

Повышение эффективности железобетонных балок за счет использования переменного преднапряжения

С.Г. Грянко, Д.Р.Маилян, Л.Д.Маилян

Донской государственный технический университет

Аннотация: В данной статье рассматривается внедрение железобетонных конструкций с переменным вдоль пролета комбинированным преднапряжением. Проводится выявление экономической эффективности от замены армирования и преднапряжения.

Ключевые слова: бетон, железобетон, конструкции, технологии, монтаж, железобетонные конструкции, растяжение, преднапряжение, балки, армирование, эффективность.

На кафедре железобетонных и каменных конструкций АСА ДГТУ исследуются железобетонные конструкции с переменным вдоль пролета комбинированным преднапряжением. Внедрение этой идеи позволяет получать наиболее рациональные преднапряженные конструкции, к которым в частности, относятся стропильные железобетонные балки [1-3]. Так как такие балки, как правило, являются однопролетными, изгибающие моменты в них по мере приближения сечения к опоре резко снижаются при этом предварительное напряжение на приопорных участках таких конструкций не только не полезно, но может ухудшить технико-экономические показатели конструкции.

Возникла необходимость разработки новых конструктивных решений типовых стропильных железобетонных балок для экономии расхода высокопрочной стали при сохранении снижения технических характеристик балок.

В основу этих конструктивных решений железобетонных балок положены следующие принципы [4,5]:

- предварительное напряжение создается как в растянутой арматуре, так и в сжатой арматуре. Последняя изготавливается из высокопрочной стали, подвергающейся предварительному сжатию. Отмеченное приведет к значительному повышению суммарного предельного напряжения в арматуре ($R_{sc} + \sigma_{sp}^i$), что позволит сократить расход сжатой арматуры [6,7];
- предварительное растяжение высокопрочной арматуры растянутой зоны балок и предварительное сжатие высокопрочной арматуры сжатой зоны осуществляется только на наиболее напряженных участках балок, а на остальных преднапряженная высокопрочная арматура заменяется обычной (ненапрягаемой) арматурой. Это позволит уменьшить расход высокопрочной арматуры сжатой и растянутой зон;
- происходит небольшое усложнение технологии изготовления железобетонных элементов с локальным преднапряжением, которое компенсируется существенным уменьшением расхода дефицитной высокопрочной стали.

Для количественной и качественной оценки технико-экономических преимуществ предлагаемого решения в сравнении с типовыми, была принята стропильная предварительно-напряженная железобетонная балка пролетом 18 м.

Из альбомов действующей серии 1.462.1-16188, была выбрана типовая предварительно напряженная железобетонная балка марки ЗБСД.18.2.1-2Ф-V со средними показателями несущей способности, изготавливаемая из тяжелого бетона класса В40 и основной рабочей арматуры класса А-V (А800) (рис 1). Арматура растянутой зоны (4?20 А-V (А800)) подвергается предварительному растяжению ($\sigma_{sp} = 745 \text{ МПа}$), арматура сжатой зоны (2?12 А-III (А400)) без преднапряжения. Балка рассчитана на временную нагрузку 4 кН/м^2 . Суммарная нагрузка на балку составляет $q = 4 \cdot 6 + 56/18 = 27,118 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$.

В отличие от типовой балки предложенная имеет в средней трети прямолинейный участок сжатой грани для размещения на нем предварительно сжатой арматуры 1. На том же участке в растянутой зоне располагается предварительно растянутая арматура 2. Арматура 1 и 2 предусматриваются стержневой высокопрочной, в данном случае класса А800 для сравнения с типовой балкой. На приопорных участках балки в растянутой зоне располагается ненапрягаемая арматура класса А600, а в сжатой зоне – класса А400. Соединение продольных стержней балки в процессе монтажа арматурных каркасов осуществляется на обной границе участков с помощью соединительных муфт, а на другой – с помощью сварки или муфт [8,9].

После установки арматурного каркаса в стальную форму-опалубку производится бетонирование балки. При этом на среднем участке, в котором предусмотрено предварительное напряжение арматуры, последняя остается обнаженной, т.е. на указанном участке полки балки не бетонируются. Для того, чтобы бетон при бетонировании балки не проник в нижнюю полку, на стенках формы предусмотрены горизонтальные ограничители 8, прикрепленные к стенкам формы. С этой же целью в вертикальные прорези 9 формы на границах среднего участка балки вставляются вертикальные диски с высотой, равной высоте полки, с вырезами для пропуска арматурных стержней (1).

После распалубки балки участки с высокопрочной арматурой 1 и 2 остаются обнаженными [10].

По достижению бетоном передаточной прочности производится предварительное сжатие арматуры 1 и предварительное растяжение арматуры 2 путем вращения муфт при помощи съемного рычага, вставляемого в отверстия, предусмотренные в корпусе муфты в направлении, перпендикулярном оси муфты. Усилия предварительного сжатия и

растяжения арматурных стержней контролируются по числу оборотов муфты и с помощью измерительных приборов, установленных на оголенной арматуре.

Устойчивость отдельных арматурных стержней 1 при предварительном сжатии обеспечивается их привязкой проволокой к арматурной сетке 11 в местах перегиба. Сетки 11 располагаются с шагом 40 см, поэтому свободная длина сжимаемого стержня диаметром 10 мм между закреплениями достаточна для предотвращения продольного изгиба при $\sigma_{ср}^f = -350 \text{ МПа}$. Устойчивость же положения сетки 11 обеспечивается тем, что в вертикальном направлении она упирается внизу в днище формы-опалубки, а вверху – в стальные ступенчатые планки 12, прикрепляемые болтами к форме с шагом 80-120 см. Перемещение сетки 11 в горизонтальном направлении исключаются благодаря наличию горизонтальных участков сеток 11, упирающихся в стенки опалубки. Сетки 11 с левым или правым горизонтальным участком устанавливаются поочередно с шагом 80-120 см. Схема изготовления предлагаемой балки: а) общий вид балки; б) расположение муфт на арматуре; в) стальная форма – опалубка

1 – предварительно сжатая высокопрочная арматура, 2 – предварительно растянутая высокопрочная арматура, 3 – ненапрягаемая арматура класс А600, 4 – ненапрягаемая арматура класса А400, 5 – соединительная муфта, 6 – сварка, 7 – стальная форма-опалубка, 8 – горизонтальные ограничители, 9 - вертикальные прорези, 10 – окна около муфт, 11 – арматурная сетка, 12 – стальные ступенчатые планки.

По окончании преднапряжения арматуры 1 и 2 производится бетонирование оголенных участков балки, при этом оставляются открытыми окна 10 около муфт на предварительно растянутой арматуре 2. После набора передаточной прочности набетонкой вращением муфт на растянутой арматуре 2 в обратном направлении преднапряжение с арматуры 2

передается на бетон, что вызывает его обжатие и повышение трещиностойкости.

Что касается арматуры 1, то она будучи предварительно сжатой, на бетонку преднапряжение не передает, что является одним из преимуществ предложенного метода (2).

При других способах предварительно сжатая арматура при отпуске передает на бетон растягивающие напряжения, вызывающие в нем образование трещин, снижающих технические характеристики конструкции.

Главной целью разработки нового конструктивного решения строительной железобетонной балки являлось сокращение расхода арматуры, особенно высокопрочной (дорогостоящей и дефицитной) [11,12].

В таблице 1 приводятся значения расхода основной продольной рабочей арматуры в типовой и предложенной железобетонных балках пролетом 18 м, из которых видно, что поставленная задача выполнена.

Технические характеристики предложенной железобетонной стропильной балки пролетом 18 м.

Сечение на расстоянии от опоры, см	Отношение момента внутренних сил к моменту от внешней нагрузки	Отношение момента образования трещин к предельному M_{cr}/M	Ширина раскрытия трещин (мм)	
			От предварительных напряжений $\sigma_{сгс1}$	От полной нормативной нагрузки $F_{сгс1}$
0,5 L=890	0,997	0,513	0,06	0,15
0,33 L=590	1,171	0,513	0,06	0,15
0,16 L=290	0,974	0,129	0	0,25
0,08 L=140	1,425	0,124	0	0,25

Таблица 1.

Тип балки	армирование	Преднапряжение $\sigma_{сгс1} (\sigma_{сгс2})$	Рабочая арматура		
			Длина, м	Вес, кг	Стоимость, руб
Типовая ЗБСД.18.2.1-2AV	<u>Растянутая зона</u> 4?20A800	745	72	177,55	1668,97
	<u>Сжатая зона</u> 2?12A400	0	36	31,97	195,02
	Итого:			209,52	1863,99
Предлагаемая	<u>Растянутая зона</u> 4?20A800	745	28	69	648,6
	4?20A600	0	44	108,5	808,33

	<u>Сжатая зона</u>				
	2?10A800	-350	14	8,64	81,22
	2?10A400	0	22	13,57	81,42
			Итого:	199,71	1619,57

Таблица 2.

Снижение расхода и стоимости продольной рабочей арматуры в предлагаемой стропильной железобетонной балке пролетом 18 м в сравнении с типовой марки ЗБСД.18.2.1-2AV

Суммарный расход продольной рабочей арматуры сокращен почти на 10 кг, т.е. на 5%. При этом расход наиболее дорогостоящей арматуры класса А-V (А800) снижен на 100 кг, т.е. на 44%. Общий экономический эффект от замены армирования и преднапряжения в денежном выражении очевиден.

Следует иметь в виду, что изготовление предлагаемых железобетонных балок не требует силовых стендов, анкерных устройств на арматуре, домкратов и других приспособлений, необходимых при общепринятых способах изготовления преднапряженных конструкций, что является дополнительным преимуществом таких конструкций.

Литература

1. Маилян Д.Р., Хунагов Р.А. Расчет двухслойных предварительно напряженных железобетонных панелей // Вестник Майкопского государственного технического университета, 2011, №4, с. 33-37.

2. Маилян Д.Р., Хунагов Р.А. Влияние неравномерного предварительного напряжения сечений железобетонных элементов // Вестник Майкопского государственного технического университета, 2011, №4, с. 29-33.

3. Маилян Д.Р., Хунагов Р.А., Блягоз А.М. Двухслойные железобетонные панели с неравномерно обжатými сечениями // Вестник

Майкопского государственного технического университета, 2011, №4, с.37-41.

4. Маилян Д.Р., Хунагов Р.А. Гибкие двухслойные неравномерно обжатые железобетонные панели // Материалы международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 2012, с.49-51.

5. Маилян Д.Р., Осипов М.В., Дедух Д.А., Тарновский С.А. Проектирование и расчет железобетонных балок с переменным преднапряжением: Монография. Ростов-на-Дону, РГСУ, 2013, с.18-21.

6. Маилян Д.Р., Маилян Р.Л. Железобетонная ферма / Свидетельство на полезную модель №14232 Бюллетень изобретения №19, 2000, с.25.

7. Маилян Д.Р., Маилян Р.Л., Лихов З.Р. Стропильная железобетонная балка / Патент №30371 Бюл. №18 от 27.06.2003, с.11.

8. Маилян Д.Р., Маилян Р.Л., Хуранов В.Х. Железобетонная балка / Патент №30372 Бюл. №18 от 27.06.2003, с. 13.

9. С. Thomas, J. Setin, J.A. Polanco. Structural recycled aggregate concrete made with precast wastes // Construction and Building Materials ,2016, № 14, pp. 536-546.

10. Польской П.П., Маилян Д.Р. Универсальный метод подбора композитной арматуры для изгибаемых элементов // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3891.

11. Сербиновский П.А., Маилян Д.Р. Оптимизация конструкций усиления многопустотных плит перекрытия // Инженерный вестник Дона, 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3580.

12. R.K. Joki, F. Grytten, B. Hayman, B.F. Sorensen. Determination of a cohesive law for delamination modelling. Accounting for variation in crack opening and stress state across the test specimen width // Composites Science and Technology, 2016, № 12, pp. 49-57.

References

1. Mailjan D.R., Hunagov R.A. Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, 2011, №4, pp. 33-37.
 2. Mailjan D.R., Hunagov R.A. Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, 2011, №4, pp. 29-33.
 3. Mailjan D.R., Hunagov R.A., Bljagoz A.M. Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, 2011, №4, pp.37-41.
 4. Mailjan D.R., Hunagov R.A. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii, Rostov-na-Donu, 2012, pp.49-51.
 5. Mailjan D.R., Osipov M.V., Deduh D.A., Tarnovskij S.A. Proektirovanie i raschet zhelezobetonnyh balok s peremennym prednaprjazheniem: Monografija. [Design and calculation of reinforced concrete beams with variable prestressing]. Rostov-na-Donu, RGSU, 2013, pp.18-21.
 6. Mailjan D.R., Mailjan R.L. Svidetel'stvo na poleznuju model' №14232. Bjulleten' izobretenija №19, 2000, p.25.
 7. Mailjan D.R., Mailjan R.L., Lihov Z.R. Patent №30371 Bjul. №18 ot 27.06.2003, p.11.
 8. Mailjan D.R., Mailjan R.L., Huranov V.H. Patent №30372 Bjul. №18 ot 27.06.2003, p. 13.
 9. C. Thomas, J. Setin, J.A. Polanco. Construction and Building Materials, 2016, № 14, pp. 536-546.
 10. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3891.
 11. Serbinovskij P.A., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3580.
 12. R.K. Joki, F. Grytten, B. Hayman, B.F. Sorensen. Composites Science and Technology, 2016, № 12, pp. 49-57.
-