

Оптимизация состава вяжущего для сухих строительных напольных смесей

М.О. Коровкин, Н.А. Ерошкина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза

Аннотация: В статье приведены результаты исследования усадки портландцемента с добавками строительного гипса и глиноземистого цемента. Предложены методика оценки предельного напряжения сдвига цементного теста по его растекаемости на стекле и методика оценки неоднородности смеси. Показано, что определение площади расплыва смеси с помощью цифрового фотоаппарата, с последующей обработкой результатов эксперимента с использованием графического редактора позволяет получить более точные данные о предельном напряжении смеси и ее однородности. Установлено, что низкую усадку в возрасте до 3 суток имеет состав, включающий 78 % портландцемента, 21,5 % гипса и 0,5 % глиноземистого цемента. Оптимальная дозировка добавок гипса и глиноземистого цемента зависит от химико-минералогического состава портландцемента.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, напольные смеси на цементном вяжущем, смешанное вяжущее, глиноземистый цемент, гипс, суперпластификатор.

Сухие строительные смеси подвергаются высушиванию на всех стадиях структурообразования, что вызывает развитие усадочных явлений и может привести к образованию трещин. Для некоторых разновидностей таких материалов, в частности для напольных цементных смесей, стойкость к трещинообразованию является критическим параметром. В связи с этим одним из основных требований, предъявляемых к самовыравнивающимся смесям для устройства полов, является низкая усадка. Смесей, изготовленные на основе обычного портландцемента или его разновидностей, имеют высокую усадку, которая вызывает растрескивание покрытия. Для снижения усадки в цемент вводятся добавки, снижающие это явление. Одним из эффективных способов снижения усадочных деформаций считается введение в вяжущее глиноземистого цемента и гипса [1]. При оптимальной дозировке этих добавок в смешанном вяжущем образуется достаточное количество гидросульфоалюминатов кальция, которые, увеличиваясь в объеме, компенсируют усадку [1, 2], а при повышении содержания глиноземистого цемента и гипса эти компоненты обеспечивают расширение вяжущего,

которое используется для получения специальных цементов – самонапрягающихся, расширяющихся, водонепроницаемых и др. [3, 4, 5].

В связи с тем что составы с применением глиноземистых цементов быстро теряют подвижность при использовании суперпластификаторов различной химической природы [6], а также с учетом высокой стоимости глиноземистого компонента его содержание в смешанных вяжущих необходимо минимизировать.

Для определения оптимального с точки зрения усадки соотношения компонентов в смешанном вяжущем на основе портландцемента, глиноземистого цемента и строительного гипса нами был выбран семиуровневый симплекс-решетчатый план. Доля портландцемента в смешанном вяжущем изменялась от 76 до 100%, глиноземистого цемента и гипса - от 0 до 24% каждого. Интервал варьирования этих компонентов в эксперименте составлял 4 %. Составы вяжущего и свойства цементного камня приведены в таблице.

Составы изготавливались из портландцемента ОАО «Осколцемент» ПЦ 500 Д0, гипса Г-7 производства ОАО «Юнис», глиноземистого цемента Sika 51 (Франция), суперпластификатора для сухих строительных смесей Sika ViskoCrete 105 при его дозировке 0,4 % от массы вяжущего и водоцементном отношении 0,275. Выбор данного суперпластификатора на поликарбоксилатной основе был обусловлен его высоким водоредуцирующим эффектом в глиноземистых цементах в сравнении с другими добавками [6].

Образцы изготавливались в формах размерами 20×20×100 мм. Усадочные деформации в начальные сроки определялись на горизонтальном компараторе ИЗО-2 с ценой деления 10^{-6} м. В качестве реперных точек были использованы острия булавок, вставленных в цементное тесто после заполнения форм. После набора прочности образцы извлекались из формы, и

усадка измерялась с помощью индикатора часового типа с ценой деления 2×10^{-6} м.

Кроме усадки, в исследуемых составах оценивались текучесть смеси и ее склонность к седиментации. Текучесть смеси определялась с помощью цилиндрического вискозиметра высотой 29 и диаметром 16 мм по диаметру растекания цементного теста на стекле [7].

Предельное напряжение сдвига τ_0 цементной суспензии в Па можно рассчитать по формуле [8]

$$\tau_0 = \frac{g \cdot \rho \cdot h \cdot d^2}{k \cdot D^2}, \quad (1)$$

где ρ - плотность суспензии, кг/м³; h и d – соответственно высота и диаметр цилиндрического вискозиметра, м; D – диаметр расплыва смеси, м; k – коэффициент, равный 2; g – ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с².

Формула (1) используется в исследовательской практике для оценки предельного напряжения сдвига смеси [9, 10, 11].

Некоторые суспензии, приготовленные из смешанного цемента с различным содержанием гипса и глиноземистого цемента при равном водовяжущем отношении, обладали различной склонностью к седиментации. Одно из проявлений седиментации - неравномерный расплыв смеси. Для оценки неоднородности смеси, возникающей в результате седиментационных явлений, использовался коэффициент неравномерности расплыва, который рассчитывался по формуле

$$K_H = 100(L_\Phi/L_\Pi) - 100,$$

где L_Φ - периметр тела расплыва, м; L_Π - приведенный периметр тела расплыва, м, рассчитанный по формуле

$$L_\Pi = \sqrt{4\pi S}$$

где S - площадь суспензии после расплыва на стекле, м².

Для определения площади S и периметра суспензии после расплыва L_{Φ} ее фотографировали цифровой фотокамерой с последующей обработкой изображения в графическом редакторе, позволяющем рассчитать длину замкнутой линии - периметр и площадь внутри него (рис. 1).

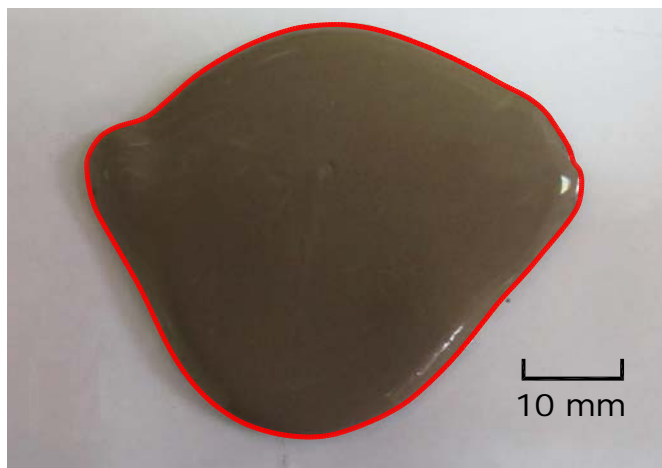


Рис.1. – Расплыв вяжущего теста на стекле и определение площади расплыва

С учетом значительного отличия периметра тела истечения от окружности предельное напряжение сдвига вяжущего теста более точно можно рассчитать по формуле

$$\tau_0 = \frac{\pi \cdot g \cdot \rho \cdot h \cdot d^2}{4 \cdot k \cdot S},$$

где S – площадь вяжущего теста; остальные обозначения приведены в экспликации к формуле (1).

Результаты определения зависимости исследуемых свойств смешанных вяжущих от их состава, представленные в таблице, позволяют отметить, что введение в состав вяжущего глиноземистого цемента и гипса приводит не только к снижению усадочных деформаций, но и при определенных соотношениях компонентов к значительному расширению вяжущего камня.

Состав и свойства смешанного вяжущего

№ соста ва	Состав смешанного вяжущего, %			Усадка, мм/м, через		τ_0 , Па	K_H
	портлан дцемент	гипс	глиноземист ый цемент	1 сутки	3 сутки		
1	100	–	–	1,905	1,38	30,2	7,32
2	96	4	–	9,529	9,305	31,9	5,9
3	92	8	–	7,95	9,512	31,9	1,82
4	88	12	–	3,955	6,46	32,9	1,7
5	84	16	–	-1,238	-1,733	36,5	1,54
6	80	20	–	0,16	0,174	41,4	0,89
7	76	24	–	3,211	0,642	51,1	0,71
8	96	–	–	10,62	12,971	55,4	2,27
9	92	4	4	5,07	11,33	29,9	1,16
10	88	8	4	1,34	7,96	31,7	0,87
11	84	12	4	1,494	4,166	32,9	0,55
12	80	16	4	0,7	-0,321	41	0,48
13	76	20	4	1,633	1,338	48,5	1,98
14	92	–	8	1,456	1,885	28,7	1,13
15	88	4	8	1,003	3,156	30,6	1,29
16	84	8	8	-1,273	-0,977	32,6	0,14
17	80	12	8	-9,37	-8,079	32,4	0,76
18	76	16	8	-9,659	8,079	40,5	0,71
19	88	–	12	-6,641	-4,932	24,3	3,63
20	84	4	12	1,491	3,523	30,2	1,96
21	80	8	12	-0,102	0,262	41,3	0,78
22	76	12	12	-3,394	-2,89	38,6	1,19
23	84	–	16	-10,32	-8,6	33,4	1,1
24	80	4	16	1,138	2,199	32,4	1,43
25	76	8	16	-0,282	0,619	42,2	0,59
26	80	–	20	-1,477	-0,894	29,0	0,23
27	76	4	20	0,163	1,715	31,9	1,17
28	76	–	24	-1,415	-0,42	28,3	1,23

Статистический анализ результатов позволил установить математические зависимости усадки от состава смешанного вяжущего. На рис. 2 приведены треугольные диаграммы, построенные по полученным зависимостям.

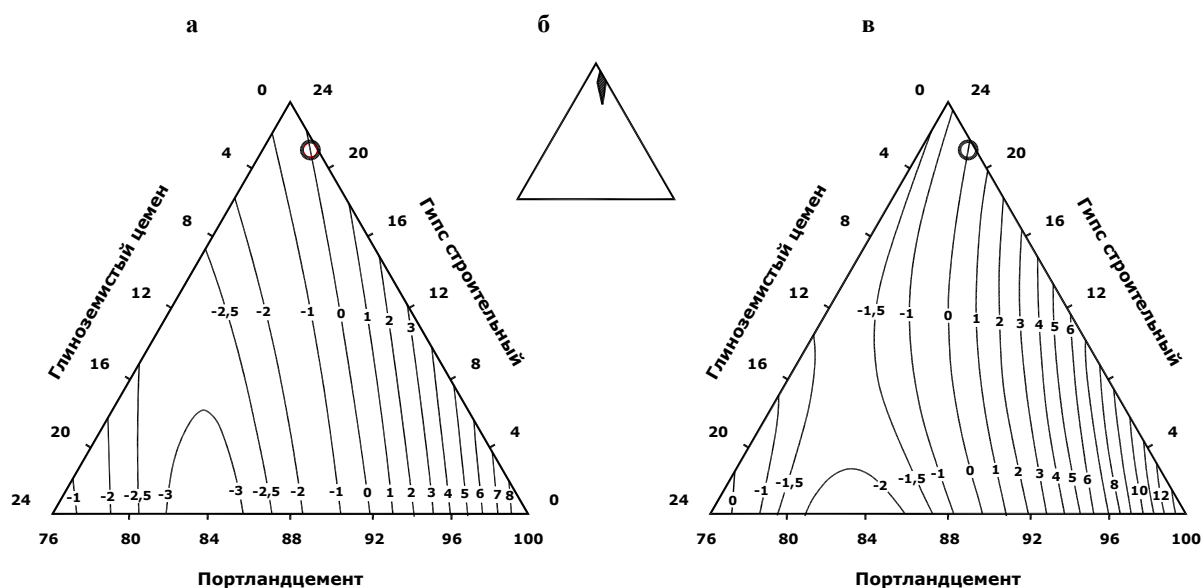


Рис. 2. – Влияние состава смешанного вяжущего на его усадку через 1 (а) и 3 (в) суток и пересечение областей с минимальной усадкой (б)

Анализ влияния состава смешанного вяжущего на усадочные деформации через 1 и 3 сут, проведенный по диаграммам, показывает, что нулевую усадку в эти сроки имеет вяжущее, включающее в свой состав 78 % портландцемента, 21,5 % гипса и 0,5 % глиноземистого цемента. Незначительное содержание в этом составе глиноземистого цемента свидетельствует о близком к оптимальному содержанию в портландцементе алюминатных фаз.

В более поздние сроки значения усадки при высыхании в смесях увеличивались, однако в составах, содержащих 77-81 % портландцемента, 17-23 % гипса, 0-2,5 % глиноземистого цемента, не отмечалось образование трещин.

С учетом того что для напольных смесей на цементном вяжущем риск образования трещин на ранних стадиях твердения намного выше, чем в более поздние сроки, при оптимизации состава необходимо минимизировать усадку в этом возрасте. Проведенные исследования позволяют рекомендовать для получения самовыравнивающихся напольных смесей

вяжущее, включающее кроме портландцемента 17-23 % гипса и при необходимости несколько процентов глиноземистого цемента.

Литература

1. Taylor H.F.W. Cement Chemistry, 2nd Edition. Thomas Telford Services Ltd., London, 1997. 480 p.

2. Fu Yan, Ding Jian, Beaudoin J.J. Effect of different calcium aluminate hydrates on ettringite formation and expansion of high alumina cement-based expansive cement pastes // Cement and Concrete Research. 1996. Vol. 26, Iss. 3. pp. 417-426.

3. Резван И.В., Резван А.В. От гипсоглиноземистого расширяющегося цемента к напрягающему цементу. Изменение кинетики расширения // Инженерный вестник Дона, 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2191.

4. Резван И.В., Резван А.В. О возможности физико-химического регулирования кинетики самоупрессования НЦ // Инженерный вестник Дона, 2012. №4. Часть 1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1128.

5. Моргун В.Н. Роль расширяющих добавок в управлении свойствами пенобетонов // Инженерный вестник Дона, 2009. №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2008/90.

6. Коровкин М.О., Ерошкина Н.А. Исследование водоредуцирующего эффекта суперпластификаторов в глиноземистых цементах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. № 22. С. 79-82.

7. Коровкин М.О., Калашников В.И., Ерошкина Н.А. Эффективность суперпластификаторов и методология ее оценки. Пенза: ПГУАС, 2012. 144 с.

8. Калашников В.И., Коровкин М.О., Тетенькин А.Г. Методология оценки эффективности пластификаторов в воднодисперсных системах //



Международная научно-техническая конференция «Структурообразование и прочность композиционных строительных материалов». Одесса: ОГАСА, 1994. С. 21-22.

9. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд-во АСВ, 2006. 368 с.

10. Несветаев Г.В. Технология самоуплотняющихся бетонов // Строительные материалы. 2008. №3. С.24-27.

11. Бычков М.В., Удодов С.А. Особенности разработки легких самоуплотняющихся бетонов на пористых заполнителях // Инженерный вестник Дона, 2013. № 3. URL:ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1774.

References

1. Taylor H.F.W. Cement Chemistry, 2nd Edition. Thomas Telford Services Ltd., London, 1997. 480 p.

2. Fu Yan, Ding Jian, Beaudoin J.J. Effect of different calcium aluminate hydrates on ettringite formation and expansion of high alumina cement-based expansive cement pastes. Cement and Concrete Research. 1996. Vol. 26, Iss. 3. pp. 417-426..

3. Rezvan I.V., Rezvan A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2191.

4. Rezvan I.V., Rezvan A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012. №4. Chast' 1. URL:ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1128.

5. Morgun V.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2009. №3. URL:ivdon.ru/magazine/archive/n3y2008/90.

6. Korovkin M.O., Eroshkina N.A. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2011. – № 22. pp. 79-82.



7. Korovkin M.O., Kalashnikov V.I., Eroshkina N.A. Effektivnost' superplastifikatorov i metodologiya ee otsenki [The effectiveness of superplasticizers and methodology of its evaluation]. Penza: PGUAS, 2012. 144 p.

8. Kalashnikov V.I., Korovkin M.O., Teten'kin A.G. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Strukturoobrazovanie i prochnost' kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov». Odessa: OGASA, 1994. pp. 21-22.

9. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova B.C., Kalashnikov V.I. Modifitsirovannyye vysokokachestvennyye betony [Modified high-quality concrete]. M.: Izd-vo ASV, 2006. 368 p.

10. Nesvetaev G.V. Stroitel'nye materialy. 2008. №3. pp. 24-27.

11. Bychkov M.V., Udodov S.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus) , 2013. № 3. URL:ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1774.