

НАПРЯГАЮЩИЕ ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНЫЕ БЕТОНЫ*

А.В. Вебер, Е.Ю. Хижинкова, Г.И. Овчаренко

Представлены составы напрягающих бетонов с расширяющейся добавкой в виде высококальцевой золы и строительного гипса, приведены модели зависимости величин самонапряжения бетона в зависимости от свойств и количества добавок. Рассмотрено влияние величины самонапряжения на прочность спирально армированных образцов.

Ключевые слова: напрягающий бетон, напрягающий цемент, расширяющаяся добавка, высококальцевые золы ТЭЦ.

Из всех строительных конструкций самыми распространенными являются железобетонные конструкции (ЖБК) благодаря их прочности, жесткости, надежности, долговечности, технологичности и т. д.

Напряженные ЖБК обладают более высокими прочностными и жесткостными характеристиками по сравнению с ненапряженными. Напряжение арматуры может осуществляться перед бетонированием (преднапряженные), после бетонирования на бетон (постнапряженные) и во время твердения бетона за счет его расширения (самонапряженные).

Однако наиболее распространенная в России технология предварительного напряжения арматуры имеет ряд недостатков. Главным образом она применима только в заводских условиях и не позволяет в полной мере реализовать прочностные свойства напрягаемой арматуры, за счет появления потерь напряжения, которые обусловлены как технологией натяжения арматуры, так и свойствами бетона, усадкой и ползучестью.

Одним из способов устранения потерь предварительного напряжения, борьбы с усадкой и напряжения арматуры химическим способом может рассматриваться применение для конструктивных бетонов напрягающего цемента, который представляет собой обычный ПЦ с введением расширяющейся добавки (РД).

РД подразделяются на три группы: оксидные, сульфоалюминатные и оксидно-алюминатные, к последней группе в частности относится высококальцевая зола (ВКЗ).

Цель исследования – выявление зависимости самонапряжения бетона от количества и свойств РД в виде ВКЗ и строительного гипса.

Характеристики использованной ВКЗ приведены в табл. 1.

Исследование самонапряжения бетонов проводилось на составах тяжелого бетона с расходом цемента (ЦЕМ II/A-III 32,5Б) 400 и 600 кг на 1 м³.

В качестве расширяющих добавок вводилась высококальцевая зола Барнаульской ТЭЦ-3 (см. табл. 1) в количествах 50, 100, 150 % и строительный гипс (Г-5 А II) в количествах 0 и 10 % от ПЦ.

Самонапряжение бетона вычисляется исходя из связанной деформации кондукторов – Δ (разность между конечным и начальным измерением кондуктора) по формуле [1, 2]:

$$R_{bsn} = \Delta \cdot \mu_{пр} \cdot E_{ст} / l_{обр}, \quad (1)$$

где Δ и $l_{обр}$ – полная деформация образца в процессе самонапряжения бетона и его длина соответственно; $\mu_{пр}$ – приведенный коэффициент армирования образца, принимаемый равным 0,01; $E_{ст}$ – модуль упругости стали кондуктора, принимаемый равным 200 000 МПа.

Как видно из рисунка, самонапряжение бетона пропорционально количеству вводимой золы. Для бетона с добавкой золы самонапряжение наилучшим образом коррелирует с $CaO_{закр}$, что обуславливается расширяющейся способностью пережженной извести. В бетоне с добавкой золы и гипса самонапряжение зависит от $CaO_{своб}$, что объясняется не только поздней гидратацией пережженного оксида, но и большим синтезом этtringита в присутствии гипса, портландита и алюминатных фаз золы и цемента.

Самонапряжение в системе с добавкой гипса выше на 50–80 % чем в системе без него, и составляет 0,5–2,0 МПа после ТВО.

Для выявления влияния самонапряжения на прочность армированных образцов изготавливали образцы призмы размером 100×100×400 мм со спиральным поперечным армированием в 1 %.

Расход цемента в бетонной смеси составлял 600 кг/м³, ВКЗ/ПЦ = 150 %, Гипс/ПЦ = 10 %.

После определения прочности бетона вычислялась расчетная прочность армированного образца по формуле [3]:

$$R'_{bn} = R_{bn} + 4 \cdot p_0 \cdot F_c / F, \quad (2)$$

где R_{bn} – прочность бетона при сжатии, МПа; p_0 –

*Рекомендовано к опубликованию по результатам конкурса докладов молодых ученых на Международной научно-технической конференции «Перспективы развития строительного материаловедения», проходившей в Южно-Уральском государственном университете 24–26 сентября 2013 г. при участии фирмы «КНАУФ».

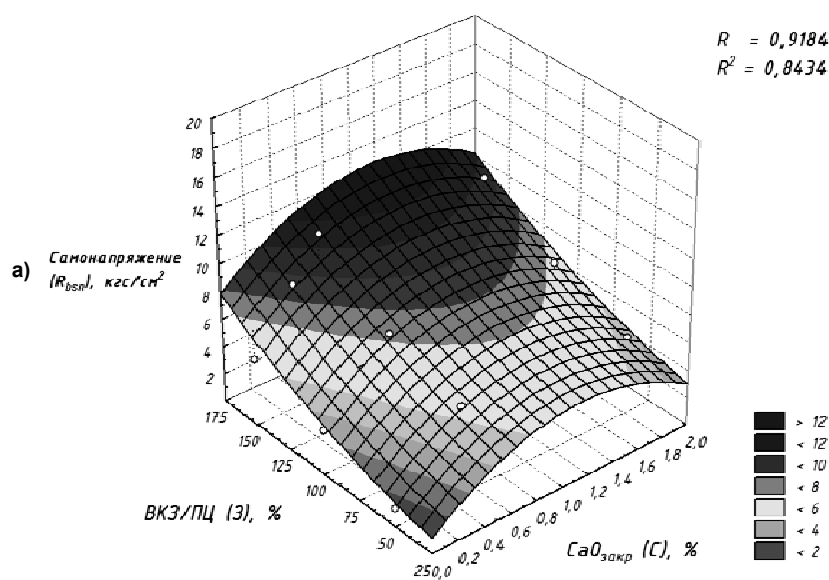
Таблица 1

Характеристики ВКЗ

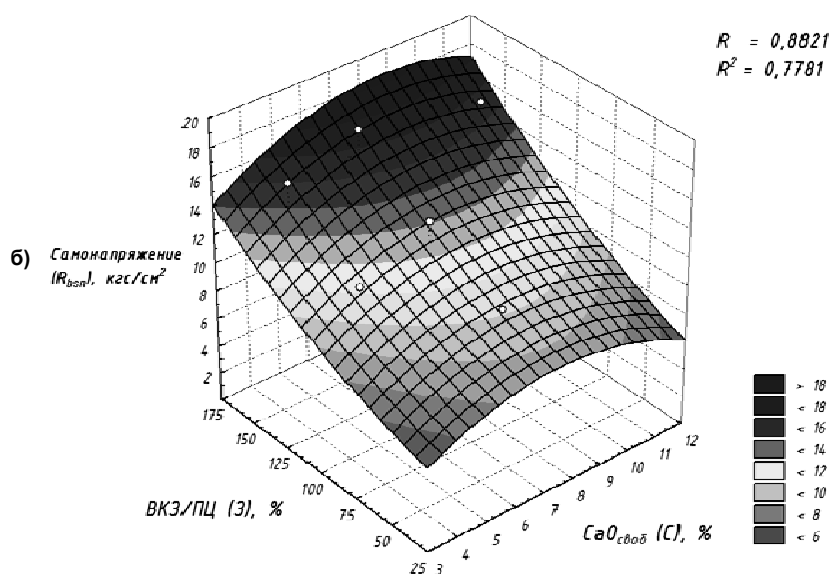
№ пробы	ТНГ, %	Остаток на сите № 008, %	$S_{уд}$, см ² /г	Сроки схватывания, мин		Содержание свободного СаО*, %			ΔT , °C	п.п.п., %
				начало	конец	открытый	закрытый	суммарный		
2	25,0	6,8	3700	13	16	5,8	0,5	6,3	7,5	5,9
4	26,7	7,8	3600	12	19	5,7	1,1	6,8	7,0	6,3
5	30,0	11,8	4350	11	45	6,8	1,5	8,3	8,0	9,2
6	26,7	7,0	3850	13	24	9,3	1,8	11,1	7,0	6,3
7	26,7	5,0	3800	14	35	6,0	0,5	6,5	6,0	5,5
8	30,0	8,5	3350	30	135	4,4	—	4,4	6,0	7,6
9	24,0	10,4	1950	20	50	3,6	0,3	3,9	4,5	4,7

*Содержание СаО определялось по спиртово-сахаратной методике.

$$R_{bsn} = 0,6441 + 7,816 \cdot C + 0,0135 \cdot 3 - 3,4513 \cdot C^2 + 0,0015 \cdot C \cdot 3 + 0,0002 \cdot 3^2$$



$$R_{bsn} = 1,0789 + 1,8174 \cdot C + 0,0108 \cdot 3 - 0,1238 \cdot C^2 + 0,0022 \cdot C \cdot 3 + 0,0002 \cdot 3^2$$



Самонапряжение бетона: ПЦ = 400 кг/м³; Гипс/ПЦ = 0 % (а); Гипс/ПЦ = 10 % (б)

Таблица 2

Результаты испытания армированных образцов

Проба золы в составе РД	Контроль	Зола № 5	Зола № 6	Зола № 7	Зола № 8	Зола № 9	Зола № 9*
Самонапряжение после ТВО, МПа	0	1,91	1,94	1,75	1,77	1,20	2,17
Самонапряжение при испытании, МПа	0	2,50	3,77	2,04	1,73	1,58	2,52
Поперечное спиральное армирование, %	1,0%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5
Прочность бетона при сжатии, МПа	36,5	35,0	29,0	31,0	35,0	28,0	43,5
Прочность при сжатии армированного образца, МПа (в скобках расчетное значение, формула (2))	35,5 (36,5)	41,5 (41,5)	39,0 (38,5)	38,5 (36,0)	40,0 (39,5)	31,0 (32,0)	51,5 (51,0)
Отклонение фактической прочности от расчетной, %	-2,7	0,0	1,3	6,9	1,3	-3,1	1,0
Прирост прочности армированного образца к контролю, %	-3	19	34	24	14	11	18

напряжение обжатия в сечении, МПа (при армировании в 1 % соответствует самонапряжению – R_{bsn}); F_c и F – площадь обжатого ядра и сечения образца соответственно, m^2 .

Из полученных результатов видно (табл. 2), что прочность армированного образца тем выше контрольной прочности, чем больше самонапряжение бетона. Данный эффект объясняется тем, что напрягающий бетон создаёт обжатие бетонного ядра в стальной обойме, величина напряжения которого пропорционально самонапряжению бетона. Фактическая прочность армированного образца с небольшим отклонением соответствует расчетной прочности образца.

Таким образом, применяя напряженный бетон, например для производства сжатых элементов конструкций: сваи, колонны и т. д., в условиях трехосного армирования можно увеличить несущую способность конструкции, или при той же несущей способности снизить количество рабочей продольной арматуры [4–6].

В случае высоких значений самонапряжения бетона (3,0–5,0 МПа) целесообразно напрягать арматуру конструкции полностью химическим способом как в заводских условиях, так и на строительной площадке при монолитном строительстве.

Выводы

1. Самонапряжение бетона пропорционально количеству РД и содержанию закрытой/свободной извести в ВКЗ.
2. Добавка 10 % гипса увеличивает самонапряжение на 50–80 %.
3. Применение напрягающего бетона в спи-

рально армированных образцах увеличивает их прочность на 10–35 % по сравнению с неармированными образцами, прирост прочности пропорционален самонапряжению бетона.

4. Применение высококальцевой золы и строительного гипса в качестве расширяющих добавок позволяет получить бетон с величиной самонапряжения 0,5–4,0 МПа, а также снизить стоимость этого бетона, по сравнению с бетонами на сульфаталюминатных РД за счет использования доступного и дешевого техногенного сырья в виде ВКЗ ТЭЦ-3.

Литература

1. Пособие по проектированию самонапряженных железобетонных конструкций к (СНиП 2.03.01-84).
2. Пособие по производству сборных самонапряженных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 2.03.01-84).
3. Михайлов, В.В. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные железобетонные конструкции / В.В. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1974. – 312 с.
4. Михайлов, В.В. Предварительно напряженные железобетонные конструкции / В.В. Михайлов. – М. Стройиздат, 1978. – 383 с.
5. Овчаренко, Г.И. Золы углей КАТЭКа в строительных материалах / Г.И. Овчаренко. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 216 с.
6. Овчаренко, Г.И. Оценка свойств углей КАТЭКа и их использование в тяжелых бетонах / Г.И. Овчаренко, Л.Г. Плотникова, В.Б. Францен. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. – 149 с.

Вебер Антон Викторович, магистр, аспирант кафедры «Строительные материалы», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул. Тел.: 8-913-272-16-83; 584orvb@mail.ru.

Хижинкова Елена Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул. Тел.: 8-983-173-98-75; egogo1980@mail.ru.

Овчаренко Геннадий Иванович, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные материалы», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул. Тел.: 905-928-11-90; egogo1980@mail.ru.

***Bulletin of the South Ural State University
Series "Construction Engineering and Architecture"
2013, vol. 13, no. 2, pp. 47–50***

SELF-STRESSING CONCRETE ON THE BASIS OF CEMENT ASHES

A.V. Veber, I.I. Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, 584orvb@mail.ru,

*E.Yu. Khizhinkova, I.I. Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation,
egogo1980@mail.ru*

*G.I. Ovcharenko, I.I. Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation,
egogo1980@mail.ru*

The composition of self-stressing concrete with expanding additive in the form of high-in calcium ashes and gypsum plaster is given; models of dependence of the level of self-stressing concrete on the property and quantity of additives are introduced. The influence of the level of self-stressing on the strength of spirally reinforced samples is studied.

Keywords: self-stressing concrete, self-stressing cement, expanding additive, high-in calcium ashes of Heat Power Plant.

Поступила в редакцию 1 октября 2013 г.