

Кондратчик А.А., канд. техн. наук, доц.;
Марчук В.А., канд. техн. наук; Санникова О. Г.
(БрГУУ, г. Брест)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ АРМАТУРЫ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

Использование напрягающего бетона при изготовлении железобетонных конструкций позволяет получить внутренние напряжения (самонапряжение) в материале, благодаря растяжению арматуры, независимо от ее расположения в сечении, деформируемой (преднапрягаемой) при расширении бетона [1]. Такой способ предварительного напряжения арматуры получил название – физико-химический способ [2]. Получаемые напряжения самонапряжения улучшают работу железобетонных конструкций, снижая или компенсируя усадку бетона, создавая выгодное внутреннее напряженное состояние, учитываемое при расчете трещиностойкости, жесткости и прочности конструкций [3]. Очевидно, что такое напряженное состояние окажет влияние и на работу приопорной зоны изгибаемых элементов, повысив ее трещиностойкость и изменяя характер разрушения [5, 6]. На практике хорошо освоено предварительное напряжение продольной арматуры, что дает возможность получить значительное по величине усилие обжатия бетона в направлении одной (продольной) оси элемента. Использование при изготовлении таких элементов напрягающего бетона позволит создать предварительное напряжение в поперечной арматуре и дополнительно продеформировать арматуру, уже имеющую предварительное напряжение, созданное иным способом (назовем его условно механическим способом). Создание такими способами (механическим и физико-химическим) предварительного напряжения в арматуре получило название комбинированного способа [4].

Для уверенного проектирования железобетонных конструкций из напрягающего бетона с арматурой, предварительно напряженной комбинированным способом, необходимо знать характер формирования и изменения напряжений в арматуре. В настоящей статье приводятся данные исследований изменения предварительного напряжения в арматуре, создаваемого комбинированным способом, выполненные в Брестском государственном техническом университете в 2008 году.

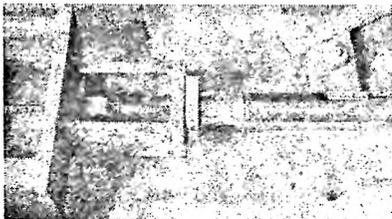
Исходные материалы. Напрягающий цемент изготавливался в лабораторных условиях в шаровой мельнице при совместном помоле следующих

компонентов (дано процентное соотношение): 74:14:12 – ПЦ М500-Д0 Волковисского цементного завода : глиноземистый цемент М400 Пашийского завода : гипс природный Новомосковского месторождения.

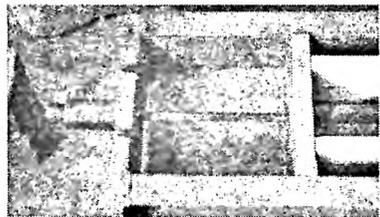
Бетонная смесь при изготовлении напрягающего бетона (из расчета на 1 м^3) имела следующий состав: 500 кг: 750 кг: 1150 кг: 215 л – напрягающий цемент: песок: щебень: вода.

Арматура, напрягаемая комбинированным способом, – $\text{Ø}14 \text{ S800}$ по ГОСТ 5781 (относительное удлинение – 6 %; временное сопротивление – 1124,2 МПа; условный предел упругости – 835,8 МПа; условный предел текучести – 982,1 МПа; начальный модуль упругости – 209876,5 МПа); сетки косвенного армирования из арматуры $\text{Ø}5 \text{ S500}$ по СТБ 1704. Характеристики материалов контролировались по контрольным образцам и методикам следующих нормативно-технических документов: СТБ 1335-2002 (напрягающий цемент), ТУ 67-938-87 (напрягающий бетон), ГОСТ 12004-81 (испытание арматуры).

Опытные образцы размером $120 \times 120 \times 1500 \text{ мм}$ армировались одним стержнем ($\text{Ø}14 \text{ S800}$), расположенным в центре сечения, и отличались шагом (S , мм) сеток косвенного армирования и способом предварительного напряжения арматуры: предварительное напряжение арматуры физико-химическим способом – марка СН, сетки отсутствуют, $S = 0$; предварительное напряжение арматуры комбинированным способом – КНК0 ($S = 0$), КНК40 ($S = 40 \text{ мм}$), КНК80 ($S = 80 \text{ мм}$). Предварительное напряжение арматуры осуществляли механическим способом на упоры силовой рамы гидравлическим домкратом фирмы Dycckerhoff & Widmann, модель 74-113.00 (рис. 1, 2).



а)



б)

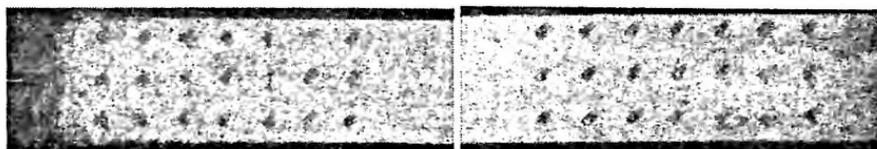
Рис. 1. Натяжение арматуры гидродомкратом (а) и способ закрепления на торцах силовой рамы (б)

После бетонирования образцы выдерживались в воздушно-сухих (1 сут.), во влажных (27 сут.) и воздушно-сухих (85 сут.) условиях. В течение этого времени производили контроль деформаций арматуры и бетона

переносными миссурами по реперам (во влажных условиях – рисунок 3 а, б) и тензодатчиками (при передаче усилия натяжения арматуры с упоров на бетон – рисунок 3, в).



Рис 2 Общий вид опытного образца марки КНК40 перед укладкой напрягающего бетона



а)

б)



в)

Рис. 3. Схемы расположения точек контроля деформаций бетона и арматуры:

а – по реперам на торцевых участках образцов;

б – по реперам в средней части образцов;

в) – по тензодатчикам, наклеенным на арматуру и бетон на торцевых участках

Перед испытанием производили передачу усилия натяжения с упоров силовой рамы на бетон. Испытание опытных балок было выполнено статической нагрузкой сосредоточенной силой, приложенной в середине пролета ($l_{eff} = 1020$ мм).

В таблице 1 приведены данные о физико-механических характеристиках напрягающего бетона. Результаты исследований приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 1

Характеристики напрягающего бетона, определенные по контрольным образцам

Самонапряжение, МПа				Кубиковая прочность бетона, МПа			
в возрасте, сут.							
10	17	28	113	9	21	52	113
1,75	1,80	1,85	1,45	24,2	40,7	44,0	59,5

Таблица 2

Определение напряжений обжатия бетона арматурой,
преднапряженной комбинированным способом

Марка образца	Нагрузка трещинообразования, кН	Прочность бетона, МПа				Напряжение обжатия, $\sigma_{CE,k}$, МПа
		$f_{CE,m}$	f_{ck}	f_{ctk}	$f_{ctk}^{0,95}$	
КНК0	11,77	56,5	48,5	2,79	6,07	3,28
КНК40	12,38	41,8	33,8	2,19	6,39	4,20
КНК80	13,06	56,5	48,5	2,79	6,74	3,95
СН	8,24	41,8	33,8	2,19	4,25	2,06

1. Значение $f_{CE,m}$ приведено с учетом масштабного коэффициента $\alpha = 0,95$.
2. Напряжение обжатия определено $\sigma_{CE,k} = f_{ctk}^{0,95} - f_{ctk}$, МПа.

Величина предварительного напряжения в арматуре, созданная механическим способом и зафиксированная после закрепления на торцах силовой рамы, принята 100 %. На стадии расширения напрягающего бетона величина усилия натяжения арматуры на свободных участках между балкой и упорами снизилась в среднем на 74,5 %, что позволило получить более мягкий режим обжатия бетона при передаче усилия натяжения арматуры с упоров на бетон. Это свидетельствует о развитии деформаций расширения напрягающего бетона опытных образцов (табл. 3).

При испытании образцов на изгиб фиксировали усилие, при котором появлялась трещина, а по нему определяли величину общего сопротивления напрягающего бетона разрыву ($f_{ctk}^{0,95}$), которое включает прочность бетона на растяжение (f_{ck}) и напряжение обжатия сечения ($\sigma_{CE,k}$) арматурой, предварительно напряженной комбинированным способом (см. табл. 2). По величине напряжения обжатия бетона $\sigma_{CE,k}$ определяли значение преднатяжения в арматуре на момент испытания.

Обращает на себя внимание тот факт, что наличие сеток косвенного армирования (особенно с шагом 2,85Ø – 40 мм) позволило получить большую величину напряжения в арматуре (+18,8 %) по сравнению с образцом без сеток косвенного армирования. Увеличение шага сеток косвенного армирования в два раза привело к снижению величины напряжения в арматуре на 7,3 %.

Таблица 3

Изменение величины напряжения в арматуре,
преднапрягаемой комбинированным способом

№ п/п	Величина предварительного напряжения арматуры, МПа	Марка образца			
		СН'	КНК0	КНК40	КНК80
1	На стадии изготовления:				
1.1	- созданное механическим способом, $\sigma_{0,max}$	–	508.25 (100%)	496.43 (100%)	514.15 (100%)
1.2	- оставшееся на свободных участках, $\sigma_{0,1}$	–	100.29 (19,7%)	156.7 (31,5%)	129.05 (25,1%)
1.3	- $\Delta \sigma_{01} = \sigma_{0,max} - \sigma_{0,1}$	–	407.96 (–80,3%)	339.86 (–68,5%)	129.05 (–74,9%)
2.	На стадии испытания ² :				
2.1	- на момент испытания, $\sigma_{0,2}$	192.75 (100%)	306.90 (60,4%)	392.98 (79,2%)	369.59 (71,9%)
2.2	- $\Delta \sigma_{02} = \sigma_{0,max} - \sigma_{0,2}$	192.75 (0%)	201.35 (–39,6%)	103.45 (–20,8%)	144.56 (–28,1%)
1 Арматура предварительно напряжена физико-химическим способом, а образец испытан в возрасте 30 сут.					
2 Образцы испытаны в возрасте: 30 сут. – марки СН; 32 сут. – марки КНК40; 110 сут – марки КНК80; 113 сут – марки КНК0.					

Выводы:

1. Применение комбинированного способа для предварительного напряжения арматуры позволяет получить более мягкий режим передачи усилия натяжения арматуры с упоров на бетон.
2. Сетки косвенного армирования, установленные на торцевых участках, способствуют увеличению значения предварительно напряжения.

Литература

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. Кондратчик А.А. Экспериментально-теоретические основы расчета конструкций из напрягающего бетона при совместном действии изгибающего момента, продольных и поперечных сил / А.А. Кондратчик. – Брест: Изд-во БрГТУ. – 172 с.

4. Кондратчик А.А. Железобетонные конструкции с арматурой, предварительно напряженной комбинированным способом // Строительная наука и техника. – 2008. – № 5. – С. 44 – 53.
5. Тур, В.В. Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил / В.В. Тур, А.А. Кондратчик. – Брест: Изд-во БГТУ, 2000. – 400 с.
6. Кондратчик А.А. Повышение эффективности использования арматуры приопорной зоны железобетонных балочных элементов / А.А. Кондратчик, О.Г. Гарах // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2007. – № 6. – С. 60 – 64.

УДК 624.21:69.059.14

**Пастушков Г.П., д-р техн. наук, проф.; Гусев Д.Е., канд. техн. наук;
Пастушков В.Г., канд. техн. наук
(БНТУ, г. Минск)**

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

На автомобильных дорогах Республики Беларусь эксплуатируются балочные мосты различных лет постройки. Они проектировались по действующим в те годы нормативам и обладают различной грузоподъемностью и пропускной способностью. Главная проблема обеспечения современным требованиям старых эксплуатируемых мостов заключается в изменении двух главных параметров мостов – габарита проезда по мосту и его грузоподъемности.

При оценке технического состояния мостовых сооружений определяют их грузоподъемность по параметрам прочности и трещиностойкости с учетом влияния существующих дефектов. Результатом такой оценки является показатель, называемый классом грузоподъемности, отражающий состояние сооружения на момент обследования [1]. Действие этого показателя распространяют на некоторый период времени, после которого он должен быть уточнен.

Под воздействием транспортного потока и природно-климатических факторов происходит постепенное ухудшение качества эксплуатируемых железобетонных мостовых конструкций. В процессе строительства и эксплуата-