

Применение комбинированного преднапряжения в строительных конструкциях.

А.А. Мартынюк, Д.Р. Маилян

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Статья посвящена вопросу снижения расхода стали в сжатой зоне железобетонных элементов. Особое внимание уделяется комбинированному преднапряжению, в котором арматура растянутой зоны подвергается предварительному растяжению, а сжатой – предварительному сжатию. Комбинированное преднапряжение позволяет уменьшить расход стали, а также повысить показатели многих технических характеристик при помощи повышения предельных напряжений в высокопрочной арматуре сжатой и растянутой зон.

Ключевые слова: комбинированное преднапряжение, сжатая зона, снижение расхода стали, сжатая арматура.

Использование высокопрочной стали и предварительное ее сжатие приведет в изгибаемых железобетонных элементах с расчетной сжатой арматурой, не только к значительному уменьшению расхода стали, но и к повышению трещиностойкости зоны, растянутой от внешней нагрузки [1-3].

При комбинированном преднапряжении в железобетонных балках достигается существенное снижение расхода стали и увеличение значений многих технических характеристик [4].

В предварительно напряженных железобетонных балках, как правило, арматуру S растянутой зоны и S_{\square} сжатой зоны подвергают предварительному растяжению с целью повышения трещиностойкости растянутой зоны при эксплуатационных нагрузках и сжатой зоны на период воздействия усилия предварительного обжатия бетона. При этом предварительное растяжение арматуры S_{\square} не только не повышает несущую способность балки, но при больших значениях $\varepsilon/\varepsilon_R$ может ее снизить [5,6].

В альтернативном решении арматура S_{\square} подвергается предварительному сжатию, что позволяет значительно уменьшить расход стали или увеличить несущую способность балок. Образующиеся при этом технологические трещины в зоне расположения арматуры S_{\square} при положении

внешней нагрузки закрываются. Предварительное сжатие арматуры S_{\square} вызывает выгиб балки, что нейтрализует отрицательное влияние начальных трещин на трещиностойкость и прогибы балок.

Эффективность предварительного сжатия арматуры S_{\square} возрастает с повышением отношения $\varepsilon/\varepsilon_R$ и уменьшением отношения A'_s/A' и класса бетона.

Таблица.

Уменьшение расхода арматуры в железобетонных балках сечением 30x60 см из бетона класса B20 и арматуры класса A1000 при предварительном сжатии арматуры сжатой зоны.

M, кН/ м	$A'_{sp}/$ A_{sp}	$A_{sp},$ см ²	Преднапряже ние, МПа		$\varepsilon/\varepsilon_R$	$(A'_{sp}+A_{sp}),$ см ²	$\frac{(A'_{sp}+A_{sp})}{(A'_s+A_s)}100\%$
			σ_{sp2}	σ'_{sp2}			
750	0,5	30,75	0	0	1,37	46,13	100
		19,68	0	-360	1,06	29,5	64
		18,79	480	-360	0,91	28,2	61
600	0,25	30,81	0	0	1,44	38,51	100
		19,75	0	-360	1,26	24,73	64,2
		17,65	480	-360	1,1	22,06	57,3
450	0,25	13,79	0	0	1,15	17,24	100
		11,65	0	-360	0,97	14,56	84,4
		11,27	4800	-360	0,8	14,09	81,7

Расчет железобетонных балок с комбинированным преднапряжением, имеет ряд особенностей.

Во-первых, такие балки следует рассчитывать на раскрытие начальных (технологических) трещин, которые могут образовываться в зоне расположения арматуры S_{\square} при отпуске как предварительно сжатой арматуры S_{\square} , так и при предварительно растянутой S .

Во-вторых, необходимо проверить удовлетворяются ли условия их закрытия (зажатия) при загрузке элемента внешней нагрузкой.

В-третьих, в расчетах по образованию и раскрытию трещин в зоне расположения арматура S и при определении прогибов элементов следует учитывать влияние начальных технологических трещин, образовавшихся при отпуске преднапряжения в зоне расположения арматуры S .

В-четвертых, потери напряжений в предварительно сжатой арматуре S от релаксации напряжения сжатия, от быстро натекающей и длительной ползучести растянутого бетона на уровне арматуры S следует определять по специальным формулам, приводимым далее [7,8].

Исследования показали, что потери преднапряжений от релаксации напряжений в растянутой арматуре меньше, чем в сжатой. Для их определения в стержневой арматуре рекомендуется формула:

$$\sigma_{lc} = 0,1|\sigma'_{sp}| - 10 \geq 0, \quad (1)$$

Потери преднапряжений при одинаковом уровне напряжений в бетоне в растянутой арматуре от быстронатекающей ползучести сжатого бетона (σ_6) значительно больше, чем в сжатой арматуре (σ_{6c}), поскольку абсолютные значения деформаций ползучести при сжатии существенно больше, чем при растяжении. Данные потери рекомендуется определять по формуле:

$$\sigma_{6c} = 6,2\sigma'_{et} / R_{etp} \quad (2)$$

Где σ'_{et} - растягивающее напряжение в бетоне на уровне арматуры S , а R_{et} – передаточная прочность; при $\sigma'_{et} / R_{etp} > 1$, т.е. это отношение следует рассматривать как условное при наличии начальных технологических трещин.

При отпуске предварительно сжатого арматурного стержня напряжения снизятся за счет растяжения бетона. Если растягивающее напряжение $\sigma_{etp} = \varepsilon_{et} R'_{et}$ окажутся больше R_{et} , в бетоне раскроются трещины шириной a_{crl} . Для их закрытие сжимающие усилие от эксплуатационной нагрузки должно быть таким, чтобы суммарные напряжения в бетоне были

сжимающими. Это условие при осевом действии усилий может быть выражено следующей расчетной формулой:

$$\sigma_s = (N - P_{c2}) / A_{red} \geq 0,5 \text{ МПа}, \quad (5)$$

где A_{red} – площадь приведенного к бетону сечения; P_{c2} – усилие предварительного сжатия за вычетом всех потерь; N – сжимающие усилие от внешней нагрузки.

В изгибаемых элементах с комбинированным преднапряжением (рис.3,б) условие закрытия технологических трещин приобретает вид [9,10,11].

$$\sigma_s = \frac{M - P_2^H (e_{op}^H - r) - P_{2c} (e_{op}' + r)}{I_{red}} (h - y) \geq 0,5 \text{ МПа}, \quad (6)$$

где M – момент от внешней нагрузки; I_{red} – момент инерции приведенного сечения относительно оси, проходящей через центр тяжести приведенного сечения.

В данном случае увеличение внешней нагрузки способствует закрытию начальных трещин на сжатой от внешней нагрузки грани.

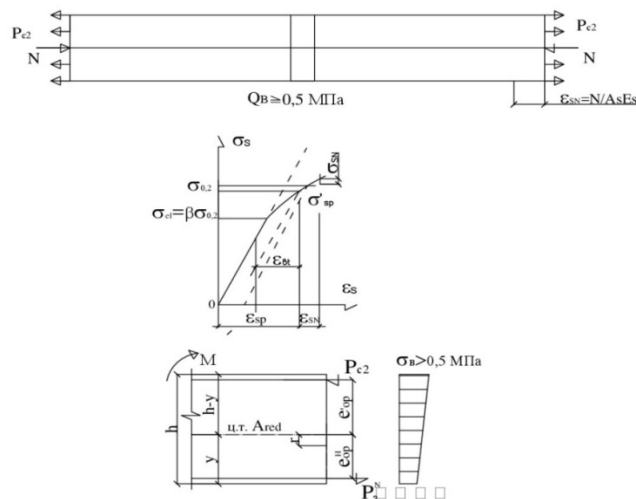


Рис.3. К расчету по закрытию технологических трещин в центрально сжатых (а) и изгибаемых (б) элементах.

Таким образом, исследования показывают, что элементы с предварительно сжатой арматурой в ряде случаев весьма эффективны.

Литература

1. Sargin M. Stress-strain relationships for concrete and the analysis of structural concrete sections. SM study, №4, Solid Mechanical Division, University of Waterloo. Ontario, Canada. – 1970. p. 167.

2. Европейский комитет по бетону. Кодекс - образец ЕКБ - ФИП для норм по железобетонным конструкциям (перевод с французского) - М.: НИИЖБ, 1984 - с. 284.

3. Bryan D. Scott, The stress strain relationship for confined concrete rectangular sections. Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Master of. Engineering Report, 1980. p. 120.

4. Лихов З.Р., Маилян Р.Л. Методика расчета железобетонных элементов с комбинированным преднапряжением при учете полных диаграмм деформирования материалов. Развитие науки и практики железобетонных конструкций – Ростов-на-Дону: РГСУ, СевкавНИПИАгропром. – 2003 с. 51-68.

5. Лихов З.Р. К расчету железобетонных изгибаемых элементов с комбинированным преднапряжением с учетом полных диаграмм деформирования материалов. Сборник докладов Международной конференции “Строительство – 2003”. – Ростов-на-Дону: РГСУ. – 2003 с. 62-63.

6. Маилян Д.Р., Маилян Р.Л., Осипов М.В. Рекомендации по расчету и проектированию железобетонных конструкций с комбинированным преднапряжением. Ростов-на-Дону: СевкавНИПИАгропром, РГСУ, 1999. 27 с.

7. Мкртчян А.М., Аксенов В.Н. Аналитическое описание диаграммы деформирования высокопрочных бетонов. Инженерный вестник Дона, 2013, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1818.

8. Якокутов М.В., Маилян Р.Л. Тезисы докладов Международной конференции «Строительство-99». – Ростов-на-Дону: РГСУ, 1999, с.63.

9. Маилян Р.Л., Маилян Д.Р., Якокутов М.В. Бетон и железобетон. 1999. №1, с.20-22.

10. Осипов В.К., Осипов М.В., Маилян Р.Л. Разработка конструкции стропильной железобетонной балки с локальным комбинированным преднапряжением. Развитие теории и практики железобетонных конструкций. – Ростов-на-Дону: РГСУ, СевкавНИПИАгропром, 2003. С.76-82.

11. Лихов З.Р., Бердов М.М., Сабанчиев А.А., Шерибов Ш.М. Инженерный вестник Дона, 2016, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3649.

References

1. Sargin M. Stress-strain relationships for concrete and the analysis of structural concrete sections. SM study, №4, Solid Mechanical Division, University of Waterloo. Ontario, Canada. 1970. P. 167.

2. Evropeyskiy komitet po betonu. Kodeks - obrazets EKB - FIP dlya norm po zhelezobetonnykh konstruktsiyam (perevod s frantsuzskogo) [European Committee for concrete. Code.sample EKB.FIP for standards in reinforced concrete structures] M.: NIIZhB, 1984. P. 284.

3. Bryan D. Scott, The stress strain relationship for confined concrete rectangular sections. Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Master of. Engineering Report, 1980. P.120.

4. Likhov Z.R., Mailyan R.L. Metodika rascheta zhelezobetonnykh elementov s kombinirovannym prednapryazheniem pri uchete polnykh diagramm deformirovaniya materialov. [The method of calculation of reinforced concrete elements with a combined pre-stress when considering the full diagrams of

deformation of materials]. Razvitie nauki i praktiki zhelezobetonnykh konstruktsiy. – g. Rostov-na-Donu: RGSU, SevkaVNIPIagroprom. 2003. Pp. 51.68.

5. Likhov Z.R. K raschetu zhelezobetonnyh izgibaemyh elementov s kombinirovannym prednapryazheniem s uchetom polnyh diagram deformirovaniyamaterialov. [Calculation of reinforced concrete bending elements with a combined pre-stress given the complete diagrams of deformation of materials]. Sbornik dokladov mezhdunarodnoy konferentsii “Stroitelstvo 2003”, Rostov-na-Donu: RGSU. 2003 pp. 62.63

6. Mailyan D.R., Mailyan R.L., Osipov M.V. Rekomendacii po raschetu i proektirovaniyu zhelezobetonnykh konstruktsiy s kombinirovannim prednapryazheniem. [Recommendations for the calculation and design of reinforced concrete structures with combined prestressing]. Rostov-na-Donu: SevkaVNIPIagroprom, RGSU, 1999. 27 p.

7. Mkrtchyan, A. M., Aksenov V. N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1818.

8. Yakokutov M.V, Mailian R.L. Tezisi dokladov Mezhdunarodnoi konferentsii “Stroitelstvo-99”. Rostov-na-Donu: RGSU, 1999, p.63.

9. Mailyan R.L, Mailyan D.R, Yakokutov M.V. Beton i zhelezobeton. 1999. №1, pp.20-22.

10. Osipov V.K., Osipov M.V., Mailyan R.L. Razrabotka konstruktsii stropilnoi zhelezobetonnoi balki s lokalnim kombinirovannym prednapryazheniem. Razvitie teorii i praktiki zhelezobetonnykh konstruktsiy. [Development of the construction of a rafter reinforced concrete beam with a local combined pre-voltage. Development of theory and practice of reinforced concrete structures]. Rostov-na-Donu: RGSU, SevkaVNIPIagroprom, 2003. pp.76-82.

11. Likhov Z.R., Berdov M.M., Sabanchiev A.A., Sheribov Sh.M. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3649.
