

Ломаченко Д. В., канд. техн. наук, ст. преп.,  
Яшуркаева Л. И., канд. техн. наук, доц.,  
Кудеярова Н. П., канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

## ИЗУЧЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ СЫРЬЕВЫХ ШЛАМОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ЛЕБЕДИНСКОГО ГОКА КМА

dsubway1@yandex.ru

В работе рассматривается влияние добавок-разжижителей на свойства композиционного шлама, изготовленного с использованием отходами Лебединского ГОКа КМА. Изучены свойства композиционных сырьевых смесей с различной влажностью. Исследовано влияние добавок на растекаемость сырьевых шламов с различной влажностью. Установлена зависимость между реологическими свойствами суспензий и оптимальной дозировкой разжижителей.

**Ключевые слова:** сырьевой шлам, добавка-разжижитель, реологические свойства.

Процесс получения портландцемента является в значительной степени энергозатратным по сравнению с процессами получения некоторых других строительных материалов. Основная составляющая энергозатрат приходится на этап обжига цементного клинкера. В настоящее время перед большинством мировых производителей цемента стоит задача по снижению издержек и повышению энергоэффективности использования ресурсов[1]. Одним из наиболее очевидных вариантов является переход на «сухой» способ производства. Однако большинство заводов в Российской Федерации работают по «мокрому» способу производства, применение которого является менее эффективным в расчете на единицу продукции [2-3]. При этом на предприятиях с «мокрой» технологией производства более простой задачей могло бы быть эффек-

тивное использование разжижителей шлама, что позволило бы снизить его влажность, и тем самым уменьшить затраты при его обжиге.

Еще одним важным направлением является вторичное использование и рециклинг сырья, поскольку это целесообразно как с точки зрения себестоимости полученной продукции, так и в аспекте улучшения экологической ситуации [4-6].

В работе производилась оценка влияния добавок-разжижителей для шлама, который был изготовлен с использованием отходов обогащения железистых кварцитов Лебединского горно-обогатительного комбината Курской магнитной аномалии. При этом основным сырьем для получаемого шлама, являлись мел и глина белгородского месторождения. Состав сырьевой смеси представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Вещественный состав сырьевого цементного шлама, содержащего отходы обогащения железистых кварцитов Лебединского ГОКа КМА в качестве железосодержащего компонента**

Состав сырьевого цементного шлама, %					
Мел		Глина		Отходы ЛГОКа	
73,37		12,01		8,62	
Химический состав сырьевой смеси, масс. %					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	п.п.п
14,83	2,88	2,62	43,86	0,82	34,94
КН=0,92		n=2,69		p=1,1	

Помимо этого в работе оценивалось влияние добавок, которые могут использоваться в качестве разжижителя шлама: адипинат натрия, лигносульфонат технический (ЛСТ) и углекислотной реагент (УЩР). При этом если две последние добавки используются как разжижители шлама, то адипинат натрия применяется в качестве пластификатора бетонных смесей. Указанные добавки вводились в количестве 0,1%, 0,2%, и 0,3% соответственно. При этом используемые

влажности сырьевого шлама составляли 34%, 37% и 40% соответственно.

Помол указанной сырьевой смеси проводился в шаровых мельницах в условиях БГТУ им. Шухова. Эффективность влияния добавок на разжижение полученной сырьевой смеси оценивалась с помощью ротационного вискозиметра «Реотест». Исследование реологических характеристик полученных шламов с влажностью 37% и с использованием различных добавок позволило сделать вывод о том, что данные сы-

рьевые смеси являются типичными вязкопластичными суспензиями с достаточно высокими значениями предельного динамического напряжения сдвига и взаимозависимостью скорости деформации и пластической вязкости. На основе данных, полученных на вискозиметре, была по-

строена реологическая кривая, исходя из которой, затем были рассчитаны значения предельного динамического напряжения сдвига и пластической вязкости, используя уравнение Бингама-Шведова и уравнение Оствальда (рис. 1-2).

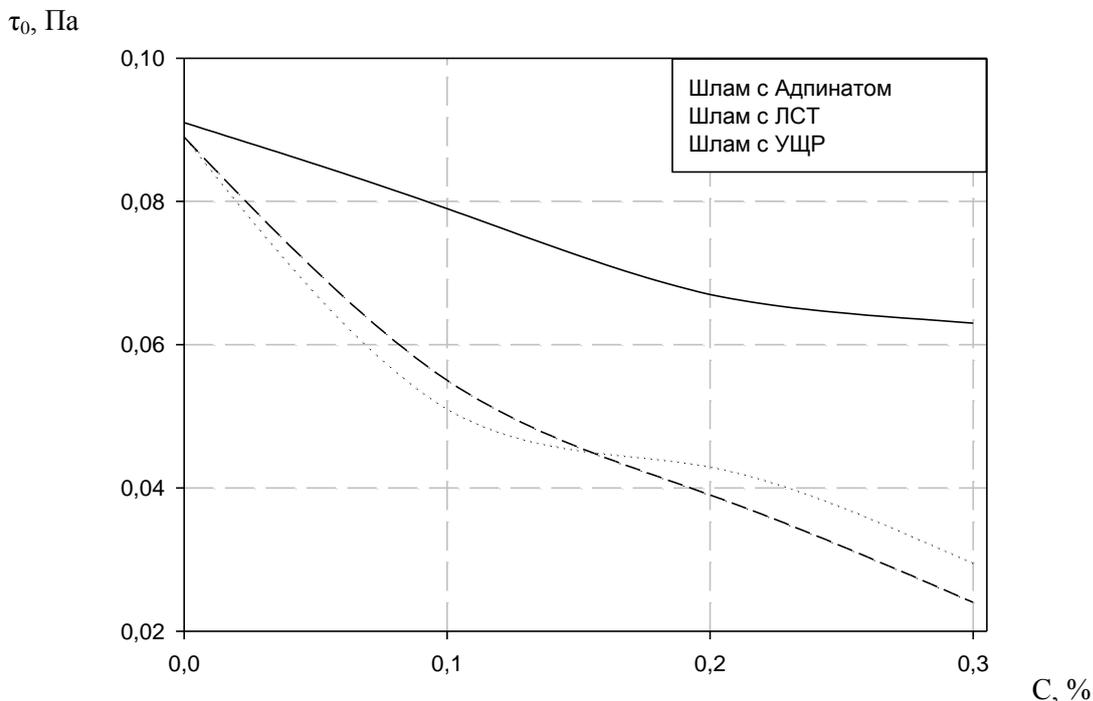


Рис. 1. Изменение предельного динамического напряжения сдвига для исследуемого шлама с различными добавками

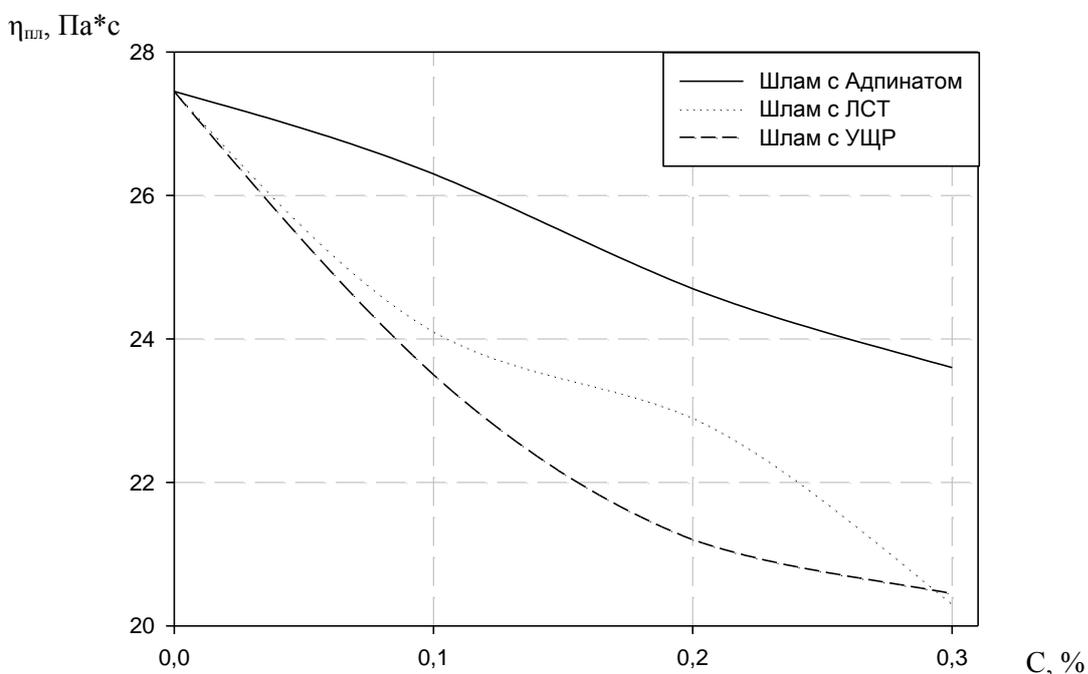


Рис. 2. Изменение пластической вязкости для исследуемого шлама с различными добавками

Из данных рисунков видно, что предельное динамическое напряжение сдвига при введении добавок разжижителей значительно снижается при введении добавок ЛСТ и УЦР, и в меньшей степени для адипината натрия. При этом уже

при введении добавок ЛСТ и УЦР в количестве 0,1% значение предельного динамического напряжения сдвига, отвечающего за взаимодействие между частицами в суспензии, снижается,

а при дальнейшем увеличении количества обеих добавок интенсивность падения  $\tau_0$  снижается.

Пластическая вязкость также значительно уменьшается при введении добавок ЛСТ и УЩР, и практически не меняется при использовании добавки на основе адипината натрия. При этом вязкость шлама с добавкой ЛСТ значительно уменьшается при ее использовании в количествах 0,1% и 0,2%, а при дальнейшем увеличении количества добавки до 0,3%, значение пластической вязкости меняются незначительно. Использование в качестве разжижающей добавки УЩР последовательно снижает пластическую вязкость при увеличении концентрации добавки от 0,1% до 0,3%. Указанные значения вязкости позволяют сделать предположение о том, что в данных композиционных шламах оп-

тимальное количество добавки, обеспечивающее максимальное разжижение шлама при концентрации ЛСТ порядка 0,2%, а для УЩР оптимальное количество добавки составляет 0,3%. Уменьшение пластической вязкости, может быть связано с высвобождением иммобилизованной воды и увеличением в связи с этим относительного содержания дисперсионной среды [7,8]. Это позволяет с достаточной долей вероятности говорить о том, что такие суспензии обладают значительной агрегативной устойчивостью [9].

В дальнейшем с помощью текучестемера МХТИ измерялась растекаемость шламов с различными количествами добавок и разной влажностью шлама (34%, 37 % и 40%).

Таблица 3

**Растекаемость композиционного шлама с отходами Лебединского ГОК с использованием исследуемых добавок**

№	W шлама, %	R, мм	Растекаемость шлама с добавками, (R мм)								
			Адипинат натрия, %			ЛСТ, %			УЩР, %		
			0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
1	34	50	50	52	52	72	85	90	57	67	100
2	37	68	70	72	74	85	105	110	82	100	115
3	40	70	75	78	80	95	105	115	90	110	120

Исходя из данных, представленных в таблице, можно сделать вывод о том, что добавка на основе адипината натрия практически не влияет на растекаемость композиционного шлама с отходами обогащения железистых кварцитов Лебединского ГОКа при его влажности 34% и 37% и незначительно влияет при увеличении влажности шлама до 40%.

Использование двух других добавок приводит к более эффективному результату: так использование добавок на основе ЛСТ и УЩР при влажности 34% приводят к увеличению растекаемости с 50 мм до значений 90 мм при использовании добавки ЛСТ, и 100 мм при использовании УЩР в количествах 0,3% масс. При этом использование этих двух добавок.

Увеличение влажности шлама до 37% и 40% приводит к значительному повышению эффективности использования добавок, при этом увеличение влажности композиционного шлама с 34% до 37% не приводит к значительному повышению эффективности использования добавки на основе адипината натрия. В этом случае растекаемость шлама изменяется от 68 мм до 74 мм что не позволяет говорить об эффективности использования этой добавки для композиционного шлама в данных условиях.

Использование добавок ЛСТ и УЩР в данном случае является более обоснованным, поскольку их использование позволяет значительно увеличить растекаемость шлама в случае ис-

пользования ЛСТ при всех трех исследуемых влажностях шлама, начиная с концентрации 0,1% и выше, а разжижающее действие УЩР при влажности шлама 34% эффективно только при использовании его в количестве более 0,1%. При этом данные измерений реологических характеристик, практически полностью коррелируют с данными по растекаемости, что позволяет уже на этом этапе с достаточной долей вероятности прогнозировать эффективность той или иной добавки при использовании ее в качестве разжижающего агента для сырьевого шлама.

Предварительные экономические расчеты показывают, что использование добавок-разжижителей в количестве, превышающем 0,1%, лишь в отдельных случаях будет являться целесообразным, поэтому в данных условиях более эффективным разжижителем для композиционного шлама, содержащего отходы обогащения железистых кварцитов Лебединского ГОКа КМА в качестве железосодержащего компонента, будет добавка на основе ЛСТ. В то же время проведенные исследования показали возможность использования данных отходов для формирования композиционного шлама с необходимыми модульными характеристиками.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Техногенные материалы в производстве

цемента / Международный журнал экспериментального образования. 2010. № 10. С. 80-81.

2. Рахимбаев Ш.М. О перспективах повышения качества и экономических показателей строительных материалов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. №7. С. 16-17.

3. Некоторые направления энергосбережения в производстве цемента /П.В. Беседин, П.А. Трубаев, О.А. Панова, Б.М. Гришко // Цемент и его применение. 2011. №2. С. 130-134.

4. Классен В.К. Энерго-ресурсосбережение в производстве цемента // Современные наукоемкие технологии. 2004. №1. С. 31.

5. Энерго- и ресурсосбережение при использовании техногенных материалов в технологии цемента / В.К. Классен, И.А. Шилова, Е.В. Текучева, В.В. Степанов// Строительные материалы. 2007. №8. С. 18-19.

6. Рахимбаев Ш.М. Отходы обогащения железных руд КМА – сырье для производства

цемента: монография / Ш.М. Рахимбаев, Л.И. Яшуркаева, В.И. Мосьпан. – Белгород:изд-во БГТУ, 2012. – 164с.

7. Ломаченко Д.В, Кудеярова Н.П., Ломаченко В.А. Диспергация цементного клинкера при помоле с новой органической добавкой // Строительные материалы. 2009. №7. С. 62-63.

8. Ломаченко Д.В., Шаповалов Н.А. Регулирование реологических свойств цементных шламов с использованием отходов горнообогатительных производств // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №2. с. 141-143.

9. Влияние СБ-3 и комплексных добавок на агрегативную и седиментационную устойчивость цементных суспензий / Н.А. Шаповалов, В.А. Ломаченко, Д.В. Ломаченко, Л.И. Яшуркаева, А.А. Гребенюк // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 156-158