

Для цитирования: 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;44 (1):150-161. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-150-161

For citation: Zhilnikova T.N., Koryanova Y.I., Nesvetaev G.V. Impact of formula-technological factors on concrete strength indicators for injecting with two-stage expansion. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1): 150-161. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-150-161

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.335/ 691.542

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-150-161

ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕТОНОВ ДЛЯ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ С ДВУХСТАДИЙНЫМ РАСШИРЕНИЕМ

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

^{1,2,3} Донской государственный технический университет

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

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

³nesgrin@yandex.ru

Резюме: Цель. Целью исследования является уточнение зависимости прочности цементного камня от дополнительной пористости, формирующейся вследствие роста собственных свободных деформаций цементного камня и расширения твердеющего бетона на втором этапе за счет действия расширяющей добавки. **Метод.** Исследование основано на введении в состав вяжущего расширяющей добавки сульфоалюминатного типа на основе глиноземистого цемента, природного гипсового камня и нитрилотриметилфосфоновой кислоты. **Результат.** Доказано, что в технологии расширяющихся бетонов важную роль играет не только степень расширения цементного камня, но и его прочность, как в период нарастания деформаций, так и после их стабилизации. К числу факторов, влияющих на кинетику твердения, относятся не только рецептурные (состав и дозировка добавки, минералогический состав портландцементного клинкера, состав бетона, наличие химических добавок), но и технологические (тонкость помола цемента, температура твердения и т.д.), что делает задачу управления процессами структурообразования достаточно сложной. Выявлена зависимость прочности цементного камня от дополнительной пористости, формирующейся вследствие роста собственных свободных деформаций цементного камня и расширения твердеющего бетона на втором этапе за счет действия расширяющей добавки; зависимость влияния регулятора кинетики структурообразования – нитрилотриметилфосфоновой кислоты на согласованность развития собственных свободных деформаций расширения и формирование прочности цементного камня на втором этапе; зависимости прочности цементного камня от дополнительной пористости, формирующейся вследствие газовыделения и расширения смеси на первом этапе за счет действия газообразующей добавки; влияния стесненности расширения на формирование структуры цементного камня и его прочность; влияние условий твердения образцов на прочностные характеристики бетонов с двухстадийным расширением. **Вывод.** Процесс расширения в условиях свободного развития деформаций сопровождается увеличением пористости цементного камня до 9% и закономерным снижением прочности цементного камня на сжатие до 19,3%. Установлено влияние условий твердения на предел прочности на сжатие для бетонов с двухстадийным расширением: при выдерживании на воздухе 28 суток при температуре 5 °С отмечается снижение прочности до 50% относительно нормальных условий, а при температуре 35 °С – до 14%. При водном выдерживании вследствие интенсив-

ного расширения на второй стадии отмечается снижение прочности до 33%. Уточнена зависимость соотношения предела прочности на растяжение от предела прочности на сжатие для бетонов с двухстадийным расширением с учетом условий твердения.

Ключевые слова: бетоны для инъектирования с двухстадийным расширением, рецептурно-технологические факторы, прочностные показатели, дополнительная пористость, собственные свободные деформации, расширяющая добавка, регулятор кинетики структурообразования, нитрилотриметилфосфоновая кислота, газообразующая добавка, стесненность расширения

TECHICAL SCIENCE BUILDING AND ARCHITECTURE

IMPACT OF FORMULA-TECHNOLOGICAL FACTORS ON CONCRETE STRENGTH INDICATORS FOR INJECTING WITH TWO-STAGE EXPANSION

Tatjana N. Zhilnikova², Yulia I. Koryanova³, Grigory V. Nesvetaev¹
^{1,2,3} Don State Technical University

1 Gagarina Sq., Rostov on Don 344000, Russia,

¹ e-mail: nesgrin@yandex.ru,

² e-mail: zhilnikova.tatjana@yandex.ru, ³ e-mail: koryanova.yi@mail.ru

Abstract. Objectives The aim of the study is to clarify the dependence of the cement stone strength on additional porosity that is formed owing both to the cement stone's development of free deformations and the expansion of the hardening concrete in the second stage as caused by the action of the expanding additive. **Method** The study is based on the introduction of a sulphoaluminate-type expanding additive in the composition of a binder based on alumina cement, natural gypsum stone and nitrilotrimethylphosphonic acid. **Results** It is shown that an important role is played in the technology of expanding concrete not only by the degree of expansion of the cement stone, but also by its strength, both during the development of deformations and following stabilisation. Among factors influencing the kinetics of hardening are not only recipe-related (composition and dosage of the additive, mineralogical composition of Portland cement clinker, composition of the concrete, presence of chemical additives), but also technological (fineness of cement grinding, hardening temperature, etc.) that makes the management of the processes of structure formation quite complex. The dependence of the strength of cement stone on the additional porosity formed due to the growth of the cement stone own free deformations and expansion of the hardening concrete in the second stage due to the action of the expanding additive is revealed; dependence of the influence of kinetics of the structure formation regulator - nitrilotrimethylphosphonic acid - on the consistency of the development of the intrinsic free expansion deformations and the formation of the strength of the cement stone in the second stage; the dependence of the strength of the cement stone on the additional porosity formed due to gas evolution and expansion of the mixture in the first stage due to the action of the gas-forming additive; the influence of the constraint of expansion on the formation of the structure of cement stone and its strength; the effect of hardening conditions on the strength characteristics of concrete with a two-stage expansion. **Conclusion** The process of expansion under the conditions of deformation free development is accompanied by an increase in the porosity of the cement stone of up to 9% and a regular decrease in the strength of the cement stone by compression up to 19.3%. The effect of hardening conditions on the compressive strength of concrete with a two-stage expansion is established: when exposed to air for 28 days at a temperature of 5 °C, the strength decreases to 50% relative to normal conditions, and at a temperature of 35 °C - to 14 %. With water aging the strength is reduced to 33% due to intensive expansion in the second stage. The dependence of the ratio of tensile strength to compressive strength for concretes with a two-stage expansion is specified, taking into account the hardening conditions.

Keywords: concretes for injection with two-stage expansion, formula and technological factors, strength indexes, additional porosity, intrinsic free deformations, expanding additive, regulator of structure formation kinetics, nitrilotrimethylphosphonic acid, gas-forming additive, constraint of expansion

Введение. В технологии расширяющихся бетонов важную роль играет не только степень расширения цементного камня, но и его прочность, как в период нарастания деформаций, так и после их стабилизации. Поскольку расширение фактически есть увеличение объема при неизменной массе, т.е. уменьшение средней плотности, а значит, увеличения пористости камня, расширение может вызывать снижение прочности в соответствии с известной зависимостью «пористость – прочность».

Постановка задачи. В связи с этим были проведены исследования с целью уточнения зависимости прочности цементного камня от дополнительной пористости, формирующейся вследствие роста собственных свободных деформаций цементного камня и расширения твердеющего бетона на втором этапе за счет действия расширяющей добавки (РД).

Методы исследования. На рис. 1 представлены данные о соотношении пределов прочности при изгибе и сжатии цементного камня, полученные при введении в состав вяжущего РД сульфоалюминатного типа на основе глиноземистого цемента и природного гипсового камня.

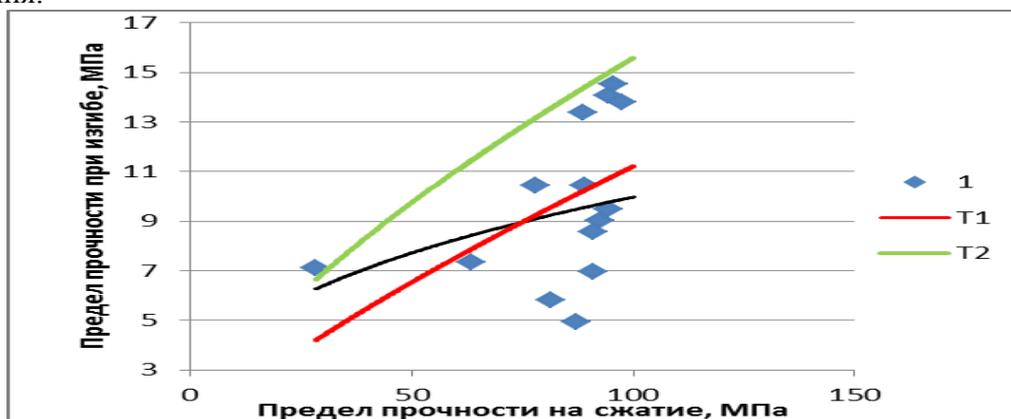


Рис.1. Зависимость предела прочности при изгибе от предела прочности при сжатии:

1 – данные авторов; T1 – по ф. $R_f = 0,31 \cdot R_0^{0,779}$ [1]; T2 – по ф. $R_f = 0,69 \cdot R_0^{0,677}$ [2]

Fig.1. Dependence of the flexural strength on the compressive strength:

1 - the data of the authors; T1 - according to f. $R_f = 0.31 \cdot R_0^{0.779}$ [1]; T2 - according to f. $R_f = 0.69 \cdot R_0^{0.677}$ [2]

Из приведенных на рис.1 данных можно отметить, что введение РД в состав вяжущего незначительно сказалось на изменении предела прочности на сжатие до 17,7% при введении РД в количестве до 27,7%. Влияние РД на предел прочности при изгибе более значительно и может быть разделено на три вида:

- снижение предела прочности при изгибе от 5,3 до 48,4% при введении РД в количестве до 16,2%;

- увеличение предела прочности при изгибе от 41,1 до 52,6% при количестве РД от 18,4 до 24,4%;

- колебание значений в пределах 9,5%, при количестве РД от 26,2 до 27,7%.

Таким образом, посредством введения РД в количестве от 18,4 до 24,4% можно добиться повышения предела прочности при изгибе до 52,6% при повышении предела прочности на сжатие до 3,3%, что говорит о влиянии добавки на процессы структурообразования цементного камня.

Помимо снижения прочности вследствие роста пористости Р, потеря прочности при увеличении значений деформаций свободного расширения может происходить в результате несогласованности кинетики процессов расширения и нарастания прочности структуры, что

может приводить к концентрации напряжений и микротрещинообразованию, вызывая, фактически, снижение прочности «скелета» R_0 в известной зависимости $R = R_0 f(P)$. Согласованность процессов является функцией совместного воздействия многих факторов, в связи, с чем ее обеспечение представляет очень сложную задачу. В связи с этим были выполнены исследования с целью уточнения влияния регулятора кинетики структурообразования – нитрилотриметилфосфоновой кислоты (НТФ) на согласованность развития собственных свободных деформаций расширения и формирование прочности цементного камня на втором этапе.

На рис. 2 представлены данные о соотношении пределов прочности при изгибе и сжатии цементного камня полученные при совместном введении в состав вяжущего РД и НТФ.

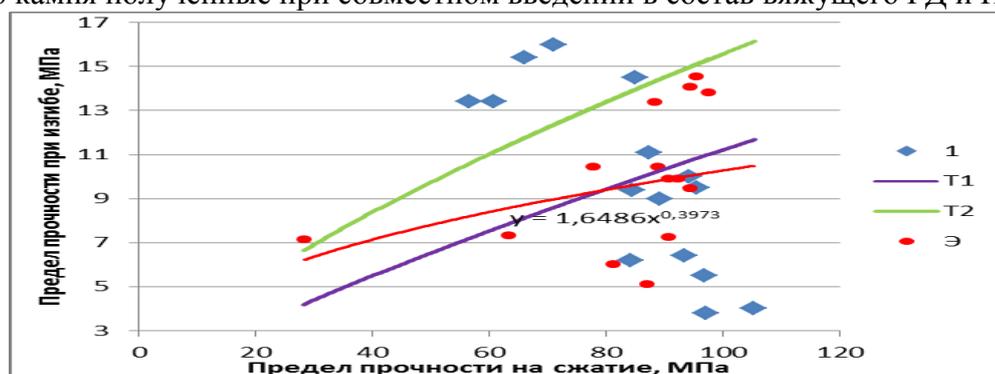


Рис.2. Зависимость предела прочности при изгибе от предела прочности на сжатие: 1 – данные авторов с НТФ; T1 – по ф. $R_f = 0,31 \cdot R_0^{0,779}$ [1]; T2 – по ф. $R_f = 0,69 \cdot R_0^{0,677}$ [2]; Э – данные авторов без НТФ

Fig.2. Dependence of the flexural strength on the compressive strength:

1 - data of authors with NTF; T1 - according to f. $R_f = 0.31 \cdot R_0^{0.779}$ [1]; T2 - according to f. $R_f = 0.69 \cdot R_0^{0.677}$ [2]; E - data of authors without NTF

Из представленных на рис. 2 данных видно, что введение РД и НТФ в состав вяжущего приводит к снижению предела прочности от 7,8 до 46,2%. При этом при введении РД в количестве до 24,4% снижение предела прочности составляет до 19,9%, а дальнейшее увеличение количества РД в составе вяжущего снижает предел прочности в большей степени. Также следует отметить, что введение НТФ в составы с РД приводит к увеличению предела прочности на сжатие относительно составов с тем же количеством РД, но без НТФ до 46,9%. Введение РД и НТФ в состав вяжущего приводит к увеличению предела прочности при изгибе до 3 раз (!). При этом можно выделить три основные группы:

- увеличение предела прочности при изгибе до 60% при снижении предела прочности на сжатие до 19,9% составы с НТФ без РД;
- увеличение предела прочности при изгибе в 1,78 раз при снижении предела прочности на сжатие до 19,9% составы с НТФ с РД в количестве до 24,4%;
- увеличение предела прочности при изгибе до 3 раз при снижении предела прочности на сжатие до 46,2% составы с НТФ и РД в количестве 27,7%, а так же составы с РД без НТФ.

Таким образом, НТФ позволяет регулировать согласованность кинетики процессов нарастания собственных свободных деформаций и набора прочности скелета, что дает возможность увеличения деформаций расширения без снижения прочностных показателей. Как известно, прочность R и пористость P цементного камня и, следовательно, бетона, связаны соотношением [2]

$$R = R_0 \cdot \exp(-5,15 \cdot P) \quad (1)$$

В связи с этим были выполнены исследования с целью уточнения зависимости прочности цементного камня от дополнительной пористости, формирующейся вследствие газовыделения и расширения смеси на первом этапе за счет действия газообразующей добавки (ГД). На рис. 3 представлена зависимость относительной прочности цементного камня от его дополнительной пористости при введении в состав вяжущего ГД.



Рис. 3. Зависимость относительной прочности от дополнительной пористости:
 1-3 – данные авторов; Т – формула Рышкевича [2]

Fig. 3. Dependence of relative strength on additional porosity:

1-3 - data of the authors; T is the Ryzhkevich formula [2]

Из представленных на рис. 3 данных видно, что с увеличением количества ГД от 0,14 до 0,29%Ц растет величина дополнительной пористости от 0 до 0,14, что уменьшает относительную прочность цементного камня до 7% больше, чем происходит уменьшение прочности по формуле Рышкевича. Также можно предположить, что происходит увеличение дополнительной пористости, что может быть связано с воздухововлекающим эффектом суперпластификатора (СП).

Таким образом можно сделать вывод о том, что варьируя в составе растворной смеси количество ГД от 0 до 0,44%Ц, количество СП от 0 до 0,86% Ц, модуль крупности заполнителя от 1,2 до 2,8, можно прогнозировать падение прочности от 1 до 4% при требуемом увеличении дополнительной пористости от 0,01 до 0,18 и гарантированном заполнении бетонируемого пространства.

Увеличение объема растворной смеси может происходить в условиях ограничения возможного расширения, т.е. растворная смесь увеличивается в объеме больше, чем ей это позволяет пространство. Такие условия называются стесненностью расширения и могут влиять как на структуру цементного камня посредством изменения плотности и пористости, так и на прочностные показатели. В связи с этим были выполнены исследования влияния стесненности расширения на формирование структуры цементного камня и его прочность.

На рис. 4 представлена зависимость относительной прочности цементного камня от его дополнительной пористости в стесненных условиях.

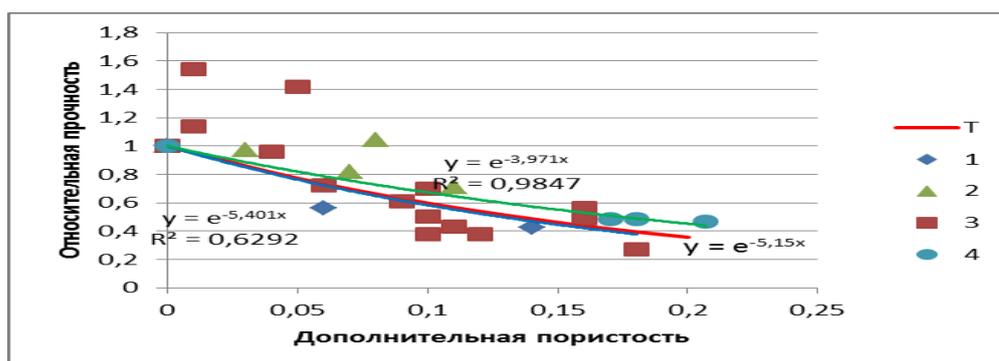


Рис.4. Зависимость предела прочности на сжатие от дополнительной пористости:

1-4 – данные авторов; Т – по формуле Рышкевича [2]

Fig.4. Dependence of compressive strength on additional porosity:

1-4 - data of the authors; T - according to Ryzhkevich's formula [2]

Полученные данные говорят о том, что ограничение пространства возможного расширения позволяет повысить относительную прочность при требуемой дополнительной пористости до 17,6%. Данная зависимость подтверждает ранее полученные данные [3] о повышении прочности пенобетонов и ячеистых бетонов в стесненных условиях, и показывает,

что закономерности, выявленные для более пористых структур, также соответствуют и структурам с меньшей пористостью.

Обсуждение результатов. Обобщая полученные данные о влиянии РД, НТФ, ГД и стесненности условий на прочность цементного камня бетонов для инъектирования с двухстадийным расширением получим зависимость предела прочности на сжатие от стесненности условий, представленной на рис. 5.

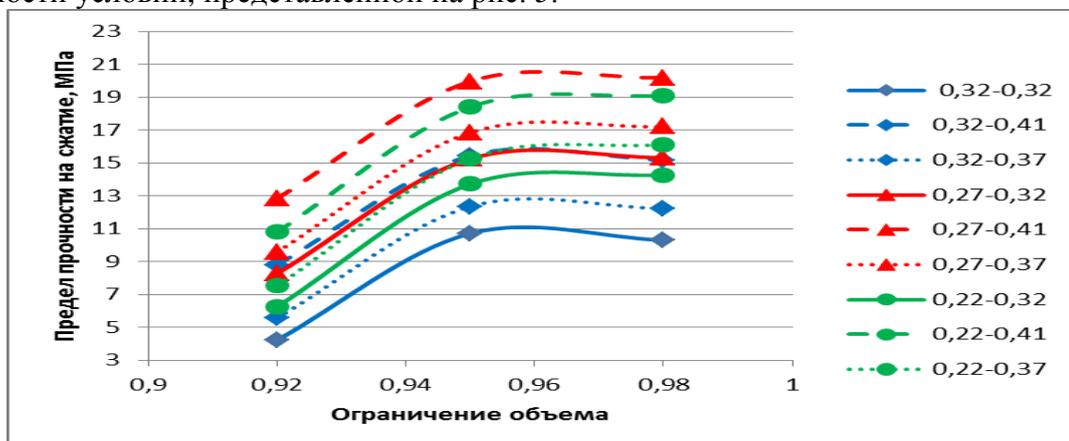


Рис.5. Зависимость предела прочности на сжатие от ограничения объема:

НТФ, % (0,22...0,32) – АІ, % (0,32...0,41)

Fig. 5. Dependence of compressive strength on volume limitation:

NTP, % (0,22 ... 0,32) - AI, % (0,32 ... 0,41)

Анализируя полученные данные можно отметить следующее:

- с увеличением дозировки ГД возрастает предел прочности бетона на сжатие, это может быть объяснено следующим: с увеличением количества ГД увеличивается энергия экзотермической реакции газообразования, которая при согласованности с процессом структурообразования позволяет создавать самонапряжение в бетоне, благоприятно влияющее на предел прочности на сжатие;

- зависимость предела прочности на сжатие от ограничения объема имеет экстремальный характер, это связано с тем, что при большой возможности расширения смесь увеличивается в объеме, что при неизменной массе говорит об увеличении пористости, которая негативно влияет на прочность бетона. При уменьшении возможности расширения образование дополнительной пористости тоже уменьшается, а также проявляется эффект повышения прочности в стесненных условиях [3]. При дальнейшем уменьшении объема возможного расширения наблюдается сохранение значений прочностных показателей, однако оно не целесообразно вследствие перерасхода материала;

- с увеличением дозировки НТФ возрастает предел прочности на сжатие, однако существует экстремум ее количества. Это можно объяснить тем, что введение НТФ приводит к замедлению схватывания и сдвигу начала процесса структурообразования на более поздние сроки, позволяя бетонной смеси расширяться без нарушения целостности структуры вследствие процесса газообразования. Если дозировка НТФ слишком мала, то происходит разрушение формирующейся структуры под действием энергии процесса расширения, если же дозировка НТФ превышает пороговое значение, то процесс газообразования без сдерживающего расширения каркаса формирует высокопористую структуру, обладающую низкой прочностью.

Поэтому существует оптимальная дозировка НТФ, при которой в начальный период времени происходит расширение смеси без нарушения сплошности структуры, а в дальнейшем формирующаяся структура сдерживает расширение системы, создавая тем самым самонапряжение.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для получения бетонной смеси с прочностью свыше 15 МПа и самонапряжением в 7 суток свыше 5 МПа при увеличении

дополнительной пористости до 0,08 оптимальной дозировкой ГД является от 0,37 до 0,41% Ц, НТФ от 0,22 до 0,27% Ц, ограничение объема должно составлять 0,95.

К числу факторов, влияющих на кинетику твердения, относятся не только рецептурные (состав и дозировка добавки, минералогический состав ПЦ клинкера, состав бетона, наличие химических добавок), но и технологические (тонкость помола цемента, температура твердения и т.д.), что делает задачу управления процессами структурообразования достаточно сложной [5-20]. На рис. 6 – 8 представлены результаты исследования влияния условий твердения образцов (табл.) на прочностные характеристики бетонов с двухстадийным расширением.

Таблица 1. Условия твердения
Table 1. Condition of hardening

Условия/№	1	2	3	4	5	6	7 (Э)	8	9
Температура, °С	20	20	20	20	35	35	20	5	5
Степень заполненности цилиндров, доли	1	0,95	1	0,95	1	0,95	1	1	0,95
Среда твердения	воздух	воздух	вода	вода	воздух	воздух	воздух	воздух	воздух

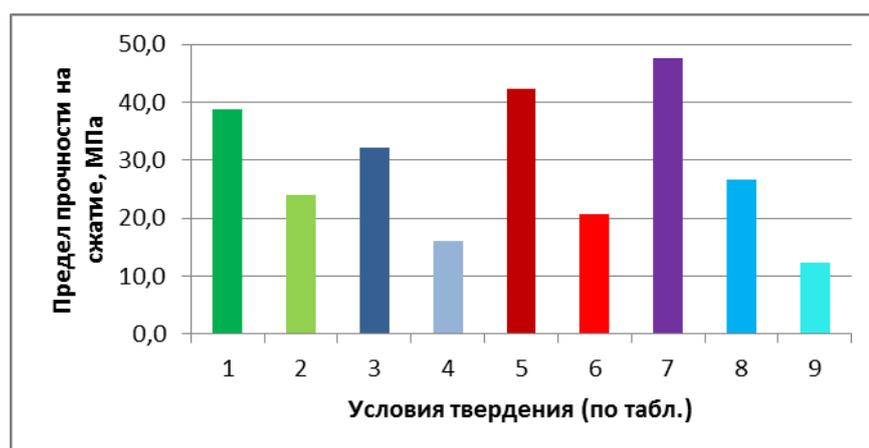


Рис.6. Предел прочности на сжатие бетона с двухстадийным расширением

Fig.6. Combustion strength of concrete with two-stage expansion

Анализируя данные на рис. 6, можно сделать следующие выводы:

- введение ГД снижает предел прочности на сжатие от 11,13 до 74,16% за счет образования дополнительной пористости, негативно влияющей на прочностные характеристики относительно бездобавочного эталона, в результате процесса газообразования;

- образование дополнительной пористости за счет расширения бетонной смеси до 5% вызывает снижение предела прочности на сжатие от 38,14 до 53,93% относительно составов, не имеющих возможности расширения;

- в сравнении с нормальными условиями твердения, твердение при повышенной температуре вызывает увеличение прочности на сжатие на 9,02% при полном ограничении объема и снижение на 13,75% при ограничении объема 0,95, что может быть связано с ускорением твердения в ранний период, сопровождающимся негативным влиянием в проектном возрасте, снижение прочности может составлять 5-15% [4];

- твердение при низкой положительной температуре вызывает снижение прочности на сжатие в сравнении с нормальными условиями твердения на 31,19% при полном ограничении

объема и на 48,75% при ограничении объема 0,95, что связано с замедлением скорости твердения;

- выдерживание образцов в водной среде снижают прочность на сжатие на 17,27% при полном ограничении объема и на 32,92% при ограничении объема 0,95 в сравнении с нормальными условиями твердения, что можно объяснить расклинивающим действием воды, находящейся в порах.

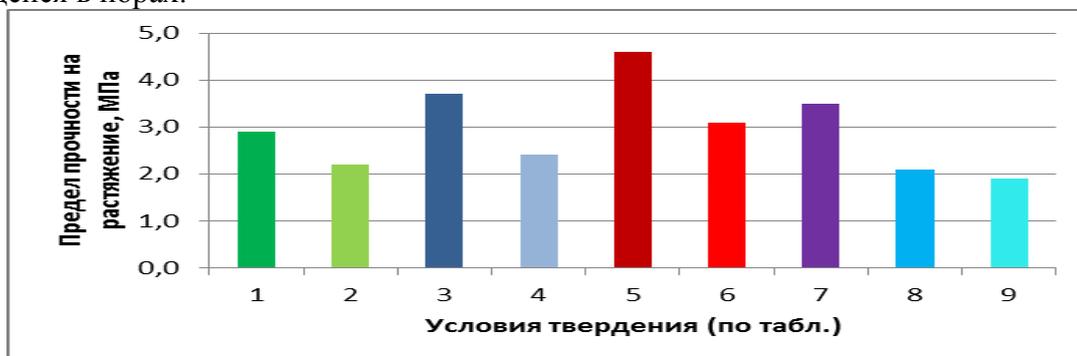


Рис.7. Предел прочности на растяжение бетона с двухстадийным расширением

Fig. 7. Tensile strength of concrete with two-stage expansion

Представленные на рис. 7 данные говорят о том, что:

- дополнительная возможность расширения на 5% приводит к снижению прочности на растяжение от 9,52 до 35,14% в сравнении с составами без возможности расширения;

- в сравнении с нормальными условиями твердения, твердение при повышенной температуре вызывает увеличение прочности на растяжение на 58,62% при полном ограничении объема и на 40,91% при ограничении объема 0,95;

- твердение при низкой положительной температуре вызывает снижение прочности на растяжение в сравнении с нормальными условиями твердения на 27,59% при полном ограничении объема и на 13,64% при ограничении объема 0,95;

- выдерживание образцов в водной среде повышают прочность на растяжение на 27,59% при полном ограничении объема и на 9,09% при ограничении объема 0,95 в сравнении с нормальными условиями твердения.

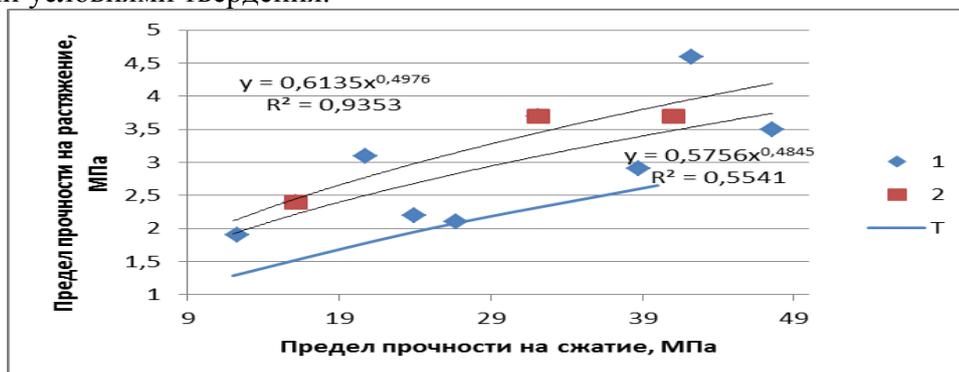


Рис.8. Зависимость предела прочности на растяжение от предела прочности на сжатие:

1 – данные авторов; 2 – данные авторов при водном выдерживании; Т – по ф.

$$R_t = 0,29 \cdot R^{0.6} [2]$$

Fig.8. Dependence of tensile strength on tensile strength on compressive strength:

1 - the data of the authors; 2 - data of authors under water aging; T - according to f.

$$R_t = 0,29 \cdot R^{0.6} [2]$$

Представленные на рис. 8 данные говорят о том, что для бетонов с двухстадийным расширением характерно соотношение прочностей на растяжение и сжатие больше от 0,91 до 73,53%, чем для обычных бетонов. Также можно отметить, что при водном выдерживании образцов, а также при увеличении времени твердения соотношение возрастает от 37,25 до 59,18% относительно соотношения прочностей в 28 суток при других видах выдерживания, что

вероятно связано как с более благоприятными для процесса гидратации условиями, так и с «самозалечиванием» структуры при длительном твердении.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для получения бетонной смеси с заданной прочностью при увеличении дополнительной пористости до 0,08 оптимальными условиями хранения образцов являются нормальные, а для получения требуемого самонапряжения выдерживание образцов в водной среде.

Вывод:

1. РД в количестве от 18,4 до 24,4% в составе вяжущего повышает предел прочности цементного камня при изгибе от 41,1 до 52,6% при повышении предела прочности на сжатие до 3,3%.

2. Повышение дозы НТФ в количестве от 0,1 до 0,255% при количестве РД до 24,4% повышает предел прочности при изгибе до 1,78 раза, вследствие положительного влияния НТФ на согласованность кинетики нарастания собственных свободных деформаций и формирования прочности цементного камня.

3. Процесс расширения в условиях свободного развития деформаций сопровождается увеличением пористости цементного камня до 9% и закономерным снижением прочности цементного камня на сжатие до 19,3%.

4. Установлено влияние условий твердения на предел прочности на сжатие для бетонов с двухстадийным расширением: при выдерживании на воздухе 28 сут при температуре 5 °С отмечается снижение прочности до 50% относительно нормальных условий, а при температуре 35 °С – до 14%. При водном выдерживании вследствие интенсивного расширения на второй стадии отмечается снижение прочности до 33%.

5. Уточнена зависимость соотношения предела прочности на растяжение R_t от предела прочности на сжатие R для бетонов с двухстадийным расширением с учетом условий твердения: $R_t = a * R^b$ ($a = 0,58$ при выдерживании на воздухе и $0,61$ при выдерживании в воде, $b = 0,49$).

Библиографический список:

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
2. Несветаев Г.В. Бетоны: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. – 381 с.
3. Помазанов В.Н. Исследование особенностей формирования и свойств газобетона в закрытых перфорированных формах: Автореф. дисс. . канд. техн.наук./ Днепропетровск, 1981. 20 с.
4. Соотношение самонапряжения и свободного расширения напрягающий бетонов/ С.Л. Литвер, Л.А. Малинина, В.А. Загурский, А.И. Панченко // Бетон и железобетон. – 1985. - № 5. – С. 15-16
5. Несветаев Г.В., Потапова Ю.И. Управление собственными деформациями цементного камня изменением состава и количества расширяющей добавки // Научное обозрение.2013.- №11. С. 46-49
6. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И. Влияние нитрилотриметилфосфоновой кислоты на процессы структурообразования напрягающих цементов // Наукоедение. 2015. №. 5 (7).С. 1-17. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN515.pdf>, свободный. Загл. с экрана.
7. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И. Влияние условий твердения бетона с двухстадийным расширением на деформативно-прочностные показатели // Наукоедение. 2015. №. 5 (7).С. 1-15. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf>, свободный. Загл. с экрана.
8. Аронов Б.А., Кун П.П. и др. Прогнозирование характера и эффективности действия добавок-ускорителей и замедлителей твердения цемента.//Бетон и железобетон. 1993. - № 8. С. 13-15

9. Батраков В.Г. Комплексные модификаторы свойств бетона// Бетон и железобетон. 1977. - № 7. С. 4-6
10. Михайлов В.В., Литвер С.Л., Малинина Л.А., Панченко А.И. Режимы тепловой обработки бетона на напрягающем цементе// Бетон и железобетон. 1984. № 8. С. 21-22
11. Айрапетов Г.А., Панченко А.И., Несветаев Г.В. Морозостойкость напрягающих бетонов после пропаривания // Бетон и железобетон. - 1987. - № 9. - С. 23 - 24
12. Баженов Ю.М. Еще раз о высокопрочном бетоне с химическими добавками// Бетон и железобетон. – 1978. - № 10. – С. 18-20
13. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны: Издательство АСВ, 2006. - 368с.
14. Батраков В.Г., Файнер М.Ш. Ресурсосберегающий эффект модификаторов бетона// Бетон и железобетон. – 1991. - № 3. – С. 3-5
15. Давидюк А.Н., Несветаев Г.В. Влияние некоторых гиперпластификаторов на пористость, влажностные деформации и морозостойкость цементного камня// Строительные материалы. – 2010. - № 1. – С. 44-46
16. Демьянова В.С, Калашников В.И., Ильина И.Е. Сравнительная оценка влияния отечественных и зарубежных суперпластификаторов на свойства цементных композиций // Строительные материалы №9, 2002
17. Дьяченко С.С., Коваленко О.Н. Добавка полифункционального действия в бетоны// Бетон и железобетон. – 1990. - № 10. – С. 20-22
18. Звездов А.И., Мартиросов Г.М. Бетоны с компенсированной усадкой / Бетон и железобетон. – 1995. - №3. – С. 2-4
19. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01. - Бетон и железобетон. – 1997. - № 5.С. 38-41
20. Каприелов С.С., Шеренфельд А.В., Батраков А.В., Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива // Бетон и железобетон. 1996. - №6. С.6-10

References:

1. Ahverdov I.N. Osnovy fiziki betona. Moscow: Stroyizdat; 1981. 464 s. [Ahverdov I.N. Fundamentals of concrete physics. Moscow: Stroyizdat; 1981. 464 p. (in Russ.)]
2. Nesvetaev G.V. Betony: uchebnoe posobie. Rostov-na-Donu: Feniks; 2011. 381 s. [Nesvetaev G.V. Concrete: Tutorial. Rostov-on-Don: 2011; 381 p. (in Russ.)]
3. Pomazanov V.N. Issledovanie osobennostey formovaniya i svoystv gazobetona v zakrytykh perforirovannykh formakh: Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk. Dnepropetrovsk; 1981. [Pomazanov V.N. Investigation of the features of molding and properties of autoclaved aerated concrete in closed perforated forms: Published summary of Candidate of Technical Sciences thesis. Dnepropetrovsk; 1981. (in Russ.)]
4. Litver S.L., Malinina L.A., Zagurskiy V.A., Panchenko A.I. Sootnoshenie samonapryazheniya i svobodnogo rasshireniya napryagayushchikh betonov. Beton i zhelezobeton. 1985; 5:15-16. [Litver S.L., Malinina L.A., Zagurskiy V.A., Panchenko A.I. The ratio of self-stress and free expansion of tensile concrete. Beton i zhelezobeton. 1985; 5:15-16. (in Russ.)]
5. Nesvetaev G.V., Potapova Yu.I. Upravlenie sobstvennymi deformatsiyami tsementnogo kamnya izmeneniem sostava i kolichestva rasshiryayushchey dobavki. Nauchnoe obozrenie. 2013; 11: 46-49. [Nesvetaev G.V., Potapova Yu.I. Managing own deformations of cement stone by changing the composition and quantity of the expanding additive. Science Review. 2013; 11:46-49. (in Russ.)]
6. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. Vliyanie nitrilotrimetilfosfonovoy kisloty na protsessy strukturoobrazovaniya napryagayushchikh tsementov. Naukovedenie. 2015; 5(7):1-17. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN515.pdf>, svobodnyy. [Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. Influence of nitrilotrimethylphosphonic acid on the processes of structure formation of stressed cements. Scientific open access journal «Naukovedenie». 2015; 5(7):1-17. Free access: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN515.pdf>. (in Russ.)]

7. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. Vliyanie usloviy tverdeniya betona s dvukhstadiynym rashireniiem na deformativno-prochnostnye pokazateli. *Naukovedenie*. 2015; (7):1-15. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf>, svobodnyy. [Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. Effect of hardening conditions of concrete with two-stage expansion on deformation-strength parameters. *Naukovedenie*. 2015; (7):1-15. Free access: <http://naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf>. (in Russ.)]
8. Aronov B.A., Kun P.P. i dr. Prognozirovaniye kharaktera i effektivnosti deystviya dobavok-uskoriteley i zamedliteley tverdeniya tsementa. *Beton i zhelezobeton*. 1993; (8):13-15. [Aronov B.A., Kun P.P. et al. Forecasting the nature and effectiveness of the action of additives - accelerators and retarders of cement hardening. *Beton i zhelezobeton*. 1993; (8):13-15. (in Russ.)]
9. Batrakov V.G. Kompleksnyye modifikatory svoystv betona. *Beton i zhelezobeton*. 1977; 7:4-6. [Batrakov V.G. Complex modifiers of concrete properties. *Beton i zhelezobeton*. 1977; 7:4-6. (in Russ.)]
10. Mikhaylov V.V., Litver S.L., Malinina L.A., Panchenko A.I. Rezhimy teplovoy obrabotki betona na napryagayushchem tsemente. *Beton i zhelezobeton*. 1984; 8:21-22. [Mikhaylov V.V., Litver S.L., Malinina L.A., Panchenko A.I. Modes of heat treatment of concrete on prestressing cement. *Beton i zhelezobeton*. 1984; 8:21-22. (in Russ.)]
11. Ayrapetov G.A., Panchenko A.I., Nesvetaev G.V. Morozostoykost' napryagayushchikh betonov posle proparivaniya. *Beton i zhelezobeton*. 1987; 9:23-24. [Ayrapetov G.A., Panchenko A.I., Nesvetaev G.V. Frost resistance of prestressed concretes after steaming. *Beton i zhelezobeton*. 1987; 9:23-24. (in Russ.)]
12. Bazhenov Yu.M. Eshche raz o vysokoprochnom betone s khimicheskimi dobavkami. *Beton i zhelezobeton*. 1978; 10:18-20. [Bazhenov Yu.M. Once again about high-strength concrete with chemical additives. *Beton i zhelezobeton*. 1978; 10:18-20. (in Russ.)]
13. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. Modifitsirovannyye vysokokachestvennyye betony. Moscow: Izdatel'stvo ASV; 2006. 368 s. [Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concretes. Moscow: Izdatel'stvo ASV; 2006. 368 p. (in Russ.)]
14. Batrakov V.G., Fayner M.Sh. Resursosberegayushchiy effekt modifikatorov betona. *Beton i zhelezobeton*. 1991; 3:3-5. [Batrakov V.G., Fayner M.Sh. Resource-saving effect of concrete modifiers. *Beton i zhelezobeton*. 1991; 3:3-5. (in Russ.)]
15. Davidyuk A.N., Nesvetaev G.V. Vliyanie nekotorykh giperplastifikatorov na poristost', vlazhnostnyye deformatsii i morozostoykost' tsementnogo kamnya. *Stroitel'nyye materialy*. 2010; 1:44-46. [Davidyuk A.N., Nesvetaev G.V. Influence of some hyperplasticisers on porosity, humidity deformation and frost resistance of cement stone. *Stroitel'nyye materialy*. 2010; 1:44-46. (in Russ.)]
16. Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I., Il'ina I.E. Sravnitel'naya otsenka vliyaniya otechestvennykh i zarubezhnykh superplastifikatorov na svoystva tsementnykh kompozitsiy. *Stroitel'nyye materialy*. 2002; 9:4-6. [Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I., Il'ina I.E. Comparative evaluation of the influence of domestic and foreign superplasticisers on the properties of cement compositions. *Stroitel'nyye materialy*. 2002; 9:4-6. (in Russ.)]
17. D'yachenko S.S., Kovalenko O.N. Dobavka polifunktional'nogo deystviya v betony. *Beton i zhelezobeton*. 1990; 10:20-22. [D'yachenko S.S., Kovalenko O.N. Additives of polyfunctional action for concrete. *Beton i zhelezobeton*. 1990; 10:20-22. (in Russ.)]
18. Zvezdov A.I., Martirosov G.M. Betony s kompensirovannoy usadkoy. *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.)]
19. Kaprielov S.S., Sheynfel'd A.V., Batrakov V.G. Kompleksnyy modifikator betona marki MB-01. *Beton i zhelezobeton*. 1997; 5:38-41. [Kaprielov S.S., Sheynfel'd A.V., Batrakov V.G. MB-01 concrete complex modifier. *Beton i zhelezobeton*. 1997; 5:38-41. (in Russ.)]
20. Kaprielov S.S., Sherenfel'd A.V., Batrakov A.V. Modifitsirovannyye betony novogo pokoleniya.

ya: real'nost' i perspektiva. Beton i zhelezobeton. 1996; 6:6-10. [Kaprielov S.S., Sherenfel'd A.V., Batrakov A.V. Modified concrete of a new generation: reality and perspective. 1996; 6:6-10. (in Russ.)]

Сведения об авторах.

Жильникова Татьяна Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства, академия строительства и архитектуры.

Корянова Юлия Игоревна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии строительного производства, академия строительства и архитектуры.

Несветаев Григорий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства, академия строительства и архитектуры.

Information about the authors.

Tatjana N. Zhilnikova – Cand. Sc.(Technical), Associate Professor of Department technology of construction production, academy of civil engineering and architecture

Yulia I. Koryanova – Cand. Sc.(Technical), Department technology of construction production, academy of civil engineering and architecture

Grigory V. Nesvetaev – Dr. Sc.(Technical), Prof., Department of technology of construction production, academy of civil engineering and architecture.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 16.01.2017.

Received 16.01.2017.

Принята в печать 20.02.2017.

Accepted for publication 20.02.2017.