

**Шляхова Елена Альбертовна**

**Shlyakhova Yelena Albertovna**

Ростовский государственный строительный университет,  
кафедра технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики

Rostov State University of Civil Engineering,

Department of Technology binders, concrete and construction ceramics

Доцент / Lecturer

Строительные материалы и изделия – 05.23.05

E-Mail: shlyahovae@list.ru

## **Энергосбережение в производстве шлакощелочных вяжущих**

### **Energy savings in manufacturing knitting shlakoschelochnyh**

**Аннотация:** Предложен способ интенсификации помола металлургических шлаков для производства шлакощелочных вяжущих, основанный на использовании углеводной добавки в качестве интенсификатора процесса измельчения. Экспериментальными исследованиями установлен существенный энерго- и ресурсосберегающий эффект предложенного способа в сравнении с аналогами.

**The Abstract:** Provides a method of intensifying grinding slag for shlakoschelochnyh binders based on the use of carbohydrate supplements as intensifier grinding process. Experimental studies found a significant energy-and resource-saving effect of the proposed method in comparison with peers.

**Ключевые слова:** Шлакощелочные вяжущие, металлургические шлаки, интенсификация помола, энергосбережение.

**Keywords:** Shlakoschelochnye binders, metallurgical slag, the intensification of grinding energy efficiency.

\*\*\*

Как известно, цементная промышленность расходует до 5% всей энергии мирового промышленного производства [1, с. 54-55]. При этом основные энергозатраты приходятся на высокотемпературный обжиг шихты клинкера и его тонкий помол, обеспечивающий получение конечного продукта в диспергированном порошкообразном виде.

Производство шлакощелочных вяжущих не связано с необходимостью получения клинкера, что выгодно отличает их по энергозатратам от портландцемента и других вяжущих на клинкерной основе. Однако и в этом случае сохраняется энергоемкий технологический процесс тонкого измельчения используемых в качестве основного исходного сырья металлургических шлаков. Поэтому дальнейшее снижение энергоемкости производства вяжущих на шлаковой основе связано с необходимостью исследования и разработки эффективных способов интенсификации помола.

В технологии производства цемента для интенсификации тонкого измельчения клинкера и минеральных наполнителей в качестве интенсификаторов помола используют поверхностно-активные вещества (ПАВ). При этом в зависимости от типа поверхностно-активного вещества можно получить различные виды специальных цементов: пластифицированный, гидрофобный и т.п.

Относительно эффективности использования ПАВ в качестве интенсификаторов помола металлургических шлаков в производстве шлакощелочных вяжущих на сегодняшний день полной ясности нет. Это связано с тем, что специфика шлакощелочных вяжущих диктует дополнительные требования к интенсификаторам помола шлаков по их дальнейшему влиянию на реологические, прочностные свойства получаемых вяжущих веществ.

Как отмечают авторы [2,3], слабое звено в технологическом процессе получения высококачественных шлакощелочных вяжущих - отсутствие эффективных способов регулирования процессов их схватывания. По мнению Ж. В. Скурчинской, если в традиционных вяжущих одним из наиболее распространенных способов регулирования сроков схватывания является пластификация растворных и бетонных смесей с помощью ПАВ, то введение ПАВ в шлакощелочные вяжущие не позволяет добиться существенных успехов в вопросе регулирования процессов их схватывания. Проведенными исследованиями было установлено, что традиционные ПАВ в шлакощелочных вяжущих не образуют на поверхности частиц дисперсной фазы устойчивой в условиях сильнощелочной среды пленки, а оказывает только дефлокулирующее действие, что приводит к пластификации композиций. Достижимый при этом разжижающий эффект может быть использован только для увеличения индукционного периода твердения композиций на основе несиликатных соединений щелочных металлов.

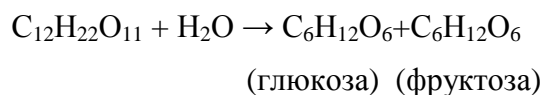
Низкая эффективность разжижения шлакощелочных вяжущих на основе щелочных полисиликатных растворов связана с незначительной толщиной адсорбционного слоя вокруг частиц шлака ( $\xi$  - потенциал близок к нулю), вследствие чего введение ПАВ, хотя и приводит к устранению стесненных условий, в которых находятся частицы дисперсной фазы, но схватывания системы не замедляет [2, с.143-145].

Анализ разработанных В.Д. Глуховским и его школой физико-химических основ гидратации шлакощелочных вяжущих позволяет предполагать, что замедление схватывания таких систем возможно за счет создания условий, обеспечивающих связывание ионов  $\text{Ca}^{2+}$  высокоактивных фаз дисперсной составляющей в устойчивые в щелочной среде соединения или за счет повышения качества коагуляционной устойчивости дисперсной среды затворения [3]. Отсюда следует, что для снижения энергозатрат при помоле шлаков необходима разработка таких интенсификаторов помола, которые одновременно с интенсификацией измельчения должны обладать способностью связывать ионы  $\text{Ca}^{2+}$  дисперсной фазы в устойчивые в щелочной среде органические соединения или же служить антикоагулянтами для замедления процессов схватывания шлакощелочных вяжущих с несиликатными и силикатными щелочными компонентами.

Исходя из общетеоретических представлений, была выдвинута гипотеза о возможности связывания ионов  $\text{Ca}^{2+}$  дисперсной фазы молотого шлака в устойчивые в щелочной среде органические соединения при их взаимодействии с углеводами типа сахаров.

Из числа сахаров моносахариды, поскольку они относятся к многоатомным спиртам, при замещении атома водорода гидроксильной группы металлом легко образуют производные, называемые сахаратами.

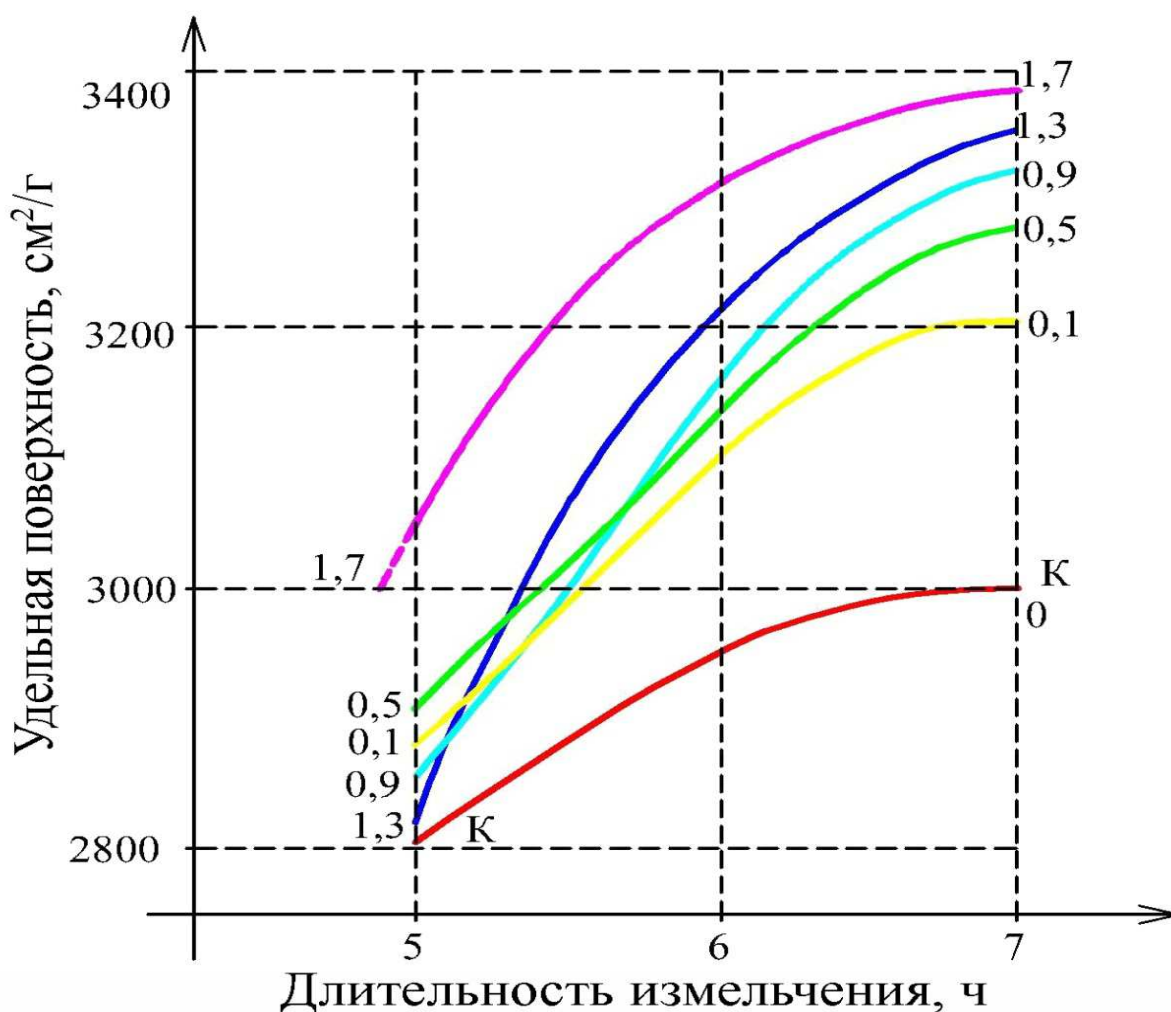
В частности, при взаимодействии с ионами  $\text{Ca}^{2+}$  они могут образовывать сахараты кальция. Однако такие моносахариды как глюкоза, фруктоза и др. недостаточно доступны для использования их в качестве интенсификаторов помола шлаков. В то же время, дисахариды типа сахарозы в воде гидролизуются на глюкозу и фруктозу:



Отсюда следует предположение о том, что для связывания ионов  $\text{Ca}^{2+}$  шлака можно использовать вместо моносахаридов добавки, содержащие значительно более доступную сахарозу, которая будет связывать ионы  $\text{Ca}^{2+}$  в сахарааты кальция.

Относительно возможности использования сахарозы в качестве интенсификатора помола шлака литературных данных не обнаружено. Поэтому такая возможность изучалась экспериментально.

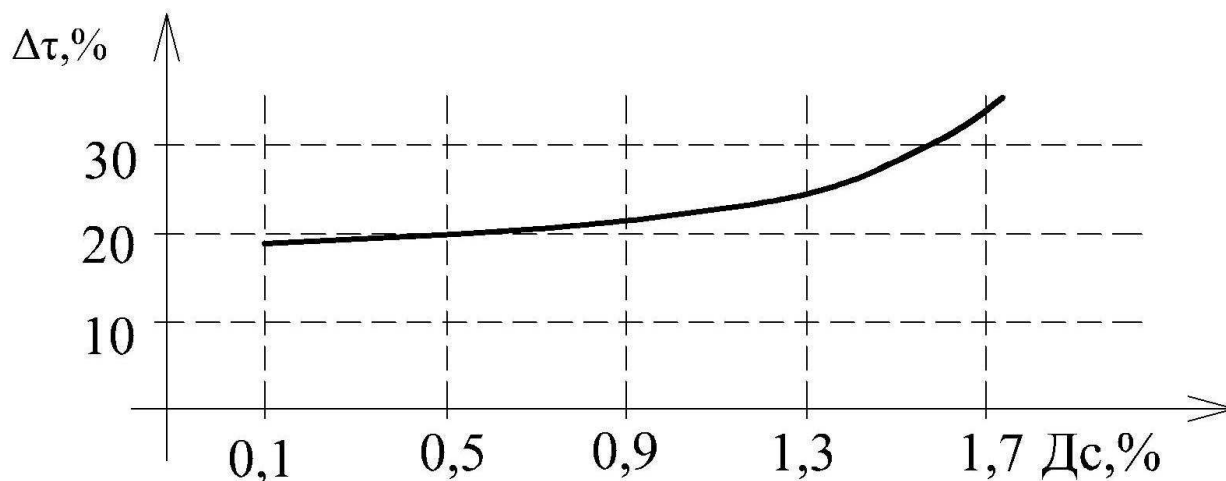
С этой целью пробы мариупольского доменного гранулированного шлака с добавками сахарозы в диапазоне от 0,1 до 1,7 % от массы шлака измельчали в лабораторной фарфоровой мельнице с определением удельной поверхности измельчаемого шлака с интервалами в один час. Результаты измерений, представленные на рис.1 свидетельствуют о том, что добавка сахарозы, начиная с 0,1 %, существенно интенсифицирует процесс измельчения шлака по сравнению с контрольным составом (К) без добавки.



**Рис. 1.** Влияние добавки сахарозы на интенсивность помола мариупольского доменного гранулированного шлака

Сокращение длительности помола относительно контрольного состава в зависимости от дозировки добавки сахарозы показано на рис. 2.

Даже минимальная дозировка добавки сахарозы 0,1% обеспечивает снижение длительности помола, а, следовательно, и уменьшение энергозатрат, на 20%. С увеличением дозировки добавки интенсивность помола возрастает.



**Рис. 2.** Влияние добавки сахарозы на сокращение длительности помола шлака.

Для оптимизации дозировки добавки сахарозы, используемой в качестве интенсификатора помола шлака, с учетом ее влияния на степень измельчения шлака и прочность получаемого шлакощелочного вяжущего осуществляли планирование эксперимента с использованием ранее описанного плана на правильном шестиугольнике.

Условия планирования эксперимента по выявлению зависимости степени измельчения шкала от длительности помола ( $\tau$ , ч) и дозировки добавки сахарозы ( $D_c$ , %) представлены в таблице 1. В качестве функций отклика приняты величина удельной поверхности  $S_{уд}$ ,  $см^2/г$  и относительные значения  $S_{уд}$ , % по сравнению с контрольным составом шлака без добавки, измельченного до удельной поверхности  $3000 см^2/г$  в течение 7 часов в лабораторной фарфоровой мельнице.

Таблица 1

Матрица планирования и результаты реализации плана

№ опыта	$x_1$	$x_2$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_1x_2$	Отклики	
						$S_{уд}, см^2/г$	$S_{уд}, \%$
1	-1	0	1	0	0	3065	102,2
2	0	0	0	0	0	3105	103,5
3	1	0	1	0	0	3303	110,1
4	-0,5	0,87	0,25	0,75	-0,43	3348	111,6
5	0,5	0,87	0,25	0,75	0,43	3365	112,2
6	-0,5	-0,87	0,25	0,75	0,43	2856	95,2
7	0,5	-0,87	0,25	0,75	-0,43	2820	94,0

В результате обработки экспериментальных данных получена математическая модель, адекватно на 5 %-ном уровне значимости описывающая искомую зависимость:

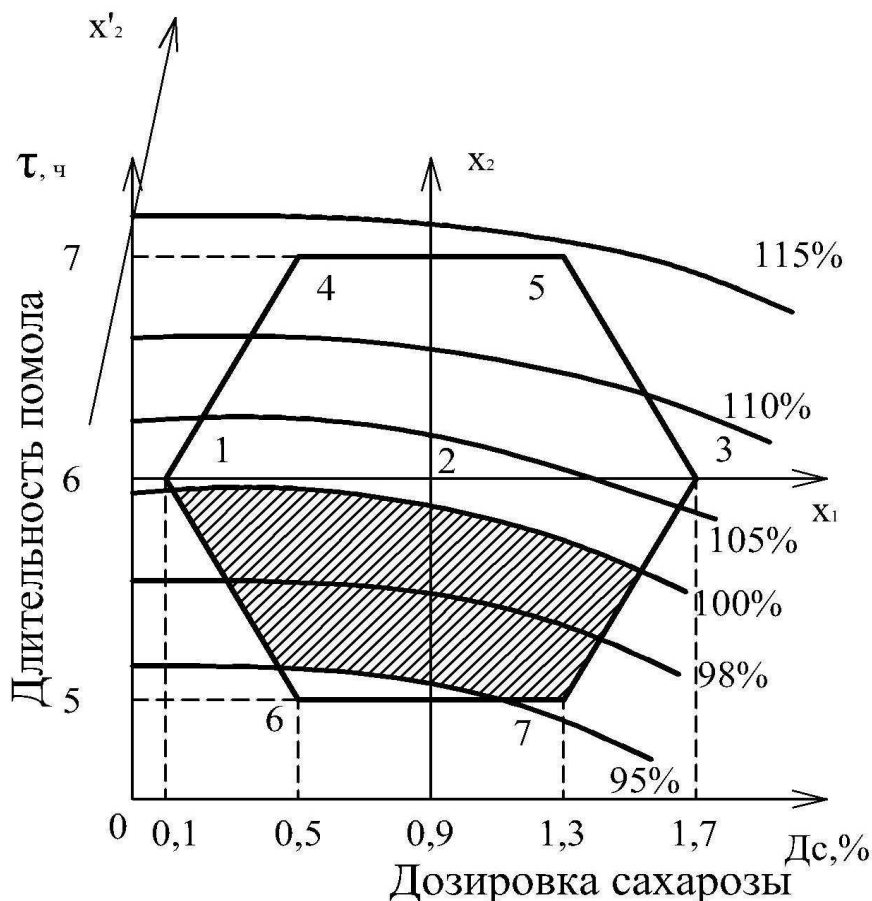
$$S_{уд} (\%) = 103,5 + 2,5x_1 + 10x_2 + 2,7x_1^2 - 1,2x_2^2 + x_1x_2$$

Для удобства интерпретации математической модели проведены ее преобразования в каноническую форму:

$$S_{уд}, \% = 140 + 2,65x'_1{}^2 - 1,15x'_2{}^2$$

Каноническое уравнение описывает поверхность функции отклика минимаксного типа с координатами центра поверхности  $x'_1 = -0,6$ ;  $x'_2 = 4,3$ .

Геометрический образ функции отклика представлен на рис. 3.



**Рис. 3.** Геометрический образ функции отклика  $S_{уд} = f(D_c; \tau)$

Как видно из рис.3, достигаемая в контрольном составе помолом в течение 7 часов удельная поверхность шлака  $S_{уд}=3000 \text{ см}^2/\text{г}$  при использовании добавки сахарозы в количестве от 0,1 до 1,7% обеспечивается в течение 5,5-6 часов (заштрихованная область факторного пространства).

Дальнейший выбор дозировки добавки сахарозы должен производиться с учетом ее влияния на прочностные показатели получаемого шлакощелочного вяжущего.

Оценка влияния добавки сахарозы, используемой в качестве интенсификатора помола шлака, на активность получаемого шлакощелочного вяжущего выполнена на основе результатов стандартных испытаний по ГОСТ 310.4 – 81 образцов-балочек 40x40x160 мм в возрасте 28 суток нормального твердения. Измельчение шлака с добавками интенсификатора помола осуществляли в лабораторной шаровой мельнице. В процессе испытаний определяли длительность помола доменного гранулированного шлака до удельной поверхности  $3500 \text{ см}^2/\text{г}$ , определяемой по прибору ПСХ-2 по общепринятой методике. В качестве щелочного компонента использовали девятиводный метасиликат натрия, отвечающий требованиям ТУ 2145-52257004-01-2002, вводимый в состав вяжущего в виде водного раствора плотностью  $1185 \text{ кг/м}^3$  при затворении смеси молотого шлака с песком в соотношении 1:3.

Таблица 2

Влияние предлагаемого интенсификатора помола на активность шлакощелочного вяжущего

Составы	Содержание компонентов, мас %			Длительность помола до $S_{уд}=3500$ см <sup>2</sup> /г; мин/%	R <sub>28</sub> , МПа/%	
	Шлак	Метасиликат натрия, % по Na <sub>2</sub> O	Сахароза		При изгибе	При сжатии
Контрольный	94,00	6,0	0,00	124/100	5,3/100	52,7/100
C1	95,48	4,5	0,02	120/98	5,4/102	53,4/101
C2	94,95	5,0	0,05	84/68	6,5/123	66,3/126
C3	93,80	6,0	0,20	70/57	7,2/136	70,4/134
C4	92,50	7,0	0,50	79/67	7,1/134	68,2/129
C5	91,70	7,5	0,80	82/66	5,9/111	64,8/123

Анализ полученных результатов показал, что использованные добавки сахарозы при помоле доменного гранулированного шлака в количестве 0,05 - 0,5 % позволило на 32 - 36 % сократить длительность помола и соответственно уменьшить энергозатраты. При этом на 23 - 36 % повысилась прочность при изгибе и на 26 - 34 % - прочность при сжатии. Дальнейшее увеличение дозировки добавки сахарозы сверх 0,5% не улучшает достигнутые показатели.

С учетом изложенного, для интенсификации помола и обеспечения энергосберегающего эффекта при изготовлении шлакощелочных вяжущих на основе доменных гранулированных шлаков и силикатных щелочных компонентах предложена новая добавка - 0,05 -0,5% сахарозы [4].

Как видно из таблицы 2, использование предложенной добавки, помимо прямого энергосберегающего эффекта при измельчении шлака, обеспечивает существенное (20-30%) повышение активности получаемого шлакощелочного вяжущего. Это позволяет сократить расход вяжущего для изготовления равнопрочных бетонов, что дает дополнительный ресурс- и энергосберегающий эффект.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корнеева Е.В., Павленко С.И. Бесцементное вяжущее из техногенных отходов для золошлаковых смесей. Журн. сухие строит. смеси. 2008., № 2. С.54-55.
2. Скурчинская Ж.В., Белицкий И.В. Регулирование процессов схватывания шлакощелочных вяжущих. Докл. и тез. докл. 3-ей всесоюзной научно-практич. конф. «Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции. Киев: КИСИ, 1989. Т.1. с.143-145.
3. Белицкий И.В. Регулирование процессов схватывания высокопрочных шлакощелочных бетонов. Автореф. канд. дис. Киев: КИСИ. 1988. 21с.
4. Вяжущее: пат. на изобретение Рос. Федерация. № 2412124 С1; заявл. 30.11.2009; опубл.20.02.2011, Бюл. № 5. 4 с.