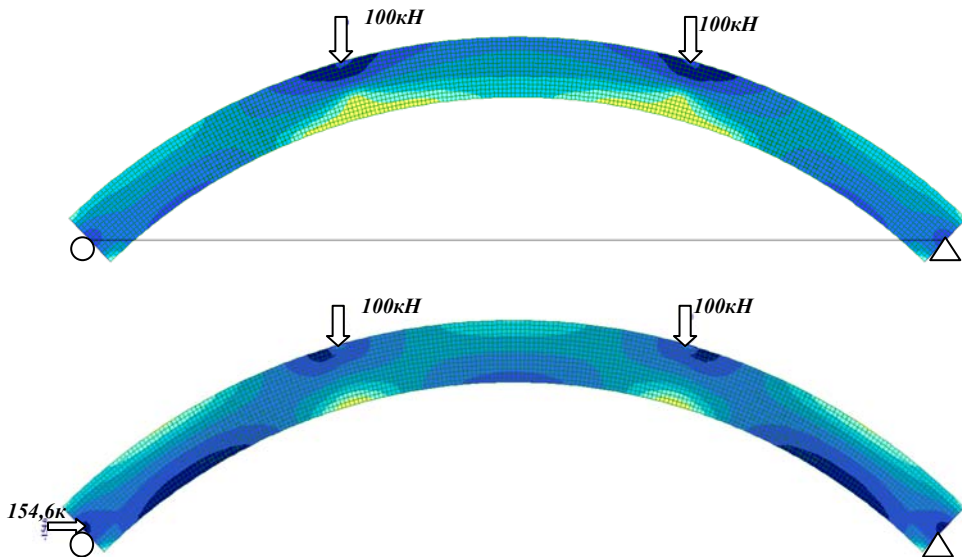


Рис. 6. Ізополя напружень  $N_x$ ; а) з затяжкою; б) з попереднім натягом 12кН.

За отриманими результатами експерименту та результатами розрахунку в ПК Ліра 9.0 було побудовано діаграми напруження стиснутої зони перерізів арки.

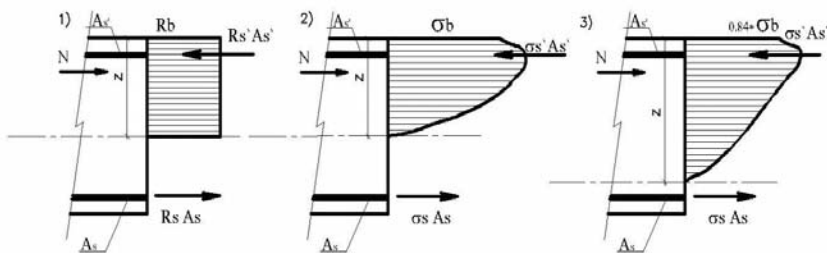


Рис.7. Діаграми напружень стиснутої зони 1) СНиП 2.03.01-84; 2) без попереднього напругу; 3) з попереднім натягом 12кН.

З отриманих результатів видно, що в різних випадках різна висота стиснутої зони. За СНиП 2.03.01-84  $z = 80\text{мм}$  за розрахунком ПК Ліра без попереднього напруження  $z = 79\text{мм}$  за розрахунком ПК Ліра з попереднім натягом 12кН.  $z = 118\text{мм}$ .

Крива напружень побудована за СНиП 2.03.01-84 є прямокутною, вона не враховує зміни напружень по висоті стиснутої зони, при  $R_b \approx \sigma_b$ . Для арки з попереднім натягом висота стиснутої зони  $z$  збільшується, а  $\sigma_b$  зменшується на 16%.

**Висновок:** Результати отримані в ПК Ліра 9.0. наближено співпали з експериментальними результатами при сталій жорсткості та рівномірних деформаціях елемента. Розрахунки лінійної схеми арки майже співпали з розрахунками в 2D моделі.

Дослідження показало, що відносно невелике попереднє напруження зтяжки призводить до значного збільшення несучої здатності конструкції і відповідно до зменшення прогинів і ширини розкриття тріщин. Попереднє напруження зтяжки впливає на напружено-деформівний стан розрахункових перерізів арки, зменшуються напруження стиснутого бетону, але збільшується його висота.

1. Кислюк Д.Я. Методика експериментальних досліджень роботи двохшарнірних залізобетонних арок при повторних навантаженнях // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: Видавництво Національного університету водного господарства та природокористування, 2005. – Випуск 12.- С. 169 – 174 2. Бабич Є.М., Кислюк Д.Я. „Дослідження роботи двохшарнірних залізобетонних арок при короткочасному повторному навантаженні”. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди Збірник наукових праць Випуск 16 - Рівне : НУВГП, 2008р. 3. Кислюк Д.Я. „Дослідження прогинів двохшарнірних залізобетонних арок з регулюванням зусиль в зтяжці при дії повторних навантажень”. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди Збірник наукових праць Випуск 18 - Рівне : НУВГП, 2009р. 4. Мурашев В.И., Сигалов Э.Е., Байков В.Н. Железобетонные конструкции. – Москва: Госстройиздат, 1962. – 659 с. 5. Кислюк Д.Я. „Порівняння дійсної роботи двохшарнірних з/б арок з теоретичними значеннями та нелінійним розрахунком в ПК Ліра 9.0”. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди Збірник наукових праць Випуск 19 - Рівне : НУВГП, 2009р.