

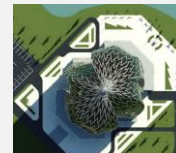


Construction  
of Unique Buildings  
and Structures  
unistroy.spb.ru  
ISSN 2304-6295

## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru)



Строительство  
уникальных зданий  
и сооружений  
unistroy.spb.ru  
ISSN 2304-6295

### Бетон с пониженной усадкой и ползучестью

Ю.Г. Барабанщиков<sup>1</sup>, А.А. Архарова<sup>2</sup>, М.В. Терновский<sup>3</sup>

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

#### Информация о статье

УДК 691.3

Научная статья

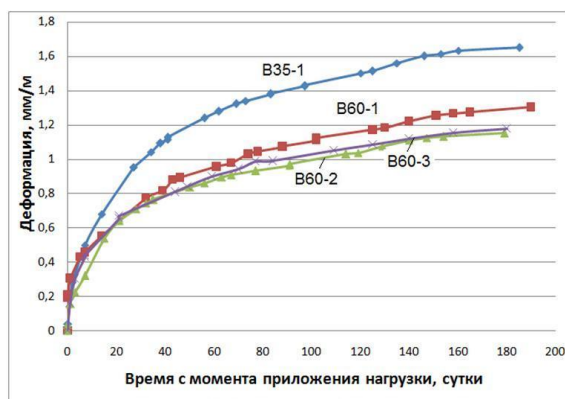
#### История

Подана в редакцию 24 мая 2014  
Принята 2 июля 2014

#### Ключевые слова

бетон,  
наполнители,  
добавки,  
испытания,  
прочность,  
ползучесть,  
усадка,  
тепловыделение.

#### АННОТАЦИЯ



При строительстве высотных зданий большое значение приобретают свойства бетона монолитных конструкций, определяющие его трещиностойкость. В настоящей работе приведены результаты проектирования состава бетона с заданными предельными значениями деформаций усадки и ползучести.

Достижение заданных свойств осуществлялось подбором и применением в бетоне активных минеральных добавок (золы-уноса, микрокремнезема, метакаолинита), СНФ-суперпластификатора и противосадочной добавки Estrifan Additive RCL. Применение противосадочной добавки позволило снизить воздушную усадку на 29 %. Кроме того, установлено, что противосадочная добавка Estrifan

Additive RCL резко снижает тепловыделение цемента. Это согласуется с вызываемым добавкой снижением прочности, однако, снижение прочности составляет только 6-7 %, а то время, как тепловыделение снижается примерно на 30 %. Выполнение достаточно жестких требований по ползучести бетона удалось достигнуть путем введения минеральных наполнителей – золы уноса и микрокремнезема. С повышением содержания порошкообразных минеральных наполнителей, снижаются деформации ползучести и усадки.

#### Содержание

1.	Введение	153
2.	Состояние вопроса	153
3.	Постановка задачи	153
4.	Результаты исследований	154
4.1.	Воздушная усадка	154
4.2.	Тепловыделение бетона	157
4.3.	Ползучесть бетона	158
5.	Заключение	160

2

Контактный автор:

+7 (921) 896 4407, [arharova93@bk.ru](mailto:arharova93@bk.ru) (Архарова Анна Андреевна, бакалавр)

1

+7 (812) 534 1286, [ugb@mail.ru](mailto:ugb@mail.ru) (Барабанщиков Юрий Германович, д.т.н., профессор)

3

+7 (931) 234 5003, [max-max1993@mail.ru](mailto:max-max1993@mail.ru) (Терновский Максимилиан Владимирович, бакалавр)

## 1. Введение

При строительстве высотных зданий большое значение приобретают свойства бетона монолитных железобетонных конструкций, определяющие его трещиностойкость. Высокие нагрузки [1-3], усугубляемые температурными и влажностными воздействиями вызывают значительные неравномерные деформации, которые могут привести к образованию трещин [4-5]. Для обеспечения целостности бетонного массива необходимо, чтобы возникающие деформации не превышали предельной растяжимости бетона [6-7]. Поэтому к монолитному бетону несущего каркаса высотных зданий предъявляются повышенные требования в отношении деформативных свойств – усадки, ползучести и др. [8-9]. В частности при строительстве башни «Исеть» многофункционального комплекса, расположенного в г. Екатеринбурге одним из важнейших требований к бетонам двух классов по прочности при сжатии: В60 (для колонн каркаса здания) и В35 (для стен и перекрытий), помимо обычных требований по прочности, морозостойкости (F100), водонепроницаемости (W12) были требования к предельной относительной деформации усадки бетона, и коэффициенту ползучести [10].

Коэффициент ползучести для бетона класса В60 был принят равным не более 1,4; для бетона В35 – не более 2,1. Предельная относительная деформация усадки бетона должна составлять не более 0,0002 в возрасте бетона 120 суток при температуре твердения  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $60\pm 5\%$ .

## 2. Состояние вопроса

Применение минеральных наполнителей для снижения ползучести и усадки хорошо известно [11]. Согласно работе [12], зола уноса может существенно уменьшить аутогенную усадку в раннем возрасте бетона, в то время как микрокремнезем вызывает увеличение аутогенной усадки. Влияние минеральных наполнителей связано с их количеством и тонкостью помола. Считается, что если удельная поверхность золы-уноса превышает  $4000\text{ см}^2/\text{г}$ , аутогенная усадка будет возрастать с увеличением количества добавки. Смесь золы-уноса и шлака значительно уменьшают аутогенную усадку и ползучесть бетона [13]. Усадка уменьшается с увеличением процента замещения цемента золой, но эффект не столь значителен, когда замещение выше 20 %. Шлак также уменьшает раннюю усадку обычного бетона, усадка уменьшается с увеличением замещения, но эффект не столь значителен, когда замещение составляет менее 20 %. Смесь золы-уноса и шлака дает более низкую усадку, чем зола [14]. Эффективной мерой борьбы с усадкой является поддержание твердеющего бетона во влажном состоянии, однако эта мера не всегда осуществима на практике и не исключает аутогенную усадку [15]. Минимизация аутогенной усадки при получении высокопрочных бетонов является важной задачей, которая решается применением низкотермичных белитовых цементов и противоусадочных или расширяющих добавок [16]. В настоящее время достаточно широко изучаются противоусадочные добавки [17]. В работе [18] рекомендуется для компенсации усадки применять наряду с противоусадочной добавкой расширяющий компонент. При этом эффективность компенсации усадки бетона, с точки зрения снижения риска трещинообразования, в основном зависит от правильного согласования между ростом прочности в раннем возрасте и скоростью расширения. Эффективность синергического действия противоусадочных и расширяющих добавок, по сравнению с индивидуальным использованием компонентов показана на примере самоуплотняющейся бетонной, имеющей высокую аутогенную усадку, характерную, как правило, для бетонов этого типа с низким В/Ц [19]. В работе [20] испытывались совместно два СНФ-суперпластификатора, один из которых являлся замедлителем схватывания, другой – подавителем воздухоовлечения. Применение этой смеси положительно сказалось не только на прочности, но и на усадке цементного камня, раствора и бетона. В работе [21] исследовалось влияние пластификаторов на основе нафталина, поликарбонатов, замедляющего компонента и противоусадочной добавки на ползучесть бетона. Результаты показали, что по сравнению с нафталин-пластификатором, поликарбонаты могут значительно уменьшить ползучесть бетона, противоусадочный компонент также уменьшает ползучесть. Включение замедлителя имеет негативное влияние на ползучесть.

## 3. Постановка задачи

Целью настоящей работы является разработка составов трещиностойких бетонов, удовлетворяющих указанным выше требованиям. Достижение заданных свойств бетона осуществляется применением в бетоне активных минеральных добавок (золы-уноса, микрокремнезема, метакаолинита), СНФ-суперпластификатора и противоусадочной добавки Estrifan Additive RCL. Одной из центральных

задач исследования является снижение усадки и ползучести бетона. Для приготовления бетонов использовались следующие материалы:

1. Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства ОАО «Сухоложскцемент»;
2. Песок из карьера Дергуновский с модулем крупности 2,45;
3. Щебень из карьеров Курманского и «Монетка» фракции 5-20 мм;
4. Добавки производства ОАО «МС Bauchemi Russia».

## 4. Результаты исследований

### 4.1. Воздушная усадка

Усадка определялась согласно ГОСТ 24544-81 «Методы определения деформаций усадки и ползучести» на образцах размерами 70x70x280 мм и 100x100x400 мм. Результаты испытания образцов приводились к базовым образцам с помощью масштабного коэффициента. Измерения усадки производились с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 1 мкм. Для определения влагопотерь производилось взвешивание образцов с точностью 0,1 г. Количество образцов на одно испытание – 3 шт. Изготовление образцов соответствовало требованиям ГОСТ 10180-90. Распалубка и установка образцов на измерение усадки производились через 1 сутки после изготовления. В процессе испытания образцы находились в климатической камере при температуре  $20 \pm 2$  °С и относительной влажности воздуха 60 %.

Воздушная усадка включает три составляющие [22]: влажностную усадку (за счет испарения воды); контракционную усадку (за счет уменьшения объема продуктов химических реакций по сравнению с объемом исходных веществ); карбонизационную усадку (за счет действия углекислоты воздуха).

Влажностная усадка зависит от внешних условий и способности бетона отдавать воду на испарение. Для оценки последнего обстоятельства в опытах замерялась потеря влаги.

Составы бетонов и их основные показатели приведены в таблице 1.

Таблица 1. Составы бетонов и их показатели

Наименование материала	Расходы материалов, кг/м <sup>3</sup>			
	B35-1	B60-1	B60-2	B60-3
Цемент	320	420	440	420
Зола-унос Рефтинской ГРЭС	32	63	66	63
Песок	818	792	760	791
Щебень 5-20 мм	1028	971	965	969
Вода (при сухих материалах)	180	180	185	180
Алюмосиликат Zentrilit NC	6,4	-		
Микрокремнезем (сухой)	-	21	22	21
Пластификатор Muraplast FK48	4,8	7,14	7,48	7,14
Замедлитель Retard 390	1,1	-	1,54	1,47
Удобоукладываемость, ОК, см	16	17	16	18
Сохраняемость удобоукладываемости при 20 °С, ч	2,5	1,0	2,5	2,5
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2390	2560	2445	2454
Предел прочности, МПа, через 7 суток	42,6	61,0	72,3	60,2
Предел прочности, МПа, через 28 суток	54,0	81,0	84,2	80,5

Результаты определения воздушной усадки приведены на рисунке 1, а потеря образцами влаги – на рисунке 2.

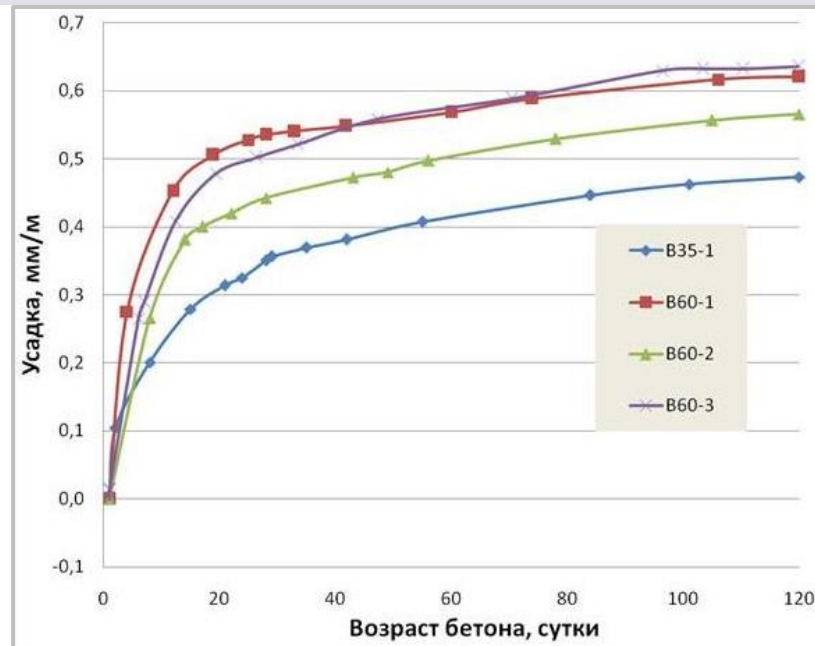


Рисунок 1. Усадка бетона в стандартных условиях

Наименьшей усадкой характеризуется бетон В35-1, несмотря на относительно высокую потерю влаги. Однако общее количество потерянной на испарение воды не является показательным, так как в это количество входит свободная вода, испаряющаяся в самом начале опыта и не вызывающая усадку бетона [23-25]. Действительно, участки кривых на рис. 2 после 15-20 суток твердения практически параллельны, т.е. скорость испарения влаги из образцов примерно одинакова.

Из составов бетона класса В60 наименьшую усадку имеет бетон В60-2. Усадка бетонов В60-1 и В60-3 – практически одинаковая, а потеря влаги у бетона В60-1 наименьшая, а у бетона В60-3 - наибольшая. То, что усадка бетонов В60 больше, чем бетона В35-1, можно объяснить более высоким расходом цемента ( $C=420$  и  $440$  против  $320$   $кг/м^3$ ). В отличие от литературных данных [12] нами не обнаружено существенного влияния золы-уноса на усадку бетона.

Значение усадки бетонов к 120-дневному возрасту составляет: В60-1 –  $0,620$ ; В60-2 –  $0,565$ ; В60-3 –  $0,640$ ; В35-1 –  $0,473$   $мм/м$ , что превышает значение  $0,2$   $мм/м$ , указанное в техническом задании. В то же время полученные значения характерны для обычных бетонов [11].

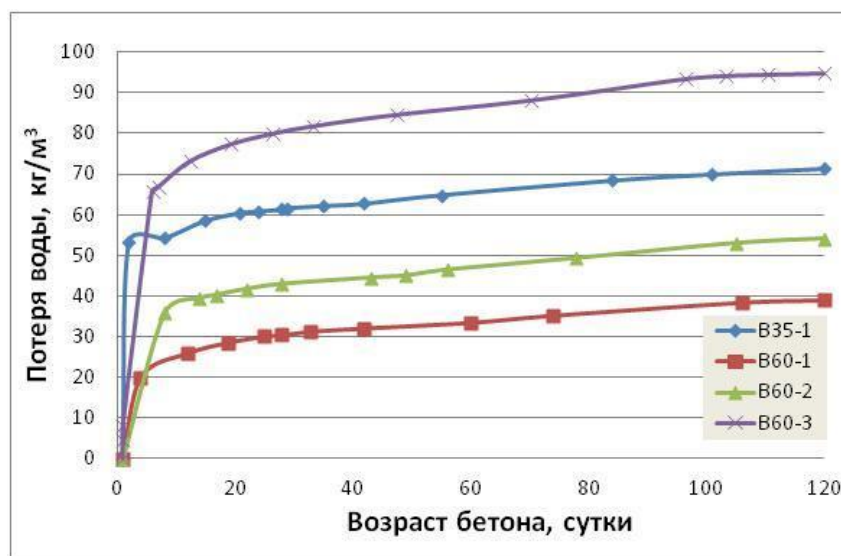


Рисунок 2. Потеря влаги бетоном в стандартных условиях ( $t=20$  °С;  $\phi=60\%$ )

Исследование возможности снижения усадки проводилось путем испытаний бетона, модифицированного противоусадочной добавкой Estrifan Additive RCL производства ОАО «МС-Вахемие».

Были испытаны образцы бетона трех составов. Результаты определения удобоукладываемости и прочности приведены в таблице 2.

Таблица 2. Составы бетонов класса В35

Наименование материала	Расходы материалов, кг/м <sup>3</sup>		
	В35-2	В35-3	В35-4
Цемент Сухой Лог линия №4	362	340	340
Песок Дергуновский М <sub>п</sub> = 2,88	452	450	450
Песок Подгоренский М <sub>п</sub> = 1,91	377	356	356
Щебень 5 - 10 мм, Монетка	361	366	366
Щебень 10 - 20 мм, Монетка	702	712	712
Вода	170	170	163
Микрокремнезем (сухой)	-	22,10	22,10
Суперпластификатор Muraplast FK48	5,43	9,52	9,52
Противоусадочная добавка Estrifan RCL	-	-	6,8
Удобоукладываемость, ОК, см	15,0	21,0	22,0
Распływ конуса, см	-	54x57	54x57
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2396	2410	2445
Предел прочности, МПа, через 1 сутки	15,7	14,7	17,0
Предел прочности, МПа, через 7 суток	35,5	32,8	38,5
Предел прочности, МПа, через 28 суток	46,0	44,9	49,6

Результаты определения усадки образцов размерами 70x70x280 мм с учетом масштабного коэффициента 0,9 приведены на рисунке 3.

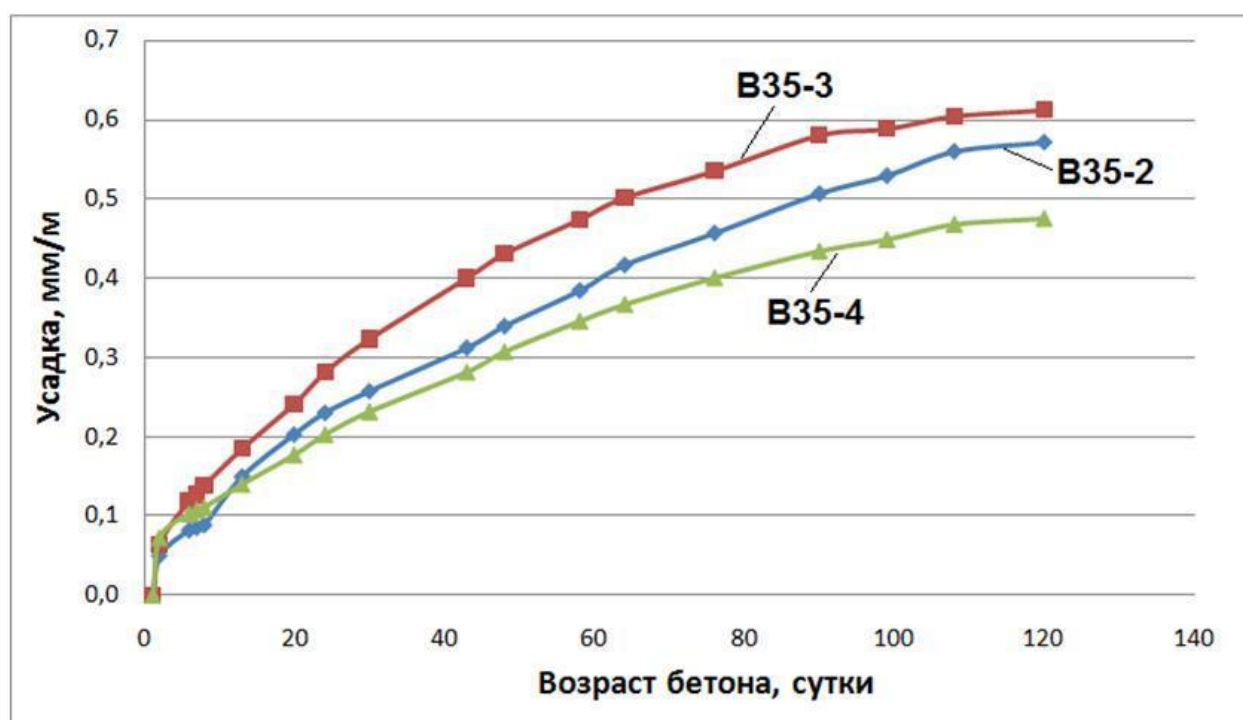


Рисунок 3. Влияние добавки Estrifan Additive RCL на усадку бетона

Полученные результаты показывают достаточно высокую эффективность противоусадочной добавки, что согласуется с данными других исследователей [17]. Замена 2 % воды в составе В35-3 на такое же количество жидкой добавки Estrifan Additive RCL (состав В35-4) позволило снизить усадку за 120 суток на 29 %. По приведенным данным можно судить также о влиянии суперпластификатора Muraplast FK48. По сравнению с контрольным составом В35-2, не содержащим микрокремнезема (МК) и с пониженным количеством пластификатора, состав В35-3, отличающийся содержанием МК в количестве 6,5 % от расхода цемента и содержанием пластификатора почти в 2 раза более высоким, имеет усадку примерно на 8 % больше контрольного состава. Это подтверждает другие наши данные о том, что в сочетании с портландцементом ЦЕМ I 42,5Н ОАО «Сухоложскцемент» микрокремнезем практически не влияет на усадку цементного камня, а суперпластификатор Muraplast FK48 ее увеличивает. Это не согласуется с данными работы [12], согласно которым микрокремнезем увеличивает усадку. На основании ряда произведенных замесов бетона с противоусадочной добавкой Estrifan Additive RCL отобрано три состава, удовлетворяющих поставленным требованиям за исключением усадки (таблица 3).

Таблица 3. Составы бетонов класса В35

Наименование материала	Расходы материалов, кг/м <sup>3</sup>		
	В35ПУ-1	В35ПУ-2	В35ПУ-3
Цемент Сухой Лог, линия №4	340	340	340
Песок Дергуновский М <sub>п</sub> = 2,88	450	-	-
Песок Дергуновский М <sub>п</sub> = 2,45	-	827	820
Песок Подгоренский М <sub>п</sub> = 1,91	356	-	
Щебень 5 - 10 мм, Монетка	366	356	354
Щебень 10 - 20 мм, Монетка	712	662	657
Вода	163	170	170
Микрокремнезем (сухой)	22,10	22,1	34
Пластификатор Muraplast FK48	9,52	9,69	9,52
Противоусадочная добавка Estrifan RCL	6,8	6,8	6,8
Удобоукладываемость ОК, см	22,0	22,0	20,0
Расплыв конуса, см	54x57	44	44
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2445	2412	2415
Предел прочности, МПа, через 7 суток	38,5	36,3	43,0
Предел прочности, МПа, через 28 суток	49,6	48,4	53,6

Относительная деформация усадки бетона В35ПУ-1 (В35-4) составила за 120 суток 0,475 мм/м, в то время как аналогичный состав В35-3 (без противоусадочной добавки) имеет усадку к тому же сроку 0,612 мм/м. По сравнению с составом В35-1 состав В35ПУ-1 не имеет преимуществ по той причине, что последний содержит большее количество цемента, которое необходимо, чтобы компенсировать снижение прочности вызываемое противоусадочной добавкой.

## 4.2. Тепловыделение бетона

На рисунке 4 приведены результаты определения тепловыделения бетона двух составов с противоусадочной добавкой В35ПУ-2 и В35ПУ-3 при изотермическом режиме твердения при температуре 20 °С. Для сравнения приведена кривая тепловыделения бетона В35-1 при тех же условиях.

Как видно, тепловыделение составов В35ПУ-2 и В35ПУ-3 практически одинаково, что объясняется малым отличием их составов – только количеством микрокремнезема.

В то же время, отличие тепловыделения бетонов с добавкой Estrifan Additive RCL от бетона без такой добавки очень существенное. Противоусадочная добавка снизила удельное тепловыделение цемента примерно на 30 %. Это согласуется со снижением прочности при введении добавки, однако, снижение прочности составляет только 6-7 %. Таким образом, добавка Estrifan Additive RCL может служить эффективным понизителем экзотермии цемента.

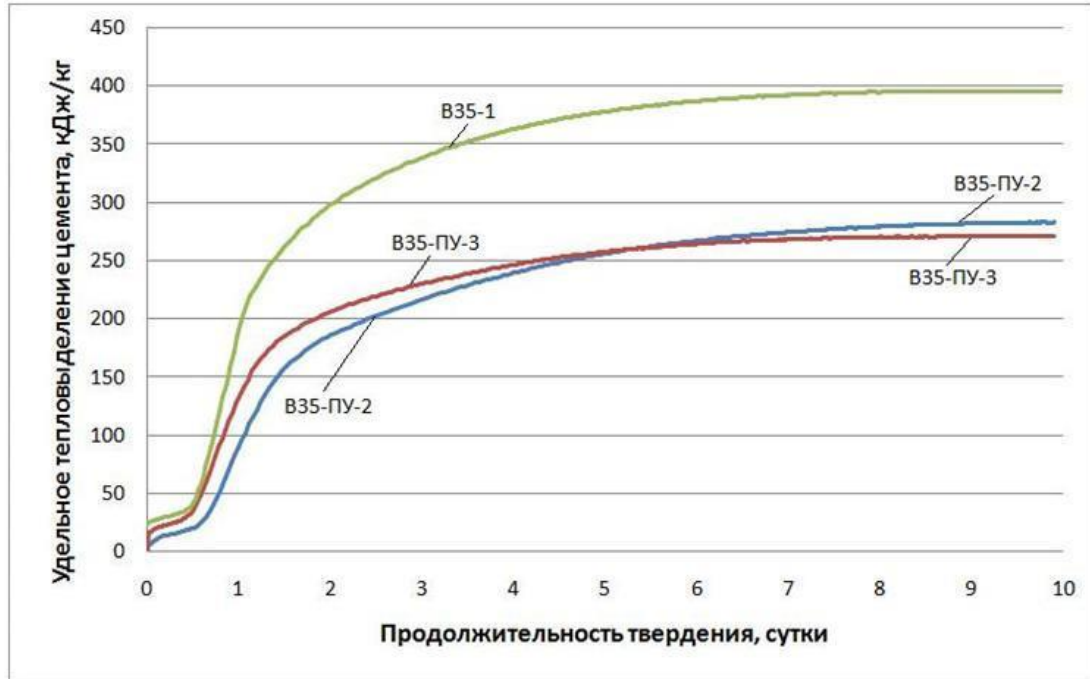


Рисунок 4. Влияние добавок на тепловыделение бетона класса В35

### 4.3. Ползучесть бетона

Испытания проводились согласно ГОСТ 24544-81. Пружинное испытательное устройство, схема которого приведена на рисунке 5, состоит из основания 1, стоек 2 и верхней траверсы 12, образующих жесткую замкнутую раму, внутри которой размещены три испытываемых образца 14, спиральные пружины 5, расположенные между промежуточными траверсами, и установлены переносной гидравлический домкрат 3 и динамометр 4 для измерения усилия. Промежуточные подвижные траверсы служат для передачи усилия от домкрата через пружины на образцы. С помощью гаек, поджимающих верхнюю траверсу, фиксируют колонну образцов до начала их загрузки. С помощью домкрата 3 создают сжатие предварительно протарированных четырех спиральных пружин и заданное напряжение в образцах, после чего положение нижней траверсы фиксируют гайками, а домкрат 3 и динамометр 4 освобождают.

Усилие на образцы передается через опорные плиты 6 со шлифованной поверхностью. Для получения осевого сжатия между плитами 6 имеются шаровые шарниры в виде стальных шариков 7, вложенных в специальные сферические углубления в плитах. Для фиксации шариков 7 в центральном положении служат пластины 8.

Измерение деформации образцов производится с помощью индикаторов МИГ-1, установленных на рамках 9. Цена деления индикаторов 1 мкм.

Образцы имели размеры 100×100×400 мм. Полученные значения ползучести, приводили к базовым образцам 150×150×600 мм путем умножения на масштабный коэффициент 0,9. Количество образцов на одно испытание – 3 шт.

Хранение образцов до загрузки постоянной нагрузкой – в камере нормального твердения (при  $t=20\pm 3$  °С,  $\phi\geq 96$  %).

Измерение деформации образцов производится с помощью индикаторов МИГ-1, установленных на рамках 9. Цена деления индикаторов 1 мкм.

Образцы имели размеры 100×100×400 мм. Полученные значения ползучести, приводили к базовым образцам 150×150×600 мм путем умножения на масштабный коэффициент 0,9. Количество образцов на одно испытание – 3 шт.

Хранение образцов до загрузки постоянной нагрузкой – в камере нормального твердения (при  $t=20\pm 3$  °С,  $\phi\geq 96$  %).

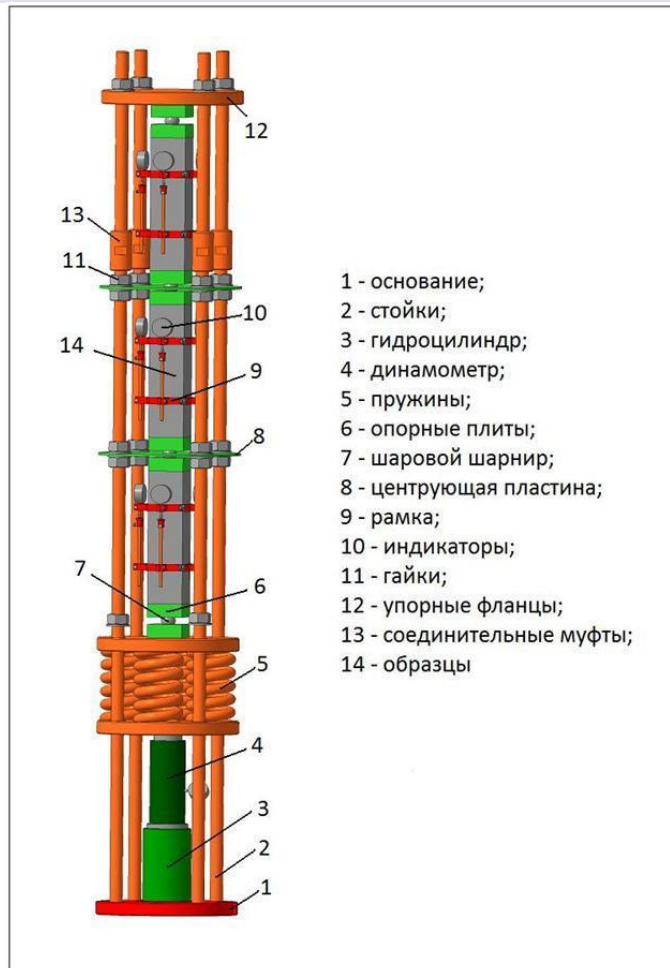


Рисунок 5. Экспериментальная установка для определения деформаций ползучести бетона

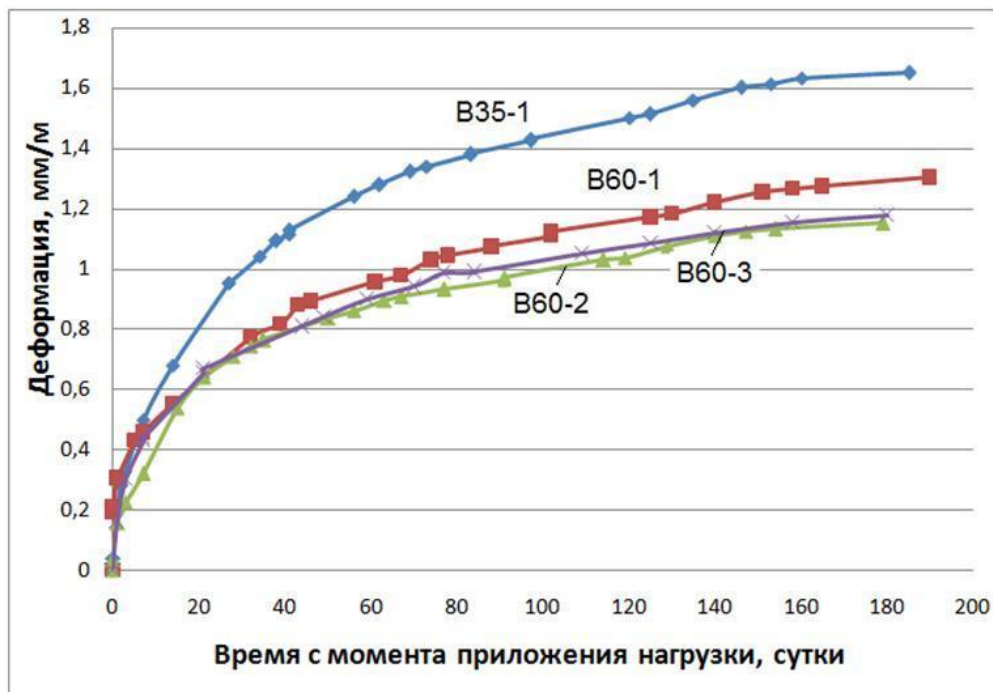


Рисунок 6. Деформация ползучести бетонов



Для бетона В60-2 деформация ползучести за контрольный срок составила  $\varepsilon_n=0,913 \cdot 0,9=0,822$  мм/м. Модуль упругости бетона составлял  $E=23188$  МПа. При уровне напряжения  $\sigma_n=16$  МПа, упругая деформация  $\varepsilon_y$  составила:

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_n}{E} = \frac{16}{23188} = 0,000686 = 0,686 \text{ мм / м.}$$

Коэффициент ползучести для срока 180 суток составляет:

$$K_{пз} = \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_y} = \frac{0,822}{0,686} = 1,20.$$

Значение коэффициента ползучести не превышает требуемого по проекту, равного 1,4. Также удовлетворяет требованиям по ползучести бетон класса В35 с  $K_{пз}=2,0$ . Составы В60-1 и В60-2 имеют коэффициенты ползучести, превышающие нормативное значение. Деформации ползучести бетона В60-3 практически такие же, как у бетона В60-2, однако, модуль упругости выше, и поэтому выше коэффициент ползучести, который составил 1,45. Низкая деформация ползучести составов В60, по сравнению с составом В35-1, отличающимся значительно меньшим расходом цемента, возможно объясняется повышенным количеством золы-унос [26]. По данным работы [21] противоусадочные добавки снижают ползучесть бетона, поэтому можно ожидать еще меньшей ползучести бетона, модифицированного добавкой Estrifan Additive RCL.

## 5. Заключение

По совокупности проведенных испытаний можно считать главной особенностью бетона на портландцементе ОАО «Суходолжскцемент» его высокую деформируемость. Повышенная ползучесть и пониженный модуль упругости являются благоприятными факторами с точки зрения термической трещиностойкости бетона. Однако, в связи с высокой деформативной способностью бетона требование по ограничению усадочных деформаций выполнить на данном цементе не удалось. Применение противоусадочной добавки Estrifan Additive RCL оказалось недостаточно эффективным, хотя снижение усадки составило 29 %. Установлено, что противоусадочная добавка Estrifan Additive RCL резко снижает удельное тепловыделение цемента. Это согласуется со снижением прочности, однако, снижение прочности составляет только 6-7 %, а то время, как тепловыделение снижается примерно на 30 %. Таким образом, эта добавка может служить эффективным понизителем экзотермии цемента. Выполнение требований по ползучести бетона удалось достигнуть путем введения микронаполнителей – золы уноса и микрокремнезема. Бетон состава В60-2, содержащий наибольшее количество минеральных порошков удовлетворяет требованиям по ползучести с запасом в 15 %. Полученные данные показывают, что с повышением содержания порошкообразных минеральных наполнителей, несколько снижаются деформации ползучести и усадки. В то же время бетон класса В35, с двукратно меньшим содержанием золы уноса и при отсутствии микрокремнезема показал значительно меньшую усадку – на 28 % ниже, чем в среднем бетоны класса В60. Это обстоятельство можно объяснить более высоким расходом цемента ( $C=420$  и  $440$  против  $320$  кг/м<sup>3</sup>).

Таким образом, при значительном числе требований к бетону, которое имеет место в случае монолитных конструкций высотных зданий, не всегда удается удовлетворить всем требованиям на произвольно выбранном цементе. В таких случаях требуется целенаправленный выбор типа и класса цемента независимо от экономических соображений.

## Литература

1. Люблинский В.А., Ильчук А.М. Ветровая нагрузка на несущие системы многоэтажных зданий // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2010. Т. 2. С. 224-228.
2. Ветровая нагрузка на высотное здание / Горохов Е.В., Кузнецов С.Г., Васылев В.Н., Лозинский Э.А., Дроздов А.А. // Металлические конструкции. 2011. Т. 17. № 4. С. 225-235.
3. Кишиневская Е.В., Ватин Н.И., Кузнецов В.Д. Перспективы применения нанобетона в монолитных большепролетных ребристых перекрытиях с постнапряжением // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 2. С. 54-58.
4. Crack propagation in concrete with silica particles (2014) / Sprince A., Fischer G., Pakrastinsh L., Korjakins A. Advanced Materials Research. Issue 842. 2014. Pp. 470-476.
5. Ватин Н.И., Орлов Д.В. Предельная работа разрушения образца из легкого наномодифицированного бетона // XXXVIII Неделя науки СПбГПУ. Материалы международной научно-практической конференции. 2009. С. 241-243.
6. Барабанщиков Ю.Г., Семенов К.В., Шевелев М.В. Термическая трещиностойкость бетона фундаментных плит // Популярное бетоноведение. № 1(27). 2009. С. 70-76.
7. Барабанщиков Ю.Г., Семенов К.В. Термонапряженное состояние бетона и обеспечение его термической трещиностойкости // Популярное бетоноведение. № 1/2 (38), 2011. С. 70-73.
8. Шумейко В.И., Кудинов О.А. Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 27. № 4. С. 281.
9. Sprince A., Pakrastinsh L., Korjakins A. (2011). Experimental study on creep of new concrete mixtures. Civil Engineering '11 - 3rd International Scientific Conference, Proceedings, 3. 2011. Pp. 20-26.
10. Барабанщиков Ю.Г., Павлов А.Ю. Вопросы проектирования состава бетона для высотных зданий на примере делового бизнес-центра «Екатеринбург-Сити» // XLI неделя науки СПбГПУ: Материалы научно-практической конференции с международным участием. Ч. I. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. С. 396-397.
11. Котов Д.С. Деформации усадки бетона, модифицированного химическими и тонкодисперсными минеральными наполнителями // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 7. С. 11-21.
12. Xie L. (2014) Influence of mineral admixtures on early-age autogenous shrinkage of high-performance concrete. Applied Mechanics and Materials. Vol. 457-458. 2014. Pp. 318-322.
13. He, Z., Qian, C., Gao, X. (2012) The autogenous shrinkage and creep characteristics of concrete with modified admixtures. Advanced Science Letters. Vol. 12. Pp. 402-406.
14. Influence of mineral admixtures on early shrinkage of ordinary concrete (2012) / Zhang L., Lai J., Qian X., Hu D. Advanced Materials Research. Vol. 450-451. 2012. Pp. 135-139.
15. Ерышев В.А., Латышева Е.В., Бондаренко А.С. Усадочные деформации в бетонных и железобетонных элементах. // Известия казанского государственного архитектурно-строительного университета. № 4. 2012. С. 97-101.
16. Tanimura M., Maruyama I., Sato R. (2009) Autogenous deformation and resultant induced stress in low-shrinkage high-strength concrete. Proceedings of the 8th Int. Conference on Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Concrete Structures. Vol. 2. 2009. Pp. 855-862.
17. The risk of cracking of fine hydraulic mixtures (2003) / Lecomte A., Vulcano-Greullet N., Steichen C., Scharfe G. Cement and Concrete Research. Vol. 33. Issue 12. 2003. Pp. 1983-1997.
18. Parameters influencing the performance of shrinkage-compensating concrete (2012) / Corcella C.M., Cereda C., Tavano S., Canonico F., Gastaldi D. American Concrete Institute, ACI Special Publication. Is. 289 SP, 2012. Pp. 43-57.
19. José Oliveira M., Ribeiro A.B., Branco F.G. (2014) Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to control autogenous shrinkage in self-compacting concrete. Construction and Building Materials. Vol. 52. 2014. Pp. 267-275.

20. Wang Y., Yan H. (2012) Effect of naphthalene compounded superplasticizer on strength and shrinkage of ready-mixed concrete. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 174-177. 2012. Pp. 488-495.
21. Influence regularities of chemical admixtures on creep (2013) / Zhang Y., Qian C.-X., Zhao F., He Z.-H., Qu J., Guo J.-Q., Danzinger M. Gongneng C. *Journal of Functional Materials*. Vol. 44, Issue 11. 2013. Pp. 1620-1623.
22. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2007. 528 с.
23. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести. М.: Стройиздат, 1973. 432 с.
24. Effect of the water saturation of aggregates on the shrinkage induced cracking risk of concrete at early age (2014) / Cortas R., Rozière E., Staquet S., Loukili A., Delplancke-Ogletree M.-P. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 50. 2014. Pp. 1-9.
25. Tam C.M., Tam V.W.Y., Ng K.M. (2012) Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong. *Construction and Building Materials*. Vol. 26. Issue 1. 2012. Pp. 79-89.
26. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 4. С. 16-21.

## Concrete with the lowered shrinkage and creep

Yu.G. Barabanshchikov<sup>1</sup>, A.A. Arkharova<sup>2</sup>, M.V. Ternovskii<sup>3</sup>

Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

### ARTICLE INFO

Original research article

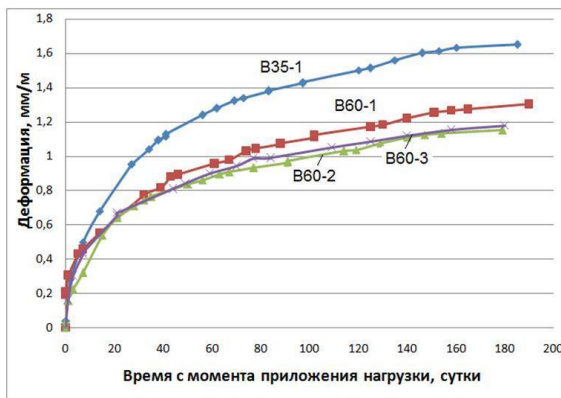
### Article history

Received 24 May 2014  
Accepted 2 July 2014

### Keywords

concrete,  
extender,  
additive,  
testing,  
durability,  
creep,  
shrinkage,  
heat

### ABSTRACT



The properties of monolithic structures concrete that determine its fracture durability take on special significance in high-rise building. This paper presents the results of designing the concrete with the specified limit values of shrinkage and creep deformation. Achieving the desired properties and the selection was carried out using concrete active mineral admixtures (fly ash, silica fume, metakaolinite), SNF - superplasticizer and anti-shrinkage additives Estrifan Additive RCL. Application of anti-shrinkage additives allowed reducing air shrinkage by 29%. In addition, it was found that the anti-shrinkage additive Estrifan Additive RCL dramatically reduces heat cement. This is consistent with the decrease in strength caused by the additive, however, a decrease in strength by only 6-7 %, and while heat is reduced by about 30 %.

Performance of stringent requirements to concrete creep has been achieved by the introduction of mineral fillers - fly ash and silica fume. Shrinkage and creep deformation are reduced when content of powdered mineral fillers is increased.

<sup>2</sup> Corresponding author:  
+7 (921) 896 4407, arkhova93@bk.ru (Anna Andreevna Arkharova, B.Sc.)  
<sup>1</sup> +7 (812) 534 1286, ugb@mail.ru (Yuri Germanovich Barabanshchikov D. Sc., Professor)  
<sup>3</sup> +7 (931) 234 5003, max-max1993@mail.ru (Maksimilian Vladimirovich Ternovskii, B.Sc.)

## References

1. Lyublinskiy V.A., Ilchuk A.M. (2010) *Vetrovaya nagruzka na nesushchiye sistemy mnogoetazhnykh zdaniy* [Wind load on the supporting system of multi-storey buildings]. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i inzhenernyye nauki*. 2010. Vol. 2. Pp. 224-228. (rus)
2. *Vetrovaya nagruzka na vysotnoye zdaniye* [Wind load on high-rise building] (2011) / Gorokhov Ye.V., Kuznetsov S.G., Vasylev V.N., Lozinskiy E.A., Drozdov A.A. *Metallicheskiye konstruksii*. 2011. Vol. 17. Issue 4. Pp. 225-235. (rus)
3. *Perspektivy primeneniya nanobetona v monolitnykh bolsheproletnykh rebristykh perekrytiyakh s postnapryazheniyem* [Nanoconcrete application prospects in monolithic slabs with ribbed span poststressing] / Kishinevskaya Ye.V., Vatin N.I., Kuznetsov V.D. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. Issue 2. Pp. 54-58. (rus)
4. Crack propagation in concrete with silica particles (2014) / Sprince A., Fischer G., Pakrastinsh L., Korjakins A. *Advanced Materials Research*. Issue 842. 2014. Pp. 470-476.
5. Vatin N.I., Orlov D.V. (2009) *Predelnaya rabota razrusheniya obraztsa iz legkogo nanomodifitsirovannogo betona* [Limiting work sample destruction of lung nanomodified concrete]. *XXXVIII Nedelya nauki SPBGPU. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2009. Pp. 241-243. (rus)
6. Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V., Shevelev M.V. (2009) *Termicheskaya treshchinostoykost betona fundamentnykh plit* [Maintenance of thermal cracking resistance in massive concrete base slabs] // *Populyarnoye betonovedeniye*. Vol. 27. Issue 1. 2009. Pp. 70-76. (rus)
7. Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V. (2011) *Termonapryazhennoye sostoyaniye betona i obespecheniye yego termicheskoy treshchinostoykosti* [Thermo-stressed concrete state and ensuring its thermal crack resistance]. *Populyarnoye betonovedeniye*. Vol. 38. Issue 1. 2011. Pp. 70-73. (rus)
8. Shumeyko V.I., Kudinov O.A. (2013) *Ob osobennostyakh proyektirovaniya unikalnykh, bolsheproletnykh i vysotnykh zdaniy i sooruzheniy* [On the design features a unique, long-span and high-rise buildings and structures]. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2013. Vol. 27. Issue 4. Pp. 281. (rus)
9. Sprince A., Pakrastinsh L., Korjakins A. (2011) Experimental study on creep of new concrete mixtures. *Civil Engineering '11 - 3rd International Scientific Conference, Proceedings*. Vol. 3. 2011. Pp. 20-26.
10. Barabanshchikov Yu.G., Pavlov A.Yu. *Voprosy proyektirovaniya sostava betona dlya vysotnykh zdaniy na primere delovogo biznes-tsentra «Yekaterinburg-Siti»* [Questions design of concrete for high-rise buildings on the example of the business of the business center "Yekaterinburg-City"]. *XLI nedelya nauki SPbGPU: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Ch. I. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta*, 2012. Pp. 396-397. (rus)
11. Kotov D.S. *Deformatsii usadki betona, modifitsirovannogo khimicheskimi i tonkodispersnymi mineralnymi napolnitelyami* [Deformation of concrete shrinkage modified by fine chemical and mineral fillers]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2009. Issue 7. Pp. 11-21. (rus)
12. Xie L. (2014) Influence of mineral admixtures on early-age autogenous shrinkage of high-performance concrete. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 457-458. 2014. Pp. 318-322.
13. He, Z., Qian, C., Gao, X. (2012) The autogenous shrinkage and creep characteristics of concrete with modified admixtures. *Advanced Science Letters*. Vol. 12. Pp. 402-406.
14. Influence of mineral admixtures on early shrinkage of ordinary concrete (2012) / Zhang L., Lai J., Qian X., Hu D. *Advanced Materials Research*. Vol. 450-451. 2012. Pp. 135-139.
15. Yeryshev V.A., Latysheva Ye.V., Bondarenko A.S. *Usadochnyye deformatsii v betonnykh i zhelezobetonnykh elementakh* [Shrinkage in concrete and reinforced concrete elements]. *Izvestiya kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2012. Issue 4. Pp. 97-101. (rus)
16. Tanimura M., Maruyama I., Sato R. (2009) Autogenous deformation and resultant induced stress in low-shrinkage high-strength concrete. *Proceedings of the 8th Int. Conference on Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Concrete Structures*. Vol. 2. 2009. Pp. 855-862.
17. The risk of cracking of fine hydraulic mixtures (2003) / Lecomte A., Vulcano-Greullet N., Steichen C., Scharfe G. *Cement and Concrete Research*. Vol. 33. Issue 12. 2003. Pp. 1983-1997.
18. Parameters influencing the performance of shrinkage-compensating concrete (2012) / Corcella C.M., Cereda C., Tavano S., Canonico F., Gastaldi D. *American Concrete Institute, ACI Special Publication*. Is. 289 SP, 2012. Pp. 43-57.

19. José Oliveira M., Ribeiro A.B., Branco F.G. (2014) Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to control autogenous shrinkage in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 52. 2014. Pp. 267-275.
20. Wang Y., Yan H. (2012) Effect of naphthalene compounded superplasticizer on strength and shrinkage of ready-mixed concrete. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 174-177. 2012. Pp. 488-495.
21. Influence regularities of chemical admixtures on creep (2013) / Zhang Y., Qian C.-X., Zhao F., He Z.-H., Qu J., Guo J.-Q., Danzinger M. Gongneng C. *Journal of Functional Materials*. Vol. 44, Issue 11. 2013. Pp. 1620-1623.
22. Bazhenov Yu.M. (2007) *Tekhnologiya betona*. [Concrete Technology] M.: Izd-vo ASV, 2007. 528 p. (rus)
23. Aleksandrovskiy S.V. (1973) *Raschet betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy na izmeneniya temperatury i vlazhnosti s uchetom polzuchesti*. [Calculation of concrete and reinforced concrete structures to changes in temperature and humidity into account creep] M.: Stroyizdat, 1973. 432 p. (rus)
24. Effect of the water saturation of aggregates on the shrinkage induced cracking risk of concrete at early age (2014) / Cortas R., Rozière E., Staquet S., Loukili A., Delplancke-Ogletree M.-P. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 50. 2014. Pp. 1-9.
25. Tam C.M., Tam V.W.Y., Ng K.M. (2012) Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong. *Construction and Building Materials*. Vol. 26. Issue 1. 2012. Pp. 79-89.
26. *Primeneniye zol i zoloshlakovykh otkhodov v stroitelstve* (2011) [Use of ashes and ash-slad wastes in construction] / Vatin N.I., Petrosov D.V., Kalachev A.I., Lakhtinen P. // *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2011. Issue 4. Pp. 16-21. (rus)