

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ АРМАТУРЫ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

© Санникова О.Г., Кондратчик Н.И., 2010

Изложена концепция создания железобетонных конструкций из напрягающего бетона с арматурой, предварительно напрягаемой комбинированным способом. Предложена классификация железобетонных конструкций из напрягающего бетона. Сформулированы и экспериментально подтверждены особенности развития процесса расширения при действии растягивающих и сжимающих напряжений, вызванных внешним воздействием. Приведены результаты исследований развития процесса самоупругивания при ограничении деформаций расширения арматурой, уже имеющей напряжения, созданные механическим способом.

Ключевые слова: предварительное напряжение, арматура, бетон, напряжение, деформация.

There is presented the concept of reinforced self-stressing concrete structures with combined prestressed reinforcement. The classification of self-stressing concrete structures is proposed. The features of expansive process development when there are tension and compression stresses are formulated and experimentally confirmed. The results of researches of self-stressing process when reinforcement, that has stresses after mechanical prestressing, limits expansive stresses are given.

Keywords: prestressing, reinforcement, concrete, stress, strain.

Введение. В настоящее время наиболее эффективным способом повышения трещиностойкости железобетона является создание предварительного напряжения в конструктивных элементах на стадии их изготовления или при возведении конструкций. Методы проектирования и технологии изготовления предварительно напряженных конструкций достаточно детально разработаны и хорошо освоены на практике. В первую очередь это относится к созданию предварительного напряжения по направлению длины или расчетного пролета конструктивного элемента. Предварительное напряжение в двух ортогональных направлениях широко применяется при устройстве плоских плит перекрытий. Создание объемного предварительного напряжения при механическом натяжении арматуры возможно, но применяется оно крайне ограничено в специальных случаях ввиду значительной сложности и трудоемкости работ.

Отметим, что в плоских плитах перекрытий требуется, как правило, невысокий уровень обжатия. Как показано в [1; 2], в частности для плит с предварительным напряжением арматуры без сцепления с бетоном, повышение уровня обжатия сверх установленного предела, ведет к увеличению количества ненапрягаемой арматуры, имеющей сцепление с бетоном.

В перечисленных случаях особенно привлекательным выглядит применение напрягающего бетона, который при твердении увеличивает свой начальный объем (расширяется) и при расширении в несвободных условиях при наличии связей, препятствующих расширению, создает собственные напряжения сжатия (самоупругивание). Кроме того, напрягающий бетон в затвердевшем состоянии обладает свойствами, выгодно отличающими его от бетона на портландцементе: более высокую прочность, водонепроницаемость, стойкость к агрессивным воздействиям, повышенное (в 1,8..2,0 раза) тепловыделение в процессе тепловой обработки по сравнению с тепловыделением портландцемента в аналогичных условиях [3].

Идея предварительного напряжения арматуры комбинированным способом. Классификация самонапряженных конструкций. Формирование структуры напрягающего бетона происходит одновременно с увеличением его начального объема в результате роста новообразований. Расширяясь, напрягающий бетон встречает сопротивление связанной с ним арматуры, деформирует ее, создавая в ней напряжения растяжения. Стремясь возвратиться в исходное состояние, арматура обжимает бетон. Способ предварительного напряжения арматуры за счет энергии расширения напрягающего бетона получил название физико-химического способа. В данном случае осуществляется натяжение арматуры в конструктивном элементе независимо от ее ориентации в пространстве, а возникающие напряжения сжатия (самонапряжение) позволяют создавать обжатие бетона по направлению одной, двух или трех осей. Величина этих напряжений будет зависеть от марки бетона по самонапряжению, количества арматуры и условий ограничения деформаций расширения (по одному, двум или трем направлениям) [1].

Однако в самонапряженных элементах уровень обжатия бетона может достигать 1...3 МПа, что в некоторых случаях (например, для элементов с большим пролетом) может быть недостаточным для обеспечения трещиностойкости нормальных сечений. Повысить уровень обжатия бетона самонапряженных элементов можно, дополнительно напрягая продольную арматуру одним из известных способов (назовем его условно – механический способ). На стадии изготовления напряжения в продольной арматуре будут изменяться, так как арматура, уже имеющая напряжения растяжения, будет дополнительно деформироваться в результате связанного расширения бетона. Данный способ предварительного напряжения, когда продольная арматура напрягается механическим и физико-химическим способами, называется комбинированным способом предварительного напряжения арматуры.

В зависимости от типа решаемых технических задач, от способа предварительного напряжения, уровня обжатия бетона и цели, для которой создается преднапряжение, предлагается следующая классификация железобетонных конструкций из напрягающего бетона (табл. 1).

Таблица 1

Классификация самонапряженных конструкций

Характеристика отличительных особенностей	Вид самонапряженных конструкций				
	СУ ¹	С ¹	СК ¹		
			а ²	б ²	в ³
Способ преднапряжения арматуры	физико-химический	физико-химический	физико-химический и комбинированный		
Уровень напряжений обжатия бетона	не нормируется	до 6 МПа	до 0,75f _{cm}		
Использование напряженного состояния	для компенсации усадки (не учитывается в расчете)	учитывается в расчете	учитывается в расчете		

1. Условные обозначения самонапряженных конструкций: С – конструкции с арматурой, предварительно напряженной физико-химическим способом, самонапряжение, в которой используется при расчете; СУ – то же, самонапряжение, в которой предназначено для компенсации деформаций усадки и при расчете не учитывается; СК – конструкции с арматурой, напряжения, в которой создаются физико-химическим способом и любым другим способом, самонапряжение, в которой используется при расчете;

2. Основная рабочая арматура преднапрягается комбинированным способом вся (а), или только часть (б);

3. Основная рабочая арматура имеет сцепление с бетоном (а, б) и не имеет сцепления с бетоном (в).

Многочисленные исследования влияния напряженного состояния на работу приопорных сечений на срез [4, 5, 6, 7, 8] показали, что обжатие бетона улучшает сопротивление поперечной силе не только с ростом величины, но и с модификацией вида напряженного состояния (одно-, двух- и трехосное) [4]. При этом отодвигается появление наклонных трещин, изменяется их угол наклона, изменяется характер разрушения, возрастает прочность наклонных сечений [5]. Весьма наглядно это показано в опытах С. Г. Шейна, выполненных под руководством А. С. Залесова и Р.Л. Маиляна [7], где изменялась величина продольного сжимающего усилия (рис. 1).

Создание железобетонных конструкций с арматурой, предварительно напряженной комбинированным способом, требует решения целого ряда теоретических вопросов, а именно о развитии процесса расширения в условиях напряженного состояния, создаваемого внешним воздействием.

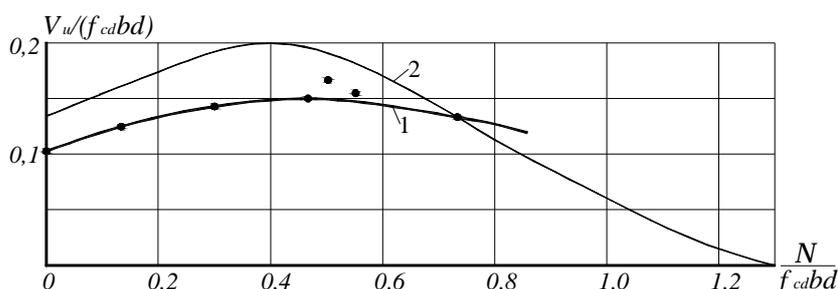


Рис. 1. Сопротивление изгибаемых железобетонных элементов при совместном действии продольных сжимающих сил (N) и поперечного изгиба по наклонному (1) и нормальному (2) сечениям [7]

Особенности развития самоупрочнения при ограничении деформаций расширения арматурой, имеющей растягивающие напряжения. Рассмотрим детально технологический процесс изготовления конструкций с предварительным напряжением арматуры комбинированным способом.

Первый этап. Производят натяжение продольной рабочей арматуры механическим способом с последующей фиксацией созданного в арматуре усилия при закреплении ее на упорах. На данном этапе напряжения в арматуре будут снижаться вследствие проявления потерь предварительного напряжения:

$$S_{mt.1} = S_{0,max} - \sum_1^n \Delta S_{spi}, \quad (1)$$

где $S_{0,max}$, $S_{mt.1}$ – величина предварительного напряжения в арматуре при растяжении и после проявления потерь соответственно; $\sum_1^n \Delta S_{spi}$ – потери предварительного напряжения согласно [9].

Второй этап. Производится бетонирование элемента из напрягающего бетона и его выдержка в воздушно-сухих условиях до достижения бетоном прочности в интервале 7,5...10 МПа. На данном этапе формируется структура бетона, создавая сцепление с арматурой, вода затвердения бетонной смеси расходуется на химические реакции, развиваются деформации расширения, основная доля которых приводит к заполнению пустот и деформированию структурных связей бетона.

Третий этап. Производят увлажнение элемента, стимулирующее процесс расширения напрягающего бетона. Арматура внутри элемента, уже имеющая напряжения растяжения, дополнительно растягивается при совместном деформировании с бетоном, увеличивающим свой объем. Увеличение длины арматуры вместе с габаритами элемента приведет к снижению напряжений в арматуре на свободных участках между торцами элемента и упорами, что эквивалентно появлению дополнительного усилия (ΔP), приложенного к торцам элемента со стороны арматуры, уже имеющей предварительное напряжение (рис. 2):

$$\Delta P_{p.CE} = \Delta S_{s.CE}^{ce} \cdot A_{sp}, \quad (2)$$

где $\Delta S_{s.CE}^{ce}$ – снижение растягивающих напряжений на свободных участках арматуры:

$$\Delta S_{s.CE}^{ce} = e_{s.CE}^{ce} \cdot E_s = \Delta \cdot E_s / L_{ce} = \frac{e_{s.CE} \cdot l_3 \cdot E_s}{L_{ce}} = S_{s.CE} \cdot k_n, \quad (3)$$

$e_{s.CE}^{ce}$ – деформации арматуры на свободных участках; $e_{s.CE}$ – деформации арматуры физико-химическим способом внутри элемента:

$$e_{s.CE} = \frac{f_{CE.d} \cdot k_r \cdot k_s \cdot k_e}{r_l \cdot E_s}, \quad (4)$$

$f_{CE.d}$ – расчетное значение самонапряжения согласно марки бетона по самонапряжению [10]; k_r , k_e , k_s – коэффициенты, учитывающие влияние армирования (k_r), его положение в сечении (k_e) и наличие по направлению одной, двух или трех осей (k_s) соответственно [10]; r_l – процент армирования сечения; $k_n = l_3 / l_{cв}$ – коэффициент, учитывающий соотношение длины арматуры, деформируемой физико-химическим способом внутри элемента (l_3) к общей длине свободных участков арматуры ($l_{cв}$) между упорами и торцами элемента (рис. 2).

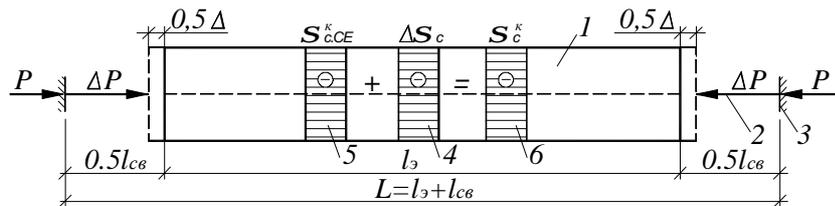


Рис. 2. Схема действующих усилий при предварительном напряжении арматуры комбинированным способом: 1 – элемент из бетона на НЦ;

2 – арматура, предварительно напряженная комбинированным способом;

3 – упоры– торцы силовой рамы; 4 – эпюра напряжений при действии ΔP ; 5 – эпюра напряжений при развитии самонапряжения; 6 – общая эпюра напряжений в элементе

Отметим ряд особенностей, присущих только конструкциям с предварительным напряжением арматуры комбинированным способом:

1. Расширение бетона при определенном значении коэффициента k_n может привести к плавной передаче усилия натяжения арматуры с упоров на бетон, в силу чего твердение бетона элемента будет происходить при действии непрерывно возрастающего усилия обжатия, играющего роль “прессующего” давления, что положительно скажется на формировании структуры бетона.

2. Передача усилия натяжения арматуры с упоров на бетон будет осуществляться уже при прочности бетона 7,5...10,0 Мпа.

3. Расширение бетона будет развиваться в условиях напряженного состояния (при действии сжимающих и растягивающих напряжений), формируемого действием усилия обжатия со стороны арматуры, предварительно напряженной механическим способом.

4.

Развитие процесса расширения при действии растягивающих и сжимающих напряжений. В реальных конструкциях развитие процесса самонапряжения будет происходить в условиях напряженного состояния, сформированного под влиянием эффектов от внешних воздействий (например, напряженное состояние нормального сечения предварительно напряженной конструкции при внецентренном приложении усилия обжатия; напряженное состояние стыков из напрягающего бетона между сборными стеновыми панелями круглых емкостных сооружений, когда увлажнение бетона совмещается по времени с их гидростатическими испытаниями, что приводит к появлению растягивающих напряжений в стыковых соединениях).

В лаборатории самонапряженных конструкций БрГТУ под руководством В.Д. Будюка [11] были проведены исследования влияния напряженного состояния на развитие процесса самонапряжения. Было установлено, что на величину самонапряжения оказывают влияние не только величина напряжений растяжения, но и момент их приложения во времени по отношению к началу и окончанию процесса расширения: однократное приложение растягивающих напряжений до начала процесса расширения не оказывает влияния на процесс развития расширения; снятие

растягивающих напряжений после завершения процесса самоупрочнения приводит к росту общего усилия обжатия бетона арматурой, предварительно напряженной механическим и физико-химическим способом. Приложение растягивающего усилия, компенсирующего даже частично растущие напряжения сжатия (напряжения самоупрочнения) привело к возрастанию достигаемой величины самоупрочнения практически по линейному закону (рис. 3).

Исследования [12] показали, что приложение сжимающих усилий снижает величину самоупрочнения независимо от момента приложения (до начала процесса расширения или в процессе его развития). Между величиной сжимающих напряжений и размером снижения достигаемого самоупрочнения также существует практически линейная зависимость (рис. 3).

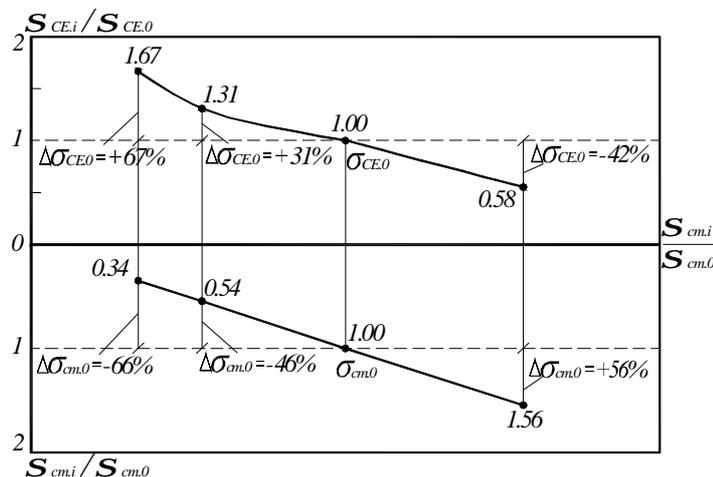


Рис. 3. Влияние сжимающих и растягивающих напряжений на величину самоупрочнения

$S_{CE,i}$, $S_{cm,i}$ – самоупрочнение и напряжение сжатия в элементе;

$S_{CE,0}$, $S_{cm,0}$ – самоупрочнение и напряжение сжатия $S_{cm,0} = 0,5S_{CE,0}$ в контрольном элементе

Принимая во внимание результаты проведенных исследований, влияние напряженного состояния на величину самоупрочнения следует учитывать коэффициентом k_H :

$$k_H = 2 + \left[2 \frac{S_c}{S_{CE}} - 1 \right], \quad (5)$$

где S_{CE} – величина самоупрочнения в элементе без учета дополнительных напряжений, определяемая по [10]; S_c – среднее значение дополнительного напряжения со своим знаком от внешнего воздействия, Н/мм², и принимается не более $0,5S_{CE}$.

При оценке влияния внешнего воздействия на развитие процесса самоупрочнения важно не потерять физический смысл явления. В конкретном элементе конечная величина самоупрочнения зависит от величины работы, производимой материалом при расширении и затрачиваемой на деформирование структурных связей, элементов упругого ограничения деформациям расширения и преодоление напряжений сжатия (самоупрочнения). Приложение дополнительных напряжений сжатия или растяжения оказывает непосредственное влияние на использование энергетических возможностей материала; на дополнительное расширение при приложении растягивающих напряжений; на преодоление дополнительного препятствия при приложении сжимающих напряжений.

Влияние напряженного состояния на работу приопорных сечений. Для оценки влияния напряженного состояния, создаваемого в результате предварительного напряжения арматуры физико-химическим и комбинированным способом, на работу изгибаемых элементов по восприятию поперечной силы были выполнены исследования [2§ 4], где при прочих равных условиях (размер элементов $b \times h \times L = 190 \times 290 \times 1800$ мм, армирование $r_{Lx} = 2,584\%$) моделировалось

различное напряженное состояние в элементах. Опытные образцы изготавливали из бетона на портландцементе (марка Н и М) и бетона на НЦ (марка С и К) с арматурой без предварительного напряжения (марка Н), с арматурой, предварительно напряженной механическим способом (марка М), комбинированным способом (марка К) и физико-химическим способом (марка С). В табл. 2 приведены использованные в исследовании способы создания внутреннего напряженного состояния.

Армирование балок (рис. 4) выполнялось из арматуры класса Ат-VI ($f_{yk} = 975 \text{ МПа}$, $E_s = 1,94 \cdot 10^5 \text{ МПа}$) и класса А-III ($f_{yk} = 410 \text{ МПа}$, $E_s = 2,00 \cdot 10^5 \text{ МПа}$). Здесь обозначения даны согласно СНиП 2.03.01-84.

Таблица 2

Способы предварительного напряжения арматуры в опытных образцах

Партия	Серия	Способ предварительного напряжения арматуры по направлению оси			Содержание арматуры по направлению оси, r_{li} %		
		x	y	z	x	y	z
Н	II	-	-	-	2,584	0,53	0,3 ⁴
		-	-	-	2,584	0,83	0,3
М	I	м ²	-	-	2,584	0,3	-
		м	-	-	2,584	0,3 ¹	-
	II	м	-	-	2,584	0,3	0,2
		м	-	-	2,584	0,3 ¹	0,2
С	I	ф-х	ф-х	ф-х	2,584	0,3	-
		ф-х	ф-х	ф-х	2,584	0,3 ¹	-
	II	ф-х	ф-х	ф-х	2,584	0,3	0,2
		ф-х	ф-х	ф-х	2,584	0,3 ¹	0,2
		ф-х	ф-х	ф-х	2,584	0,53	0,35
		ф-х	ф-х	ф-х	2,584	0,83	0,54
К	I	к	ф-х	ф-х	2,584	0,3	-
		к	ф-х	ф-х	2,584	0,3 ¹	-
	II	к	ф-х	ф-х	2,584	0,3	0,2
		к	ф-х	ф-х	2,584	0,3 ¹	0,2
		к	ф-х	ф-х	2,584	0,53	0,35
		к	ф-х	ф-х	2,584	0,83	0,54

1 – хомуты установлены под углом $\alpha = 45^\circ$; 2 – м, к, ф-х – соответственно механический, комбинированный и физико-химический способ преднапряжения арматуры; 3 – направление осей: ось X – вдоль, ось Y – по высоте, ось Z – по ширине элемента; 4 – армирование выполнено пространственными каркасами.

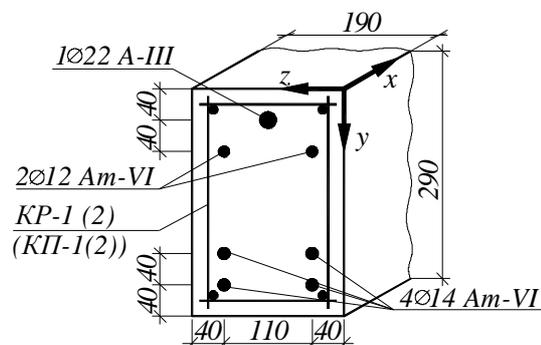


Рис. 4. Армирование опытных образцов по принятому направлению осей

Состав бетона на 1 м³ бетонной смеси был принят следующим: тяжелый бетон (образцы партий Н и М): портландцемент – 395 кг, песок – 615 кг, щебень – 1200 кг, вода – 190 л.; напрягающий бетон: напрягающий цемент – 600 кг, песок – 560 кг, щебень – 1000 кг, вода – 240 л. В табл. 3 приведены характеристики бетона опытных образцов.

Таблица 3

Прочностные характеристики опытных образцов (средние значения)

Образцы марки	При обжати (начало водного хранения)			В 28 суток			Перед испытанием			
	f_c , МПа	f_{ck} , МПа	$E_c \cdot 10^4$, МПа	f_c , МПа	f_{ck} , МПа	$E_c \cdot 10^4$, МПа	f_c , МПа	f_{ck} , МПа	f_{ctk} , МПа	$E_c \cdot 10^4$, МПа
Н	30,2	-	-	40,0	28,0	4,40	40,0	28,0	2,56	4,40
М	20,7	13,2	2,25	26,4	19,3	2,95	38,0	27,2	2,64	3,29
С	$\frac{24,9}{27,1^*}$	$\frac{15,8}{-}$	$\frac{2,47}{-}$	$\frac{33,1}{25,3}$	$\frac{22,7}{16,0}$	$\frac{2,53}{1,05}$	$\frac{51,0}{25,3}$	$\frac{33,1}{16,0}$	$\frac{2,14}{1,00}$	$\frac{2,93}{1,05}$
К	$\frac{26,2}{33,6}$	$\frac{23,8}{35,1}$	$\frac{2,66}{2,96}$	$\frac{39,1}{37,2}$	$\frac{25,8}{35,1}$	$\frac{2,45}{3,37}$	$\frac{48,7}{37,2}$	$\frac{34,3}{35,1}$	$\frac{2,56}{1,28}$	$\frac{3,05}{3,37}$

* В знаменателе приведены характеристики дополнительно заформованных балок марок СП1-3(4) и КП1-3(4).

В табл. 4 дано изменение величины самоупрессия в МПа, определенное по контрольным образцам.

Таблица 4

Изменение величины самоупрессия бетона контрольных образцов

Образцы партии	Воздушно-сухая среда		Хранение образцов в воде		Воздушно-сухая среда
	в возрасте				
	3 сут.	7 сут.	14 сут.	окончание	испытание
С (среднее)	0,72	0,58	2,08	2,11 (23 сут)	0,93 (321 сут)
С П 1-3(4)	0,05	0,46	-	1,81 (28 сут)	1,81 (28 сут)
К (среднее)	0,62	0,46	1,99	1,82 (18 сут)	0,63 (296 сут)
К П 1-3(4)	-	0,63	-	1,28 (28 сут)	1,28 (28 сут)

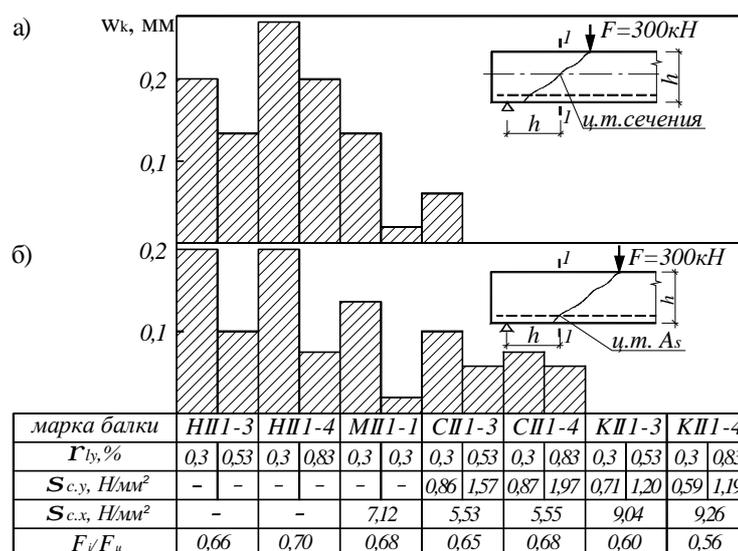


Рис. 5. Ширина раскрытия трещин (w_k) в зоне среза в сечении на расстоянии h от опоры при нагрузке 300 кН: а – на уровне центра тяжести сечения; б – на уровне центра тяжести арматуры; $S_{c,y}$, $S_{c,x}$ – напряжения сжатия бетона по направлению оси Y и оси X (на уровне центра тяжести продольной арматуры) соответственно, Н/мм²; F_i , F_u – нагрузка, при которой измерялась ширина раскрытия трещин, и разрушился элемент соответственно

Последовательность условий при наблюдении за опытными образцами была следующей. После изготовления образцы хранились 6...7 суток в воздушно-сухих условиях, 7...10 суток – в воде, 19...320 суток – в воздушно-сухих условиях; испытывались в возрасте 28...342 суток. До изготовления балок партий с индексом М и К продольная арматура предварительно растягивалась и закреплялась на упорах. Таким образом после укладки напрягающего бетона в опалубку в балках партии с индексом К арматура, предварительно напряженная механическим способом, дополнительно деформировалась физико-химическим способом. На рис. 4 дана ориентация принятых для арматуры направлений по осям.

Опытные элементы были испытаны статической сосредоточенной нагрузкой с пролетом среза $a/d=2,0$. В момент испытания обжатие бетона в опытных балках позволило существенно изменить не только характер развития трещин в приопорной зоне, но и повысило прочность наклонного сечения (рис. 5).

Закключение. Использование напрягающего бетона при изготовлении железобетонных конструкций оправдано не только благодаря физико-механическим характеристикам (плотность, водонепроницаемость, морозостойкость, повышенная коррозионная стойкость), но и способности создавать собственное внутреннее напряженное состояние при деформировании (предварительном напряжении) всей арматуры в элементе физико-химическим способом при расширении бетона.

Формируемое на этапе изготовления конструкции напряженное состояние может быть использовано для компенсации деформаций усадки (бетона с компенсированной усадкой) или для непосредственного участия в восприятии внешних воздействий (самонапряженные конструкции).

Использование напрягающего бетона в конструкциях, где имеется арматура, уже предварительно напряженная любым известным способом, позволяет дополнительно изменять величину имеющихся в ней напряжений при расширении бетона, т. е. окончательная величина предварительного напряжения в арматуре будет создаваться комбинированным способом.

На развитие процесса самонапряжения оказывает влияние вид (сжатие, растяжение) и время создания внутреннего напряженного состояния внешним воздействием (усилие обжатия, нагрузка и т. д.), что предлагается учитывать по зависимости (5).

Созданное в балочных элементах в приопорной зоне напряженное состояние в результате предварительного напряжения поперечной арматуры физико-химическим способом, а продольной арматуры комбинированным способом не только изменило характер появления и развития трещин, но и позволило увеличить несущую способность балок по наклонному сечению в среднем на 14,7 %.

Выполненные исследования свидетельствуют об экономической эффективности изготовления железобетонных конструкций из напрягающего бетона с предварительным напряжением рабочей арматуры комбинированным способом с целью получения изделий с более высокими эксплуатационными показателями.

1. Михайлов В.В. *Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные конструкции* / В.В. Михайлов, С.Л. Литвер. – М.: Стройиздат, 1974. – 312 с. 2. Тур В.В. *Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжений конструкций при применении напрягающего бетона* / В.В. Тур. – Брест: Изд-во БПИ, 1998. – 246 с. 3. Тур В.В. *Самонапряженный железобетон: исследования, опыт и перспективы применения* / В.В. Тур // *Строительная наука и техника*. – 2005. – №1. – С. 62–69. 4. Бердичевский Г.И. *Трещиностойкость и прочность самонапряженных железобетонных элементов прямоугольного сечения при действии изгибающего момента и поперечной силы* / Г.И. Бердичевский, В.Д. Будюк, А.А. Кондратчик // *Бетон и железобетон*. – 1982. – №5. – С. 22–24. 5. Кондратчик А.А. *Трещиностойкость и прочность самонапряженных железобетонных элементов прямоугольного сечения при воздействии поперечных сил: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01* / А.А. Кондратчик. – М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1980. – 170 с. 6. Тур В.В. *Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил* / В.В. Тур, А. А. Кондратчик. – Брест: Изд-во БГТУ, 2000. – 400 с. 7. Залесов А.С. *Прочность элементов при поперечном изгибе с продольными сжимающими силами высокого уровня* / А.С. Залесов, Р.Л. Маилян, С.Г. Шейна // *Бетон и*

железобетон. – 1984. – №3. – С. 34–35. 8. Кондратчик А.А. Экспериментально-теоретические основы расчета конструкций из напрягающего бетона при совместном действии изгибающих моментов, продольных и поперечных сил / А.А. Кондратчик – Брест: Изд-во БрГТУ, 2007. – 172 с. 9. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2003. – 139 с. 10. Пособие по проектированию самонапряженных железобетонных конструкций / НИИЖБ Госстроя СССР и ЦНИИПромзданий Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 64 с. 11. Исследовать действительную работу экспериментальных емкостных сооружений для сельского строительства с применением бетона на НЦ с учетом их конструкции и технологии возведения и выдать исходные данные для их проектирования: Отчет по НИР (заключ.) / Брестский инж.-строй. ин-т, НИИЖБ Госстроя СССР; Рук. темы В.Д. Будюк. – М., 1987. – 81 с. – №ГР 0186.00445244 (инв. №0287.0067758). 12. Исследование предварительно напряженных конструкций с комбинированным преднапряжением арматуры: Отчет по НИР (заключ.) / Брестский политехн. ин-т; Рук. А.А. Кондратчик. – М., 1997. – 52 с. – №ГР 19961008.

УДК 624.072.222

О.В. Семко, С.А. Гудзь, В.В. Дарієнко*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,

*Кіровоградський національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НЕРОЗРІЗНИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ІЗ БОЛТОВИМИ АНКЕРАМИ

© Семко О.В., Гудзь С.А., Дарієнко В.В., 2010

Розглянуто особливості розрахунку нерозрізних сталезалізобетонних балок, на які потрібно звертати увагу під час визначення: робочої ширини плити, несучої здатності за методом граничної рівноваги, внутрішніх зусиль із урахуванням їх перерозподілу, потрібної кількості анкерів для забезпечення сумісної роботи елементів конструкції. Наведено приклад практичного розрахунку нерозрізної сталезалізобетонної балки.

Ключові слова: нерозрізні сталезалізобетонні балки, болтові анкери, робоча ширина плити, перерозподіл внутрішніх зусиль, метод граничної рівноваги, часткове анкерування.

The features of calculation of steel-concrete beams of uncuts, on which it is needed to pay attention at determination, are considered in the article: working width of flag, bearing capabilities after the method of maximum equilibrium, internal efforts with the account of their redistribution, necessary amount of anchors for providing of compatible work of elements of construction. The example of practical calculation steel-concrete beam of uncut is resulted.

Keywords: steel-concrete beams of uncuts, anchors of screw-bolts, working width of flag, redistribution of internal efforts, method of maximum equilibrium, partial anchoring.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Нерозрізні сталезалізобетонні балки, в яких сталеві балки об'єднано за допомогою болтових анкерів із залізобетонною плитою, завдяки своїм перевагам набувають дедалі більшого розповсюдження в практиці будівництва каркасних будівель виробничого і цивільного призначення як конструкції перекриття і ригелів поперечної рами, а також під час будівництва мостів як прогонові будови. Робота таких конструкцій під навантаженням має багато особливостей, які потрібно враховувати під час проектування, але способи їх урахування відсутні у вітчизняних будівельних нормах. Важливою особливістю дійсної роботи нерозрізних балок є те, що внаслідок зменшення жорсткості конструкції в зоні дії від'ємного