

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты комплексных экспериментально-теоретических исследований показали, что воздействие углеродных наноматериалов на процессы взаимодействия цемента с водой, твердения, формирования структуры и прочностных свойств цементного бетона имеет физическую природу и не изменяет морфологию кристаллогидратных новообразований затвердевшего цемента.

Результаты механических испытаний бетона на сжатие, растяжение при изгибе и осевое растяжение (путем раскалывания образцов) (в данной статье не приведены) показали, что в последнем случае прирост прочности бетона (на примере мелкозернистого) более значителен, что подтверждает теоретическую предпосылку о «наноармировании» кристаллогидратной структуры цементного камня в бетоне за счет «встраивания» в неё волокнообразных УНМ, способствующих восприятию растягивающих усилий, возникающих в раскалываемых образцах.

Общая оценка свойств бетона с УНМ подтверждает его перспективность к применению в бетонах дорожных, аэродромных покрытий, а также при изготовлении сборных изделий и в варианте монолитного строительства несущих конструкций, сооружений транспортных коммуникаций.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Добавки для бетонов. Общие технические условия: СТБ 1112-098.
2. Щебень кубовидный из плотных горных пород. Технические условия: СТБ 1321-2002.
3. Цемент Ч.1. Состав, спецификации и критерии соответствия общих цементов: СТБ EN 197-1-2007.
4. Песок для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8736-93.
5. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8267-93.
6. Портландцемент. Шлакопортландцемент. Технические условия: ГОСТ 10178-85.
7. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-90.
8. Тейлор, Х. Химия цемента; пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – С. 296-325.
9. Батяновский Э.И. Нанотехнологии и углеродные наноматериалы в строительном материаловедении / Э.И. Батяновский, П.В. Рябчиков, В.Д. Якимович // Строительная наука и техника. – 2009. – №3(24). – С.22-29.
10. Батяновский, Э.И. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня / Э.И. Батяновский, А.В. Крауклис, П.П. Самцов, П.В. Рябчиков, Пав.П. Самцов // Строительная наука и техника. – 2010. – №1-2(28-29). – С. 3-10.
11. Свиридов, Н.В. Бетон прочностью 150 МПа на рядовых портландцементях // Бетон и железобетон. – 1990. – № 2. – С. 21-22.

УДК 624.012.36

Санникова О. Г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ НА СТАДИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ СПОСОБЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Введение

Несмотря на усложнение технологического процесса при изготовлении предварительно напряженных конструкций, достигаемые преимущества последних, такие как сокращение материалоемкости и снижение веса конструкции, увеличение трещиностойкости, жесткости, выносливости при действии многократно

повторяющихся нагрузок и устойчивости сжатых элементов, позволяют эффективно использовать такие конструкции во всех областях строительства. Предварительное напряжение всей или части арматуры позволяет создавать в конструкции на стадии изготовления выгодное напряженное состояние, благодаря которому возможно уменьшение растягивающих деформаций бетона при действии внешних сил, в том числе поперечных. На сегодняшний день на практике используют несколько способов предварительного напряжения арматуры: механический, электротермический, электротермомеханический и физико-химический [1, 2].

При механическом способе предварительного напряжения арматуры требуемое начальное контролируемое напряжение в арматуре достигается при натяжении последней специальными домкратами, динамометрическими ключами и другими натяжными устройствами с последующей фиксацией технологическими анкерами на специальных упорах стендов, форм или поддонов (при натяжении арматуры на упоры) или специальными анкерными устройствами по торцам элемента (при натяжении арматуры на бетон). В дальнейшем сжимающие напряжения в бетоне формируются благодаря упругим свойствам арматуры, стремящейся вернуться в ненапряженное состояние, за счет сцепления с бетоном. Отдельно следует выделить метод непрерывного армирования, разработанный В. В. Михайловым [1], позволяющий выполнять армирование в двух направлениях.

При электротермическом способе предварительного напряжения арматуры требуемое начальное контролируемое напряжение в арматуре достигается при ее нагреве током до необходимой температуры с дальнейшей фиксацией в нагретом состоянии на упорах формы. Остывая, арматурный элемент сокращается, что в свою очередь вызывает появление напряжений. Как отмечено в [2], данный способ является наиболее распространенным в заводском производстве сборных конструкций ввиду своей простоты и небольшой трудоемкости, однако с точки зрения экономических и технических показателей наименее эффективным.

Электротермомеханический способ предварительного напряжения арматуры представляет собой комбинацию механического и электротермического способов и применяется в основном при непрерывном армировании. В данном случае нагретую электрооток высокопрочную проволоку навивают на упоры стенда или поддона формы.

Физико-химический способ предварительного напряжения арматуры позволяет создавать в конструкции выгодное напряженно-деформированное состояние. За счет энергии расширения напрягающего бетона в процессе твердения происходит натяжение любой арматуры в конструкции, то есть возможно создание линейного, плоского и объемного напряженного состояния.

Все вышеперечисленные способы создания внутреннего напряженного состояния на стадии изготовления конструкции сегодня не только широко применяются на практике, но и продолжают совершенствоваться как технологически, так и с позиции решения новых задач. Кроме того, современный уровень проектирования и строительных технологий позволяет комбинировать различные способы предварительного напряжения с целью минимизации недостатков, присущих каждому из них.

Предварительное напряжение арматуры физико-химическим и комбинированным способом

При использовании в конструкции напрягающего бетона осуществляется предварительное напряжение арматуры физико-химическим способом [3], а в самом конструктивном элементе создаются напряжения, которые называют самонапряжениями. Следует отметить, что в самонапряженных элементах уровень обжатия бетона достигает 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, предлагается называть комбинированным способом предварительного напряжения арматуры. Согласно [4], практическая значимость при предварительном напряжении 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 нормальных и наклонных сечений при действии усилий;
- потери предварительного напряжения, созданного в арматуре механическим способом, могут быть частично или полностью компенсированы предварительным напряжением арматуры физико-химическим способом.

Учитывая возможность создания выгодного напряженного состояния в сечении при использовании физико-химического и комбинированного способов предварительного напряжения арматуры, в настоящей работе внимание уделено элементам с комбинированным способом предварительного напряжения арматуры.

Экспериментальные исследования

В лаборатории УО БрГТУ были проведены экспериментальные исследования железобетонных балок с арматурой, предварительно напрягаемой физико-химическим и комбинированным способами. Цель данных исследований заключалась в том, чтобы изучить закономерности изменения внутреннего напряженного состояния на стадии твердения конструктивного элемента с арматурой, напрягаемой комбинированным способом. Параметры такого напряженного состояния являются исходными данными для дальнейшего расчета (в нашем случае – для расчета прочности наклонных сечений) элементов с предварительным напряжением арматуры комбинированным способом.

При проведении экспериментальных исследований требовалось установить, как при предварительном напряжении арматуры комбинированным способом происходит изменение напряжений по длине арматурного стержня, а также как сетки косвенного армирования, напрягаемые физико-химическим способом, влияют на развитие деформаций расширения. Варьируемыми параметрами опытных образцов были следующие:

- наличие или отсутствие предварительного напряжения продольной арматуры механическим способом;
- наличие или отсутствие сеток косвенного армирования;
- конструктивное решение сеток косвенного армирования и шаг их установки.

Номенклатура образцов представлена в таблице 1, а конструктивное решение опытных балок приведено на рисунке 1.

Методика исследований

Опытные образцы СН, КНК0, КНК40 и КНК80 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=74:14:12. Бетонная смесь при изготовлении напрягающего бетона (из расчета на 1 м³) имела следующий состав: 500 кг:750 кг:1150 кг:215 л – напрягающий цемент : песок : щебень : вода.

Таблица 1 – Номенклатура опытных образцов

Марка образцов	Способ предварительного напряжения продольной арматуры	Сетки косвенного армирования	
		левая часть элемента	правая часть элемента
СН	физико-химический		-
КНК0	комбинированный		-
КНК40	комбинированный	С-1, шаг 40 мм	С-2, шаг 40 мм
КНК80	комбинированный	С-1, шаг 80 мм	С-3, шаг 80 мм

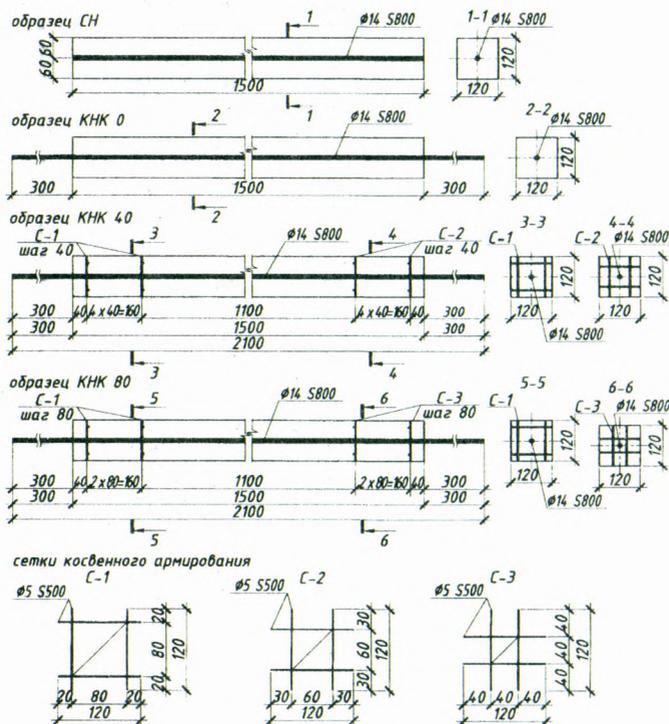


Рисунок 1 – Конструктивное решение опытных образцов

Арматура, напрягаемая комбинированным способом, – Ø14 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 Ø5 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).

Величина предварительного напряжения рабочей арматуры механическим способом для образца КНК0 составила 508,25 МПа; для образца КНК40 – 496,43 МПа; для образца КНК80 – 514,15 МПа.

Характеристики материалов опытных балок представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика материалов балок

Марка образцов	Бетон		Продольная	Арматура	
	Самонапря-жение в возрасте 28 сут., МПа	Кубиковая прочность		Сетки косвенного армирования	
				левая часть	правая часть
СН				–	
КНК 0	1,85	40,7	$\rho_l=1,07\%$	–	
КНК 40				$\rho_{sk}=0,82\%$	$\rho_{sk}=0,82\%$
КНК 80				$\rho_{sk}=0,41\%$	$\rho_{sk}=0,41\%$

Предварительное напряжение арматуры балок КНК0, КНК40 и КНК80 осуществляли механическим способом на упоры силовой рамы гидравлическим домкратом фирмы Dyckerhoff & Widmann, модель 74-113.00 (рисунок 2). В качестве упоров была использована металлическая рама. Закрепление арматурного стержня на упорах выполнялось при помощи полуавтоматических зажимов конструкции НИИЖБ. Величина предварительного натяжения арматуры контролировалась по манометру гидродомкрата и по относительному удлинению арматурного стержня. Относительное удлинение арматурного стержня измерялось при помощи экстензометров с индикатором часового типа ценой деления 0,01 мм на базе 355 мм по стальным реперам, закрепленным на поверхности арматурного стержня.

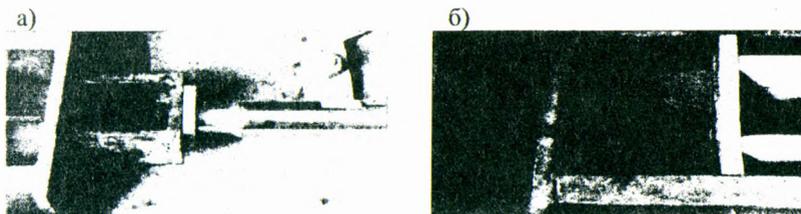


Рисунок 2 – Натяжение арматуры гидродомкратом (а) и способ закрепления на торцах силовой рамы (б)

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) и тензодатчиками (при передаче усилия натяжения арматуры с упоров на бетон).

Результаты исследований

Как было отмечено ранее [4, 5, 6], при расширении напрягающего бетона происходит снижение величины ранее созданного механическим способом напряжения на участках между упорами стенда и торцами конструкции (рисунок 3).

При этом арматура, благодаря упругим характеристикам, стремится вернуться в исходное состояние и воздействует на торцы конструкции.

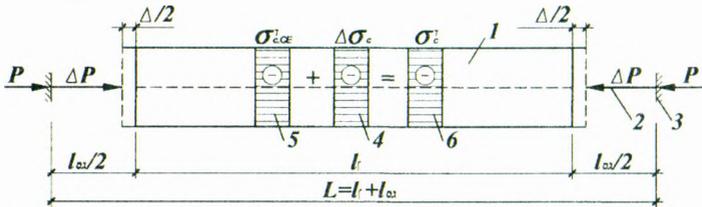
$$\Delta P = \Delta \sigma_{s,CE}^{ni} \cdot A_p = \sigma_{s,CE} \cdot k_i \cdot A_p; \quad (1)$$

$$\Delta \sigma_{s,CE}^{ni} = \varepsilon_{s,CE}^{ni} \cdot E_s = \frac{\varepsilon_{s,CE} \cdot l}{l_{ni}} \cdot E_s = \sigma_{s,CE} \cdot k_i, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{s,CE}^{ni}$ и $\Delta \sigma_{s,CE}^{ni}$ – относительные деформации и изменение напряжения в арматуре на свободных участках соответственно;

$\varepsilon_{s,CE}$ и $\Delta \sigma_{s,CE}$ – относительные деформации и напряжения в арматуре внутри элемента, созданные физико-химическим способом, соответственно;

l и l_{ni} – длина элемента и свободных участков между упорами и торцами элемента соответственно.



1 – элемент из бетона на НЦ; 2 – арматура, предварительно напрягаемая комбинированным способом; 3 – упоры (горцы силовой рамы); 4 – эпюра напряжений при действии ΔP; 5 – эпюра напряжений при развитии самоупреждения; 6 – общая эпюра напряжений в элементе
Рисунок 3 – Схема действующих усилий при предварительном напряжении арматуры комбинированным способом

Сопоставление результатов расчета и опытных данных приведено в таблице 3 и на рисунке 4.

Таблица 3 – Изменение напряжения в арматуре на свободных участках и усилия натяжения арматуры на упорах

Марка элемента	σ_{CE} , МПа	f_{ci} , МПа	Изменение напряжения, МПа			Изменение усилия натяжения арматуры на упорах, кН		
			$\sigma_{0,max}$	$\Delta \sigma_{s,CE}^i$	$\Delta \sigma_{s,CE}^f$	$P_{0,max}$	$\Delta P_{0,CE}^i$	$\Delta P_{0,CE}^f$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
КНК0	1,72	44,0	508,25	317,8	405,87	78,22	48,92	62,46
КНК40	1,75	44,0	496,43	273,3	412,95	76,40	42,06	63,55
КНК80	1,73	44,0	514,15	383,9	408,23	79,13	59,09	62,83

σ_{CE} – самоупреждение в бетон в момент передачи усилия натяжения арматуры на бетон, определенное по контрольным образцам;

f_{ci} – кубиковая прочность бетона в момент передачи усилия натяжения арматуры на бетон, определенная по контрольным образцам;

$\sigma_{0,max}$ – величина предварительного напряжения арматуры механическим способом;

$\Delta \sigma_{s,CE}^i$, $\Delta \sigma_{s,CE}^f$ – снижение напряжений в арматуре на свободных участках, определенное опытным путем и предлагаемым расчетным методом по формуле (2) соответственно;

$P_{0,max}$ – усилие натяжения арматуры механическим способом;

$\Delta P_{0,CE}^i$, $\Delta P_{0,CE}^f$ – снижение усилия натяжения арматуры, воспринимаемого упорами, определенное опытным путем и предлагаемым расчетным методом по формуле (1) соответственно

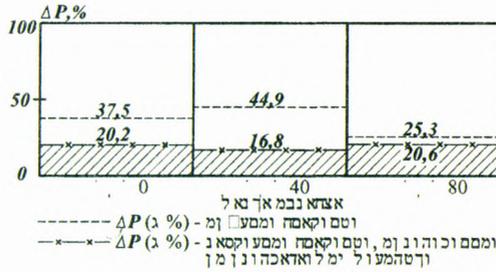


Рисунок 4 – Снижение усилия натяжения в арматуре, напрягаемой комбинированным способом

Данные таблицы 3 и рисунка 4 свидетельствуют о том, что при расширении напрягающего бетона происходит снижение напряжения в арматуре, напрягаемой механическим способом, на свободных участках. Анализ данных показал, что наличие сеток косвенного армирования с ячейкой 40×40мм позволило обеспечить анкеровку арматуры и подтвердило достоверность предлагаемой расчетной методики.

Результаты измерения деформаций бетона опытных балок на приопорных и среднем участках приведены на рисунках 5 и 6. При построении графиков использовались средние значения деформаций на участке.

Деформации бетона приопорного участка образца марки СН с арматурой, напрягаемой физико-химическим способом (рисунок 5 а), отличаются от деформаций бетона образца марки КНК0 на таком же участке на +47,5% и -11,5% в возрасте 3 и 28 суток, от деформаций бетона образца марки КНК40 (левая часть, рисунок 6 а) на +25% и -25%, а для образца марки КНК80 (левая часть, рисунок 6 в) на -12,5% и -8,75% соответственно. Из рисунков 5 и 6 следует, что деформации расширения на торцевых участках и в средней части опытных образцов развивались неравномерно.

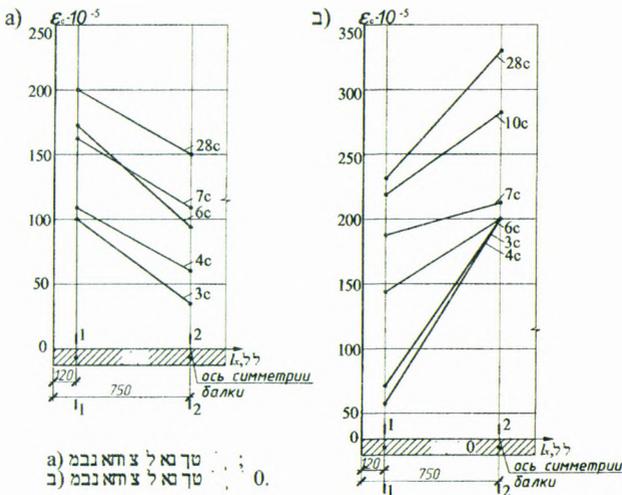
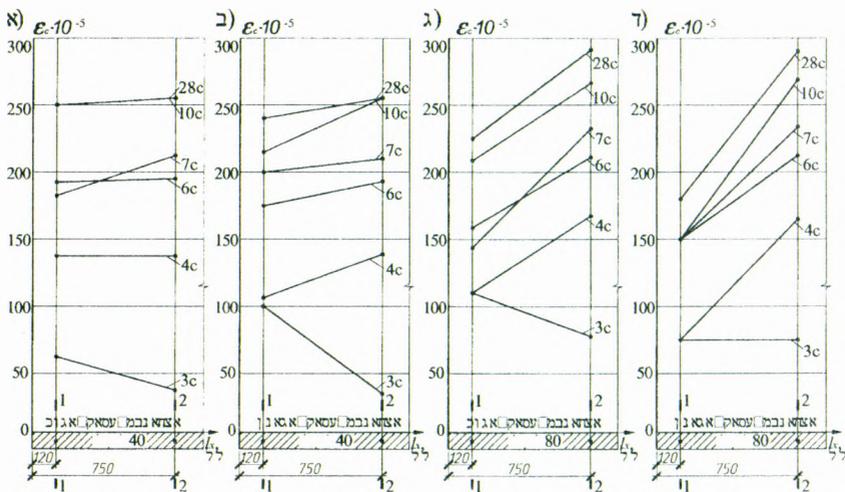


Рисунок 5 – Деформации напрягающего бетона образцов СН и КНК0 при расширении



- а) образец марки КНК40 – левая часть образца с сетками С-1, шаг 40 мм;
- б) то же – правая часть образца с сетками С-2, шаг 40 мм;
- в) образец марки КНК80 – левая часть образца с сетками С-1, шаг 80 мм;
- г) то же – правая часть образца с сетками С-3, шаг 80 мм.

Рисунок 6 – Деформации напрягающего бетона КНК40 и КНК80 при расширении

Наиболее равномерное развитие деформаций расширения по длине балки наблюдалось в образце КНК40 с предварительным напряжением арматуры комбинированным способом и с сетками косвенного армирования. В балке КНК80, также с предварительным напряжением арматуры комбинированным способом и с сетками косвенного армирования, распределение деформаций расширения происходило менее равномерно, что, связано с разным шагом сеток косвенного армирования и с их конструктивным решением.

Вывод

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что наличие сеток косвенного армирования оказывает влияние на развитие деформаций расширения опытных образцов с предварительным напряжением арматуры комбинированным способом. В зависимости от конструктивного решения сеток косвенного армирования и шага их установки возможно достижение равномерного распределения деформаций расширения по длине элемента. Сетки косвенного армирования, напрягаемые физико-химическим способом, создают в бетоне вокруг продольной арматуры сжимающие напряжения, что в свою очередь увеличивает сцепление стержня с бетоном и препятствует его проскальзыванию. Предварительное напряжение арматуры комбинированным способом наиболее эффективно при наличии дополнительной анкеровки продольной арматуры в виде сеток косвенного армирования.

Наблюдаемое снижение напряжения в продольной арматуре, напрягаемой комбинированным способом, на свободных участках приводит к возникновению дополнительного усилия обжатия, приложенного к торцам элемента, что в свою очередь способствует более плавной передаче усилия натяжения арматуры с упоров на бетон.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Михайлов, В.В. Предварительно напряженные железобетонные конструкции: (теория, расчет, подбор сечений) / В.В. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1978. – 383 с.
2. Пецольд, Т.М. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования / Т.М. Пецольд, В.В. Тур. – Брест: Изд. БГТУ. – 2003. – 380с.
3. Тур, В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона / В.В. Тур. – Брест: Изд. БПИ, 1998. – 246 с.
4. Кондратчик, А.А. Экспериментально-теоретические основы расчета конструкций из напрягающего бетона при совместном действии изгибающего момента, продольных и поперечных сил / А.А. Кондратчик. – Брест: Издательство БрГТУ, 2007. – 172 с.
5. Санникова, О.Г. Косвенное армирование элементов из напрягающего бетона / О.Г. Санникова, А.А. Кондратчик // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. тр. XVI Международного науч.-метод. Семинара, Брест, 28-30 мая 2009 г. – Брест: БрГТУ, 2009. – Ч. 1. – С. 70-78.
6. Санникова, О.Г. Формирование напряженного состояния в элементах из напрягающего бетона с арматурой, предварительно напряженной комбинированным способом / О.Г. Санникова, А.А. Кондратчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2009. – № 1 (55): Строительство и архитектура. – С. 85-90.

УДК 691.32-033.33

Семенюк С.Д., Дивакова Г.А., Мамочкина М.Г., Мельянцева И.И.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРАМЗИТОБЕТОНОВ КЛАССОВ 10/12,5 И 16/20

Легкие бетоны на основе керамзитового гравия широко используются в промышленном и гражданском строительстве. Керамзитобетонные конструкции позволяют улучшить теплотехнические и акустические свойства зданий, значительно снизить их массу. Комплексное использование легких бетонов позволяет решить проблемы энергоресурсосбережения при строительстве и техническом обслуживании зданий и инженерных сооружений, повысить их надежность, долговечность и безопасность при эксплуатации. Однако для соответствия белорусских нормативных документов с Еврокодом необходимо уточнить некоторые прочностные и деформативные характеристики легких бетонов, что для Республики Беларусь является актуальным. С этой целью были проведены экспериментальные исследования прочности и деформативности образцов из легкого бетона класса 10/12,5 и 16/20 в виде кубов, цилиндров и призм на кратковременное центральное сжатие в соответствии с ГОСТ 24452-80*.

Для определения прочностных и деформативных характеристик легких бетонов на основе керамзитового гравия были исследованы 2 серии опытных образцов из бетона класса 10/12,5 и 16/20. В каждой серии экспериментальных исследований было сформировано и испытано 12 кубов с размерами ребра 150 мм, 8 кубов с размерами ребра 100 мм, 12 цилиндров диаметром 150 мм и высотой 300 мм и 12 призм размерами 150×150×600 мм. Испытания проводились в возрасте 7, 14, 28 и 60 суток. В каждом возрасте испытывалось по 3 куба с размерами ребра 150 мм, 2 куба с размерами ребра 100 мм, 3 призмы размерами 150×150×600 мм и 3 цилиндра диаметром 150 мм и высотой 300 мм.

В качестве крупного заполнителя для бетона класса 16/20 использовался керамзитовый гравий фракций 5-10 мм и 10-20 мм с относительной прочностью в цилиндре 2,68 МПа и 1,86 МПа соответственно. Для изготовления легкого бетона класса 10/12,5 применялся только керамзит фракции 10-20 мм. Для обших се-