

УДК 691.32

Н.В. АСТАХОВА, канд. техн. наук, доц.? Криворожский национальный университет

## ВЛИЯНИЕ ЖЕЛЕЗИСТЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

**Цель.** Получение малоцементного бетона, обладающего высокой скоростью формирования физико-механических свойств, путем модификации его структуры активированными железистыми цеолитами минеральными комплексами, представляющими собой систему «FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaO-CO<sub>2</sub>» различной степени дисперсности и железосиликатным щелочным коллоидным раствором.

**Методы исследования.** Методы математического моделирования - для исследования процессов формирования физико-механических свойств бетонов, стандартные и специальные методы для определения и исследования свойств бетона, статистический анализ - для обработки результатов экспериментов.

**Научная новизна.** Определены закономерности формирования физико-механических свойств бетона, модифицированного активированными железистыми цеолитами минеральными комплексами, представляющими собой систему «FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaO-CO<sub>2</sub>».

**Практическая значимость.** Разработан состав бетона, модифицированный активированными железистыми цеолитами минеральными комплексами, представляющими собой систему «FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaO-CO<sub>2</sub>» различной степени дисперсности, и железосиликатным щелочным коллоидным раствором, обладающий повышенной скоростью формирования физико-механических свойств при пониженном содержании портландцемента, что позволяет снизить стоимость строительных изделий и конструкций и сократить затраты на ремонт зданий и сооружений;

**Результаты.** Прочность при сжатии бетона зависят от водоцементного отношения, содержания мелкого заполнителя в смеси заполнителей и степени наполнения цементного камня активированным наполнителем. Получены математические модели прочности бетона, учитывающие его состав и содержание активированного наполнителя при оптимальном содержании железосиликатного щелочного коллоидного раствора в цементе. При этом оптимальное содержание активированного наполнителя в цементе составляет 20-30 % от его массы.

**Ключевые слова:** бетон, прочность, активированный наполнитель, железосиликатный щелочной коллоидный раствор, отходы ГОК, заполнители.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** На современном этапе развития промышленное производство в Украине осуществляется в зданиях и сооружениях, срок эксплуатации которых составляет десятки лет. За это время конструкции этих зданий и сооружений, подвергавшиеся воздействию окружающей среды, требуют ремонта для восстановления эксплуатационных свойств. Для выполнения ремонта строительных конструкций зданий и сооружений необходимо применение материалов, полностью отвечающих условиям их эксплуатации и обеспечивающим совместную работу под нагрузкой с ремонтируемыми конструкциями.

**Анализ исследований и публикаций.** Использование для производства бетонов портландцемента приводит не только к повышению стоимости бетона, но и к повышению его деформативности, а для обеспечения включения ремонтных элементов в работу усиливаемых конструкций, бетоны этих элементов должны обладать низкой деформативностью, в первую очередь низкой усадочностью.

Сокращение расхода портландцемента в бетонах возможно за счет частичной его замены различными наполнителями. Однако известные наполнители не нашли широкого применения в качестве заменителей цемента, так как их применение, достаточно часто, приводит к замедлению скорости формирования физико-механических свойств бетона и снижению его прочности.

Таким образом, получение бетонов, способных быстро достигать требуемых физико-механических показателей, при сниженном расходе портландцемента является актуальной задачей.

**Постановка задачи.** Для решения данной проблемы необходимо решить следующую задачу: исследовать физико-механические свойства бетонов, модифицированных активированными железистыми цеолитами минеральными комплексами, представляющими собой систему «FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaO-CO<sub>2</sub>» различной степени дисперсности, и железосиликатным щелочным коллоидным раствором.

**Изложение материала и результаты.** Согласно [1-3, 6-10], прочность бетона зависит от активности цемента, водоцементного отношения и соотношения между его компонентами.

В данной группе экспериментов исследовалась прочность бетона в зависимости от водоцементного отношения, содержания в цементе активированного наполнителя, содержания мелкого заполнителя в смеси заполнителей. В качестве мелких заполнителей использовались речной

песок и классифицированные отходы ГОК. В качестве крупного заполнителя – гранитный щебень и щебень из железистых кварцитов. Содержание железосиликатного щелочного коллоидного раствора в цементе принято в количестве 0,5% от его массы.

Изготовление образцов и определение прочности бетона выполнялись согласно стандартным методикам [4].

Все составы бетонов, в зависимости от содержания в цементе железосиликатного щелочного коллоидного раствора и активированного наполнителя, были разделены на серии (табл. 1).

С целью повышения объективности данных, соотношение между компонентами бетона варьировали в широких пределах (табл. 2).

Таблица 1

Серии бетонов, примененные в исследованиях

Обозначение серии	Расход железосиликатного щелочного коллоидного раствора, % от массы цемента	Расход активированного наполнителя, %, от массы цемента
00	-	-
500	0,5	20
то же	то же	30
то же	то же	40
550	0,55	20
то же	то же	30
то же	то же	40
600	0,6	20
то же	то же	30
то же	то же	40

Таблица 2

Составы бетонов на основе портландцемента и активированного наполнителя

Обозначение состава	Расход компонентов бетона, кг/м <sup>3</sup>				Водоцементное отношение	Содержание мелкого заполнителя в смеси заполнителей $r = \frac{П}{П+Щ}$	Содержание наполнителя в цементе $\eta = \frac{O}{O+Ц} \cdot 100\%$
	цемент	вода	мелкий заполнитель	крупный заполнитель			
1-20	439	175	1250	512	0,4	0,71	20
2-20	то же	то же	1000	758	то же	0,57	то же
3-20	то же	то же	464	1280	то же	0,27	то же
4-20	390	195	1250	512	0,5	0,71	то же
5-20	то же	то же	1000	758	то же	0,57	то же
6-20	то же	то же	464	1280	то же	0,27	то же
7-20	350	210	1250	512	0,6	0,71	то же
8-20	то же	то же	1000	758	то же	0,57	то же
9-20	то же	то же	464	1280	то же	0,27	то же
10-20	318	223	1250	512	0,7	0,71	то же
11-20	то же	то же	1000	758	то же	0,57	то же
12-20	то же	то же	464	1280	то же	0,27	то же
1-30	456	228	1125	512	0,5	0,69	30
2-30	то же	то же	860	768	то же	0,53	то же
3-30	то же	то же	466	1152	то же	0,29	то же
4-30	409	245	1125	512	0,6	0,69	то же
5-30	то же	то же	860	768	то же	0,53	то же
6-30	то же	то же	466	1152	то же	0,29	то же
7-30	372	260	1125	512	0,7	0,69	то же
8-30	то же	то же	860	768	то же	0,53	то же
9-30	то же	то же	466	1152	то же	0,29	то же
1-40	468	281	987	512	0,6	0,66	40
2-40	то же	то же	727	768	то же	0,49	то же
3-40	то же	то же	464	1024	то же	0,31	то же
4-40	425	298	987	512	0,7	0,66	то же
5-40	то же	то же	727	768	то же	0,49	то же
6-40	то же	то же	464	1024	то же	0,31	то же

Примечание: П – расход мелкого заполнителя в бетоне, кг/м<sup>3</sup>; Щ – расход щебня в бетоне, кг/м<sup>3</sup>; O – расход активированного наполнителя, кг/м<sup>3</sup>; Ц – расход цемента в бетоне, кг/м<sup>3</sup>.

В обозначении состава бетона второе число указывает на величину наполнения цемента  $\eta$

В условиях эксперимента введение в состав цемента активированного наполнителя приводит к увеличению прочности бетона (табл. 3). Однако это увеличение не превышает 10 % прочности бетона, приготовленного на бездобавочном цементе. А прочность бетона, приготовленного с использованием в качестве мелкого заполнителя - речного песка, с введением активиро-

ванного наполнителя в некоторых случаях даже несколько ниже прочности бетона на бездобавочном цементе (табл. 3-5).

В условиях эксперимента при увеличении степени наполнения цемента активированным наполнителем снижается оптимальная величина содержания в бетоне мелкого заполнителя.

Обработка указанных результатов данных исследований с помощью математической программы «Mathcad 2000» позволила получить математическую модель прочности бетона на портландцементе, содержащем активированный наполнитель, МПа

$$R_c = [R_{и} \cdot \exp(0,16 - 2,62Z^2) + 222,76r - 102,85r^2] - (0,184 - 0,221r + 1,11r^2)C + (0,0005 - 0,0019r + 0,0032r^2)C^2,$$

где  $C$  - содержание портландцемента в бетоне, кг/м<sup>3</sup>;  $r$  - содержание мелкого заполнителя в смеси заполнителей;  $Z = 1 - (C/V/[C/V])$  - разжижение цементного теста в бетоне.

Анализ результатов экспериментов (табл. 3-5) показал, что бетон, образовавшийся в процессе твердения дисперсной системы «портландцемент-наполнитель-заполнители-железосиликатный щелочной коллоидный раствор-вода», обладает прочностью равной прочности бетона, образовавшегося в процессе твердения дисперсной системы «портландцемент-заполнители-вода» при меньшем содержании портландцемента.

Таблица 3

Прочность при сжатии бетонов серии 500

Обозначение состава бетона	Прочность бетона, МПа			
	на речном песке		на классифицированных отходах ГОК	
	без добавок	с АОГ	без добавок	с АОГ
1-20	46,2	46,4	48,4	50,1
2-20	47,4	47,0	49,6	52,6
3-20	48,0	47,2	49,7	53,2
4-20	40,0	38,3	40,9	46,5
5-20	44,0	43,2	46,3	49,2
6-20	48,8	48	50,2	54,9
7-20	25,6	26,0	26,8	30,1
8-20	32,8	32,0	35,6	40,2
9-20	35,6	34,0	37,0	39,2
10-20	29,6	28,0	32,0	36,4
11-20	26,0	27,0	28,2	32,8
12-20	35,6	36,4	36,4	40,5
1-30	30,4	31,2	34,2	38,5
2-30	37,6	38,1	39,3	43,9
3-30	38,0	37,4	40,2	44,7
4-30	26,0	25,4	26,8	33,5
5-30	29,2	27,6	32,8	36,4
6-30	32,4	30,5	35,2	39,8
7-30	23,2	20,4	25,6	29,6
8-30	26,8	26,4	28,6	34,9
9-30	33,6	30,1	36,4	40,5
1-40	29,2	27,4	33,2	42,8
2-40	26,8	25,1	29,4	36,2
3-40	29,6	27,6	35,6	39,8
4-40	27,3	25,8	31,2	35,4
5-40	29,4	26,7	34,3	40,1
6-40	26,5	24,5	30,2	35,2

Примечания: В таблице приведены значения прочности бетона в возрасте 28 сут.; АОГ – активированный наполнитель + железосиликатный щелочной коллоидный раствор; составы бетона приведены в табл. 2

При этом, при определенном расходе цемента, бетон обладает максимальной прочностью. Характер изменения прочности бетона в зависимости от содержания в нем цемента (рис. 3) позволяет сделать вывод о том, что активированный наполнитель выполняет роль заполнителя в бетоне, т.е. в данном случае смесь активированных железистых наполнителя и мелкого запол-

нителю может рассматриваться как один заполнитель прерывистого гранулометрического состава по аналогии с минеральной частью асфальтобетонов [5].

Таблица 4

## Прочность при сжатии бетонов серии 550

Обозначение состава бетона	Прочность бетона, МПа			
	на речном песке		на классифицированных отходах ГОК	
	без добавок	с АОГ	без добавок	с АОГ
1-20	46,2	44,4	48,4	49,2
2-20	47,4	46,8	49,6	50,4
3-20	48,0	48,2	49,7	51,3
4-20	40,0	40,3	40,9	43,5
5-20	44,0	41,2	46,3	47,3
6-20	48,8	48,3	50,2	51,2
7-20	25,6	25,6	26,8	28,1
8-20	32,8	32,9	35,6	37,4
9-20	35,6	35,4	37,0	38,2
10-20	29,6	29,0	32,0	34,4
11-20	26,0	26,0	28,2	30,2
12-20	35,6	35,4	36,4	38,5
1-30	30,4	30,2	34,2	35,4
2-30	37,6	36,1	39,3	40,6
3-30	38,0	38,4	40,2	41,2
4-30	26,0	25,6	26,8	28,0
5-30	29,2	29,6	32,8	33,4
6-30	32,4	32,5	35,2	36,6
7-30	23,2	22,4	25,6	26,8
8-30	26,8	25,4	28,6	29,6
9-30	33,6	31,1	36,4	37,4
1-40	29,2	28,2	33,2	35,1
2-40	26,8	26,1	29,4	30,3
3-40	29,6	28,5	35,6	36,8
4-40	27,3	26,2	31,2	32,3
5-40	29,4	27,3	34,3	34,2
6-40	26,5	25,6	30,2	32,3

Примечания: в таблице приведены значения прочности бетона в возрасте 28 сут.; АОГ – активированный наполнитель + железосиликатный щелочной коллоидный раствор; составы бетона приведены в табл. 2

Таблица 5

## Прочность при сжатии бетонов серии 600

Обозначение состава бетона	Прочность бетона, МПа			
	на речном песке		на классифицированных отходах ГОК	
	без добавок	с АОГ	без добавок	с АОГ
1-20	46,2	44,4	48,4	50,2
2-20	47,4	47,6	49,6	51,6
3-20	48,0	47,4	49,7	52,2
4-20	40,0	39,3	40,9	42,5
5-20	44,0	44,2	46,3	47,2
6-20	48,8	48,5	50,2	51,9
7-20	25,6	25,9	26,8	28,1
8-20	32,8	32,1	35,6	38,6
9-20	35,6	36,0	37,0	38,2
10-20	29,6	30,1	32,0	34,4
11-20	26,0	26,5	28,2	30,4
12-20	35,6	35,4	36,4	37,8
1-30	30,4	29,2	34,2	35,5
2-30	37,6	38,4	39,3	40,5
3-30	38,0	38,9	40,2	41,7
4-30	26,0	26,5	26,8	29,5
5-30	29,2	29,5	32,8	32,4
6-30	32,4	32,9	35,2	33,8
7-30	23,2	24,6	25,6	26,6
8-30	26,8	28,3	28,6	30,1
9-30	33,6	32,1	36,4	37,9
1-40	29,2	30,4	33,2	35,2
2-40	26,8	27,1	29,4	30,2
3-40	29,6	30,9	35,6	34,8
4-40	27,3	28,6	31,2	32,4

5-40	29,4	30,5	34,3	36,1
6-40	26,5	25,6	30,2	34,2

Примечания: В таблице приведены значения прочности бетона в возрасте 28 сут.; АОГ – активированный наполнитель + железосиликатный щелочной коллоидный раствор

**Выводы.** Установлено, что прочность при сжатии бетона зависят от водоцементного отношения, содержания мелкого заполнителя в смеси заполнителей и степени наполнения цементного камня активированным наполнителем. Получены математические модели прочности бетона, учитывающие его состав и содержание активированного наполнителя при оптимальном содержании железосиликатного щелочного коллоидного раствора в цементе. При этом оптимальное содержание активированного наполнителя в цементе составляет 20...30 % от его массы.

### Список литературы

1. Шишкін О.О., Хільченко О.П. Технологія бетону / О.О. Шишкін, О.П. Хільченко// Підручник для студентів вищих навчальних закладів. – Кривий Ріг: «Видавничий дім», 2007.– 376 с.
2. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б., Кочевих М.О., Гасан Ю.Г., Константиновський Б. Я., Ракша В.О. Будівельне матеріалознавство / П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, В.Б. Барановський, М.О. Кочевих, Ю.Г. Гасан, Б. Я. Константиновський, В.О. Ракша// Підручник. – К.: «Видавництво Ліра-К», 2012. – 624 с.
3. Штарк Иохан, Вихт Бернд. Долговечность бетона / Иохан Штарк, Бернд Вихт: [пер. с нем.] // . - К.: Оранта, 2004. – 295 с.
4. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 «Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови». – К.: «Мінрегіонбуд України», 2010. – 109 с.
5. ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові». – К.: «Мінрегіон України», 2015. – 26 с.
6. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов // Учебное пособие для вузов. - М.: Высш. школа, 1987. - 455 с.
7. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия / А.Г. Комар // Учебн. для инженерно-экономических специальностей строительных вузов. М.: Высш. школа, 1988. – 527 с.
8. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов //Учебное пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
9. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов - М.: Стройиздат, 1981. - 464 с.
10. Михайлов К.В., Волков Ю.С. Бетон и железобетон в строительстве / К.В. Михайлов, Ю.С. Волков // . – М.: Стройиздат, 1987. – 103 с.

Рукопись поступила в редакцию 10.03.17

УДК 681.58:001.57

А.М. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц., В.О. КОНДРАТЕЦЬ, д-р техн. наук, проф.

Кіровоградський національний технічний університет

## СИНТЕЗ КВАЗІІНВАРІАНТНОЇ СЛІДКУЮЧОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ РОЗРІДЖЕННЯ ПУЛЬПИ В ПІСКОВОМУ ЖОЛОБІ ОДНОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА

**Мета.** Метою даної роботи є розробка підходу автоматизованого керування подрібненням руди кульовими млинами з оптимізацією динаміки вирівнювання розрідження пульпи на початковій ділянці барабана технологічного агрегату. Великі витрати при подрібненні бідних залізних руд у перших стадіях в значній мірі викликані відсутністю інформації відносно певних технологічних процесів, до яких можливо віднести і розрідження пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора, де недостатньо вивчалися засоби керування цим параметром.

**Методи дослідження.** Не розглядалося автоматичне керування розрідженням пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора, яке б сприяло створенню і підтриманню умов розрідження пульпи в технологічному агрегаті, що гарантувало б значне підвищення ефективності роботи куль і не допускало б перевитрати електричної енергії, куль і футеровки з одночасним підвищенням продуктивності по готовому продукту.

**Наукова новизна.** Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є синтез квазіінваріантної слідкуючої системи стабілізації розрідження пульпи в пісковому жолобі односпірального класифікатора з пошуком оптимальної структури та параметрів динамічних ланок з врахуванням меж і характеру зміни вхідних даних.

**Практична значимість.** Показано, що слідкуючу систему доцільно реалізувати на базі виконавчого механізму з асинхронним двофазним електродвигуном змінного струму та тиристорного перетворювача частоти, редуктора, перетворювального механізму, двосідлового клапана, відрізка магістральної труби і витратоміра, які відрізняються високою надійністю. Отримані аналітичні залежності між сигналами та параметрами системи відкривають шляхи реалізації автоматичного регулятора. Недостатня вивченість цих зв'язків стримує розробку ефективних систем авто-