

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МАЛОКЛИНКЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

В.К. Козлова, Е.В. Шкробко, Е.Ю. Малова, А.Н. Афаньков, В.В. Коньшин

Изучено влияние минеральных добавок различного происхождения на свойства малоклинкерных цементов. Показано, что с применением добавок в виде зол бурых углей, отходов добычи доломита, сульфатсодержащих отходов химических производств могут быть получены малоклинкерные композиционные цементы.

Ключевые слова: золы бурых углей, малоклинкерные цементы, доломит, сульфатсодержащие отходы химических производств.

ВВЕДЕНИЕ

К характерным особенностям развития цементной промышленности можно отнести все более увеличивающиеся объемы производства клинкерных портландцементов с минеральными добавками. Использование минеральных добавок обусловлено экономией дорогостоящего клинкера, энергосбережением при производстве цемента, уменьшением выбросов углекислого газа в атмосферу, а также необходимостью получать особые виды портландцементов, обладающих рядом специальных свойств. Однако, для цементных заводов России в настоящее время характерен узкий ассортимент выпускаемых портландцементов, около 60-70 % выпуска составляет портландцемент ПЦ400Д20 (ЦЕМ II/A – Ш 32,5), около 30% ПЦ500Д0 (ЦЕМ I 42,5 Н и ЦЕМ I 42,5 Б). В качестве вводимых в ПЦ400Д20 активных минеральных добавок используется, в основном, доменный гранулированный шлак. В связи с возросшей стоимостью этой добавки резко сократился выпуск шлакопортландцемента. Из особых видов портландцемента можно отметить производство сульфатостойкого портландцемента на трех цементных заводах (ССПЦ400Д20 и ССПЦ500Д0) [1]. Практически отсутствует выпуск малоклинкерных цементов типа ЦЕМ V и, в целом, производство многокомпонентных малоклинкерных вяжущих веществ. Производство малоклинкерных портландцементов стандартизовано введением в действие ГОСТа 31108-2003 разрешающего использование при изготовлении композиционных портландцементов до трех минеральных добавок различного состава и происхождения. Получаемый при этом композиционный портландцемент с содержанием клинкера более 40% относится к типу ЦЕМ V. Минимальный

расход портландцементного клинкера должен обеспечиваться за счет введения 11-30% доменного гранулированного шлака и 11-30% пуццоланической добавки или добавки золы-уноса. К сожалению, в указанном ГОСТе рекомендован ограниченный тремя видами перечень минеральных добавок, хотя в качестве добавок при изготовлении таких цементов могли быть использованы различные виды промышленных отходов (шлаки цветной металлургии, горелые породы, отходы химической промышленности, попутные продукты добычи полезных ископаемых, некондиционные сырьевые материалы). Сочетание различных видов перечисленных добавок, открывает большие перспективы для получения портландцементов, отличающихся необходимым набором специфических свойств (безгипсовые портландцементы, безусадочные и расширяющиеся портландцементы, цементы для зимнего бетонирования, портландцементы для изготовления различных видов сухих строительных смесей, портландцементы для самоуплотняющихся бетонов и др.). Особенно необходимы такие цементы в интенсивно развивающемся малоэтажном строительстве, для выполнения намеченных планов введения жилья требуется расширение номенклатуры производимых вяжущих веществ за счет альтернативных видов сырья, в том числе за счет побочных продуктов промышленности. Однако крупные производители цементов не заинтересованы в организации производства таких портландцементов на существующих заводах в связи с необходимостью расширения складского хозяйства при увеличении количества добавок, переоборудования бункеров в цехах помола, а также в связи со слабой изученностью совместного влияния нескольких одновременно вводимых добавок на

свойства получаемого готового продукта. Главной причиной, на наш взгляд, является отсутствие конкуренции среди производителей цемента, нет стимулов, побуждающих осваивать производство новой продукции. Сложившаяся ситуация может измениться при появлении вновь выстроенных помольных установок, которые будут работать на купленных у цементных заводов излишках клинкера. Строительство и эксплуатация таких помольных установок поможет решить основные задачи развития базы строительной индустрии – снижение энергозатрат на производство строительных материалов и замену значительной части природных ресурсов крупнотоннажными техногенными отходами. Развитие малоэтажного строительства приводит к увеличению доли стеновых материалов в общем балансе материальных ресурсов строительства. Ограждающие конструкции должны обладать заданными прочностными, тепло-, звуко-, атмосферозащитными свойствами, которые довольно сложно получить, используя традиционные материалы. В настоящее время в монолитном домостроении в качестве основного материала используют различные виды бетонов на основе портландцемента. Такие бетоны набирают распалубочную прочность через 3-4 суток, хотя характеризуются высокой конечной прочностью и водостойкостью. Кроме того, часто возводимые ограждающие конструкции обладают недостаточно высоким термическим сопротивлением. Прототипом многокомпонентных малоклинкерных вяжущих веществ являются гипсоцементнопуццолановые вяжущие, основу которых составляет смесь воздушного (строительный гипс) и гидравлического (портландцемент) вяжущих, значительную часть составляют активные минеральные добавки (пуццоланические добавки или доменные гранулированные шлаки).

Сульфатизация является одним из способов улучшения строительно-технических характеристик цементов, наиболее распространенный вариант – изготовление гипсоцементных вяжущих с использованием портландцемента и строительного гипса. Такие вяжущие обладают достоинствами того и другого составляющего, не имея их недостатков. Материалы и изделия на их основе быстро твердеют, изготавливаются по беспропарочной технологии при значительно меньшем расходе цемента. Бетонные смеси на основе гипсоцементнопуццолановых вяжущих могут использоваться при монолитном бетонировании ограждающих конструкций

малоэтажных зданий. Однако основная проблема совмещения гипсового вяжущего и портландцемента в единую композицию заключается в том, что после 28 суток твердения гипсоцементный камень обладает склонностью к деструктивным явлениям [2]. Введение активных минеральных добавок в виде трепела, опоки, диатомита не решает проблему долговечности изделий и конструкций на основе гипсоцементнопуццолановых вяжущих веществ. В состав малоклинкерного гипсоцементного вяжущего необходимо ввести минеральные добавки, предупреждающие возникновение деструктивных процессов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для получения малоклинкерных композиционных вяжущих веществ использовался в качестве основного компонента портландцемент ПЦ500Д0 (ЦЕМ I 42,5 Н) производства цементного завода ОАО «Искитимцемент». В качестве добавок использовались: высококальциевая зола ТЭЦ, получаемая при сжигании бурых углей Канско-Ачинского бассейна, доломит Таензинского месторождения Кемеровской области, строительный гипс марки Г5АII, сульфатсодержащий отход химического производства. Портландцементный клинкер цементного завода ОАО «Искитимцемент» имеет следующий химический состав: SiO_2 – 21,58%, Al_2O_3 – 5,66%, Fe_2O_3 – 4,61%, CaO – 65,70%, MgO – 1,32%, R_2O – 0,80%, SO_3 – 0,33%, $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ – 0,30%. Химический состав буроугольной золы: SiO_2 – 33,38%, Al_2O_3 – 6,94%, Fe_2O_3 – 10,57%, CaO – 32,35%, MgO – 6,89%, SO_3 – 2,69%, $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ – 7,13%. Зола обладает вяжущими свойствами, но характеризуется неравномерным изменением объема при твердении, что может быть причиной деструктивных явлений при гидратации и твердении золосодержащих вяжущих веществ. Вяжущее, изготовленное из смеси портландцемента ПЦ500Д0 и золы в соотношении 1:1 при гидратации в нормальных условиях в течение 28 суток обеспечивает набор прочности до 50,0 МПа, но не отвечает требованиям равномерного изменения объема при твердении. Малоклинкерные композиционные вяжущие изготавливались смешиванием подготовленных компонентов в различном сочетании. Композиционный портландцемент типа ЦЕМ V изготавливался смешиванием портландцемента ПЦ500Д0 с добавками молотой золы и молотого доломита. Гипсоцементнозольное вяжущее изготавливалось смешиванием цемента, строитель-

ного гипса и молотой золы. В составе этих вяжущих до 50% строительного гипса заменялось сульфатсодержащим отходом.

Из теста нормальной густоты, подготовленного на основе полученных вяжущих, изготавливались образцы-кубы с ребром 2 см, твердевшие в камере нормального твердения. Образцы, изготовленные из цемента без гипсовых добавок, твердели сутки над водой, затем 27 суток в воде. Состав, свойства цементов и свойства цементного камня приведены в таблице 1.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Полученные результаты исследований позволяют утверждать, что на основе портландцементного клинкера (или бездобавочного портландцемента) в сочетании с изученными добавками могут быть получены малоклинкерные композиционные портландцементы типа ЦЕМ V. При содержании 40% клинкерной составляющей их предел прочности при сжатии в 28-суточном возрасте достигает 27,0-29,0 МПа. Кроме того, изготовленные малоклинкерные золосодержащие композиционные портландцементы являются безусадочными, в процессе твердения полу-

чается бездефектный цементный камень с расширением 1,0-1,5 мм/м. Доломитовая составляющая комплексной добавки гарантирует равномерное изменение объема при твердении. Зольно-доломитовая добавка при соотношении компонентов от 1:1 до 7:3 (состав 9) может рассматриваться как самостоятельное безклинкерное вяжущее.

При использовании портландцемента в сочетании с зольногипсовой добавкой могут быть изготовлены эффективные малоклинкерные гипсоцементнозольные вяжущие вещества, обеспечивающие при твердении получение прочного бездефектного, безусадочного и водостойкого цементного камня.

В отличие от гипсоцементнопуццолановых вяжущих полученные гипсоцементнозольные вяжущие при гидратации и твердении в течение года равномерно набирают прочность.

Некоторым недостатком характеризуемых вяжущих является быстрое схватывание. Но процесс схватывания может быть отрегулирован использованием добавок-замедлителей. Кроме того, при замене половины строительного гипса сульфатсодержащими отходами схватывание замедляется.

Таблица 1 – Составы, свойства вяжущих и свойства цементного камня

Состав вяжущего вещества	НГ, %	Сроки схватывания, мин		Предел прочности при сжатии, МПа				K _{разм.}	V _{объем.} , %	С полифракц. песком (состав 1:3), 28 суток	
		начало	конец	28 сут.	3 мес.	6 мес.	12 мес.			R _{сж.} , МПа	R _{изг.} , МПа
1. 40% ПЦ + + 30% зола + + 30% доломит	26,5	60,0	210,0	53,9	65,7	75,6	77,5	0,94	11,1	27,4	6,5
2. 40% ПЦ + + 42% зола + + 18% доломит	27,2	55,0	185,0	63,8	70,2	84,7	87,5	0,92	12,5	29,3	6,3
3. 40% ПЦ + + 30% зола + + 30% Г-5	36,2	5,5	10,5	32,7	45,0	55,9	58,0	0,88	24,6	12,2	3,1
4. 30% ПЦ + + 20% зола + + 50% Г-5	32,4	6,0	12,0	29,4	40,8	43,6	47,3	0,90	22,9	15,4	3,8
5. 40% ПЦ + + 20% Г-5 + + 25% зола + + 15% доломит	30,1	10,0	18,0	34,7	46,5	51,2	55,4	0,89	20,4	-	-
6. 40% ПЦ + + 20% зола + + 20% Г-5 + + 20% сульф отход	29,2	15,0	28,0	35,2	44,6	49,3	52,7	0,87	-	-	-
7. 50% Г-5 + + 50% зола	35,6	11,0	14,0	21,5	29,7	35,5	38,0	0,83	-	-	-
8. 30% Г-5 + + 70% зола	31,8	18,0	24,0	26,6	28,6	40,9	43,8	0,86	-	-	-
9. 70% зола + + 30% доломит (твердение в воде)	26,8	25,0	60,0	29,7	37,5	43,2	-	0,79	-	-	-

Примечание: ρ – нормальная густота; $K_{разм}$ – коэффициент размягчения; объемное водопоглощение.

Гипсозольная комплексная добавка также, как и зольнодоломитовая, при таком же соотношении составляющих может рассматриваться как самостоятельное безцементное вяжущее [3].

Химический механизм влияния доломитовой и гипсовой добавок на свойства золосодержащих вяжущих, а также состав продуктов их гидратации нуждается в дополнительном изучении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистика. Россия // Цемент и его применение, 2013. – № 3. – С.7.

2. Алкснис Ф.Ф. Твердение и деструкция гипсоцементных композиционных материалов. – Л.: Стройиздат, 1988. – 103 с.

3. Шкробко Е.В., Маноха А.М., Гущина Е.Н., Андрушина Е.Е. Эффективные гипсоцементнозольные композиционные вяжущие вещества // Ползуновский вестник, 2012. – № ½. – С.153-156.

Козлова В.К. – д.т.н., профессор, E-mail: kozlova36@mail.ru; *Шкробко Е.В.* – аспирант; *Малова Е.Ю.* – аспирант; *Афаньков А.Н.* – аспирант; *Коньшин В.В.* – к.х.н., доцент, E-mail: v-konshin@mail.ru, Алтайский государственный технический университет.

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЖИМА ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

А.С. Куценко, С.В. Коваленко, В.И. Товажнянский

В статье обоснована упрощенная математическая модель управляемого процесса теплоснабжением здания. На основе предложенной модели и принципа максимума Л.С. Понтрягина получен оптимальный закон управления прерывистым режимом отопления. На основании численных экспериментов обоснованы рекомендации по условиям эффективного использования режима прерывистого отопления.

Ключевые слова: прерывистое отопление, управление теплоснабжением, математическая модель тепловых процессов здания.

Введение

Одним из основных направлений решения проблемы энергосбережения в системах теплоснабжения зданий наряду с утеплением и установкой теплосчетчиков является автоматизация систем управления теплоснабжением.

Анализ источников информации в области энергосбережения при теплообеспечении производственных зданий позволяет прийти к заключению, что наиболее эффективным путем экономии тепловой энергии при сохранении необходимого уровня комфортности является режим прерывистого отопления (РПО), состоящий в снижении тепловой мощности (вплоть до полного отключения) на период нерабочего времени.

В работах [1-4] рассмотрены некоторые подходы к реализации РПО, а также оценке его энергоэффективности, основанные на математическом моделировании процессов теплоснабжения зданий.

Несмотря на высокий научный уровень этих исследований им, как и любым другим

научным исследованиям, присущ ряд допущений и недостатков.

Так в основополагающей работе [1] при рассмотрении процесса разогрева здания или натопа не учитываются динамические характеристики ограждений и внутренних аккумуляющих элементов (перегородок, мебели, оборудования и пр.).

В то же время, нетрудно убедиться в том, что постоянная времени процесса нагревания внутреннего воздуха пренебрежимо мала по сравнению с постоянными времени тепловых процессов ограждений и внутренних аккумуляторов теплоты.

Кроме того, температура внутренней поверхности внешнего ограждения принимается постоянной в процессе натопа, что очевидным образом не соответствует физике тепловых процессов зданий, сформулированной авторами ранее. Этот недостаток также отмечается авторами [2], которые попытались сформулировать алгоритм прерывистого отопления на основании решения задачи оптимального управления по критерию эконо-