

УДК 691.33 + 666.942

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛОЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*С.П. Горбунов, С.Н. Погорелов, Г.С. Семеняк*

По результатам проведенных опытно-экспериментальных исследований влияния состава вяжущего на свойства композиционных материалов установлена возможность получения композиционных материалов, обеспечивающих достижения требуемых нормативно-технических параметров.

Ключевые слова: портландцемент, смешанные вяжущие, гранулированный шлак.

Планируемое в нашей стране увеличение объемов жилищного строительства технически развитых стран, задачи дальнейшего экономического и социального развития страны могут быть решены при соответствующем наращивании объемов производства строительных материалов. Решение этой задачи в значительной мере связано с развитием производства и экономным использованием минеральных вяжущих веществ, основным из которых является в настоящее время и на обозримое будущее портландцемент и его разновидности [1], дефицит которых не снижается ни по объему производства, ни по номенклатуре.

Увеличение производства портландцемента за счет восстановления и увеличения мощностей экстенсивен и не решает проблемы дефицита. Необходимо разрабатывать технические решения по снижению цементоемкости строительной продукции, приближая этот показатель к уровню технически развитых стран.

Понижение цементоемкости строительной продукции достигается как за счет обеспечения рациональной гранулометрии и чистоты заполнителей строительных смесей и применения химических и минеральных добавок, так и за счет более широкого использования безклинкерных и малоклинкерных вяжущих. Стремление к снижению цементоемкости строительной продукции в определенной мере связано и с тем, что производство портландцемента базируется на высоком потреблении природного минерального сырья и энергоресурсов и сопровождается значительными объемами выбросов вредных побочных продуктов в окружающую среду.

В «Стратегии развития строительного комплекса Российской Федерации на период до 2010 года» ставится задача рационального использования и вовлечения в производство техногенных отходов различных отраслей промышленности, замещения на 20...30 % природного сырья производственными и бытовыми отходами в производстве строительных материалов. Необходимо отметить, что указанные стратегические задачи актуальны и

сегодня, и в длительной перспективе, поскольку объемы утилизации побочных продуктов промышленности в нашей стране не превышают 10...15 %, то в развитых странах этот показатель достигает 60...80 % [2].

Существует определенная недооценка возможности более широкого применения гипсовых вяжущих веществ в строительном комплексе, особенно в составе смешанные вяжущие вещества – гипсоцементнопуццолановых (ГЦПВ) и гипсошлаковых (ГСШ); работы в этом направлении являются весьма перспективными, особенно для малого бизнеса [3].

В предлагаемой работе рассматривается эффективность изготовления и применения водостойких гипсоцементнопуццолановых вяжущих и их аналогов в экономически обоснованных строительных проектах.

Объектом исследований являлись:

- 1) смешанные вяжущие, включающие молотый доменный гранулированный шлак (далее ГШ), портландцемент (ПЦ) и гипсовый камень (ГК);
- 2) тяжелые и мелкозернистые бетоны на основе смешанных вяжущих.

Используемые материалы

Молотый доменный гранулированный шлак – побочный продукт выплавки чугуна в ОАО «Мечел» г. Челябинска, химический состав которого приведен в табл. 1.

Таблица 1

Усредненный химический состав доменного гранулированного шлака

Химический состав доменного гранулированного шлака, % по масс.						
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	CaO <sub>св</sub>
38,6	11,66	2,22	36,75	10,28	0,56	0,31

Требуемая тонкость помола шлака с точностью  $\pm 100$  см<sup>2</sup>/г достигалась варьированием длительности помола пробы с последующим усреднением в лабораторной мельнице стаканного типа.

Гипсовый камень – горная порода Багарякского месторождения; по ГОСТ 4013 не ниже 2 сорта с содержанием сульфата кальция – 92,8 %.

Требуемая тонкость помола камня с точностью  $\pm 80$  см<sup>2</sup>/г достигалась варьированием длительности помола пробы с последующим усреднением в лабораторной мельнице шарового типа. Применение мельницы стаканного типа приводит к частичной дегидратации гипса, что резко сокращает сроки схватывания смешанного вяжущего.

Портландцемент по ГОСТ 10178 М400 Д20 (дозировка АД (ГШ) Коркинского цементного завода (фирма Лафарж)) в составе портландцемента составляет в среднем 17 %). Нормативно – технические показатели вяжущего соответствуют требованиям ГОСТ 10178.

Для оценки технических характеристик вяжущего и влияния варьируемых факторов на свойства композита в работе использовался метод математического планирования, позволяющего получать адекватные математические модели процесса. В качестве варьируемых факторов принимались:

вид компонента смешанного вяжущего ( $X_1$  – ГШ и  $X_2$  – ГК), интервалы изменения тонкости помола которых находились в заданном факторном пространстве: 3200 – 4500 см<sup>2</sup>/г и 2000 – 2700 см<sup>2</sup>/г соответственно.

Состав вяжущего на данном этапе исследования фиксировался:

- ГК – 15 % от массы вяжущего;
- ПЦ – 25 % от массы вяжущего;
- ГШ – остальное

Методика проведения эксперимента предполагала реализацию следующего алгоритма при заданных граничных условиях:

- подготовка вяжущего вещества;
- проведение оценки реологических характеристик пластичной смеси;
- оценка прочности вяжущего (ТВО) по режиму 2+4+3 при температуре 65 °С на кубах с размером ребра 20 мм из теста вяжущего нормальной густоты.

Результаты испытаний приведены в табл. 2–3.

Таблица 2

Матрица планирования

№	$X_1$ – ГШ		$X_2$ – ГК		НГ, %	Сроки схватывания, мин	
	код	значение	код	значение		НС	КС
1	-1	3200	-1	2000	29,75	78	230
2	+1	4500	-1	2000	31,00	68	210
3	-1	3200	+1	2700	28,00	79	230
4	+1	4500	+1	2700	31,50	63	200

Таблица 3

Прочность камня вяжущего

№	Предел прочности при сжатии камня нормального твердения, МПа				Предел прочности при сжатии камня после ТВО, МПа		
	7 сут	28 сут	90 сут	360 сут	ТВО	ТВО+28	ТВО+360
1	15,0	18,5	23,6	24,0	33,7	37,1	38,1
2	14,4	21,0	24,5	25,6	39,8	38,2	37,6
3	16,0	19,7	27,3	26,3	34,7	36,3	37,1
4	15,8	18,0	25,9	29,1	40,6	40,1	39,1

Полученные экспериментальные данные были использованы при построении математических моделей неполной второй степени, устанавливающие адекватную взаимосвязь между принятыми факторами и параметрами оптимизации исследуемых процессов.

Выявлено, что увеличение тонкости помола гипсового камня технологически оправдано, поскольку значимость данного фактора имеет положительный знак для всех сроков и видов твердения и в 3–10 раз выше по числовому значению, чем у молотого граншлака.

Увеличение тонкости помола обоих компонентов в составе вяжущего приводит к ускорению процессов схватывания теста нормальной густоты: более значимым в этом случае является удельная поверхность граншлака.

Известково-сульфатное возбуждение гранулированного шлака даже в случаях твердения при комнатной температуре позволяет получать композиции с прочностями до 20 МПа, что дает возможность использовать смешанное вяжущее в качестве альтернативы цементу при производстве бетона классов В 7,5 – В15, а также в качестве вяжущего при производстве сухих строительных смесей.

С целью проверки этого положения в работе проводилась оценка нормативных показателей качества тяжелых и мелкозернистых бетонов, составы которых приведены в табл. 4.

Таблица 4

Составы тяжелого и мелкозернистого бетона

Компоненты бетонной смеси	Расход компонента, кг/м <sup>3</sup> бетонной смеси	
	Тяжелый бетон (ТБ)	Мелкозернистый бетон (МЗБ)
Вяжущее	300	300
Кварцевый песок, $M_k=2,4$	600	1800
Гранодиоритовый щебень фракции 5 – 10 мм	1200	–
Добавка СП – 1, от вяжущего вещества	0,5	0,5
В/В отношение	0,5	–

Состав вяжущего на данном этапе исследования фиксировался:

- ГК – 13 % от массы вяжущего вещества;
- ПЦ – 17 % от массы вяжущего вещества;
- ГШ – остальное.

Бетонная смесь на крупном заполнителе имела подвижность 5–7 см осадки конуса и формовалась вибрированием контрольных образцов кубов с ребром 100 мм на лабораторной виброплощадке.

Мелкозернистая бетонная смесь имела при затворении влажность 8 % и применялась для изготовления контрольных образцов цилиндров высотой и диаметром 50 мм вибропрессованием при давлении прессования 40 МПа.

Контрольные образцы бетонов твердели до испытания в нормальных условиях и проходили тепловлажностную обработку (ТВО) по режиму 2+4+3) при температуре 85 °С.

В ходе работы контролировались предел прочности при сжатии; коэффициент размягчения; водопоглощение бетона; морозостойкость бетона.

Результаты определения нормативных параметров качества бетонов приведены в табл. 5–6.

Таблица 5

Нормативные показатели качества тяжелого бетона

Показатель	Нормальное твердение			ТВО +		
	7 сут	28 сут	90 сут	7 сут	28 сут	90 сут
Предел прочности при сжатии во влажном состоянии, МПа	10,9	17,3	22,1	18,0	22,0	31,5
Предел прочности при сжатии в сухом состоянии, МПа	8,1	20,7	24,2	18,3	23,5	30,6
Коэффициент размягчения	1,35	0,84	0,91	0,98	0,94	1,03
Водопоглощение по массе, %	7,1	5,9	5,0	6,2	5,1	5,2
Марка по морозостойкости, F	-	100	150		75	100

Предел прочности при сжатии во влажном состоянии определялся после дополнительного трехсуточного насыщения бетона образцов в воде до достижения требуемого возраста испытания. Проведенные исследования показали возможность применения смешанных вяжущих веществ в производстве строительной продукции широкой номенклатуры.

Таблица 6

Нормативные показатели качества мелкозернистого бетона

Показатель	Нормальное твердение			ТВО +		
	7 сут	28 сут	90 сут	7 сут	28 сут	90 сут
Предел прочности при сжатии во влажном состоянии, МПа	16,7	27,3	32,2	22,1	26,1	31,0
Предел прочности при сжатии в сухом состоянии, МПа	18,2	28,7	34,6	24,3	30,4	34,1
Коэффициент размягчения	0,92	0,95	0,93	0,91	0,86	0,91
Водопоглощение по массе, %	6,1	5,2	4,8	6,0	5,1	4,7
Марка по морозостойкости, F	-	150	150	-	75	150

Динамика изменения прочности бетонов положительна: в изученных интервалах времени показатели прочности бетонов нормального твердения возросли практически вдвое; тепловая обработка позволяет получать высокие прочности в начальные сроки, последующее твердение приводит к увеличению на 40...50 %.

Все бетоны, независимо от способа формирования характеризуются коэффициентами размягчения не ниже 0,8, что предполагает возможность эксплуатации изделий и конструкций на их основе во влажных условиях без ограничений. Видимо этим и обусловлена достаточно высокая марка по морозостойкости.

Предлагаемые технические решения прошли опытно-промышленную апробацию. Фирмой ООО «Инвестстрой» была изготовлена опытная партия продукции объемом 15 м<sup>3</sup> по ТУ 6633 – 001 – 53458318 – 2005 «Камни бетонные стеновые. Технические условия» с использованием технологии прессования. Камни использованы для кладки ограждающей стены одноэтажного производственного помещения в пос. Первомайский Челябинской области.

### Библиографический список

1. Гергичны, З. Европейский опыт успешного использования в строительстве цементов с добавкой доменного шлака / З. Гергичны // ALITinform. Международное аналитическое обозрение. Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2013. – № 4–5. – С. 36–42.

2. Райнер, Х. Шлаковые цементы: основные положения / Х. Райнер // Цемент и его применение. – 2003. – № 1. – С. 15–17.

3. Абрамов, А.К. Использование промышленных отходов при производстве дешевых высококачественных вяжущих и бетонов / А.К. Абрамов, В.К. Печериченко // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2004. – № 6. – С. 50–51.

[К содержанию](#)