

Для цитирования: Жильникова Т.Н., Корянова Ю.И., Несветаев Г.В. Влияние продолжительности твердения на деформационно-прочностные показатели бетонов для инъектирования с двухстадийным расширением при твердении в воде. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44(4):141-150. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-141-150

For citation: Zhil'nikova T.N., Koryanova Yu.I., Nesvetaev G.V. Effect of hardening time on deformation-strength indicators of concrete for injection with a two-stage expansion during hardening in water. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44(4):141-150 (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-141-150

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.335/ 691.542

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-141-150

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ТВЕРДЕНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕТОНОВ ДЛЯ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ С ДВУХСТАДИЙНЫМ РАСШИРЕНИЕМ ПРИ ТВЕРДЕНИИ В ВОДЕ

Жильникова Т.Н.¹, Корянова Ю.И.², Несветаев Г.В.³

¹⁻³ Донской государственный технический университет,

¹⁻³ 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д.1, Россия,

¹ e-mail: zhilnikova.tatjana@yandex.ru, ² e-mail: koryanova.yi@mail.ru,

³ e-mail: nesgrin@yandex.ru,

Резюме. Цель. Бетоны для инъектирования с двухстадийным расширением являются разновидностью напрягающих бетонов, получаемых с использованием напрягающего цемента. Целью исследования является изучение влияния продолжительности выдерживания на пористость, прочность и самонапряжение твердеющих в воде бетонов в зависимости от величины расширения в первой стадии. В первой стадии происходит расширение уплотненной бетонной смеси, обеспечивающее полное заполнение опалубочного пространства. Во второй стадии происходит расширение твердеющего бетона вследствие образования повышенного количества этtringита. Этот процесс продолжителен во времени, а величина самонапряжения и прочности зависит от условий твердения. **Метод.** Экспериментальная оценка самонапряжения, прочности и пористости бетонов, длительно твердеющих в воде, воздушно-влажных и воздушно-сухих условиях после различной величины расширения в первой стадии. Самонапряжение цементного камня является результатом наложения двух процессов: упрочнения структуры за счет гидратации силикатов и расширения в результате гидратации алюминатов кальция с последующим образованием этtringита. Величина самонапряжения определяется соотношением этих двух процессов. Самонапряжение цементного камня изменяется аналогично изменению его расширения. Стабилизация расширения сопровождается стабилизацией самонапряжения цементного камня. **Результат.** Выявлена взаимосвязь самонапряжения, прочности и пористости бетонов для инъектирования с двухстадийным расширением от продолжительности и влажностных условий твердения с учетом условий ограничения деформаций в первой стадии. **Вывод.** При длительном твердении в водной среде наблюдается снижение показателей самонапряжения до 25% при исключении расширения в первой стадии и до 20% при увеличении объема до 5% в первой стадии. Увеличение прочности на сжатие составляет до 28% относительно 28-суточной.

Ключевые слова: напрягающий бетон, бетоны для инъектирования, двухстадийное расширение, водное выдерживание, деформационно-прочностные показатели, продолжительность твердения, напрягающий цемент, деформации расширения, самонапряжение, прочность, пористость

TECHNICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

EFFECT OF HARDENING TIME ON DEFORMATION-STRENGTH INDICATORS
OF CONCRETE FOR INJECTION WITH A TWO-STAGE EXPANSION DURING
HARDENING IN WATER

Tatjana N. Zhilnikova¹, Yulia I. Koryanova², Grigory V. Nesvetaev³

¹⁻³ Don State Technical University,

¹⁻³ 1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344000, Russia,

¹ e-mail: zhilnikova.tatjana@yandex.ru, ² e-mail: koryanova.yi@mail.ru,

³ e-mail: nesvetaev@yandex.ru

Abstract. Objectives Concretes for injection with a two-stage expansion are a kind of self-stressing concrete obtained with the use of self-stressing cement. The aim of the work is to study the influence of the duration of aging on the porosity, strength and self-stress of concrete hardening in water, depending on the expansion value at the first stage. At the first stage, the compacted concrete mixture is expanded to ensure complete filling of the formwork space. At the second stage, the hardening concrete expands due to the formation of an increased amount of ettringite. This process is prolonged in time, with the amount of self-stress and strength dependant on the conditions of hardening. **Methods** Experimental evaluation of self-stress, strength and porosity of concretes that are permanently hardened in water, under air-moist and air-dry conditions after different expansion at the first stage. The self-stress of cement stone is the result of superposition of two processes: the hardening of the structure due to hydration of silicates and its expansion as a result of hydration of calcium aluminates with the subsequent formation of ettringite. The magnitude of self-stress is determined by the ratio of these two processes. The self-stress of the cement stone changes in a manner similar to the change in its expansion. The stabilisation of expansion is accompanied by stabilisation of self-stress of cement stone. **Results** The relationship of self-stress, strength and porosity of concrete for injection with a two-stage expansion on the duration and humidity conditions of hardening, taking into account the conditions of deformation limitation at the first stage, is revealed. **Conclusion** During prolonged hardening in an aqueous medium, self-stresses are reduced up to 25% with the exception of expansion at the first stage and up to 20% with an increase in volume up to 5% at the first stage. The increase in compressive strength is up to 28% relative to the 28-day period.

Keywords: self-stressing concrete, injectable concrete, two-stage expansion, water aging, deformation-strength characteristics, hardening time, self-stressing cement, expansion deformations, self-stress, strength, porosity

Введение. Бетоны для инъектирования с двухстадийным расширением являются разновидностью напрягающих бетонов (НБ), получаемых с использованием напрягающего цемента (НЦ). Согласно [1], влияние условий твердения на кинетику связывания гипса и воды, изменение микроструктуры и фазовые превращения в цементном камне НЦ при трех режимах твердения: воздушно-сухом, воздушно-влажном и водном, проявляется в том, что при прочих равных условиях расширение твердеющих цементов увеличивается с увеличением содержания связанной воды и количества образовавшегося этtringита.

Так, образцы водного твердения содержат максимальное количество связанной воды и этtringита в связи с более полной гидратацией и в силу этого характеризуются самым высоким расширением. При этом в поздние сроки гидратации отмечается переход этtringита в низкосульфатную форму, что связано с наличием свободных алюминатов, оставшихся после связывания гипса [1]. При хранении в воздушно-сухой среде отмечается значительно меньшее содержание связанной воды и этtringита и, соответственно, меньшее расширение. Недостаток

воды приводит к замедлению гидратации, особенно после 14 суток и сопровождается уменьшением расширения. Образцы воздушно-влажного твердения занимают по всем указанным показателям промежуточное положение [1].

Постановка задачи. Как известно, процессы роста собственных деформаций НЦ в водной среде и роста прочности цементного камня за счет гидратации цемента являются продолжительными во времени, при этом процесс расширения можно разделить на три этапа: на первом этапе расширение незначительно или совсем не фиксируется; второй этап – период активного развития деформаций происходит от 1 до 3 сут. твердения (для некоторых цементов до 7 сут. твердения); третий этап характеризуется незначительным изменением показателя расширения. В этот период происходит стабилизация деформаций цементного камня и повышение его прочности [2-9].

Расширение НЦ обычно стабилизируется к 7-14 сут. При этом величина расширения и сроки его стабилизации зависят от химико-минералогического состава клинкера, общего содержания и соотношения оксидов Al_2O_3/SO_3 , минералогического состава расширяющей добавки (РД), ее количества в составе НЦ, тонкости помола клинкерной части и РД, условий твердения [2-9].

Максимальное расширение отмечается при твердении в воде. При этом стабилизация расширения обычно наблюдается к 7 сут. твердения, но НЦ с высокой энергетической активностью может расширяться в течение более длительного времени, в т.ч. вплоть до саморазрушения при неограниченном развитии деформаций.

В последующие сроки в зависимости от условий твердения расширение не изменяется, либо несколько уменьшается. При твердении в условиях герметизации, стабилизация обычно наступает к 7 сут., и до 28 суток объем бетона практически остается постоянным. К 6 мес. возможно снижение расширения примерно на треть от 7-суточного значения. При хранении в воздушно-влажностных условиях расширение обычно наблюдается до 7 сут., затем до 28 суток остается относительно постоянным. В дальнейшем развивается усадка [10].

Методы исследования. Самонапряжение цементного камня является результатом наложения двух процессов: упрочнения структуры за счет гидратации силикатов и расширения в результате гидратации алюминатов кальция с последующим образованием этtringита. Величина самонапряжения определяется соотношением этих двух процессов. Самонапряжение цементного камня изменяется аналогично изменению его расширения. Стабилизация расширения сопровождается стабилизацией самонапряжения цементного камня [2-9].

При водном твердении рост самонапряжения наблюдается в основном до 7 сут, а затем оно изменяется незначительно. Воздушно-сухое хранение образцов обычно сопровождается некоторым снижением самонапряжения после достижения максимума в 3-суточном возрасте.

При твердении бетона в воздушно-влажностных условиях и в условиях герметизации образцов возможен рост самонапряжения до 7 сут., в последующие сроки твердения до 28 сут. его величина не изменяется, а к 6 мес. самонапряжение снижается, но в целом структура бетона остается напряженной [10]. Испытание НЦ в условиях ограничения его расширения показали, что в этом случае его прочность находится на уровне прочности исходного портландцемента и даже превосходит ее [10].

На рис. 1 представлены результаты измерения самонапряжения НБ в зависимости от продолжительности твердения в воде и условий ограничения деформаций в первой стадии.

Очевидно, что при одинаковой величине самонапряжения в 28 сут (проектный возраст), дальнейшее развитие самонапряжения при твердении в воде зависит от условий ограничения деформаций в первой стадии.

При отсутствии расширения в первой стадии (1) после проектного возраста происходит снижение величины самонапряжения на 60 и 90 сут. твердения до 20 и 25% соответственно.

При увеличении объема до 5% в первой стадии при длительном твердении в воде снижение самонапряжения начинается только после 60 суток твердения и к 90 суткам составляет 20%.

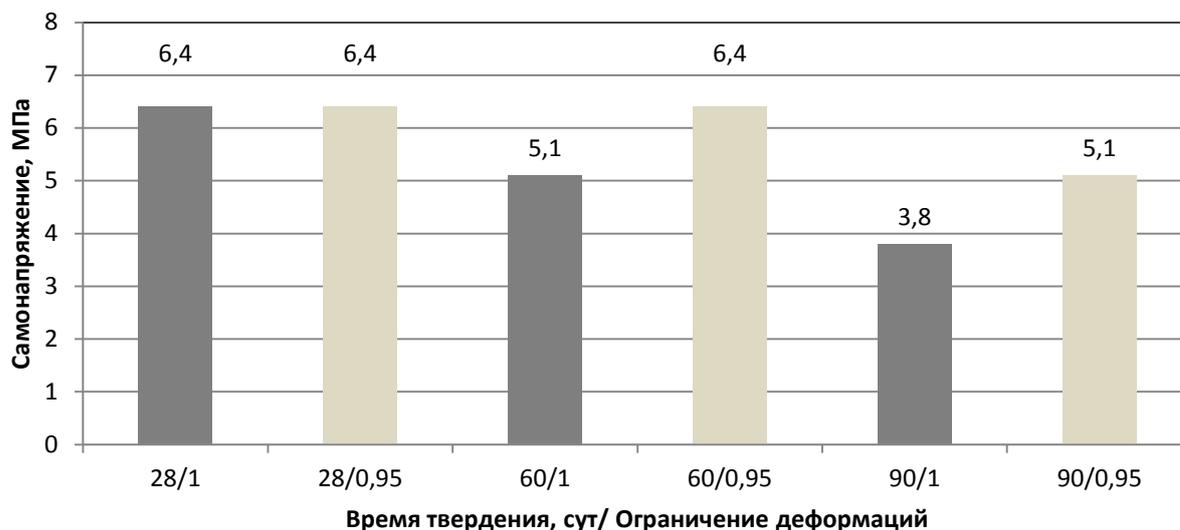


Рис.1. Самонапряжение напрягающих бетонов с двухстадийным расширением:

28, 60, 90 – продолжительность твердения в водной среде, сут.; 1 – отсутствует расширение в первой стадии; 0,95 – увеличение объема в первой стадии до 5%

Fig.1. Self-stressing expansive concrete with two-stage extension:

28, 60, 90 - continuity of hardening in an aqueous medium, day; 1 - there is no expansion in the first stage; 0,95 - increase in volume in the first stage to 5%

Самонапряжение цементного камня или бетона S_p часто представляют в виде зависимости от его прочности R , например, [10]:

$$S_p = \frac{1,26 \cdot R^2}{1000} \quad (1)$$

или, с учетом энергетической активности НЦ, $S_{p,Ц}$ [11]

$$S_p = (0,75 \cdot R - 2,65) \cdot S_{p,Ц} \quad (2)$$

Формула (1) учитывает только предел прочности бетона. Очевидно, что величина самонапряжения бетона будет определяться, как расходом НЦ, так и его энергетической активностью (маркой по самонапряжению).

Используя, например, известную формулу для прочности бетона Баженова Ю.М. – Скрамтаева Б.Г. [12] и формулу Михайлова В.В. для самонапряжения бетона [12], получим зависимость, устанавливающую связь между самонапряжением бетона $S_{p,В}$, маркой цемента по самонапряжению $S_{p,Ц}$, пределом прочности бетона на сжатие R , активностью цемента по ГОСТ 310.4 $R_{Ц}$, коэффициентом, учитывающим качество заполнителей a , и водосодержанием бетонной смеси B :

$$S_{p,В} = \sqrt{\frac{\left(\frac{R}{a \cdot R_{Ц}} - 0,5\right) \cdot B \cdot S_{p,Ц}^2 - 450}{550}} \quad (3)$$

На рис. 2 представлены данные о самонапряжения НБ в зависимости от продолжительности твердения и условий развития деформаций в первой стадии.

Очевидно, что более достоверное расчетное значение самонапряжения в проектном возрасте на стадии проектирования состава напрягающего бетона можно получить, используя (3), учитывающую максимальное количество факторов, определяющих величину самонапряжения НБ.

Для расчета самонапряжения в стадии эксплуатации с учетом потерь необходимо установить влияние условий эксплуатации (влажность, температура, время) на потери самонапряжения.

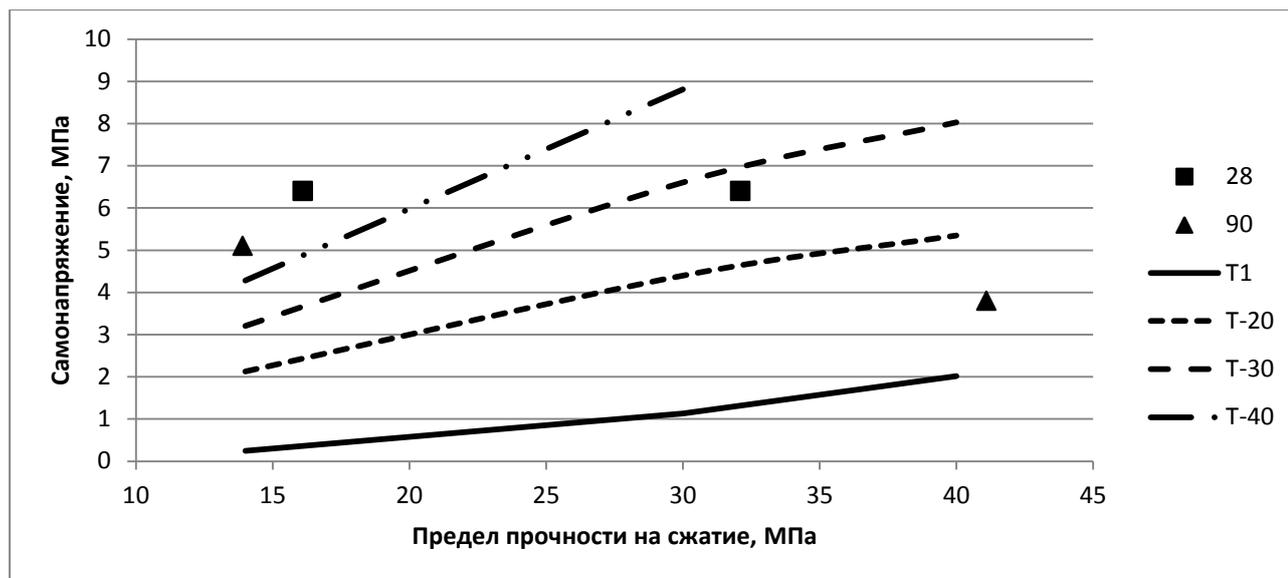


Рис. 2. Самонапряжение напрягающих бетонов с двухстадийным расширением: 28, 90 – продолжительность твердения в водной среде, сут.; T-1 по ф.(1); T-20 – по ф.(3), НЦ-20; T-30 – по ф. (3), НЦ-30

Fig. 2. Self-stressing expansive concrete with two-stage extension: 28, 90 - duration of hardening in the aquatic environment, day; T-1 according to (1); T-20 - according to (3), NC-20; T-30 - on the f. (3), NC-30

В зависимости от условий эксплуатации остаточное самонапряжение обычно составляет от 25 до 50% от проектного [2-9, 13-17].

Обсуждение результатов. Как известно, в формировании прочности цементного камня НЦ можно выделить три характерных периода:

1. Обычно до 3 сут. твердения, характеризующийся ускоренным ростом прочности;
2. От 3 до 7 сут. характеризуется, как правило, замедлением, иногда существенным, роста прочности вследствие интенсивного расширения;
3. Характеризуется нарастанием прочности на фоне стабилизации расширения. Продолжительность третьего периода может составлять несколько недель [2-9, 13-14, 17].

Прочность НЦ в первом периоде, как правило, выше прочности портландцементного камня. К 28 суткам прочность их может выровняться, а при дальнейшем твердении до 1 года прочность НЦ, как правило, становится выше прочности портландцемента [2-9].

Прочность НБ при твердении в воздушно-влажностных условиях в течение первых суток сравнительно высокая. При помещении их в воду в течение первых 3 сут. наблюдается значительное расширение, сопровождающееся замедлением роста прочности и даже небольшим ее снижением. После стабилизации расширения прочность бетона снова начинает расти. Самонапряжение бетона в период снижения прочности растет незначительно.

По мере увеличения прочности на фоне расширения бетона самонапряжение интенсивно возрастает [2-9]. Михайлов В.В. отмечал одним из важных условий обеспечения высокого самонапряжения высокое значение прочности бетона в ранний период [8].

Прочность бетонов, твердевших в воздушно-сухих условиях, обычно существенно ниже, чем у бетонов, находившихся в водных, воздушно-влажностных условиях и при герметизации [10]. Рост прочности бетона в воздушно-сухих условиях обычно стабилизируется к 14 сут., в дальнейшем возможен некоторый спад прочности.

Бетоны, твердеющие в водных, воздушно-влажностных условиях и при герметизации характеризуются непрерывным ростом прочности до 28 сут. При последующем твердении в воздушно-сухих условиях также возможен некоторый рост прочности. Более высокая прочность характерна для воздушно-влажностных условий в сравнении с водными, вследствие меньшего расширения [10].

На рис.3 представлены результаты измерения предела прочности на сжатие (далее – прочность) НБ в зависимости от продолжительности твердения в воде и условий ограничения деформаций в первой стадии.



Рис.3. Предел прочности на сжатие бетона с двухстадийным расширением: 28, 90 – продолжительность твердения в воде, сут.; 1 – отсутствует расширение в первой стадии; 0,95 – увеличение объема в первой стадии до 5%

Fig.3. Concrete compressive strength with two-stage expansion: 28, 90 - duration of hardening in water, day; 1 - there is no expansion in the first stage; 0,95 - increase in volume in the first stage to 5%

Очевидно, что длительное выдерживание в воде при отсутствии расширения в первой стадии благоприятно повлияло на формирование структуры бетона, что проявилось в повышении прочности на 28%. Расширение до 5% в первой стадии, сопровождающееся увеличением полной пористости, привело к некоторому ослаблению структуры, что на фоне продолжающегося процесса расширения после 28 сут, обеспечившего более высокое самонапряжение (рис. 1), вызвало снижение прочности на 14%. Поэтому для НБ с двухстадийным расширением важным моментом является соответствие энергетической эффективности НЦ, отвечающей за расширение во второй стадии, увеличению объема в первой стадии и, в итоге, прочности бетона, которая должна быть достаточной для обеспечения бездефектной структуры при расширении во второй стадии.

На рис. 4 представлены данные об изменении предела прочности на растяжение НБ в зависимости от продолжительности твердения в воде и условий ограничения деформаций в первой стадии.



Рис.4. Предел прочности на растяжение бетона с двухстадийным расширением: 28, 90 – продолжительность твердения в водной среде, сут.;

1 – отсутствует расширение в первой стадии; 0,95 – увеличение объема в первой стадии до 5%
Fig. 4. Tensile strength of concrete with two-stage expansion: 28, 90 - duration of hardening in the aquatic environment, day;

1 - there is no expansion in the first stage; 0,95 - increase in volume in the first stage to 5%

Очевидно, что при твердении НБ при отсутствии расширения в первой стадии с течением времени прочность на растяжение практически не меняется на фоне значительного повышения прочности на сжатие, что свидетельствует о повышении хрупкости бетона вследствие внутрискруктурных напряжений, обусловленных гидратацией НЦ с высокой энергетической активностью. При твердении с возможным увеличением объема в первой стадии до 5% повышение прочности на растяжение составило 41%, что свидетельствует о повышении трещиностойкости НБ. Наглядно это подтверждает соотношение пределов прочности на растяжение и сжатие, представленное на рис. 5.

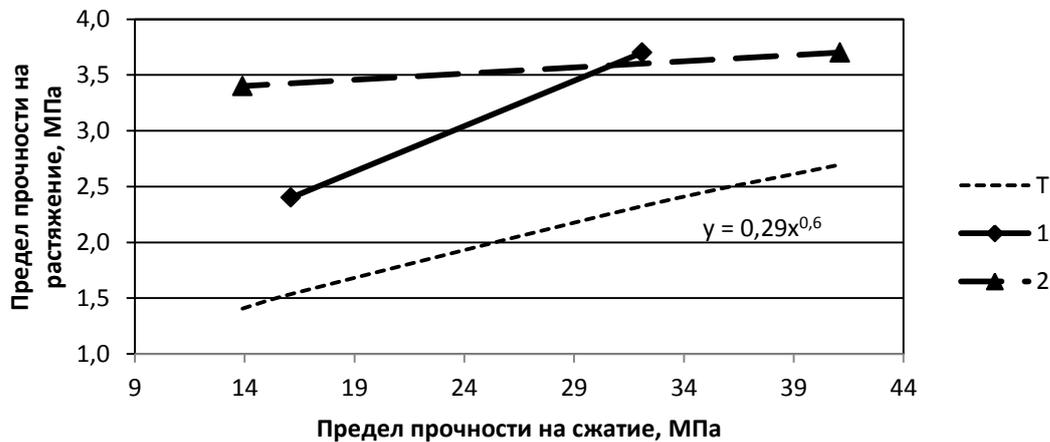


Рис.5. Зависимость предела прочности на растяжение от предела прочности на сжатие:

1 – в 28 суток; 2 – в 90 суток; Т: $R_t = 0,29 \cdot R^0,6$ [11]

Fig. 5. Dependence of the tensile strength on the tensile strength of the compressive strength:

1 - in 28 days; 2 - in 90 days; T: $R_t = 0,29 \cdot R^0,6$ [11]

Очевидно, что при твердении в воде в 28 сут. рост прочности на растяжение с ростом прочности на сжатие происходит более интенсивно в сравнении со среднестатистическими данными [12, 18-20]. К 90 сут. прочность на растяжение мало изменяется при повышении прочности на сжатие более чем в 2 раза, что связано, как отмечалось, с проявлением хрупкости у бетонов без расширения в первой стадии после длительного твердения в воде.

Вероятная причина – развитие высоких внутрискруктурных напряжений при твердении НЦ в этих условиях. Косвенным подтверждением этого можно считать увеличение полной пористости бетона при длительном твердении в воде (рис. 6).

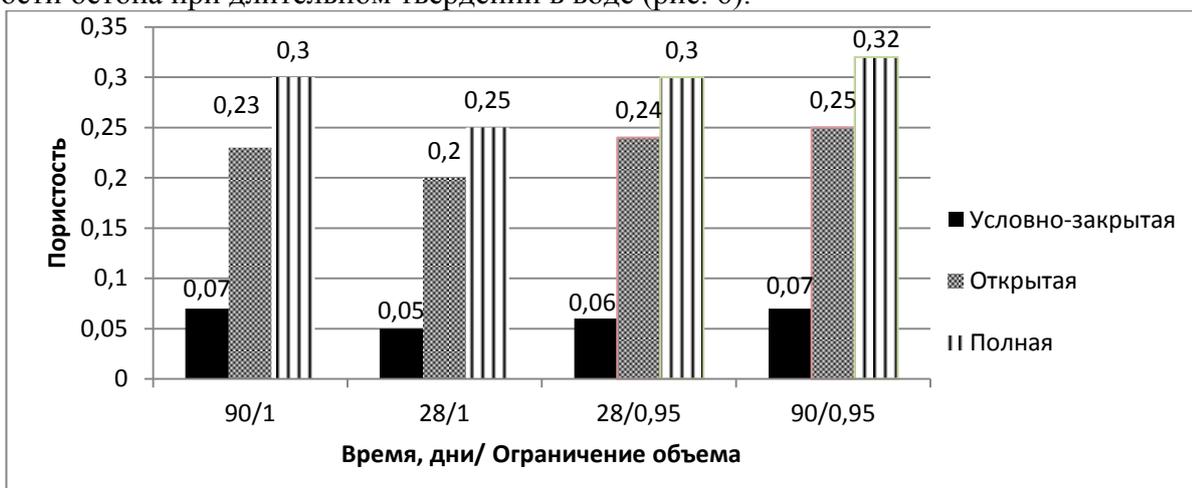


Рис.6. Полная, открытая и условно-закрытая пористость бетона с двухстадийным расширением: 28, 90 – продолжительность твердения в воде, сут.;

1 – отсутствует расширение в первой стадии; 0,95 – увеличение объема в первой стадии до 5%

Fig.6. Complete, open and conditionally closed porosity of concrete with two-stage expansion:

28, 90 - duration of hardening in water, day; 1 - there is no expansion in the first stage;

0,95 - increase in volume in the first stage to 5%

Существенное превышение экспериментальных значений прочности на растяжение над среднестатистическими данными для портландцементных бетонов обусловлено повышенным количеством этtringита в структуре бетона, оказывающего армирующее влияние. Следует особо отметить, что к 90 сут. предел прочности на растяжение практически одинаково независимо от условий развития деформаций в первой стадии.

На рис. 6 представлены данные об изменении полной, открытой и условно-закрытой пористости НБ в зависимости от продолжительности твердения и условий ограничения деформаций в первой стадии. Очевидно, что длительное выдерживание бетонов в воде приводит к увеличению полной пористости до 20% при исключении возможности расширения в первой стадии, что связано с развитием собственных деформаций и внутрискруктурных напряжений при длительном выдерживании в воде НЦ с высокой энергетической активностью.

При возможности увеличении объема в первой стадии до 5% увеличение полной пористости при длительном выдерживании в воде незначительно (до 6,5%). Аналогичная качественная закономерность отмечается и для открытой пористости, и для условно-закрытой пористости.

Вывод. При длительном твердении в воде НБ с двухстадийным расширением к 90 сут. наблюдается снижение показателей самоупругения до 25% при полном исключении деформаций расширения в первой стадии и до 20% при увеличении объема в первой стадии до 5%. При этом отмечается увеличение прочности на сжатие относительно 28-суточной до 28%, а увеличение полной пористости составляет до 20% при полном исключении деформаций расширения в первой стадии. При увеличении объема в первой стадии до 5% увеличение полной пористости незначительно. Изменение открытой и условно-закрытой пористости аналогично полной. Предложена формула для расчета самоупругения бетона на стадии проектирования состава.

Библиографический список:

1. Красильников К.Г., Никитина Л.В., Скоблинская Н.Н. Физико-химия собственных деформаций цементного камня. – М.: Стройиздат, 1980. 255 с.
2. Будников П.П., Кравченко И.В. Расширяющиеся цементы// Труды 5-го Международного симпозиума по химии цемента. –Токио: Цементная Ассоциация Японии. 1968. т. 4. с. 319-335
3. Звездов А.И. Бетоны с компенсированной усадкой на напрягающем цементе // Материалы XXII Международной конференции молодых ученых и специалистов в области бетона и железобетона. – Иркутск. 1990. с. 53-55
4. Звездов А.И., Мартиросов Г.М. Бетоны с компенсированной усадкой / Бетон и железобетон. – 1995. №3. с. 2-4
5. Кравченко И.В. Расширяющиеся цементы. – М.: Изд. литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. 1962. 164 с.
6. Кузнецова Т.В. Структура и свойства расширяющихся и напрягающих цементов// Сборник докладов Всесоюзной конференции в г. Грозном: Ресурсосберегающие технологии железобетонных конструкций на основе напрягающих цементов. – М.: Стройиздат. 1989. с. 8-9
7. Материалы семинара «Опыт и перспективы применения бетонов на напрягающем цементе в строительстве»/ О-во «Знание» РСФСР. – М. 1992. 117 с.
8. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Расширяющийся и напрягающий цементы и самоупругенные железобетонные конструкции. М.: Стройиздат. 1974. 312 с.
9. Полак А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ. М. 1966. 208 с.
10. Кузнецова Т.В. Алуминатные и сульфалюминатные цементы. М.:Стройиздат. 1989. 209 с.
11. Несветаев Г.В., Хомич Л.А. Некоторые свойства напрягающих бетонов с добавкой «Эмбэлит»// Научное обозрение. 2014. № 10. с. 642 – 645.
12. Несветаев Г.В. Бетоны: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс. 2011. 381 с.
13. Несветаев Г.В., Удодов С.А., Бычкова О.А. О влиянии состава модифицированного гипсоглиноземистого расширяющегося цемента на прочность и темп твердения / Наукоедение. 2015. Т. 7 № 6 (31).с. 122. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/01TVN615.pdf>, свободный. Загл. с экрана.
14. Жильникова Т.Н., Корянова Ю.И., Несветаев Г.В. Влияние рецептурно-технологических факторов на прочностные показатели бетонов для инъектирования с двухстадийным расширением /Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017. Т. 44. № 1. с. 150-161
15. Жильникова Т.Н., Корянова Ю.И., Несветаев Г.В. Интегральные показатели влияния рецептурно-технологических факторов на структурообразование цементного камня бетонов для инъектирования с двухстадийным расширением /Вестник Дагестанского государственного технического университета. Тех-

нические науки. 2016. Т. 43. № 4. с. 153-166

16. Несветаев Г.В., Потапова Ю.И. Составы для инъектирования с двустадийным расширением /Науковедение. 2013. № 3 (16). С. 128. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/28trgsu313.pdf>, свободный. Загл. с экрана.
17. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И. Влияние условий твердения бетона с двухстадийным расширением на деформативно-прочностные показатели /Науковедение. 2015. Т. 7 № 5 (30). С. 148. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf>, свободный. Загл. с экрана.
18. Актуальные проблемы современного материаловедения// Абуханов А.З., Аласханов А.Х., Алчагиров Б.Б., Арсанукаев Х.О., Ахкубеков А.А., Ахкубекова С.Н., Батаев Д.К.С., Бесланеева З.О., Бетрахмадов Р.В., Боташев А.Ю., Висханов С.С., Газиев М.А., Гудиева О.В., Гуфан Ю.М., Даудова А.Л., Домбиев Х.В., Дукаева К.Ю., Дышекова Ф.Ф., Елекоева К.М., Зубхаджиев М.А.В. и др.// Грозный, 2015. ТомКнига 2
19. Бычков М.В., Удодов С.А. Легкий самоуплотняющийся бетон как эффективный конструкционный материал /Науковедение. 2013. № 4 (17). С. 41. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/42TVN413.pdf>, свободный. Загл. с экрана.
20. Самоуплотняющиеся бетоны с использованием модификаторов и наполнителей из природного и техногенного сырья // Муртазаев С.А.Ю., Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Елистраткин М.Ю.// В сборнике: Эффективные строительные композиты Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. с. 455-465.

References:

1. Krasil'nikov K.G., Nikitina L.V., Skoblinskaya N.N. Fiziko-khimiya sobstvennykh deformatsii tsementnogo kamnya. M.: Stroizdatzh 1980. 255 s. [Krasil'nikov K.G., Nikitina L.V., Skoblinskaya N.N. Physical chemistry of own deformations of cement stone. M.: Stroizdatzh 1980. 255 p. (In Russ.)]
2. Budnikov P.P., Kravchenko I.V. Rasshiryayushchiesya tsementy. Trudy 5-go Mezhdunarodnogo simpoziuma po khimii tsementa. Tokio: Tsementnaya Assotsiatsiya Yaponii. 1968;4:319-335. [Budnikov P.P., Kravchenko I.V. Expanding cements. Proceedings of the 5th International Symposium on Chemistry of Cement. Tokyo: Cement Association of Japan. 1968;4:319-335. (In Russ.)]
3. Zvezdov A.I. Betony s kompensirovannoi usadkoi na napryagayushchem tsemente. Materialy XXII Mezhdunarodnoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov v oblasti betona i zhelezobetona. Irkutsk. 1990. S. 53-55. [Zvezdov A.I. Concretes with compensated shrinkage based on tensile cement. Materials of the XXII International Conference of Young Scientists and Specialists in the Field of Concrete and Reinforced Concrete. Irkutsk. 1990. P. 53-55. (In Russ.)]
4. Zvezdov A.I., Martirosov G.M. Betony s kompensirovannoi usadkoi. Beton i zhelezobeton. 1995;3:2-4. [Zvezdov A.I., Martirosov G.M. Concretes with compensated shrinkage. Beton i zhelezobeton. 1995;3:2-4. (In Russ.)]
5. Kravchenko I.V. Rasshiryayushchiesya tsementy. M.: Izd. literatury po stroitel'stvu, arkhitekture i stroitel'nyim materialam; 1962. 164 s. [Kravchenko I.V. Expanding cements. M.: Izd. literatury po stroitel'stvu, arkhitekture i stroitel'nyim materialam; 1962. 164 p. (In Russ.)]
6. Kuznetsova T.V. Struktura i svoistva rasshiryayushchikhsya i napryagayushchikh tsementov. Sbornik dokladov Vsesoyuznoi konferentsii v g. Groznom: Resursosberegayushchie tekhnologii zhelezobetonnykh konstruksii na osnove napryagayushchikh tsementov. M.: Stroizdat. 1989. S. 8-9. [Kuznetsova T.V. Structure and properties of expanding and tensile cements. Collection of reports of the All-Union Conference in Grozny: Resource-saving technologies of reinforced concrete structures based on tensile cements. M.: Stroizdat. 1989. P. 8-9. (In Russ.)]
7. Materialy seminara «Opyt i perspektivy primeneniya betonov na napryagayushchem tsemente v stroitel'stve». O-vo «Znanie» RSFSR. M. 1992. 117 s. [Materials of the seminar «Experience and perspectives of using concretes on tensile cement in construction». RSFSR «Knowledge» society. Moscow, 1992. 117 p. (In Russ.)]
8. Mikhailov V.V., Litver S.L. Rasshiryayushchiysya i napryagayushchii tsementy i samonapryazhennyye zhelezobetonnyye konstruksii. M.: Stroizdat; 1974. 312 s. [Mikhailov V.V., Litver S.L. Expanding and straining cements and self-stressed reinforced concrete structures. M.: Stroizdat; 1974. 312 p. (In Russ.)]
9. Polak A.F. Tverdenie monomineral'nykh vyazhushchikh veshchestv. M. 1966. 208 s. [Polak A.F. Hardening of monomineral astringents. M. 1966. 208 p. (In Russ.)]
10. Kuznetsova T.V. Alyuminatnye i sul'foalyuminatnye tsementy. M.: Stroizdat; 1989. 209 s. [Kuznetsova T.V. Aluminate and sulphoaluminous cements. M.: Stroizdat; 1989. 209 p. (In Russ.)]
11. Nesvetaev G.V., Khomich L.A. Nekotorye svoistva napryagayushchikh betonov s dobavkoi «Embelit». Nauchnoe obozrenie. 2014; 10:642 – 645. [Nesvetaev G.V., Khomich L.A. Some properties of tensile concrete with the addition of «Embelit». Scientific review. 2014;10:642 – 645. (In Russ.)]
12. Nesvetaev G.V. Betony: uchebnoe posobie. Rostov-na-Donu: Feniks; 2011. 381 s. [Nesvetaev G.V. Concrete: a study guide. Rostov-on-Don: Phoenix; 2011. 381 p. (In Russ.)]
13. Nesvetaev G.V., Udodov S.A., Bychkova O.A. O vliyaniy sostava modifitsirovannogo gipsoglinozemistogo rasshiryayushchegosya tsementa na prochnost' i temp tverdeniya. Naukovedenie. 2015;7(6):122. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/01TVN615.pdf>. [Nesvetaev G.V., Udodov S.A., Bychkova O.A. About the influence of the composition of the modified gypsum-aluminous expanding cement on the strength and rate of hardening. Naukovedenie. 2015;7(6):122. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/01TVN615.pdf>. (In Russ.)]

14. Zhil'nikova T.N., Koryanova Yu.I., Nesvetaev G.V. Vliyaniye retsepturno-tekhnologicheskikh faktorov na prochnostnye pokazateli betonov dlya in'ektirovaniya s dvukhstadiinym rasshireniem. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2017; 44(1):150-161. [Zhil'nikova T.N., Koryanova Yu.I., Nesvetaev G.V. Impact of formula-technological factors on concrete strength indicators for injecting with two-stage expansion. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44(1):150-161. (In Russ.)]
15. Zhil'nikova T.N., Koryanova Yu.I., Nesvetaev G.V. Integral'nye pokazateli vliyaniya retsepturno-tekhnologicheskikh faktorov na strukturoobrazovanie tsementnogo kamnya betonov dlya in'ektirovaniya s dvukhstadiinym rasshireniem. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2016; 43(4):153-166. [Zhil'nikova T.N., Koryanova Yu.I., Nesvetaev G.V. Integral indicators of the influence of formula-technological factors on the cement matrix of concrete structure formation for injection with two-step expansion. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 43(4):153-166. (In Russ.)]
16. Nesvetaev G.V., Potapova Yu.I. Sostavy dlya in'ektirovaniya s dvustadiinym rasshireniem. Naukovedenie. 2013; 3(16):128. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/28trgsu313.pdf>. [Nesvetaev G.V., Potapova Yu.I. Compositions for injection with two-stage expansion. Naukovedenie. 2013;3(16):128. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/28trgsu313.pdf>. (In Russ.)]
17. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. Vliyaniye uslovii tverdeniya betona s dvukhstadiinym rasshireniem na deformativno-prochnostnye pokazateli. Naukovedenie. 2015; 7(5):148. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf>. [Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. Effect of concrete hardening conditions with two-stage expansion on deformation-strength parameters. Naukovedenie. 2015; 7(5):148. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf>. (In Russ.)]
18. Abukhanov A.Z. i dr. Aktual'nye problemy sovremennogo materialovedeniya. Grozniy, 2015. [Abukhanov A.Z. i dr. Relevant problems of modern materials science. Grozniy, 2015. (In Russ.)]
19. Bychkov M.V., Udodov S.A. Legkii samouplotnyayushchiysya beton kak effektivnyi konstruktsionnyi material. Naukovedenie. 2013; 4(17):41. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/42TVN413.pdf>. [Bychkov M.V., Udodov S.A. Light self-compacting concrete as an effective structural material. Naukovedenie. 2013;4(17):41. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/42TVN413.pdf>. (In Russ.)]
20. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh., Saidumov M.S., Elistratkin M.Yu. Samouplotnyayushchiesya betony s ispol'zovaniem modifikatorov i napolnitelei iz prirodnoy i tekhnogennoy syr'ya. Materialy Nauchno-prakticheskoy konferentsii k 85-letiyu zasluzhennogo deyatelya nauki RF, akademika RAASN, doktora tekhnicheskikh nauk Bazhenova Yuriya Mikhailovicha «Effektivnye stroitel'nye kompozity». Belgorodskiy gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova. 2015. С. 455-465. [Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh., Saidumov M.S., Elistratkin M.Yu. Self-sealing concrete with the use of modifiers and fillers from natural and technogenic raw materials. Materials of the Scientific and Practical Conference devoted to the 85th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, Academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences Bazhenov Yuri Mikhailovich «Effective Building Composites». Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2015. С. 455-465. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Жильникова Татьяна Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства.

Корянова Юлия Игоревна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии строительного производства.

Несветаев Григорий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства.

Information about the authors:

Tatjana N. Zhilnikova – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department «Technology of construction production».

Yulia I. Koryanova – Cand. Sci. (Technical), Senior lecturer, Department «Technology of construction production».

Grigory V. Nesvetaev – Dr. Sci. (Technical), Prof., Department «Technology of construction production».

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 30.08. 2017.

Принята в печать 23.10.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 30.08. 2017.

Accepted for publication 23.10.2017.