

Оценка остаточных прогибов частично предварительно напряженных балок после малоцикловых воздействий

С.Х. Байрамуков, З.Н. Долаева

Северо-Кавказская государственная академия, Черкесск

Аннотация: Рассмотрены эксплуатационные характеристики железобетонных изгибаемых элементов при малоцикловом воздействии. Исследованы остаточные деформации и прогибы частично предварительно напряженных конструкций, подверженных воздействию повторных статических нагрузок. Приведены зависимости для оценки остаточных деформаций и прогибов частично предварительно напряженных конструкций при действии малоцикловых нагрузок. На основании проведенного анализа установлена зависимость относительного увеличения прогибов от коэффициента частичного преднапряжения при повторном приложении статических нагрузок.

Ключевые слова: частично предварительно напряженные элементы, повторные нагрузки, остаточные деформации, ненапрягаемая арматура, малоцикловое воздействие, остаточные деформации и прогибы.

Известно, что остаточные деформации и прогибы после малоцикловых воздействий позволяют оценить эксплуатационные качества конструкций в определенный момент времени. При этом наблюдается прямая зависимость остаточных деформаций и прогибов от уровня нагружений.

Приращение остаточных деформаций и прогибов значительно больше при $M_{max} \approx M_{cre}$, чем при $M_{max} \gg M_{cre}$, что объясняется тем, что при полном снятии поперечной нагрузки выгиб элемента получает дополнительное приращение, что способствует развитию значительных растягивающих напряжений в бетоне сжатой от внешних нагрузок зоне и образованию там нормальных трещин.

При высоких уровнях нагрузок остаточные деформации и прогибы в цикле имеют меньшее приращение, что объясняется сформировавшейся системой нормальных трещин в растянутой зоне в процессе первого нагружения и развитием значительных пластических деформаций в сжатой зоне.

В исследованиях [1] увеличение остаточных деформаций бетона и арматуры после 180...200 циклов составило от 30 до 60 % по отношению к

деформациям после первой разгрузки. Наиболее интенсивное их приращение отмечается на первых 20-ти циклах. В то же время увеличение остаточных прогибов происходит в 3-4 раза, очевидно, за счет интенсивного трещинообразования в растянутой и сжатой зонах. Увеличение остаточных прогибов происходит равномерно в течение всего периода испытаний, что обусловлено постепенной потерей сцепления растянутой арматуры и развитием трещин по высоте в процессе повторных нагружений.

Для определения величины остаточных прогибов после снятия внешней нагрузки авторы работы [2] предлагают зависимость

$$\bar{f} = \rho_m \left(\frac{\bar{1}}{r} \right) l^2, \quad (1)$$

где величина кривизны определяется по остаточным деформациям

$$\left(\frac{\bar{1}}{r} \right) = \frac{|\bar{\varepsilon}_{sm}| + |\bar{\varepsilon}_{bm}|}{h_o}; \quad (2)$$

$\bar{\varepsilon}_{sm}$; $\bar{\varepsilon}_{bm}$ - усредненные значения остаточных деформаций арматуры и бетона.

Авторами работы [2] на основании проведенных исследований и обработки их результатов для определения остаточных деформаций предложены эмпирические зависимости

$$\bar{\varepsilon}_{sm} = \frac{0,1\bar{\varepsilon}_{sm}}{100\mu + 0,9} \left(\frac{\eta_{max} - 0,18}{0,35} \right) \cdot \left(1 + 20\mu \frac{R_b - 30}{R_b^*} \right); \quad (3)$$

$$\bar{\varepsilon}_{bm} = \frac{\bar{\varepsilon}_{bm}}{7,6} \left(\frac{0,6 - \eta_{max}}{3,5} \right) \cdot \left(1,32 + 0,2 \frac{R_b}{R_b^*} \right) + \varepsilon_{bp}, \quad (4)$$

где $\bar{\varepsilon}_{sm}$, $\bar{\varepsilon}_{bm}$ - средние относительные деформации арматуры и бетона; η_{max} - максимальный уровень нагружения $\eta_{max} = M_{max}/M_u$; μ - коэффициент

армирования $\mu = \frac{A_s + A_{sp}}{bh_o}$; R_b - призмочная прочность бетона; $R_b^* = 50$ МПа;

ε_{bp} - относительные деформации бетона от предварительного напряжения.

Обработка и анализ экспериментальных данных в работе [1] показала, что значения расчетных остаточных прогибов по формулам (1)-(4) удовлетворительно совпадают с опытными данными только после первой разгрузки. При определении средних относительных деформаций предлагается учесть наличие напрягаемой и ненапрягаемой арматуры по формуле

$$\bar{\varepsilon}_{sm} = \bar{\varepsilon}_{sm}^o + k_p \bar{\varepsilon}_{spm}, \quad (5)$$

где $\bar{\varepsilon}_{sm}^o$, $\bar{\varepsilon}_{spm}$ - средние относительные деформации ненапрягаемой и напрягаемой арматуры.

При дальнейшем приложении повторных нагрузок высокого уровня расчет остаточных прогибов по формулам (1)-(5) дает сильно заниженные результаты. Причем, погрешность возрастает с увеличением количества циклов. Очевидно, здесь не учитывается интенсификация потери сцепления, выключение работы бетона в растянутой зоне между трещинами и над трещинами, увеличение высоты нормальных трещин и другие сложные процессы. В этом направлении необходимо более тщательно анализировать процессы накопления остаточных деформаций и прогибов в частично предварительно напряженных балках.

Для определения остаточных прогибов при повторном приложении нагрузок в первом приближении предлагается введение в соотношение (1) дополнительного слагаемого, отражающего влияние количества циклов повторного нагружения.

Анализ результатов работ [3-6] показывает, что при повторных нагрузках приращение взаимных смещений бетона и арматуры,

определяющих сцепление, является величиной случайной и зависит от уровня нагружения, количества циклов, прочности бетона, количества, диаметра и профиля арматуры и др. факторов. Установлено, что после некоторого числа циклов повторной нагрузки процесс увеличения деформаций сцепления стабилизируется; затухание суммарных взаимных смещений происходит по экспоненциальному закону. При этом существенное значение имеет первый цикл, после которого с ростом числа циклов происходит сближение кривых нагрузки и разгрузки [7].

С учетом отмеченных особенностей поведения конструкций при сцеплении, логично воспользоваться законом накопления повреждений, широко используемым в теории надежности [8-10]. В этом случае приращение остаточных прогибов за счет потери сцепления и других факторов, определяющих накопление повреждений при циклическом деформировании, авторами статьи рекомендуется вычислять по формуле

$$\Delta \bar{f}_N = \Delta \bar{f}_u \left(1 - e^{-\alpha_f N}\right), \quad (6)$$

где $\Delta \bar{f}_u$ - предельное значение остаточных прогибов при $N \rightarrow \infty$, для практических расчетов его можно принимать в зависимости от полного максимального прогиба на первом цикле нагружения $\Delta \bar{f}_u = 0,5 \bar{f}$; α_f - коэффициент, учитывающий скорость накопления повреждений за счет потери сцепления и других факторов, в первом приближении нами рекомендуется принимать $\alpha_f = 0,07$.

Таким образом, остаточный прогиб после N -ой разгрузки определяется суммой

$$\bar{f}_N = \bar{f}_1 + \Delta \bar{f}_N, \quad (7)$$

где \bar{f}_1 - прогиб после первой разгрузки, вычисляемый по формуле (1).

Выводы:

Полные прогибы частично предварительно напряженных элементов при эксплуатационных малоцикловых нагрузках находятся в пределах, допустимых нормами. При высоких уровнях повторных нагрузок в частично предварительно напряженных элементах наблюдается более значительное увеличение прогибов, чем в предварительно напряженных конструкциях.

Величина остаточных прогибов после разгрузки находится в прямой зависимости от максимальных значений нагрузки в цикле и определяется состоянием сцепления арматуры и бетона растянутой зоны. Проведенный анализ позволил установить зависимость относительного увеличения прогибов от коэффициента частичного преднапряжения при повторном приложении статических нагрузок.

Для определения остаточных деформаций и прогибов предлагается приведенный выше способ расчета, основанный на результатах исследований авторов и других исследователей, так как остаточные прогибы невозможно оценить по методике действующих нормативных документов.

Литература

1. Бабич Е. М., Крусь Ю. О., Панчук Ю. Н. Деформування залізобетонних балок зі змішаним армуванням при малоциклових статичних навантаженнях високих рівнів //Проблеми теорії і практики будівництва. Зб. наук. статей. - Том II. - Залізобетонні конструкції - Львів, 1997. - С. 28 - 33.

2. Гуца Ю. П., Ларичева И. Ю., Нугужинов Ж. С. Деформативность изгибаемых железобетонных элементов на ветвях разгрузки // Совершенствование методов расчета статически неопределимых железобетонных конструкций. - М.: НИИЖБ, 1987. - С. 36 - 49.

3. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность // М.: Стройиздат, 1978. - 239 с.

4. Borges J. F. Structural Behaviour under Repeated Loading. Working

Group of the Resistance of Structures. European Association for Earthquake Engineering. - Lisbon, 1973. - Pp. 46 - 58.

5. Санников К. В. Исследование трещиностойкости изгибаемых железобетонных элементов с напрягаемой арматурой класса А600 при повторных нагрузениях // Межотраслевые вопросы строительства. Отечественный опыт. М.: ЦИНИС, 1971 - № 6. - 36 с.

6. Dilger W. H. Creep Analysis of Prestressed Concrete Structures Using Creep - Transformed Section Properties //PCI Journal, 1982. - Vol. 27, N 1. - P.P. 98 - 118.

7. Байрамуков С.Х., Долаева З.Н. Оценка прочности и деформативности частично предварительно напряженных элементов по деформационной модели // Инженерный вестник Дона. – 2018. - №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4949.

8. Барашиков А. Я., Сирота М. Д. Надежность зданий и сооружений. Уч. пособие. - К.: УМК ВО, 1993 - 212 с.

9. Ведяков И.И, Райзер В.Д. Надежность строительных конструкций. Теория и расчет // Издательство АСВ, 2018. – 414 с.

10. Байрамуков С.Х., Дюрменова С.С. Трещиностойкость железобетонных элементов со сквозными отверстиями при кручении и при кручении с изгибом // Инженерный вестник Дона. – 2013. - №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1592.

References

1. Babich E. M., Krus' Ju. O., Panchuk Ju. N. Problemi teorii i praktiki budivnictva. Zb. nauk. statej. Tom II. Zalizobetonni konstrukcii. Lviv, 1997. Pp. 28 - 33.



2. Gushha Ju. P., Laricheva I. Ju., Nuguzhinov Zh. S. Sovershenstvovanie metodov rascheta staticheski neopredelimyh zhelezobetonnyh konstrukcij. M.: NIIZhB, 1987. Pp. 36 - 49.
3. Rzhanicyn A. R. Teorija rascheta stroitel'nyh konstrukcij na nadezhnost' [The theory of calculation of building structures on the reliability]. M.: Strojizdat, 1978. - 239 p.
4. Borges J. F. Structural Behaviour under Repeated Loading. Working Group of the Resistance of Structures. European Association for Earthquake Engineering. Lisbon, 1973. Pp. 46 - 58.
5. Sannikov K. V. Otechestvennyj opyt. M.: CINIS, 1971, № 6. 36 p.
6. Dilger W. H. PCI Journal, 1982. Vol. 27, N 1. Pp. 98 - 118.
7. Bayramukov S.H., Dolaeva Z.N Inzenernyj vestnik Dona, 2018. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4949.
8. Barashikov A. Ja., Sirota M. D. Nadezhnost' zdanij i sooruzhenij. [Reliability of buildings and structures]. Uch. Posobie. K.: UMK VO, 1993. 212 p.
9. Vedjakov I.I, Rajzer V.D. Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij. Teorija i raschet [Reliability of building structures. Theory and calculation]. Izdatel'stvo ASV, 2018. 414 p.
10. Bayramukov S.H., Dyurmenova S.S. Inzenernyj vestnik Dona, 2013. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1592.