

4. Малиновский, В.Н. Напряженно-деформированное состояние железобетонных балок с пологим отгибом части продольной предварительно напряженной арматуры / В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобыта, Б.Г. Холодарь // Сб. науч. трудов XVI международного научно-методич. семинара «Перспективы развития новых технологий в строит-ве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Брест, 28–30 мая 2009 г. – В 2 т. – 2009. – Т. 1. – С. 58–65.
5. Кривицкий, П.В. Влияние обжатия бетона предварительно напряженной полого отогнутой арматурой на напряженно-деформированное состояние железобетонных балок / П.В. Кривицкий, В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобыта // Сборник конкурсных работ студентов и магистров. БрГТУ, Брест. – 2009 г. – Ч. 1. – С. 36–39.
6. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение: ГОСТ 120 04-81. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 12 с.
7. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение: ГОСТ 10180-90-90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 45 с.

27.01.10

SHALOBYTA N.N., MALINOVSKY V.N., KRIVITSKIJ P.V. Technique of experimental researches of the is intense-deformed condition of ferro-concrete beams with flat отгибом parts of the longitudinal preliminary-strained armature

In clause the design of pre-production models and a technique of experimental researches by definition of the is intense-deformed condition in concrete preliminary strained ferro-concrete with preliminary strained hollow the unbent armature are resulted.

624.012.36

.

-

Введение. Экспериментально-теоретические исследования, представленные в данной статье, выполнены с целью изучения напряженного состояния, возникающего при предварительном напряжении арматуры физико-химическим и комбинированным способом, и его влияния при действии нагрузок на работу наклонных сечений железобетонных изгибаемых элементов.

Ранее выполненные исследования [1] показывают, что при предварительном напряжении продольной арматуры наклонные трещины появляются на большем расстоянии от опоры с меньшим углом наклона или на уровне центра тяжести сечения, причем нагрузка трещинообразования увеличивается. В исследованиях Р.П. Чехавичуса [2] отмечается, что при предварительном напряжении продольной арматуры прочность наклонного сечения увеличилась в 1,5 раза; величина сжатой зоны сечения в зависимости от величины предварительного напряжения арматуры изменялась от 3,4 до 12,1 см. Причем с увеличением предварительного напряжения арматуры как прочность, так и выносливость повышаются в большей степени для наклонных, чем для нормальных сечений.

Повышение прочности наклонных сечений в большей степени, чем нормальных, отмечено и в работе Г.М. Мамедова и Р.Д. Алиева [3]. При увеличении предварительного напряжения арматуры нижней зоны (растянутой при нагружении) от 0 до 380 МПа в элементах без поперечной арматуры прочность наклонного сечения возросла в 2–3 раза, а увеличение предварительного напряжения верхней продольной арматуры от 0 до 365 МПа способствовало росту прочности наклонного сечения на 15%.

Комплексные исследования изгибаемых элементов с обжатием бетона при опорной зоне в двух направлениях, выполненные Ю.В. Дмитриевым, Н.Н. Коробейниковым под руководством Г.И. Бердичевского и В.В. Михайлова [1], позволили получить следующие результаты:

- обжатие бетона в поперечном направлении до 0,4 МПа отдалило появление наклонных трещин на 15..35%, а до 1,0 МПа – на 50–60%;
- деформации в предварительно напряженных хомутах зафиксированы до появления наклонных трещин, что свидетельствует об их активной работе при восприятии усилий;
- обжатие бетона влияет на характер разрушения: без предварительного напряжения арматуры – спокойный, с предварительным напряжением арматуры – хрупкий;
- предварительное напряжение хомутов и отгибов, наличие армирующих самонапряженных вкладышей способствует росту трещиностойкости и прочности наклонных сечений.

Таким образом, напряженное состояние, возникающее в опорной зоне при обжатии бетона в результате предварительного напряжения продольной арматуры, позволяет повысить прочность и трещиностойкость наклонного сечения.

Предварительное напряжение арматуры физико-химическим и комбинированным способом. На практике широко применяется механический способ предварительного напряжения арматуры, в результате которого обжатие бетона происходит по направлению одной оси. Очевидно, что предварительное напряжение арматуры по направлению двух взаимно перпендикулярных осей будет оказывать положительное влияние на прочность и трещиностойкость наклонного сечения. Однако обжатие бетона в двух направлениях на практике не нашло применения, т. к. натяжение поперечной арматуры механическим способом выполнить весьма трудоемко.

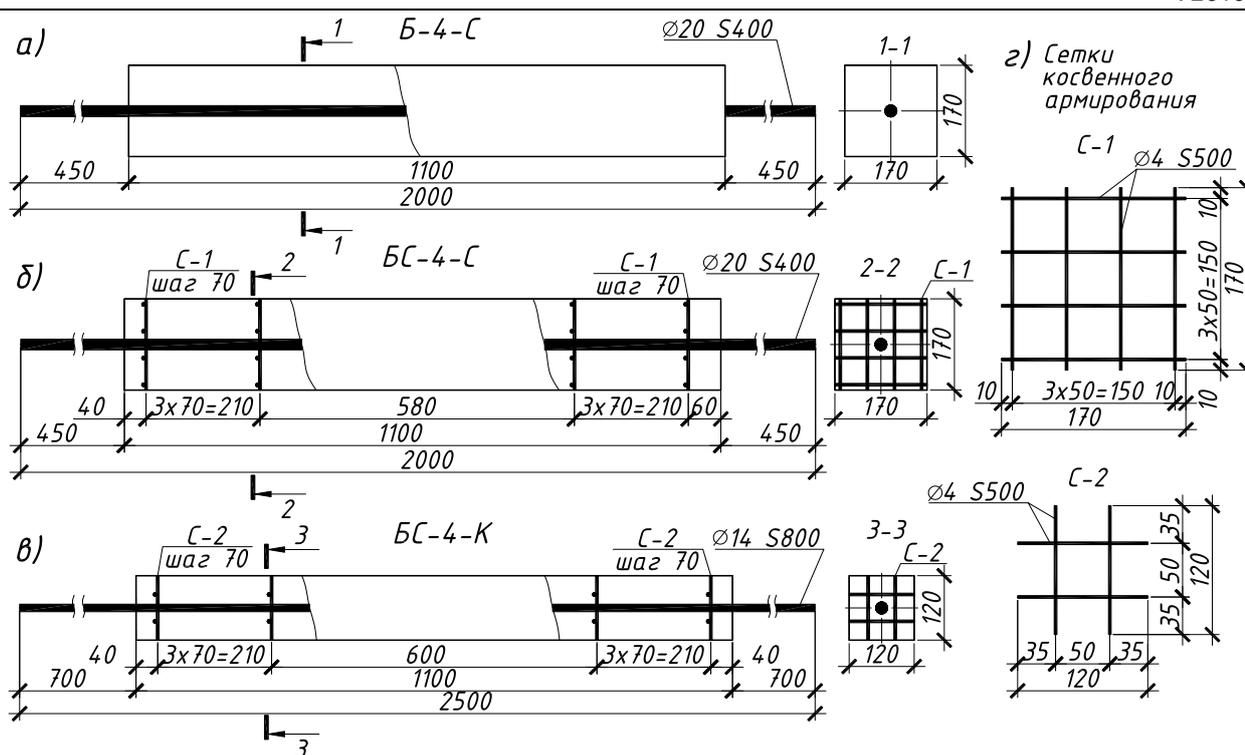
Решение данной задачи возможно без дополнительных затрат при использовании бетона на напрягающем цементе. Способ предварительного напряжения арматуры за счет энергии расширения напрягающего бетона получил название физико-химического способа. В данном случае осуществляется натяжение арматуры в конструктивном элементе, независимо от ее ориентации в пространстве. То есть возможно создание линейного, плоского и объемного напряженного состояния в элементе при замене портландцемента на напрягающий цемент. В настоящее время в наибольшей степени изучены закономерности расширения напрягающего бетона в условиях одноосного и двухосного ограничения. Следует отметить, что при одноосном и двухосном ограничении деформациям расширения существуют отличия. Согласно [4], при одноосном ограничении деформациям расширения существует предел степени ограничения, выраженный коэффициентом ограничивающей арматуры $\rho_l \leq 3\%$. При большем количестве ограничивающей арматуры преобладают поперечные деформации, и возникает опасность появления продольных трещин.

При наличии двухосного ограничения деформациям расширения минимальное количество армирования в поперечном направлении даже при коэффициенте продольного армирования $\rho_l > 3\%$ ведет к росту самонапряжения в бетоне. Согласно [4], при исследованиях плит, армированных в двух направлениях, даже минимальное количество поперечной арматуры $\rho_{l,\min} = 0,15\%$ оказывало влияние на величину самонапряжения в продольном направлении.

Санникова Ольга Геннадьевна, ассистент кафедры оснований и фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.

Кондратчик Александр Аркадьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.



а) образец Б-4-С; б) образец ВС-4-С; в) образец ВС-4-К; г) сетки косвенного армирования
Рис. 1. Конструктивное решение опытных образцов

Таблица 1. Характеристика материалов балок

Маркировка образцов	Прочность бетона в возрасте 28 сут., МПа	Самонапряжение	Процент армирования		
			в продольном направлении	в поперечном направлении	сеток косвенного армирования
Б-4-С	55,8	1,1	$s=0,96\%$	-	-
ВС-4-С			$s=0,97\%$	$s_w=0,218\%$	$x_y=0,96\%$
ВС-4-К			$s=1\%$	$s_w=0,218\%$	$x_y=1,4\%$

Учитывая положительное влияние двухосного ограничения на развитие процесса самонапряжения, можно предположить, что предварительное напряжение продольной и поперечной арматуры в припорной зоне повысит прочность наклонного сечения, поскольку элемент в зоне среза работает в условиях плоского напряженного состояния. 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 механическим способом. Данный способ предварительного напряжения, когда продольная арматура напрягается механическим и физико-химическим способами, называется комбинированным способом предварительного напряжения арматуры. Как отмечается в [5], практическая значимость использования предварительного напряжения арматуры комбинированным способом заключается в следующем:

- в железобетонном элементе вся арматура будет иметь предварительное напряжение;
- уровень обжатия бетона основной рабочей арматурой, предварительно напряженной комбинированным способом, будет в 5..10 раз выше, чем по другим осям, что обеспечит трещиностойкость сечений при действии наибольших усилий;
- потери предварительного напряжения, созданного в арматуре механическим способом, могут быть частично или полностью компенсированы предварительным напряжением арматуры физико-химическим способом.

Экспериментальные исследования. В лаборатории УО «БрГТУ» были проведены экспериментальные исследования трех

железобетонных балок из напрягающего бетона. Образцы отличались способом предварительного напряжения арматуры (комбинированный и физико-химический), размером поперечного сечения и наличием или отсутствием сеток косвенного армирования. Маркировка опытных балок принята следующая:

Б-4-С – балка сечением 170x170мм с предварительным напряжением арматуры физико-химическим способом, сетки косвенной арматуры отсутствуют;

ВС-4-С – балка сечением 170x170мм с предварительным напряжением арматуры физико-химическим способом, с сетками косвенной арматуры на торцевых участках;

ВС-4-К – балка сечением 120x120мм с предварительным напряжением арматуры комбинированным способом, с сетками косвенной арматуры на торцевых участках.

Конструктивное решение опытных образцов представлено на рис. 1.

Сетки косвенного армирования на опорных участках в образцах ВС-4-С и ВС-4-К были установлены для повышения анкеровки арматуры на данных участках. Арматура сеток косвенного армирования при расширении напрягающего бетона напрягается физико-химическим способом, создавая обжатие продольной арматуры, что в итоге увеличивает сцепление арматуры и препятствует ее проскальзыванию.

Опытные балки Б-4-С, ВС-4-С с предварительным напряжением арматуры физико-химическим способом и балку ВС-4-К с предварительным напряжением арматуры комбинированным способом изготавливали в лабораторных условиях из бетона на напрягающем цементе. Напрягающий цемент изготавливали при совместном помоле бездобавочного портландцемента, гипса и глиноземистого цемента в соотношении ПЦ:ГЦ:Г=78:12:10.

В качестве инертных заполнителей применялся песок Заславского карьера с модулем крупности $M_{кр}=2,31$ и щебень Микашевичского карьера фракции 5...20 мм. Состав бетонной смеси из расчета на 1 м^3 был принят следующим: напрягающий цемент – 475 кг, песок – 700 кг, щебень – 1080 кг, вода – 200 л. Фактическое водоцементное отношение составило $В/Ц=0,42$.

Характеристики материалов балок представлены в таблице 1.

Предварительное натяжение продольной арматуры балки БС-4-К производилось механическим способом на упоры с помощью гидравлического домкрата фирмы Dyckerhoff & Widmann AG (модель 74-113.00). Роль упоров выполняла металлическая рама. Контроль величины предварительного натяжения арматуры осуществлялся по манометру гидродомкрата и по относительному удлинению арматурного стержня. Относительное удлинение арматурного стержня измеряли при помощи индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм (рис. 2) и по показаниям тензодатчиков, наклеенных вдоль арматурного стержня в специально выполненный пропил (рис. 3). Тензодатчики были тщательно заизолированы при помощи силикона и резиновой трубки. Натяжение арматурного стержня $\varnothing 14 \text{ S800}$ производили до величины, равной $0,9f_{rk}=720 \text{ МПа}$, после чего выполняли опрессовку анкеров. Роль анкеров выполняли полуавтоматические зажимы конструкции НИИЖБ.



Рис. 2. Контроль уровня натяжения арматуры с помощью индикатора часового типа

Все опытные образцы бетонируют в деревянной опалубке (рис. 4). Приготовление бетонной смеси осуществляли в лабораторном бетономесителе объемом 110 литров. Одновременно с опытными образцами формовали контрольные образцы – кубы размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ для контроля прочности на сжатие и призмы размером $100 \times 100 \times 400 \text{ мм}$ для контроля самонапряжения напрягающего бетона. При достижении бетоном прочности, равной $10,0 \pm 1 \text{ МПа}$, что определяли испытанием образцов-кубов, образцы увлажнялись один раз в сутки, обворачивались войлоком и укрывались полиэтиленовой пленкой до окончания процесса самонапряжения. Опытные и контрольные образцы хранили в одинаковых условиях.



Рис. 4. Опытные образцы Б-4-С и БС-4-С до бетонирования (а) и после распалубки (б)

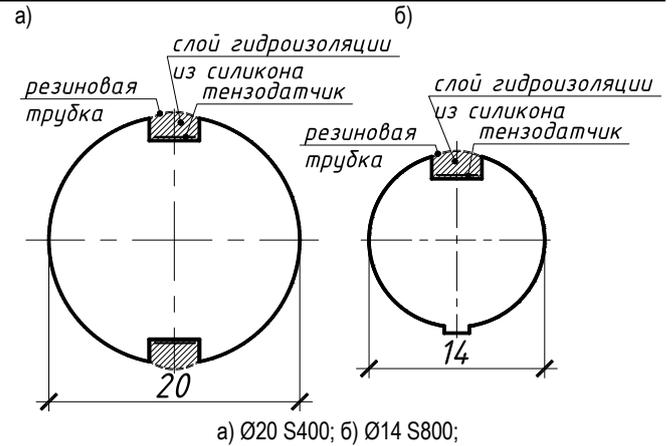


Рис. 3. Конструкция продольного арматурного стержня

В процессе расширения напрягающего бетона производилось измерение деформаций и прочности бетона образцов. Деформации бетона измеряли по латунным реперам при помощи миссур с индикатором часового типа ценой деления 0,01 мм на базе 250 мм (рис. 4б). Прочность бетона измеряли в средней части и на торцевых участках образцов неразрушающим методом прибором ИПС-МГ4.3.

Результаты измерений. Изменение деформаций опытных образцов, измеренное по реперам в процессе расширения напрягающего бетона, представлено на рис. 5.

Анализируя данные рисунка 5, можно сделать вывод, что деформации бетона в центральной части и на торцевых участках опытных образцов при расширении напрягающего бетона развивались неравномерно. При этом наибольшее различие величин деформаций расширения на торцевых участках и в средней части балки наблюдалось для образца Б-4-С, в котором арматура предварительно напрягалась физико-химическим способом, и отсутствовали сетки косвенного армирования: расширение бетона на торцевых участках происходило интенсивнее, чем в средней части; разность в возрасте 28 суток составила 38%. Для образца БС-4-С с физико-химическим предварительным напряжением арматуры и сетками косвенного армирования наблюдалось обратное явление: наиболее интенсивно деформации расширения развивались в средней части, разность в возрасте 28 суток по отношению к торцевым участкам составила 20%. Наилучший результат был получен для образца БС-4-К с предварительным напряжением арматуры комбинированным способом и с сетками косвенного армирования: развитие деформаций расширения по длине образца на всем этапе расширения напрягающего бетона происходило практически равномерно, и разность в возрасте 28 суток составила 5%.

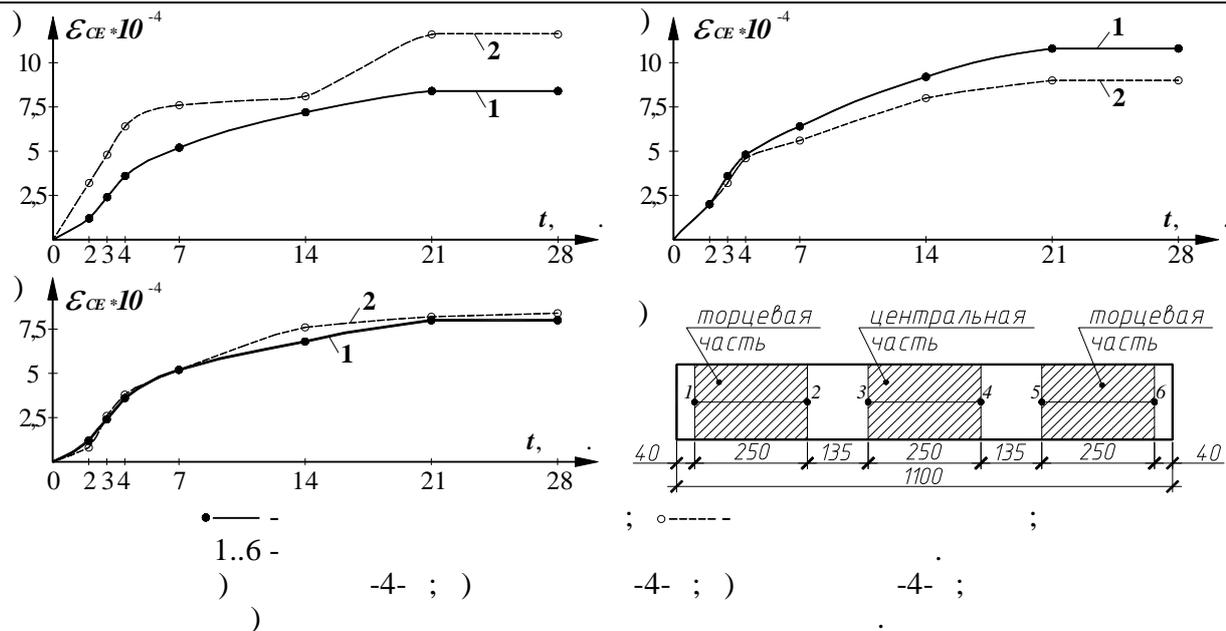


Рис. 5. Деформации опытных образцов при расширении напрягающего бетона

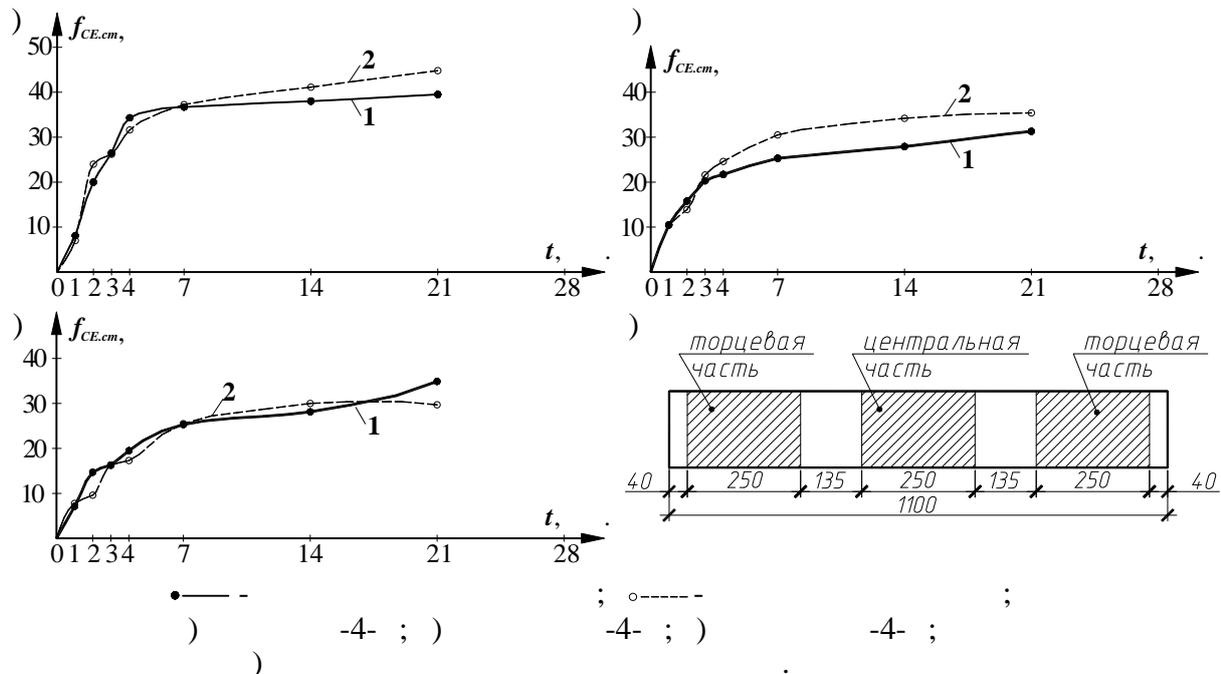


Рис. 6. Изменение прочности бетона опытных образцов при расширении напрягающего бетона, определенное неразрушающим способом

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о влиянии сеток косвенного армирования на развитие деформаций расширения опытных образцов. Арматура сеток косвенного армирования при расширении напрягающего бетона также напрягается, создавая в бетоне вокруг продольного стержня напряжения сжатия, тем самым увеличивая сцепление арматурного стержня с бетоном и препятствуя проскальзыванию арматурного стержня. Это явление также подтверждается экспериментальными исследованиями, проведенными авторами ранее [6].

При измерении прочности бетона неразрушающим методом в средней части и на торцевых участках опытных балок также наблюдалось различие в данных (рис. 6). Разность в значениях прочности по длине балок для всех образцов колебалась в пределах 5–20%.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования показали зависимость деформаций расширения от способа предва-

рительного напряжения арматуры и наличия сеток косвенного армирования. Предварительное напряжение арматуры комбинированным способом совместно с сетками косвенного армирования на торцевых участках способствуют равномерному распределению деформаций расширения по длине элемента при расширении напрягающего бетона.

Для железобетонных элементов из напрягающего бетона могут быть искусственно созданы участки с фиксированным обжатием продольной арматуры бетоном, что приведет к увеличению сцепления на локальном участке.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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. БрГУ, 2007. – 172 с.

2. Чехавичус, Р.П. Исследование трещиностойкости и прочности железобетонных балок в наклонных сечениях при действии статических и многократно повторяющихся нагрузок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Р.П. Чехавичус; ВИСИ. – Вильнюс, 1972. – 29 с.
3. Мамедов, Г.М. Учет продольной арматуры и преднапряжения в оценке прочности наклонных сечений / Г.М. Мамедов, Р.Д. Алиев // Бетон и железобетон. – 1984. – № 3. – С. 32–33.
4. Тур, В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона / В.В. Тур. – Брест: БПИ, 1998. – 246 с.
5. Разработка методики расчета железобетонных конструкций из напрягающего бетона с комбинированным преднапряжением арматуры: отчет о НИР (промежуточный); 06/609 / БрГТУ; рук. Кондратчик А.А. – БрГТУ, 2007. – 51 с. – Исполн.: Марчук В.А., Гарах О.Г., Тур А.В. – Библиогр.: С. 49–51. – № ГР 20064330.
6. Санникова, О.Г. Косвенное армирование элементов из напрягающего бетона / О.Г. Санникова, А.А. Кондратчик // Сб. тр. XVI Международного науч.-метод. Семинара “Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь”. Брест. 28-30 мая 2009 г.– Брест: БрГТУ, 2009. – Ч. 1. – С. 70–78.

19.01.10

SANNIKOVA O.G., KONDRATCIK A.A. Development of deformations of expansion of concrete in ferro-concrete elements with physicochemical and combined preliminary effort, of the fixture

The test results of self strain and strength changes during expansion of self-stressed concrete under physicochemical and combined prestressed reinforcement are presented.

624.012.46

. .

Введение. В современной строительной индустрии железобетон является наиболее востребованным строительным материалом, и с каждым годом его использование неизменно растет. Широкое применение материала объясняется, во-первых, рядом свойств (большой диапазон варьирования прочностных характеристик, высокая морозостойкость, долговечность и т.д.), выгодно отличающих его от других конструктивных материалов, а, во-вторых, постоянно ведущимися научно-исследовательскими работами, направленными на разностороннее исследование материала с целью выявления в нем новых резервов и областей их применимости и совершенствования теории и методов расчета конструкций. Вместе с тем, существует ряд вопросов, связанных с эксплуатацией железобетона, на которые до настоящего времени не найдено однозначных аргументированных ответов. Одним из таких является образование и развитие трещин в эксплуатируемых железобетонных конструкциях, что, как известно, негативно сказывается на их эксплуатационной пригодности и долговечности (коррозия стальной арматуры, уменьшение жесткости, повышение деформативности).

Существующие предложения по расчету трещиностойкости.

За последние несколько десятилетий в отечественной науке о железобетоне проблеме трещинообразования уделено незначительное внимание, несмотря на то, что в своё время благодаря работам М.М. Холмянского [1], О.А. Оатула [2], Ю.П. Гуци [3] и М.Н. Мулина [4], О.Я. Берга [5], Залесова [6] и др. в этой области были получены значительные научные результаты. В то же время зарубежные ученые находятся в постоянном поиске более совершенных методик прогнозирования ширины раскрытия трещин, о чем свидетельствуют многочисленные публикации по данной тематике [7–15, и др.] и достаточно существенные изменения и корректировки подходов к расчету данного параметра в последних редакциях нормативных документов [16, 17].

Анализ существующих подходов к расчету ширины раскрытия трещин показывает, что до настоящего времени не сформировано единого мнения о теоретических основах расчета ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, так и о значимости факторов и параметров, оказывающих решающее влияние на процесс трещинообразования и подлежащих учету в расчетных моделях. Подробное изучение существующих предложений к определению

ширины и расстояния между трещинами показало, что в современной теории трещиностойкости достаточно четко выделились четыре основных научных подхода, которых придерживаются исследователи при построении аналитических моделей и инженерных методик расчета параметров трещиностойкости:

1. Эмпирический подход (ACI 224.2R-86 [18], Gergely P. и Lutz L.A. [19], СНиП 2.03.01-84*[18], Мулин Н.М. [4], Гуца Ю.П. [3] др.);
2. Подход, базирующийся на основных положениях теории механики разрушения (Пирадов А.Б., Гвелесиани Л.О., Пирадов К.А., Гужев Е.А. [21, 22], Oh В.Н., Kang Y.-J. [23], Shah S.P., Swartz S.E. [24] и др.);
3. Подход, основанный на теории «tension stiffening» (CEB-fib Model Code [25], Eurocode2 [17], Pedziwiatr J. [15], СНБ 5.03.01-02 [26], Мурашев В.И. [27], Немировский Я.Н. [28] и др.);
4. Подход, основанные на теории «bond-slip» (Holmberg A. [29], Farra B. [30], Noakowski P. [31], Alvares M. [32], предлагаемый метод и др.).

Каждое из выделенных выше направлений имеет свои слабые и сильные стороны. Так, предложения первой группы обладают одним существенным недостатком, накладывающим определенные ограничения на область их применимости, – невозможно в рамках проведения эксперимента учесть влияние на исследуемый показатель всех факторов и параметров. В этой связи аналитические выражения, полученные с использованием эмпирического подхода, требуют постоянного уточнения в свете получения новых материалов и экспериментальных данных.

Предложения второй группы представляют весьма интересные, но достаточно общие решения, что также существенно ограничивает возможность их применение при проведении инженерных расчетов железобетонных конструкций.

В выражениях третьей группы для определения ширины раскрытия трещин усреднение разницы относительных деформаций арматуры и бетона на участке между трещинами производится путем умножения на коэффициент σ_s . Подробное изучение зависимости, предлагаемой для определения параметра σ_s , при её практическом применении для железобетонных элементов с различными параметрами (диаметром арматуры и коэффициентами армирования, прочностными характеристиками бетона и арматурной стали,

Драган Алексей Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурных конструкций Брестского государственного технического университета.
Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.