

УДК 691.32

О. Э. БРЫЖАТЫЙ, В. И. КРОТЮК, Р. Ю. ЛЕМЕШЕНКО

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ КЛАССА В80 ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРЕВЕ ДО 90 °С (150 °С) И УВЛАЖНЕНИИ

Представлена методика изучения реологических свойств высокопрочного модифицированного бетона. Проанализировано воздействие циклических повышенных температур до 90 и 150 °С и увлажнения до полного водонасыщения на прочность высокопрочного бетона. Сформулированы цели исследований, обоснованы предполагаемые результаты эксперимента с формированием основных выводов.

бетон, нагрев, увлажнение, циклические воздействия, прочность

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Наименее изученным вопросом для проектирования и эксплуатации железобетонных конструкций из высокопрочных модифицированных бетонов является совместное влияние на их работу режимов циклических воздействий повышенных температур, увлажнения и нагрузок. В связи с этим необходимо провести изучение реологических свойств высокопрочных бетонов при воздействии указанных воздействий.

ЦЕЛИ РАБОТЫ

На основе существующей методики исследования реологических свойств тяжелых бетонов разработать методологическую последовательность изучения влияния циклического воздействия повышенных температур, увлажнения и нагрузки для высокопрочных модифицированных бетонов. Выявить наиболее неблагоприятный режим циклического температурно-влажностного воздействия.

Одной из важнейших задач в строительстве является повышение качества и долговечности зданий и сооружений при максимальной экономичности строительства. Для ее решения существенное значение имеет наиболее полный учет на этапе проектирования всех факторов, влияющих на работу конструкций зданий и сооружений.

Одним из наименее изученных вопросов для железобетонных конструкций является совместное влияние на их работу режимов циклических воздействий повышенных температур, увлажнения и нагрузок. Такой режим эксплуатации характерен для ряда сооружений – дымовых и вентиляционных труб, газоходов, резервуаров, градирен, а также конструкций цехов металлургической и химической промышленности и некоторых других конструкций. Особенно малоизученным в таких сооружениях является вопрос изменения температурно-влажностных деформаций бетона при циклических температурно-влажностных воздействиях. Циклические воздействия повышенных температур и увлажнения приводят к изменению физико-механических свойств бетона, к изменению напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций и, как правило, к значительным дополнительным их деформациям под воздействием внешних условий и к накоплению повреждений в структуре бетона. К распространенным явлениям относятся повреждения железобетонных дымовых и вентиляционных труб, возникающие в результате выпадения конденсата при понижении температуры отводимых газов ниже точки росы. В результате диффузии влаги по толщине ствола в бетоне развиваются серьезные деструктивные процессы, снижается прочность и долговечность бетона,

© О. Э. Брыжатый, В. И. Кротюк, Р. Ю. Лемешенко, 2016

происходят существенные изменения характеристик НДС сооружения, что в ряде случаев приводило к серьезным авариям. Аналогичные особенности работы свойственны и конструкциям железобетонных градилен.

Существующая методика расчета железобетонных инженерных сооружений, эксплуатирующихся в сложных температурно-влажностных условиях, требует дальнейшего развития для таких условий эксплуатации. Поэтому будут проведены исследования температурно-влажностных свойств высокопрочных бетонов при циклическом воздействии повышенных температур и увлажнения, и влияния циклических температурно-влажностных воздействий на прочность, жесткость и трещиностойкость элементов сооружений.

Исследования температурно-влажностных свойств бетона инженерных сооружений будут проведены на фрагментах сооружений, так как в этом случае может быть получена наиболее полная и достоверная информация о напряженно-деформированном состоянии сооружения.

В качестве фрагментов, предназначенных для исследования температурно-влажностных деформаций сооружений типа дымовых труб, резервуаров и силосов, был принят железобетонный брус сечением 240×120 мм и длиной 2 100 мм, лишенный возможности изгиба в плоскости действия температурного и влажностного градиентов и нагрузки.

Решение задачи по определению напряженно-деформированного состояния элементов железобетонных сооружений и влияния на него температурно-влажностных деформаций при циклическом воздействии повышенных температур и увлажнения было выполнено с использованием методики, основанной на раздельном учете явлений физической нелинейности и длительных процессов деформирования в бетоне.

Экспериментальные исследования будут проводиться на образцах из бетона класса по прочности при сжатии В80 с использованием золы-уноса Зуевской ТЭС, состав которой разработан и апробирован на кафедрах ТСКИиМ и ЖБК ДонНАСА (табл.).

Таблица – Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси

№ пп	Вид материала	Расход, кг/(л)
1	Портландцемент пластифицированный М500 (Амвросиевский цементный комбинат)	545,0
2	Песок кварцевый (Краснолиманский песчаный карьер)	660,0
3	Щебень гранитный фракции 5–20 мм (Каранский карьер)	970,0
4	Вода	137,7
5	Пластификатор FM794(SicaViscocrete5-600)	15,3
6	ОМД (Sica Fume) (Зола-уноса Зуевской ТЭС)	39,9
		140,1
	Всего:	2 468,0

Изготовление призм и кубов производится в горизонтальном положении в металлических формах, соответствующих требованиям ГОСТ 10180-78 [7]. Бетонная смесь перемешивается в бетономесителе емкостью 90 литров и уплотняется вибрированием в течение 2 мин на вибростоле с частотой 3000 колебаний в минуту и амплитудой 0,35 мм. Через четыре часа после изготовления образцы покрываются слоем влажных опилок. Распалубка производится на четвертые сутки. После распалубки образцы хранятся в естественных условиях цеха при температуре 20±4 °С и относительной влажности воздуха 55...75 %, то есть в условиях, требуемых ГОСТ 24544-81. Возраст бетона железобетонных балок, призм и кубов к моменту начала температурно-влажностных испытаний составит шесть месяцев (180 сут.). Опытные образцы представляют собой брус сечением 250×120 мм и длиной 2 100 мм (рис. 1). Брус симметрично армирован четырьмя стержнями Ø12 А-III, процент армирования – 1,5 %, поперечная арматура Ø4 Вр-I. Образцы изготавливаются в горизонтальном положении в металлических формах.

Предполагается исследовать следующие физико-механические свойства бетона: температурно-влажностные деформации; предельные деформации; структурные характеристики бетона при сжатии, при циклическом воздействии повышенных температур и увлажнении, при циклическом воздействии повышенных температур без увлажнения и при циклическом увлажнении без воздействия повышенных температур. Цикл воздействий повышенных температур и увлажнения состоял из нагрева со скоростью 10 град/час, участок А-Б(В) – изотермической выдержки при повышенной температуре в течение шести суток, участок В-Г – остывание в течение суток, участок Г-Д – увлажнение

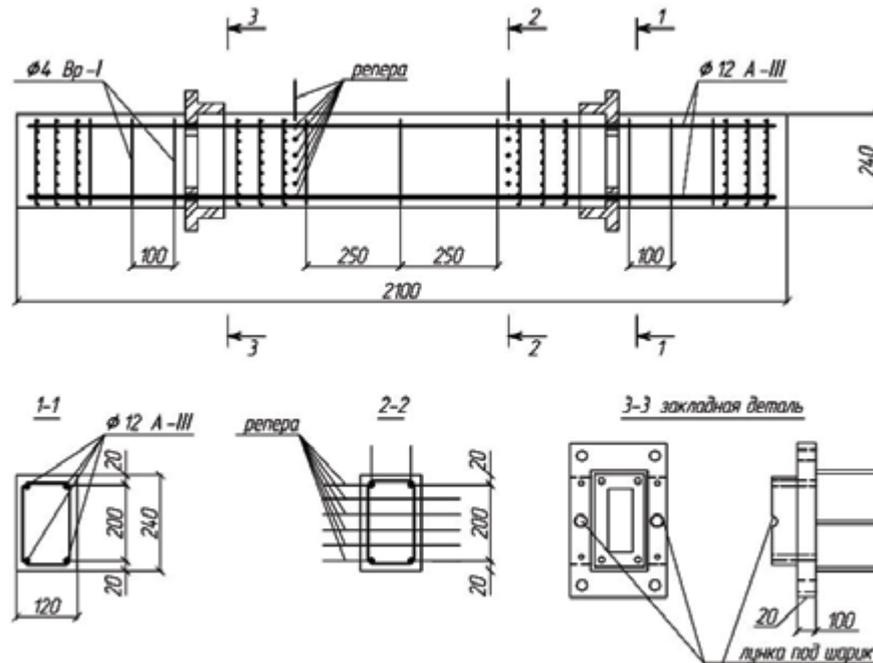


Рисунок 1 – Конструкция железобетонного образца.

в течение шести суток и участок Д-Е – выдержка в течение суток при нормальной температуре, полный цикл – $(6+1)+(6+1)$ – продолжительностью 14 суток (рис. 2). При циклическом воздействии повышенных температур без увлажнения и при циклическом воздействии воды без воздействия повышенных температур формула принятого цикла была аналогична. Относительные уровни прикладываемых нагрузок – 0,6 (0,3) от разрушающей нагрузки.

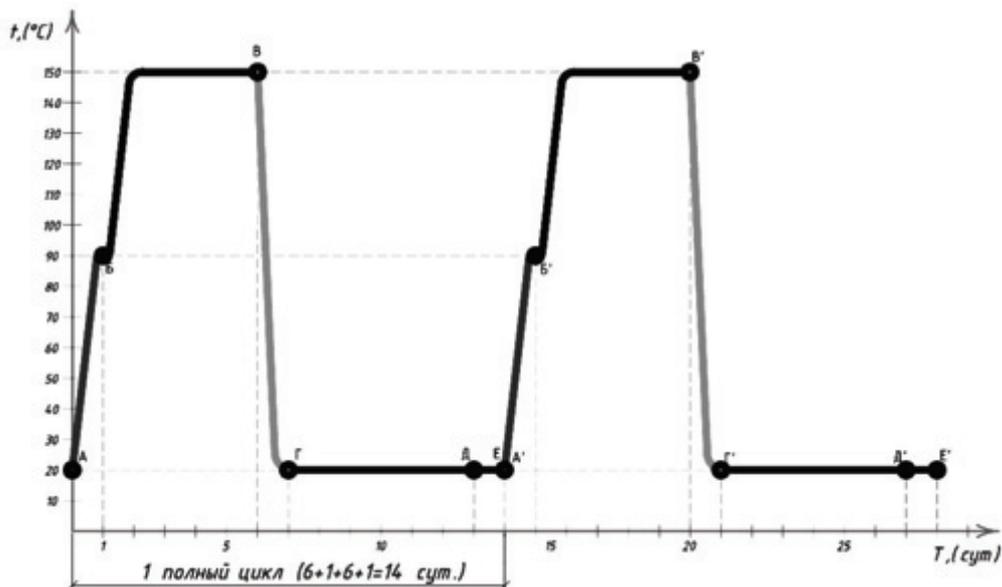


Рисунок 2 – График экспериментального исследования (цикл воздействия повышенных температур $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ и увлажнения).

Для увлажнения образцы помещаются в металлические короба. Испытания при повышенных температурах проводятся в специальных камерах (рис. 3), в которых возможен как нагрев, так и увлажнение образца.

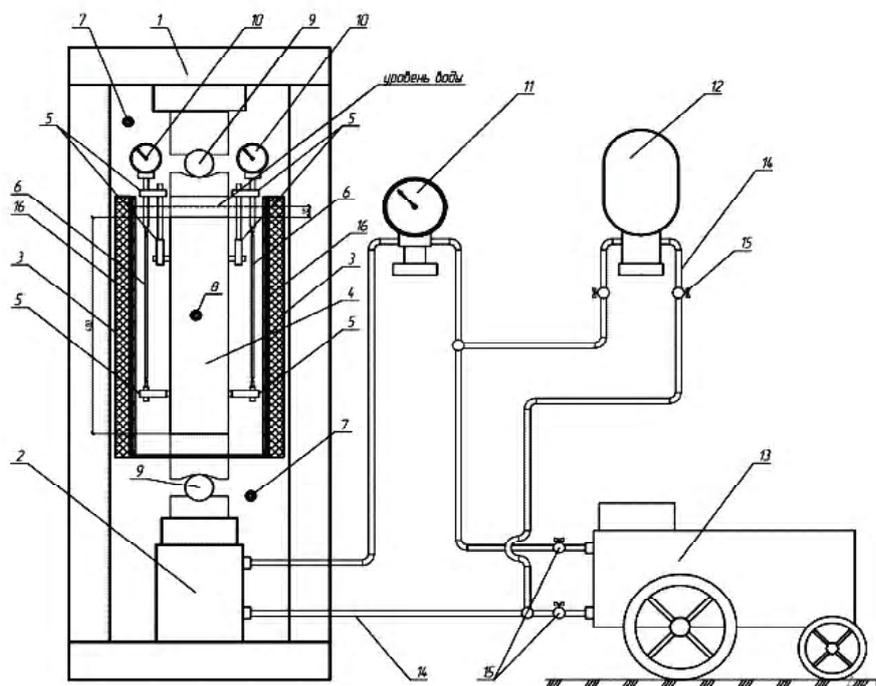


Рисунок 3 – Установка для исследования температурно-влажностных деформаций бетона при повышенных температурах и увлажнении: 1 – рама гидравлического домкрата; 2 – гидравлический домкрат; 3 – термокамеры для нагрева и увлажнения призм; 4 – призмы для исследования температурно-влажностных деформаций бетона; 5 – анкерные устройства измерительных приборов; 6 – кварцевые удлинительные шпильки; 7 – термопары регулировки внутренней температуры призм; 8 – термопары измерения температуры бетона; 9 – шаровые шарниры; 10 – индикаторы часового типа ИЧ-0,01; 11 – манометр; 12 – ресивер; 13 – маслостанция; 14 – соединительные шланги высокого давления; 15 – запорный кран; 16 – нагревательный тен.

Автоматическая регулировка температуры осуществлялась приборами РТ-0,49 и ЭРА-М. Температура бетонных образцов контролировалась с помощью хромель-копелевых термопар, закладываемых во время бетонирования. Показания термопар снимались переносным потенциометром постоянного тока типа ПП-1 с точностью до $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$. При исследовании температурно-влажностных деформаций изменение влажности бетона определялось с помощью рычажных весов. Деформации бетонных призм измеряются по двум противоположным боковым граням на базе 400 мм индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм, при этом обеспечивалась точность измерения относительных деформаций до $2,5 \cdot 10^{-5}$ мм/мм. Для замера деформаций использовались металлические рамки, фиксирующие базу измерения деформаций и удлинители, выполненные из кварцевого стекла. Продольные деформации бетонных призм измерялись на базе 400 мм индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм, поперечные деформации – на базе 100 мм индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм.

Все образцы изготавливаются из бетонной смеси одного замеса. Уплотнение бетонной смеси производится глубинным вибратором в два слоя по 10...15 см.

Первые 5–7 суток после бетонирования образцы выдерживаются во влажной среде – хранятся под слоем влажных опилок и периодически увлажняются водой. Затем образцы распалубиваются и их боковые поверхности покрывались эпоксидной шпаклевкой ЭП-0010 для создания одномерного поля влажности. На грани образцов наклеиваются тензодатчики сопротивления базой 50 мм для контроля деформаций бетона при кратковременных испытаниях. Для создания одномерного температурного поля по высоте образца выполняется тепловая изоляция боковых граней пенополиуретаном и каолиновой ватой.

Перед бетонированием в опалубке укрепляются термопары, репера для замера деформаций и гипсовые датчики сопротивления для контроля влажности бруса. На продольную арматуру для контроля деформаций наклеиваются тензодатчики сопротивления с базой 20 мм. Гипсовые датчики сопротивления размерами $20 \times 10 \times 40$ мм с двумя копелевыми электродами применялись для послойного определения влажности бетона элемента и располагались на расстоянии 40...45 мм по его высоте. По

результатам тарировки построены графики для определения влажности бетона в зависимости от электрического сопротивления датчиков и температуры бетона (рис. 4). Схема расстановки приборов приведена на (рис. 5).

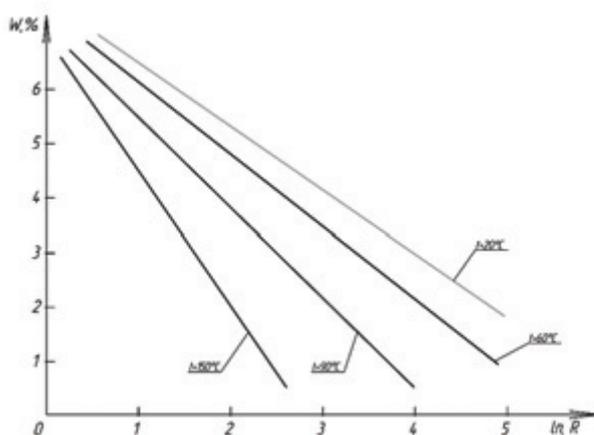


Рисунок 4 – График тарировки гипсовых датчиков влажности.

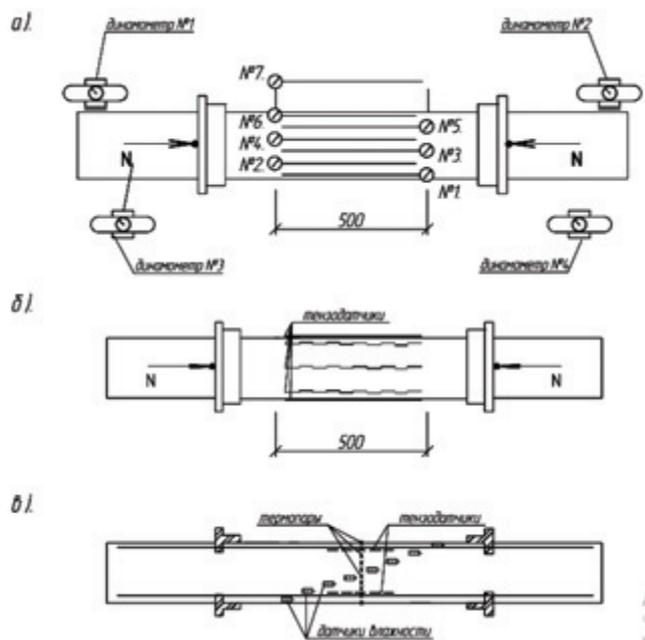


Рисунок 5 – Схема расстановки приборов: а) механических приборов; б) тензодатчиков на бетоне; в) термопар, датчиков влажности и тензодатчиков на арматуре.

Цикл нагрева – увлажнения при исследовании объемно-деформированного состояния бруса при циклических воздействиях повышенных температур и увлажнении состоял из шести суток нагрева до 90 или 150 °С, суток на охлаждение бруса, шести суток его увлажнения и суток выдержки перед нагревом в нормальных температурно-влажностных условиях. Подъем и понижение температуры осуществлялись со скоростью 10 °С в час.

В ходе испытаний выполнялся циклический нагрев и увлажнение образца при отсутствии продольной сжимающей силы при длительных испытаниях.

Исследование элементов проводилось на установке (рис. 6). На нижнюю грань образца поочередно воздействовала вода или повышенная температура, на верхней грани поддерживалась нормальная температура. Продольная ось удерживалась в прямолинейном состоянии приложением поперечных сил к консолям. Моменты, обеспечивающие прямолинейность оси, равны моментам,

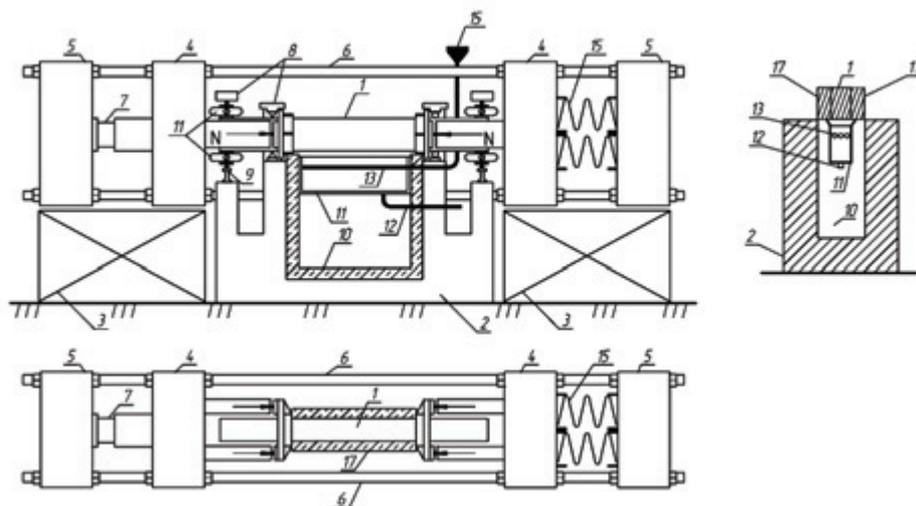


Рисунок 6 – Установка для испытания железобетонных образцов: 1 – образец (балка); 2 – опорная часть; 3 – столики; 4 – вилочные траверсы; 5 – траверсы; 6 – тяги с резьбой и гайками; 7 – гидравлический домкрат ДГ-200; 8 – траверсы; 9 – винтовые домкраты; 10 – тепловая камера; 11 – короб для увлажнения образцов; 12 – водоотводная трубка; 13 – трубки для распыления воды; 14 – трубка для создания гидростатического давления; 15 – пружины; 16 – динамометр ДОСМЗ-5; 17 – пенополиуретановая теплоизоляция.

возникающим при наличии температурных и влажностных градиентов в элементе, т. е. температурно-влажностным моментам.

Нагрев нижней грани железобетонного образца осуществлялся ТЭНами, размещенными под коробом для воды в тепловой камере. Температура автоматически поддерживалась с помощью электронного терморегулятора ПСР1-05. Увлажнение нижней грани образца производилось путем разбрызгивания водопроводной воды, поступающей в короб непрерывно во время периода увлажнения каждого цикла. Короб увлажнения состоит из трубок с отверстиями в направлении балки для подачи воды под гидравлическим напором (высота подъема воды – 20...30 см), собственно короба, служащего для сбора стекающей воды и отводных патрубков для сброса воды в канализацию.

Измерение деформаций арматуры и бетона производилось индикаторами часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм на базе 500 мм, которые крепились к реперам, замоноличенным в бетоне. В качестве удлинительных использовались кварцевые трубки для устранения погрешностей, связанных с воздействием температуры на индикаторы и реперы.

ВЫВОДЫ

Для наиболее полного изучения свойств высокопрочных бетонов класса В80 (по прочности) при циклическом нагреве до 90 °С (150 °С) и увлажнении, необходимо исследовать следующие физико-механические свойства бетона: температурно-влажностные деформации; предельные деформации; структурные характеристики бетона при сжатии, при циклическом воздействии повышенных температур и увлажнении, при циклическом воздействии повышенных температур без увлажнения и при циклическом увлажнении без воздействия повышенных температур. Цикл воздействий повышенных температур и увлажнения состоит из нагрева со скоростью 10 град/час, участок изотермической выдержки при повышенной температуре в течение шести суток, участок остывания – в течение суток, участок увлажнения – в течение шести суток и участок выдержки – в течение суток при нормальной температуре, полный цикл – (6+1)+(6+1) – продолжительностью 14 суток. Опытные образцы представляют собой брус сечением 250×120 мм и длиной 2 100 мм, а также призмы размерами 100×100×400 мм и кубы величиной грани 100 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурахмонов, С. Э. Усилия от одностороннего воздействия воды и температуры во внецентренно растянутых железобетонных элементах [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. Э. Абдурахмонов. – Ташкент, 1990. – 23 с.

2. Александровский, С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия (с учетом ползучести) [Текст] / С. В. Александровский. – М. : Стройиздат, 1966. – 444 с.
3. Брыжатый, О. Э. Температурные усилия, прочность и трещиностойкость элементов железобетонных инженерных сооружений при циклическом одностороннем нагреве до 150° и увлажнении [Текст] : автореф. дис. ... канд. тех. наук / О. Э. Брыжатый. – Макеевка, 1994. – 20 с.
4. Бурчуладзе, Ш. В. Оценка атмосферостойкости гидротехнического бетона [Текст] / Ш. В. Бурчуладзе, И. Н. Панцхава, К. К. Кварцихава // Гидротехнический бетон и его работа в сооружении : Материалы конференций и совещаний по гидротехнике / Редкол.: М. Ф. Складнев (пред.) и др. – Л. : Энергия, 1984. – С. 100–104.
5. Веретенников, В. И. Прочность, деформативность и трещиностойкость внецентренно сжатых железобетонных элементов кольцевого сечения при температурах от –50 до 150 °С [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. И. Веретенников. – М., 1984. – 20 с.
6. Вишневецкий, Г. Д. Давление набухания как силовая характеристика равновесного влажностного состояния бетона [Текст] / Г. Д. Вишневецкий // Труды коорд. совещ. по гидротехнике / ВНИИГ. – Л. : Энергия, 1975. – С. 107–108.
7. ГОСТ 10180-78. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение [Текст]. – Взамен ГОСТ 10180-74, ГОСТ 11050-64, ГОСТ 12852.1-77, ГОСТ 4800-59, ГОСТ 8424-72 ; введ. 01-01-1980. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 24 с.

Получено 04.03.2016

О. Е. БРИЖАТИЙ, В. І. КРОТЮК, Р. Ю. ЛЕМЕШЕНКО
МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ВИСОКОМІЦНИХ БЕТОНІВ КЛАСУ В80 ПРИ ЦИКЛІЧНОМУ НАГРІВАННІ
ДО 90 °С (150 °С) І ЗВОЛОЖЕННІ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Представлена методика вивчення реологічних властивостей високоміцного модифікованого бетону. Проаналізовано вплив циклічних підвищених температур до 90 і 150 °С і зволоження до повного водонасичення на міцність високоміцного бетону. Сформульовано цілі досліджень, обґрунтовані передбачувані результати експерименту з формуванням основних висновків.
бетон, нагрів, зволоження, циклічний вплив, міцність

OLEG BRIZHATY, VLADIMIR KROTIUK, RUSLAN LEMESHENKO
THE METHODOLOGY FOR EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF
PROPERTIES OF THE HIGH-STRENGTH CONCRETE OF B80 CLASS AT THE
HEAT CYCLING TO 90 DEG. C (150 DEG. C) AND HUMIDIFICATION
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The methodology of the study of rheological properties of high-strength modified compression is presented. The influence of the cyclic high temperatures to 90 deg. C and 150 deg. C and humidification till complete water saturation on the reliability of the high-strength compression has been analyzed. Research objectives have been formulated; constructive results of the experiment with the basic premise formation have been explained.
concrete, heat, humidification, cyclic influence, reliability

Брижатый Олег Едуардович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вплив циклічної дії підвищених температур і зволоження на реологічні властивості важкого бетону.

Кротюк Володимир Ігорович – асистент кафедри залізобетонних конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вплив циклічної дії підвищених температур і зволоження на реологічні властивості високоміцного модифікованого бетону.

Лемешенко Руслан Юрійович – студент магістр кафедри залізобетонних конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вплив циклічної дії зволоження на реологічні властивості високоміцного модифікованого бетону.

Брыжатый Олег Эдуардович – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: влияние циклического воздействия повышенных температур и увлажнения на реологические свойства тяжёлого бетона.

Кротюк Владимир Игоревич – ассистент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: влияние циклического воздействия повышенных температур и увлажнения на реологические свойства высокопрочного модифицированного бетона.

Лемешенко Руслан Юрьевич – студент магистр кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: влияние циклического воздействия увлажнения на реологические свойства высокопрочного модифицированного бетона.

Brizhaty Oleg – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the influence of heat cyclic heating and humidity up to full water saturation on the strength of heavy concrete.

Krotiuk Vladimir – assistant, Reinforced Concrete Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests include the impact of cyclical effects of moisture on the rheological properties of high-strength modified concrete.

Lemeshenko Ruslan – Master's student, Reinforced Concrete Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: include the impact of cyclical effects of moisture on the rheological properties of high-strength modified concrete.