

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика испытаний анкерных устройств, позволяющая достоверно определить несущую способность крепления плит теплоизоляции к железобетонным, бетонным конструкциям, к кирпичным стенам.
2. Исследованы особенности работы анкеров распорного типа и приведены расчетные формулы для определения параметров, необходимых для проектирования анкерных устройств, закрепленных в бетонных основаниях – выдерживающего усилия, глубины заделки.

УДК 620.17:691.32

Загуляев С.В.

ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА НА НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ

В настоящее время широкое распространение получила методика варьирования составом (применение химических и минеральных добавок, снижение В/Ц) с целью увеличения самонапряжения, улучшения пластифицирующих свойств напрягающего бетона и повышения долговечности конструкций. В связи с этим существует задача определить, как применение этих методов отразится на таких характеристиках бетона как трещиностойкость (вязкость разрушения), прочность и деформативность бетона. Основное затруднение при определении этих характеристик связано с большим естественным разбросом прочностных и деформативных характеристик бетона. Существует несколько методик по определению характеристик трещиностойкости.

В данной статье образцы на определение характеристик вязкости разрушения рассчитывались по двум методикам. При первом подходе использовались методы теории упругости. Коэффициент интенсивности напряжений определялся по формулам [8]

$$K_I' = F_I''' \sigma_n \sqrt{\pi d c / D}, \tag{1}$$

где

$$F_I''' = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{2} \lambda + \frac{3}{8} \lambda^2 - 0.363 \lambda^3 + 0.731 \lambda^4 \right) \times \left[1 + 0.1 \left(\frac{2c}{D} \right)^{1/2} \left(1 - \frac{2c}{D} \right)^2 \right],$$

$$\lambda = \frac{d}{D}, \quad c = \frac{D-d}{2},$$

где $d = 80 \text{ мм}$, $D = 100 \text{ мм}$, $c = 10 \text{ мм}$. F_I''' - безразмерный коэффициент интенсивности напряжений.

При втором подходе разрушение бетона моделировалась исходя из энергетического и силового критериев разрушения. В соответствии с энергетическим критерием предполагается, что трещина переходит в новое положение, если при малом изменении ее поверхности выполняется неравенство

$$dA_F + dQ - dU > d\Gamma, \tag{2}$$

где dA_F - работа внешних сил, dQ - общий внешний приток тепла, dU - изменение полной внутренней энергии, $d\Gamma$ - энергия, необходимая для образования новой поверхности.

Для получения энергетических критериев разрушения необходимо обеспечение полной равновесности механических испытаний. Это связано с необходимостью исключения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Монастырев П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен зданий: Учебное пособие. - Изд. АСВ, М., 2002 – 160 с.
2. Грановский А.В., Павлова М.О. Исследование прочности и деформативности стен из керамического кирпича в зоне заделки металлических анкеров. // Промышленное и гражданское строительство.-2001.- №10,с 17-18.

приводящего к преждевременному неконтролируемому разрушению влияния потенциальной энергии, накапливаемой на упругой стадии деформирования материала в системе «испытательная машина – опытный образец», обеспечить при продвижении магистральной трещины равенство изменения энергии, подаваемой в разупрочняемый образец, остаточному энергоресурсу сопротивляемости материала.

По площади полностью равновесной диаграммы деформирования (рис. 1.) определяем работу, затраченную на раз-

рушение $A_C = \int_{\delta_0}^{\delta_1} P d\delta$. Если ее отнести к единице поверхно-

сти разрушения F , то для данных составов бетона получим энергию разрушения $G_{IC} = A_C / F$. Анализ полной равновесной диаграммы деформирования (ПРД) позволяет дифференцировать работу разрушения образца A_C на те ее части, которые затрачиваются на микротрещинообразование, упругое и локальное деформирование.

Полные энергозатраты на статическое деформирование (работа разрушения) могут быть разделены на энергозатраты, необходимые на развитие и слияние исходных технологических трещин – площадь фигуры ОСМ, упругое деформирование – площадь фигуры МСН и локальное деформирование – площадь фигуры НСА.

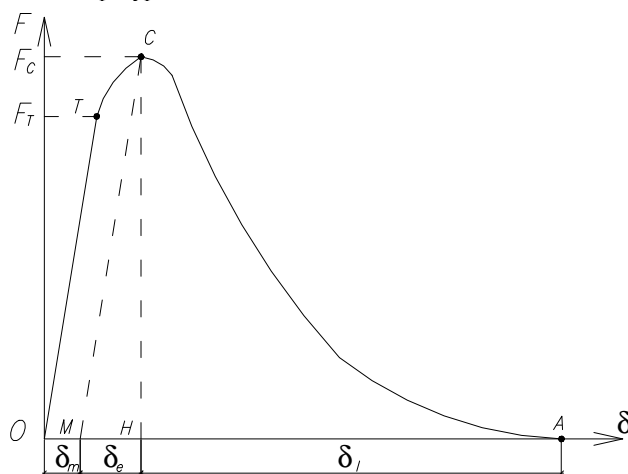


Рис. 1. Полная диаграмма деформирования бетона при равновесном механическом испытании.

Загуляев Станислав Валерьевич, аспирант каф. строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

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

При силовом подходе объект внимания – вершина трещины, где рассматриваются условия равновесия действующих на нее внешних (нагрузки) и внутренних сил (силы межмолекулярного сцепления). Практически расчет силового критерия – критического коэффициента интенсивности напряжения K_{IC} ведется на основе методов теории упругости.

Энергетический и силовой критерий связаны между собой по формуле:

$$K_{IC}^2 = G_{IC} \cdot E. \quad (3)$$

Варьируемыми факторами в поставленном эксперименте были:

- процент армирования (2,56% и 1%);
- применение суперпластификатора С-3 (ТУ РБ 80004313.002-2001);
- варьирование составом бетона.

Было изготовлено 2 партии образцов. Первая партия состояла из 5 серий (В/Ц)=0,4. I серия: - Ц:П:Щ=1:1,5:2,07; II серия – 1:1,4:2,2; III серия – 1:1,6:2,1; IV серия – 1:1,8:1,8; V серия – 1:0,0:3,57. Процент армирования – 1%. ОК=5 ... 7 см. Образцы твердели первые сутки в воздушно-сухих условиях, до 28 суток в воде при $t=24\pm 26^\circ\text{C}$, $w=100\%$.

Вторая партия состояла из 2 серий. I серия – 1:1,49:2,81 (В/Ц)=0,43; II серия – 1:1,49:2,81 (В/Ц)=0,43 + С-3. Процент армирования – 2,56%. ОК=5 ... 7 см. Образцы твердели 28 суток в пропарочной камере при $t=22\pm 25^\circ\text{C}$, $w=100\%$.

В качестве вяжущего использовался НЦ4. Химический состав цемента: SiO_2 – 22,14%; Al_2O_3 – 4,46%; Fe_2O_3 – 4,84%; CaO – 65,35%; MgO – 1,74%; SO_3 – 2,03%. Соотношение ПЦ:ГЦ:Гипс=80:12:8 (%). $S_{y0}=4500 \text{ см}^2/\text{г}$, $K_{н.з.}=0,28$. В качестве крупного заполнителя применялся гранитный щебень крупностью до 10 мм по ГОСТ 8267-93. Мелкий заполнитель – песок кварцевый по ГОСТ 6139-91.

Для второй партии в качестве вяжущего использовался НЦ2. Химический состав цемента: SiO_2 – 22,28%; Al_2O_3 – 4,44%; Fe_2O_3 – 4,29%; CaO – 65,41%; MgO – 1,79%; SO_3 – 2,13%, FeO – 0,04. Соотношение ПЦ:ГЦ:Гипс=81:11:8 (%).

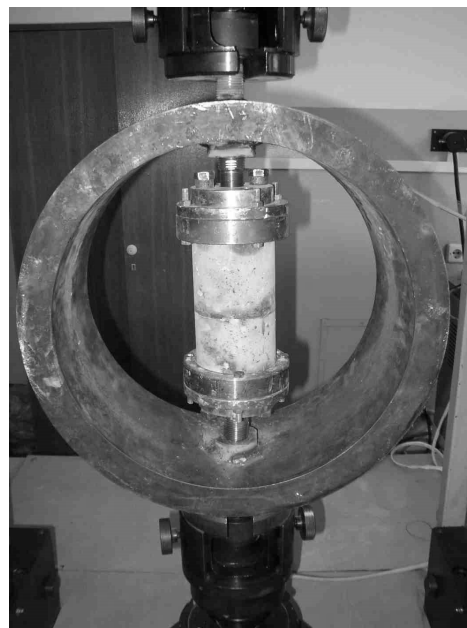
Образцы имели иницирующую кольцевую трещину (для испытания на осевое растяжение) и без иницирующей трещины (для испытания на растяжение при раскалывании). Кольцевой концентратор представлял собой металлическое кольцо, устанавливаемое в процессе бетонирования. Для предотвращения соприкосновения концентратора с бетоном, кольцо смазывалось маслом перед бетонированием. Энергия самонапряжения определялась на специально разработанных образцах с тязем (рис. 2б). Для обеспечения раздельной работы бетона и тязя, арматурный тяз не имел сцепления с бетоном.

Бетонные цилиндры с размерами $\varnothing 100 \times 200$ и кубы с ребром 100 мм были испытаны на статическое разрушение на разрывной машине ИР 5145-500-11

Приготовление бетона осуществлялось вручную, бетон уплотнялся на виброплощадке в металлических разборных формах. Образцы распалубливались на вторые сутки после бетонирования.

Кубиковая прочность бетона определялась в соответствии с ГОСТ 26633, СТБ1310. Опытные данные получены в возрасте 28 суток по результатам испытаний 6 кубов с ребром 100 мм. После вычисления средних прочностных и деформативных характеристик бетона, полученных при статическом нагружении, были проведены следующие исследования: на растяжение при раскалывании (таблица 1), на осевое растяжение образцов, твердевших в условиях одноосного ограничения деформаций (таблица 2) и в свободных условиях (таблица 1,3).

а)



б)

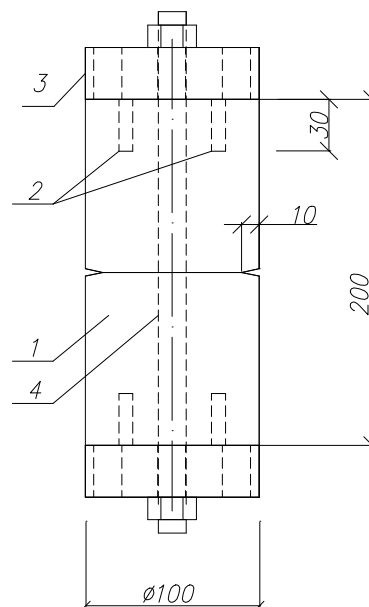


Рис. 2. Испытание бетонных цилиндров на осевое растяжение:

- а) стальное кольцо большой жесткости, для получения ниспадающей ветви диаграммы, с образцом; б) образец, испытывающий одноосное ограничение деформации. 1 – бетонный образец; 2 – анкера; 3 – захватные приспособления; 4 – металлический стержень.

Испытания на одноосное растяжение были проведены по следующей схеме: для получения ниспадающей ветви диаграммы использовалось стальное кольцо большой жесткости (рис.2.а.); для испытания образцов испытывающих одноосное ограничение деформаций использовался специально разработанный захват (рис 2.б.)

Деформации бетона фиксировались в системе «образец - двухкоординатный потенциометр самопишущий ПДС-021» (рис. 3.). Сигнал, получаемый с датчиков 4,5, усиливаясь в тензоусилителе 2, поступает на двухкоординатный самописец 1. Датчик деформаций 5 был протарирован микрометром МК 50 – 75 мм (ГОСТ 6507 – 78). Датчик усилий 4 был протарирован разрывной машиной ИР 5145-500-11.

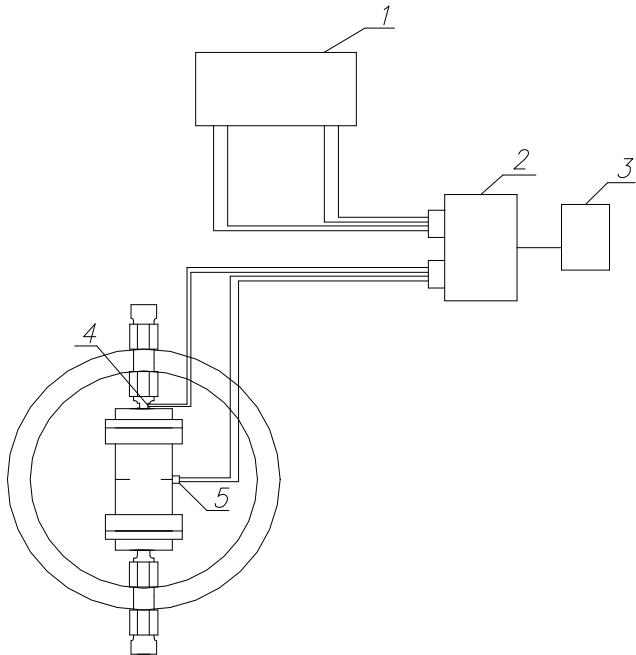


Рис. 3. Схема установки для получения полных диаграмм деформирования при испытании образцов на растяжение:

1 – двухкоординатный потенциометр самопишущий ПДС-021, 2 – ТОПАЗ-4-01, 3 – блок питания, 4- измеритель силы, 5 – измеритель деформаций.

Значения самонапряжения и свободного расширения определяли с помощью индикаторов часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм в специальном штативе (рис.4). Энергия самонапряжения рассчитывалась исходя из абсолютной деформации арматуры, определяемой на лабораторном штативе по индикатору часового типа. Величина самонапряжения образца S_p (МПа) определяли по формуле [7]

$$S_p = \frac{\Delta}{l_{обр}} \rho_1 \cdot E_s, \quad (4)$$

где Δ и $l_{обр}$ - соответственно полная деформация образца в процессе самонапряжения бетона и его длина;

ρ_1 - приведенный коэффициент армирования образца;

Таблица 1. Результаты испытаний образцов первой партии на растяжении при раскалывании

Серия	Образец	Кубиковая прочность, МПа	Прочность на растяжение, МПа
I	1ЦI-1	41	2,84
	1ЦI-2		2,41
	1ЦI-3		2,7
II	1ЦII-1	42,5	2,7
	1ЦII-2		2,73
	1ЦII-3		2,38
	1ЦII-4		3,1
	1ЦII-5		2,66
III	1ЦIII-1	43	2,57
	1ЦIII-2		2,64
	1ЦIII-3		2,37
	1ЦIII-4		2,67
	1ЦIII-5		2,22
IV	1ЦIV-1	37,3	2,88
	1ЦIV-2		2,73
	1ЦIV-3		2,29
V	1ЦV-1	24	1,56
	1ЦV-2		1,44

Пример условного обозначения опытных образцов:
1ЦI-1: 1 – № партии, Ц – цилиндр, I – № серии, 1 – № образца в серии.

E_s - модуль упругости стали, принимаемый равным 20×10^4 МПа.

Замеры самонапряжения производились в возрасте 1, 3, 7, 14 и 28 суток каждый раз с проверкой измерительного устройства с помощью эталона.

Самонапряжение бетона S_p вычисляли как среднее арифметическое по результатам замеров трех образцом-близнецов в кондукторах, отформованных из одной пробы бетона.

Прочность на растяжении при раскалывании определялась в соответствии с [9]

Прочность на скалывание рассчитывалась по формуле

$$f_{ct.sp} = \frac{2 \cdot P_n}{\pi \cdot D \cdot l}, \quad (5)$$

где P_n - разрушающая нагрузка,

D, l - соответственно диаметр и длина образца.

Прочность на растяжении определяется по формуле

$$f_{ct.ax} = 0.9 \cdot f_{ct.sp}. \quad (6)$$

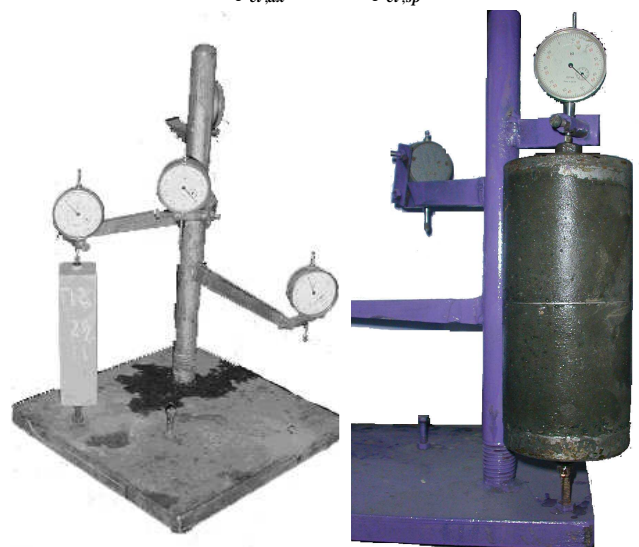


Рис. 4. Измерение деформаций свободного и связанного расширения

Результаты испытаний на растяжение при раскалывании приведены в таблице 1.

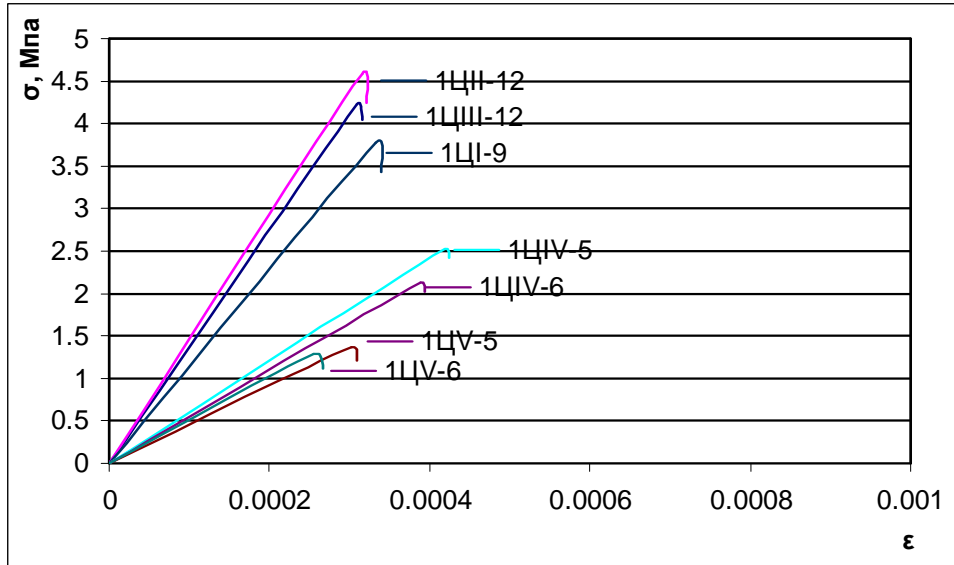


Рис. 5. Диаграммы деформирования образцов с самоупрежением на осевое растяжение

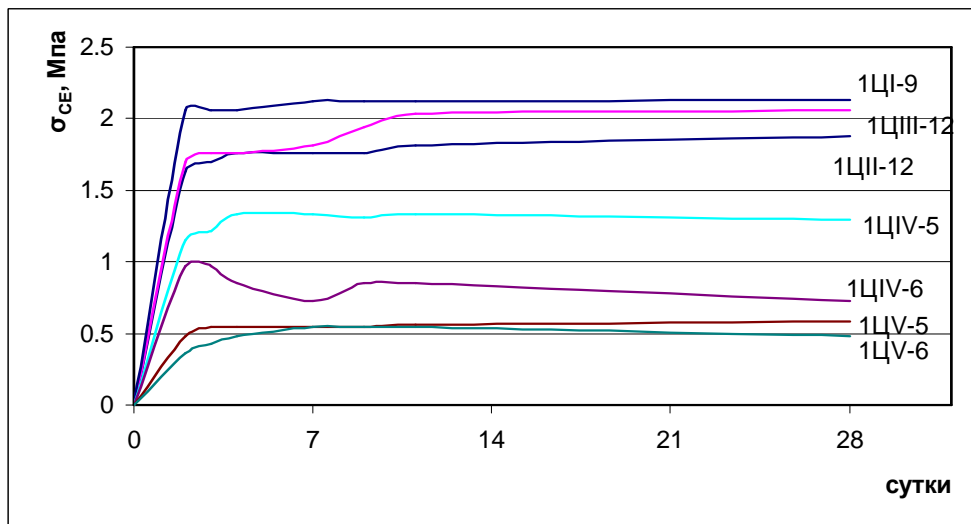


Рис. 6. Диаграммы набора самоупрежения образцов первой партии

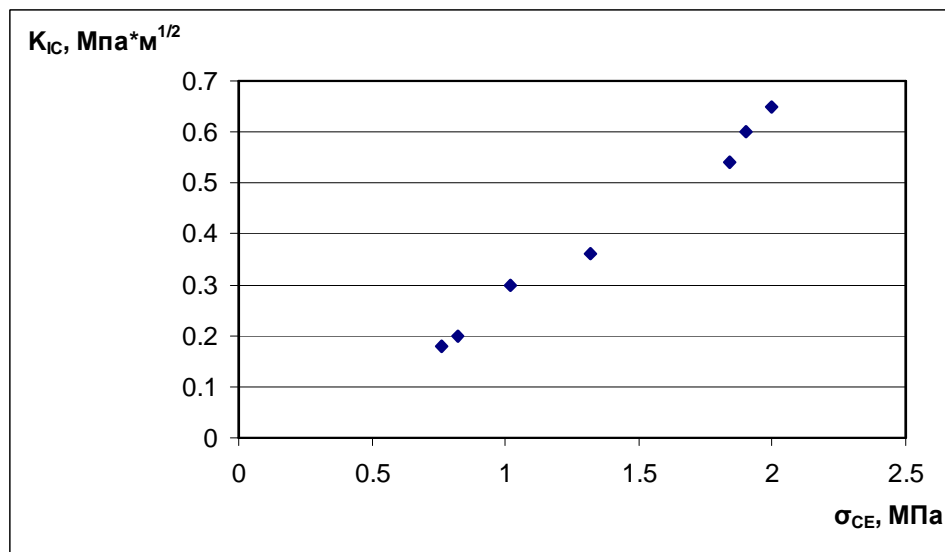


Рис. 7. Диаграмма зависимости коэффициента интенсивности напряжений от величины самоупрежения

Таблица 2. Характеристики трещиностойкости образцов первой партии

Серия	Образец	Свободное расширение, %	Прочность на растяжение, МПа	КИН, МПа·м ^{1/2}
I	1ЦI-4	0,024	1,77	0,25
	1ЦI-5	0,023	2,0	0,29
	1ЦI-6	0,016	2,1	0,31
	1ЦI-7	0,015	1,7	0,25
	1ЦI-8	-	1,87	0,27
	1ЦI-9	-	3,73	0,54
II	1ЦII-6	-	2,9	0,42
	1ЦII-7	0,022	2,4	0,35
	1ЦII-8	0,02	2,6	0,37
	1ЦII-9	0,015	1,9	0,28
	1ЦII-10	-	2,1	0,31
	1ЦII-11	0,018	2,0	0,29
III	1ЦIII-6	-	4,51	0,65
	1ЦIII-7	0,025	2,28	0,33
	1ЦIII-8	0,025	2,39	0,35
	1ЦIII-9	0,022	2,36	0,34
	1ЦIII-10	-	2,39	0,35
	1ЦIII-11	0,021	1,8	0,27
IV	1ЦIV-4	-	2,0	0,29
	1ЦIV-5	-	4,16	0,60
	1ЦIV-6	0,016	1,2	0,17
V	1ЦV-4	-	2,52	0,36
	1ЦV-5	-	2,12	0,3
	1ЦV-6	0,007	0,9	0,13
Пример условного обозначения опытных образцов: 1ЦI-1: 1 – № партии, Ц – цилиндр, I – № серии, 1 – № образца в серии.				

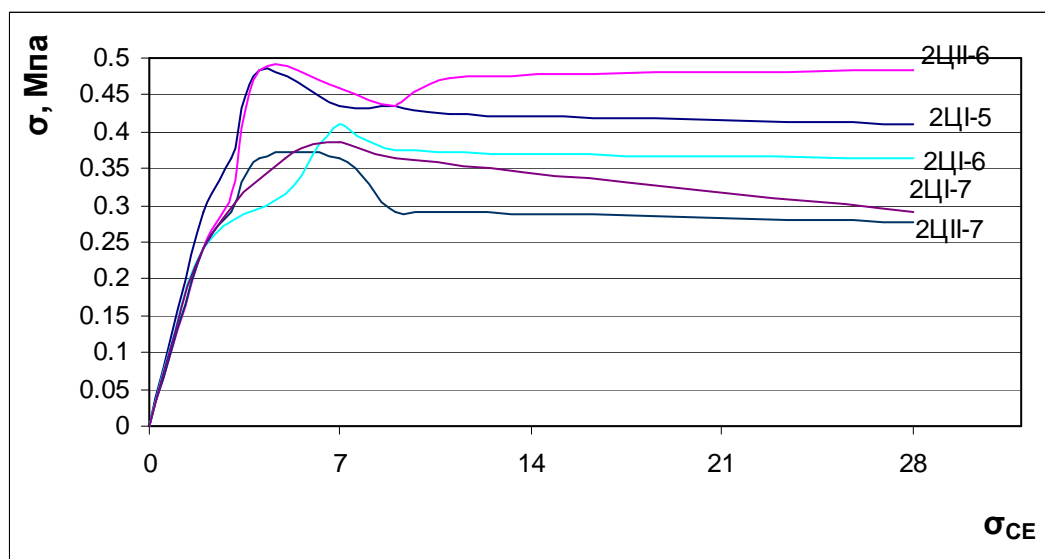


Рис. 8. Диаграмма набора самоупреждения образцов второй партии

При незначительном варьировании составом (серии I, II, III) испытания не показали существенного разброса. При увеличении процентного содержания песка и щебня повысилась прочность на сжатие и на растяжение при раскалывании (серия 3). Но при увеличении содержания песка и уменьшении содержания крупного заполнителя прочность немного понизилась (серия 4). Для серии V, где бетон состоял только из крупного заполнителя и цемента, прочность снизилась в два раза.

На рис. 5. представлены диаграммы деформирования образцов с самоупреждением. В процессе испытаний получено,

что образцы с большим уровнем самоупреждения (серия I, II, III) разрушились при большем значении напряжений (рис.5.). Аналогичные значения были получены при испытаниях на растяжение при раскалывании. Испытания показали, что прочность образцов I, II, III серий превышает прочность образцов IV серии на 15-30%, прочность образцов V серии в 2-2,2 раза. Соответственно полученным результатам экспериментов и самоупреждение образцов I, II, III серий превышает самоупреждение IV и V серий (рис.6). Деформативность образцов IV серии превысила деформативность всех остальных серий.

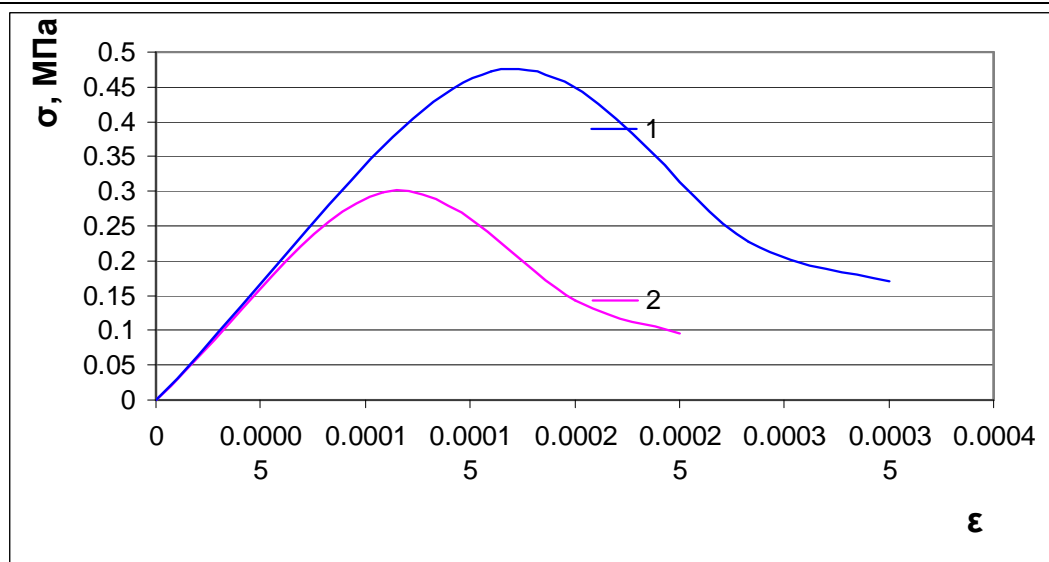


Рис. 9. Полностью равновесные диаграммы деформирования бетона на напрягающем цементе с суперпластификатором С-3 (1), напрягающий цемент (2).

Табл. 3. Механические характеристики бетона на напрягающем цементе, на напрягающем цементе с суперпластификатором С-3

Вид бетона	Серия	Образец	Кубиковая прочность, МПа	R_p , МПа	K_{IC} , МН/м ^{3/2}	K'_{IC} , МН/м ^{3/2}
На напрягающем цементе	I	2ЦI-1	51,6	1,06	-	0,16
		2ЦI-2		1,62	-	0,236
		2ЦI-3		4,61	-	0,66
		2ЦI-4		0,299	0,13	0,08
На напрягающем цементе с суперпластификатором С-3	II	2ЦII-1	45,6	1,13	-	0,18
		2ЦII-2		1,17	-	0,19
		2ЦII-3		3,09	-	0,45
		2ЦII-4		3,91	-	0,56
		2ЦII-5		0,47	0,15	0,1
Пример условного обозначения опытных образцов: 1ЦI-1: 1 – № партии, Ц – цилиндр, I – № серии, 1 – № образца в серии.						

Образцы серий I,II,III набрали за 28 суток самоупрежние 1,7 - 2,5 МПа. Образцы из IV серии набрали 0,8 - 1,3 МПа. Образцы пятой серии набрали наименьшее значение самоупрежжения – 0,4 - 0,5 МПа (рис 6).

На рис. 6 представлены диаграммы набора образцами самоупрежжения образцов первой партии. Как видно из диаграммы на рис. 6 наибольший рост самоупрежжения происходил в первые сутки. В дальнейшем уровень самоупрежжения стабилизировался.

Испытание образцов с самоупрежением показали, что при увеличении самоупрежения изменяется и коэффициент интенсивности напряжений за счет роста общей прочности образца на растяжение (рис.7).

Проведя эксперименты и сравнив характеристики образцов из напрягающего бетона первой и второй партии, получим, что самоупрежение оказывает существенное влияние на трещиностойкость. Причем результаты показали увеличение прочности на растяжение на величину самоупрежения. В процессе испытаний бетонные образцы вначале погасили достигнутую величину самоупрежения, а затем использовали собственные ресурсы по деформативности.

Для второй партии диаграмма роста самоупрежения представлена на рис. 8. В процессе твердения образцы получили величину самоупрежения $\sigma_{CE} = 0.3 \div 0.5 \text{ МПа}$. Из графика видно, что наибольший рост самоупрежения происходил в начальный период твердения. Образцы с суперпластификатором С-3 набрали величину самоупрежения прак-

тически сравнимую с обычным бетоном на основе напрягающего бетона.

Были проведены испытания по определению прочности на осевое растяжение (рис.2.а, 3.). Результаты испытаний приведены в таблице 2.

На основе эксперимента была произведена попытка оценить влияние суперпластификатора С-3 на такие характеристики бетона, как плотность, трещиностойкость, вязкость разрушения.

Образцы первой и второй серии второй партии практически не отличались друг от друга ни по прочности, ни по набору самоупрежения. Но в процессе бетонирования образцы с суперпластификатором показали хорошую удобоукладываемость.

Для образцов с С-3 на разрывной машине ИР 5145-500-11 были получены полностью равновесные машинные диаграммы деформирования (рис. 9.).

Из рис.9. видно, что образцы с суперпластификатором выдержали большую нагрузку и испытали большую деформативность. Но дальнейшие опыты показали, что отличия по прочности двух составов незначительны (таблица 3.).

Были получены несколько завышенные значения коэффициента интенсивности напряжений, получаемого по полностью равновесной диаграмме деформирования в сравнении с КИН, получаемым аналитически, по формулам теории упругости. Завышенные значения при неустойчивом, неконтролируемом развитии инициирующих трещин получаются из-за наличия динамического эффекта, доля которого не поддается количественному определению.

ВЫВОДЫ

1. При увеличении процентного содержания песка и щебня повышается прочность на сжатие и на растяжение при раскалывании. При увеличении содержания песка и уменьшении содержания крупного заполнителя прочность понижается. Для бетона, состоящего только из крупного заполнителя и цемента, прочность снижается в два раза.
2. Увеличение самонапряжения образца сказывается на коэффициенте интенсивности напряжений в сторону его увеличения.
3. Образцы на напрягающем цементе и с применением суперпластификатора С-3 практически не отличались друг от друга ни по прочности, ни по набору самонапряжения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Драган В.И., Загуляев С.В.. Методика исследования механических свойств материалов с использованием разрывной машины ИР 5145-500-10. // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2002. №1(13). – С. 25-29.
2. Драган В.И., Радзишевский П., Загуляев С.В., Строк М.Н., Влияние накопленных микроповреждений в структуре бетона на его прочностные характеристики // Вестник Брест-

ского государственного технического университета, №1 (19), 2004 г.

3. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 18с.
4. Е.А.Гузеев, С.Н.Леонович, К.А.Пирадов. Механика разрушения бетона: вопросы теории и практики. – Брест: БПИ, 1999. – 217 с.
5. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей: Учеб. Пособие для строит. вузов. – М.: Высш. Шк., 1991. – 288 с.
6. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. Пособие: В 4 т./ Под общей ред. Панасюка В.В. – Киев: Наук. Думка, 1988 – ISBN 5-12-000300-1.
7. Проект СТБ. Бетон напрягающий. Технические условия.
8. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений: В 2-х томах.: Пер. с англ./Под ред. Ю.Мураками. – М.: Мир, 1990. – 1016 с., ил.
9. Тур В.В., Рак Н.А. Прочность и деформации бетона в расчетах конструкций: Монография. – г. Брест; издательство БГТУ, 2003. – 252 с.

УДК 620.17:691.32

Драган В.И., Загуляев С.В.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА БЕТОНА, ОБЪЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ВЯЗКОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на основе экспериментальных данных и развитых представлений о строении материалов установлен ряд зависимостей между их основными свойствами и наиболее существенными факторами, которые используются в технологических расчетах для отыскания приближенных оценок. В этом отношении можно отметить цементные бетоны, которые благодаря многолетним и многочисленным исследованиям оказались наиболее полно изученными. Однако влияние самонапряжения напрягающего бетона, его состава на трещиностойкость, вязкость разрушения недостаточно полно изучено. Поэтому проведение планового эксперимента представляется лучшим решением для количественного описания этих зависимостей. Существенно облегчается задача определения долговечности, трещиностойкости конструкций.

В данной работе исследованы структурных параметров напрягающего бетона, влияние их на долговечность, физико-механические характеристики и параметры трещиностойкости было изучено при помощи планового эксперимента. Нами был выбран план эксперимента для полиномиальных моделей первого порядка. В качестве параметров оптимизации были выбраны следующие получаемые из эксперимента характеристики: K_{IC} , G_i , f_{ct} , f_c , E_b (K_{IC} – критический коэффициент интенсивности напряжений при деформациях нормального отрыва; G_i – удельные энергозатраты на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины; f_{ct} – прочность бетона при растяжении; f_c – прочность бетона при сжатии). В качестве факторов варьирования были выбраны 5 независимых характеристик напрягающего бетона: 1) вид напрягающего цемента – N , 2) максимальный размер крупного заполнителя – d_{max} , 3) объемная концентрация заполнителя

– V , 4) водоцементное отношение – $В/Ц$, 5) соотношение крупного и мелкого заполнителя – T .

С учетом вышеизложенного, для определения зависимости коэффициента интенсивности напряжений от варьируемых факторов был выбран насыщенный пятифакторный двухуровневый план со следующими характеристиками: число независимых переменных – 5; число неизвестных параметров – 16; число наблюдений в плане – 16.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Составы бетонов, подобранных в соответствии с матрицей планирования эксперимента, приведены в таблице 1. Некоторые из составов в практике строительства не применяются. Это были жесткие и литые смеси. Однако сужение интервалов варьирования привело бы к уменьшению области определения полученных моделей.

В качестве вяжущего в поставленном эксперименте использовался напрягающий цемент различной энергоактивности. Химический состав цемента: SiO_2 – 22,14%; Al_2O_3 – 4,46%; Fe_2O_3 – 4,84%; CaO – 65,35%; MgO – 1,74%; SO_3 – 2,03%. Соотношение ПЦ:ГЦ:Гипс=76:14:10 (%) для НЦ-4 и ПЦ:ГЦ:Гипс=84:9:7 (%) для НЦ-1. S_{y0} =4400 см²/г, $K_{н.з}$ =0,28. В качестве крупного заполнителя применялся гранитный щебень крупностью до 20 мм по ГОСТ 8267-93. Мелкий заполнитель – песок кварцевый по ГОСТ 6139-91.

Образцы твердели первые сутки в воздушно-сухих условиях, до 28 суток в воде при $t=20\div 24^\circ C$, $w=100\%$.

Образцы имели иницирующую кольцевую трещину (для испытания на осевое растяжение) и без иницирующей трещины (для испытания на растяжение при раскалывании). Кольцевой концентратор представлял собой металлическое кольцо, устанавливаемое в процессе бетонирования. Для предотвращения соприкосновения концентратора с бетоном, кольцо смазывалось отработанным маслом перед бетонированием.