

Агеева М. С., канд. техн. наук, доц.,  
Сопин Д. М., канд. техн. наук, доц.,  
Гинзбург А. В., канд. техн. наук,  
Калашиников Н. В., соискатель,  
Лесовик Г. А., инженер

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

ageevams@yandex.ru

*В работе исследованы свойства композиционных вяжущих в зависимости от количества вводимых активных минеральных добавок. Установлено, что при одновременном введении шлака и отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов происходит интенсификация процессов гидратации.*

**Ключевые слова:** композиционные вяжущие, закладочные смеси, доменный гранулированный шлак, отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов.

На сегодняшний день актуальной остается проблема эффективного и экологически безопасного размещения отходов горно-обогатительного производства. Промышленность строительных материалов занимает особое место при рассмотрении данного вопроса, именно она уже сейчас широко и эффективно использует отходы промышленности, решая при этом проблемы ресурсосбережения в строительстве и охраны окружающей среды.

Известно, что большие объемы отходов обогащения образуются при добыче и переработке полезных ископаемых. Складирование таких отходов требует отвода значительных площадей, приводит к нарушению инженерно-геологических, гидрогеологических и эколого-геологических условий района размещения хранилища отходов, а также к изменению рельефа. Поэтому в настоящее время широко применяются системы разработки с закладкой выработанного пространства. Закладка способна обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию месторождения с наибольшей полнотой извлечения полезного ископаемого, а также управление горным давлением [1].

Управление горным давлением включает в себя создание защищённых зон, разгруженных от действующих в массиве напряжений до безопасного уровня. В этих зонах ведут очистные работы, закладку выработанного пространства твердеющими смесями с соблюдением оптимальной конфигурации фронтов защитного слоя [2-3].

Современный подход к строительству предполагает создание эффективных экономичных строительных материалов. Основным направлением в решении этой задачи является производство композиционных вяжущих, при получении которых расход топлива и клинкера значительно сокращается по сравнению с чисто клинкерными цементами.

Композиционные вяжущие обычно представляют собой смесь гидравлического вяжущего, активного минерального компонента и специальных добавок, усиливающих те или иные строительные свойства [3-5].

В основу создания таких вяжущих положен принцип целенаправленного управления технологией на всех ее этапах: использование активных компонентов, разработка оптимальных составов, применение химических модификаторов, использование механохимической активации компонентов и некоторых других приемов [6-7].

В настоящее время накоплен большой опыт по выпуску вяжущих с использованием активных минеральных добавок. При этом наиболее изучены и применяются в строительстве такие отходы, как золы и шлаки ТЭС, шлаки металлургического производства, микрокремнезем, так называемые техногенные пески, которые образуются в основном в результате обогащения полезных ископаемых и при дроблении скальных пород на щебень (отсев дробления) [4-5]. Поэтому представляется, что для получения закладочных смесей целесообразно использовать композиционное вяжущее на основе техногенных песков с минимальным расходом клинкерной составляющей, а также использовать техногенные пески в качестве мелкого заполнителя таких бетонов.

В работе были разработаны композиционные вяжущие с использованием техногенных песков для использования в последующем в составах закладочных смесей. Для получения вяжущих были использованы следующие материалы: портландцемент ЦЕМ I 32,5Н ГОСТ 31108–2003, Новолипецкий доменный гранулированный шлак с  $M_o = 1,14$  и  $M_a = 0,2$  и отходы мокрой магнитной сепарации (ММС) железистых кварцитов с  $M_k = 0,6$ , добавка Полипласт СП-1 (табл. 1, 2).

Таблица 1

**Химический состав Новолипецкого шлака**

Наименование	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO
Содержание, %	37,087	7,288	0,646	41,401	9,397	1,835	0,529	0,351	0,287	0,102

Таблица 2

**Химический состав отходов ММС**

Наименование	Fe <sub>общ</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	S	P	CO <sub>2</sub>
Содержание, %	10,2	77,72	0,57	6,58	7,12	1,48	2,26	0,128	0,023	3,63

Вязущие получали путем совместного помола компонентов до удельной поверхности

$S_{уд}=550 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Состав вязущих менялся в зависимости от содержания компонентов (табл. 3).

Таблица 3

**Составы и свойства вязущих**

№ п/п	Вид вязущего	Цемент, %	Шлак, %	Отходы ММС, %	Д, %	Предел прочности при сжатии, МПа	
						7 сут.	28 сут.
1	КВ 20	20	40	40	0,7	8,4	18,3
2	КВ 40	40	30	30		16,1	30,1
3	ЦЕМ I 32,5 Н	100	-	-	-	29,5	42,4

Следует отметить, что количество добавки вводилось в процентном соотношении от массы цемента. Как видно из таблицы 3, самую низкую прочность имеют вязущее с содержанием клинкерной составляющей 20%. Прочность КВ 20 составляет примерно 43 % прочности чистого цемента, а прочность КВ 40 - уже 73 % прочности.

Обеспечение таких показателей прочности у вязущих при низком содержании цементной составляющей происходит за счет повышения удельной поверхности и, как следствие, возрастания доли мельчайших частиц, увеличивающих скорость гидратации. При этом сам шлак обладает гидравлическими свойствами, которые при тонком измельчении проявляются более полно. Также повышение активности происходит за счет одновременного введения шлака и частичек отходов ММС железистых кварцитов, выступающих подложками и центрами кристаллизации, что можно отчетливо проследить на микрофотографиях

Исследование структурообразования при твердении разработанных вязущих в возрасте 28 суток показало следующее. У КВ 40 формируемая матрица в затвердевшем вязущем является однородной с небольшими включениями микропор. Уплотнение и упрочнение структуры обусловлено ростом кристаллической фазы и замещением водных контактов между отдельными кристалликами новообразований – кристаллическими контактами (рис. 1).

Цементный камень КВ 20 имеет менее плотную структуру матрицы (рис. 1). В общей массе отчетливо видны зерна наполнителя, можно отметить наличие пор и пустот.

Твердый каркас у всех образцов вязущих сложен отдельными зернами шлака и частичками отходов ММС железистых кварцитов различной степени дисперсности с ярко выраженными химическими контактами взаимодействия с новообразованиями (рис. 1-2). Причем при большем увеличении заметно, что эти частицы почти полностью покрыты продуктами гидратации, так как частички шлака и отходов ММС является хорошими подложками для формирования зародышей новообразований, следствием чего является обилие глобул сросшихся с их поверхностью (рис.1, 2). Помимо этого, мельчайшие частицы наполнителя, как и негидратировавшие цементные зерна, являются центрами кристаллизации, что также хорошо заметно у вязущего КВШМ 40.

Меньшее содержание цементного теста у КВ 20 привело к образованию большего количества пор и пустот, которые в процессе твердения зарастают игольчатыми гидратными новообразованиями (рис.2, б).

На рис. 1,2 при увеличении  $\times 50000$  можно увидеть, что образцы состоят из двух типов частиц: обломков кристаллов минералов и непосредственно новообразованных минералов. Среди первых преобладают кварц, полевые шпаты, амфиболы.

Таким образом, предложены композиционные вязущие с использованием доменного гранулированного шлака и отходов ММС железистых кварцитов в равных соотношениях. Установлено, что прочность вязущего КВ 20 составляет примерно 43 % прочности чистого цемента, а прочность КВ 40 - уже 73 % прочности. Обеспечение таких показателей при низком

содержании цементной составляющей происходит за счет тонкого помола, что позволяет полнее проявить гидравлические свойства шлаку и одновременного введения частичек отходов ММС железистых кварцитов, выступающих подложками и центрами кристаллизации.

В целом можно отметить, что полученные композиционные вяжущие с содержанием клинкерной составляющей 20 и 40 % вполне пригодны для использования их при производстве за-

кладочных смесей и отвечают требованиям по активности, предъявляемым к таким вяжущим. Кроме того использование в качестве наполнителей композиционных вяжущих техногенного сырья позволит значительно снизить себестоимость вяжущих, а следовательно в дальнейшем и затраты, связанные с выполнением кладочных работ и улучшить экологическую обстановку в регионе.

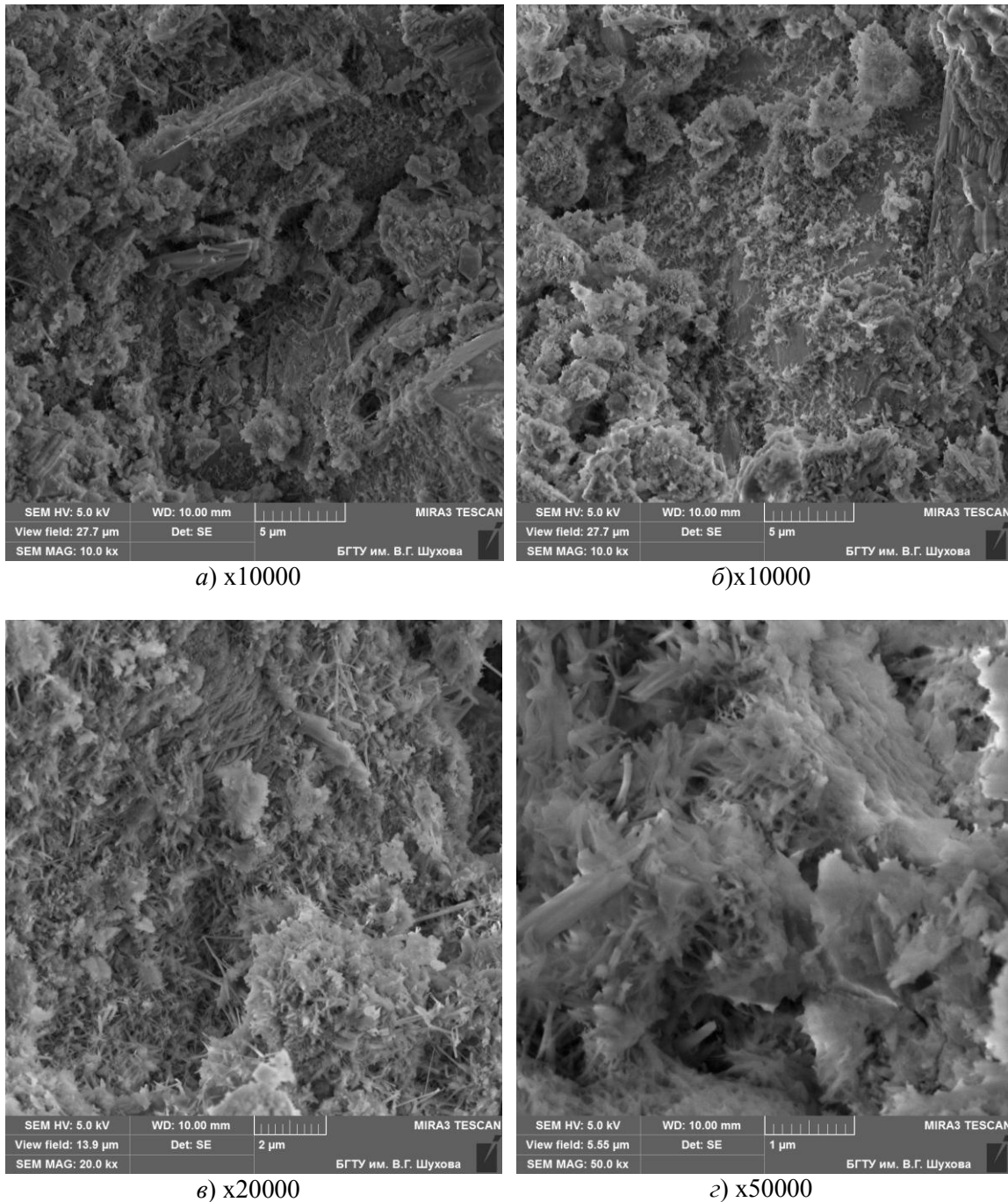
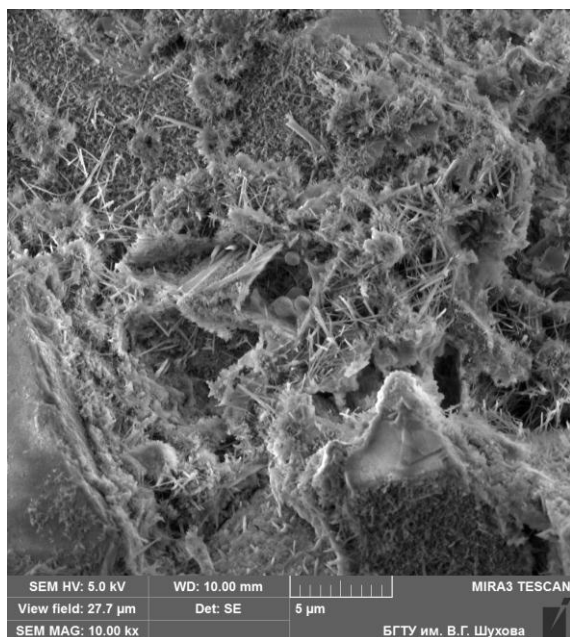
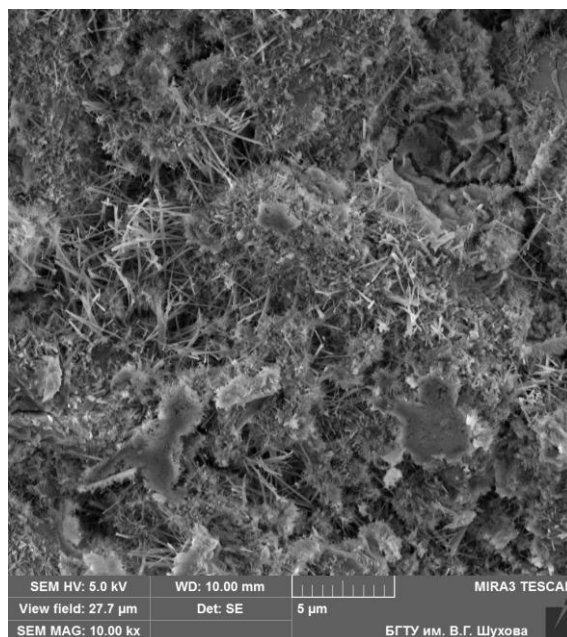


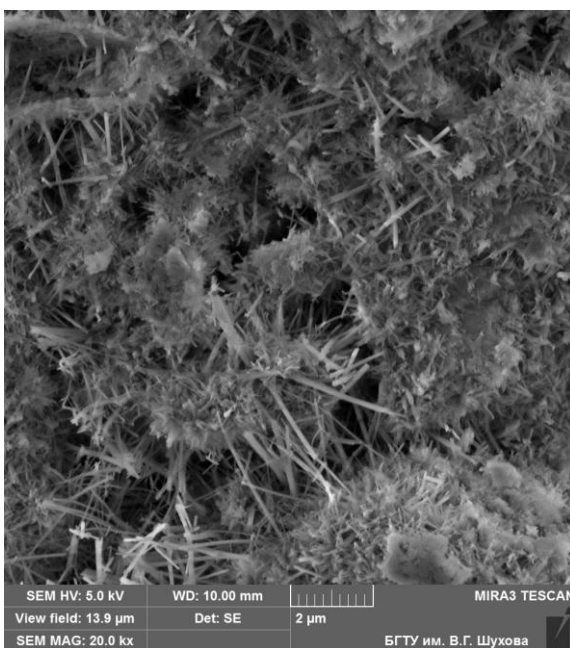
Рис. 1. Микроструктура KB 40 на основе шлака и цемента



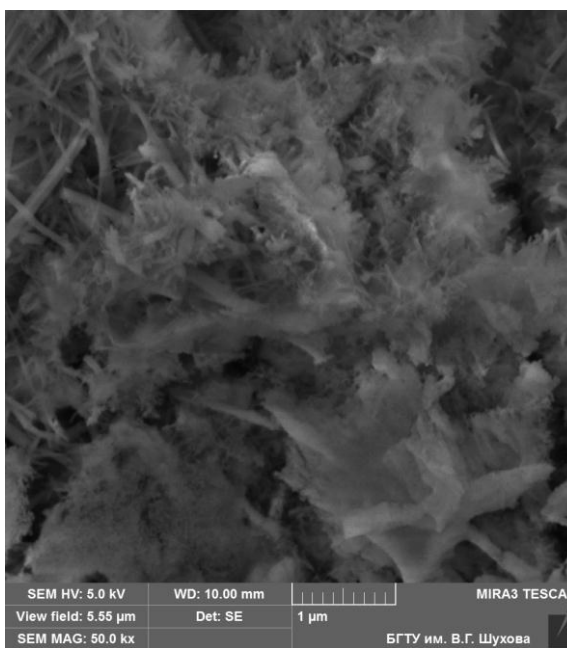
а) x 10000



б) x 10000



в) x 20000



г) x 50000

Рис.2 Микроструктура KB 20 на основе шлака и цемента

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик Р.В. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2009

2. Лесовик Р.В., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И. Комплексное использование отходов алмазобогащения // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 30-31.

3. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих / В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Е.А. Яковлев, М.С. Шейченко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. №1. С. 30–33.

4. Лесовик Р.В., Строкова В.В., Ворсина М.С. Разработка укатываемого бетона на техногенном сырье для дорожного строительства // Строительные материалы. 2004. № 9. С. 8-9.

5. Лесовик Р.В., Жерновский И.В. Выбор кремнеземсодержащего компонента компози-

онных вяжущих веществ // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 78-79.

6. Лесовик Р.В., Чернышева Н.В., Агеева М.С. Активация мелкозернистого бетона на железосодержащих техногенных песках магнитным полем // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 24–28.

7. Сулейманова Л. А., Семенов П.Е. Высококачественное композиционное вяжущее с применением техногенного сырья // Актуальные вопросы и строительство: мат-лы V Всероссийской науч.-практ. конф., 2012. – Т.1. – С. 266-270.

8. Сулейманова Л. А. Композиционное вяжущее с использованием техногенного песка для неавтоклавных газобетонов // Экология: образование, наука, промышленность и здоровье: мат-лы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород, 2011. – С. 162–165.

9. Соловьева Л. Н., Чантурия Ю.В., Ткебучава П.Д. Оптимизация состава композиционного вяжущего с использованием метода математического планирования эксперимента // «Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона»: Сборник научных трудов по материалам II Всероссийской научно-практической конференции – Саратов: Изд-во СГТУ, 2012 – С. 51–55.