

Лесовик Р. В., д-р техн. наук, проф.,  
Агеева М. С., канд. техн. наук, доц.,  
Чернышева Н. В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## АКТИВАЦИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ ПЕСКАХ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

ruslan@intbel.ru

*В статье рассматриваются результаты активации мелкозернистого бетона на основе наиболее крупнотоннажных отходов горнорудного производства Курской магнитной аномалии – отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (отходов ММС).*

**Ключевые слова:** активация процессов твердения бетонных смесей, отходы ММС, магнитная обработка методом акустополярископии.

В настоящее время большое внимание исследователей уделяется решению проблем, связанных с разработкой эффективных способов активации процесса твердения бетонных смесей, повышению физико-механических и эксплуатационных свойств бетонных и железобетонных изделий [1–3]. Наиболее распространенными в этом отношении являются способы теплового воздействия, а также использование химических добавок. В значительно меньшей мере применяются различные электрофизические воздействия.

Многими исследователями показано активирующее влияние на воду затворения магнитной и ультразвуковой обработки [4–6]. Предлагается способ обработки воды затворения в постоянном электрическом поле растворимых электродов и поляризации смеси с помощью высоковольтного электрического потенциала, физико-химическое модифицирование поверхности кварцевых заполнителей в бетоне (модифицирование растворами неорганических веществ и УФ-светом), в результате чего изменяется состояние поверхности кварцевого заполнителя и др. [7].

Усиление эффектов от электромагнитной обработки может быть достигнуто при введении в состав бетонной смеси дополнительных центров с высокой магнитной восприимчивостью – заполнителя и тонкомолотой активной минеральной добавки в составе вяжущих из железосодержащих отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (отходов ММС), содержащих достаточно высокое количество оксидов железа. Электромагнитная активация бетонных смесей, содержащих в своем составе дисперсные минеральные добавки с высоким содержанием кремнезема и оксидов железа, позволит существенно повысить физико-

механические и эксплуатационные свойства бетонов, снизить себестоимость бетонных и железобетонных изделий.

Большой интерес представляет управление физико-механическими свойствами бетонных смесей путем обработки их магнитным полем с целью интенсификации процессов структурообразования.

В процессе прохождения жидкой электропроводной среды сквозь магнитные поля система ощущает комбинированное электромагнитное влияние. При этом изменяется распределение плотности электронных облаков ионов и происходит поляризация электронных облаков молекул воды, поэтому изменяется энергия ближней и дальней гидратации. Под влиянием магнитного поля происходит поляризация ионов, их деформация и уменьшение их сольватации.

Были проведены эксперименты по магнитной обработке подвижных бетонных смесей с использованием в качестве кремнеземсодержащих минеральных добавок тонкомолотых отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (отходов ММС) с целью изучения характера влияния магнитного поля на физико-механические свойства затвердевших композиций на техногенном железистом песке.

Отходы ММС отличаются от традиционно применяемого песка полиминеральным составом, а также наличием кварца различных генетических типов, включая более реакционноспособные разновидности (рис. 1). Модуль крупности отходов значительно меньше 1, около 80–85 % частичек – размером меньше 0,074 мм, средневзвешенный диаметр 0,08–0,13 мм. Состоят в основном, из кварца, магнетита, гематита, амфиболов и карбоната (табл. 1).

Таблица 1

## Химический состав отходов ММС

Материал	Содержание, %											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>об</sub> (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O+ +K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	п.п.п.	Сумма
Отходы ММС	71,17	1,83	(17,7, 2,58)	-	1,95	1,83	0,04	0,42+ +0,47	0,15	-	2	100,1

При этом в отходах ММС выделяют диагнетический кварц (халцедоновую разновидность слабоупорядоченного, высокорекреационноспособного кварца), две разновидности метаморфогенного кварца: более крупнозернистая (до 0,1 мм) (высокотемпературный тектонит) и менее крупнозернистая - низкотемпературный тектонит с невысокой степенью кристалличности.

Изредка встречается контактово-метаморфический кварц с более высокой степенью кристалличности. При этом наиболее реакционноспособным железосодержащим минералом в хвостах обогащения железных руд КМА при их взаимодействии с новообразованиями цементного камня является гематит.

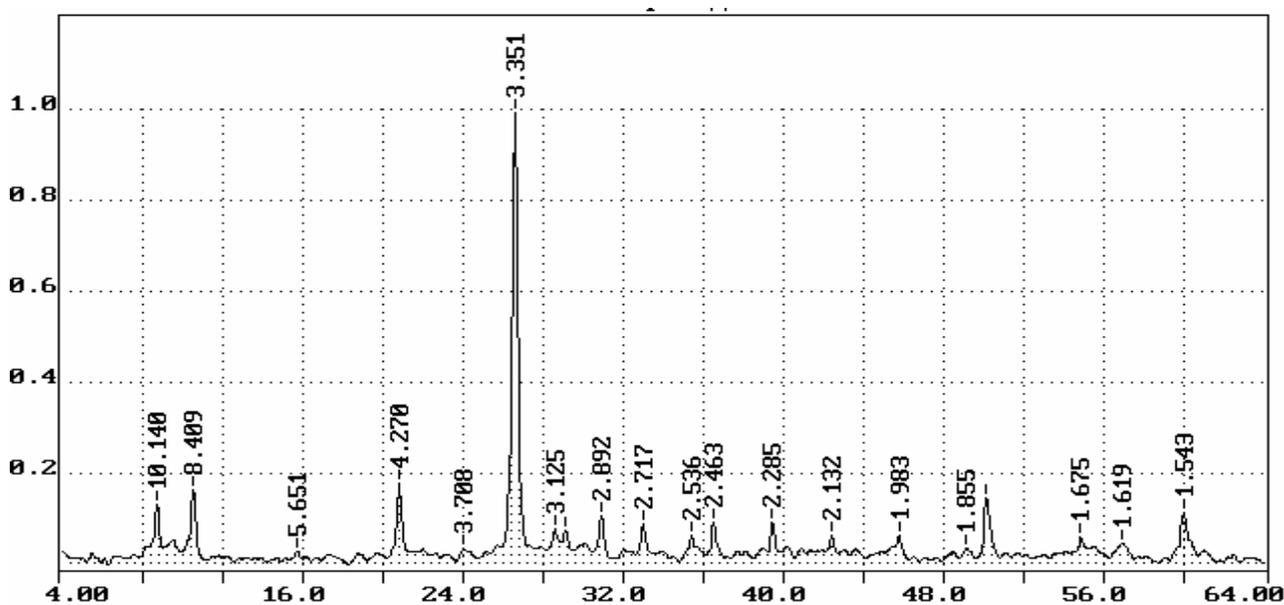


Рисунок 1. РФА отходов ММС

Отходы ММС железистых кварцитов можно рассматривать как железистые пески. Проблема изучения роли содержащихся в них железистых включений, прежде всего, состоит в определении влияния гематита и магнетита на формирование цементирующих веществ и другие свойства затвердевших композитов, поскольку содержание именно этих оксидов железа (помимо оксида кремния) является преобладающим.

В исследованиях использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н, а также композиционное гипсовое вяжущее, полученное в результате совместного помола активной минеральной добавки (отходов ММС), портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н (ЗАО «Белгородский цемент») и суперпластификатора С-3, с последующим смешиванием с гипсовым вяжущим марки Г-5Б II Астра-

ханского гипсового комбината, совмещенным с кратковременным помолом, что способствует достижению оптимальной тонкости помола и зернового состава вяжущего, обеспечивающих высокую степень гидратации клинкерной части и повышенную активность кремнезема, позволяющих управлять процессом образования этрингита (при отношении минеральная добавка/портландцемент более или равном 1:1).

Оксиды Fe, входящие в состав отходов ММС, могут наравне с кремнеземом принимать участие в пуццолановой реакции. Они оказывают существенное влияние на силу водородной связи Si-O с молекулами воды, изменяя ее состояние, деформируют и упрочняют структуру камня, формируя в ней фазы внедрения.

Компоненты бетонной смеси в течение 5 минут перемешивали, определяли ее подвиж-

ность по расплыву стандартного конуса (РК) на встряхивающем столике (ГОСТ 310.4-81\*) и формовали образцы кубики размером 50x50x50 мм.

Результаты влияния магнитного поля на физико-механические свойства затвердевших композитов на техногенном железистом песке представлены в табл. 2. Индукция магнитного поля 0,35.

Цементные бетонные смеси на песке из отходов ММС характеризовались повышенным

водоотделением в сравнении с аналогичными смесями на кварцевом песке. Затвердевшие бетонные смеси имеют более высокую среднюю плотность, что, видимо, связано с присутствием соединений железа, а также высокой адгезией регионально-метаморфизованного, неупорядоченного кварца к цементному камню, которая значительно выше, чем у упорядоченного диоксида кремния.

Таблица 2

## Характеристики бетонных смесей

№ п/п	Вид вяжущего	Соотношение вяжущее : заполнитель	В/Вяж.	Расплыв мм	Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	R <sub>ср</sub> , МПа
1	портландцемент	1:3	0,5	123	2250 / 2298*	26,95 / 30,52*
2			1,0		2345 / 2389*	23,76 / 32,5*
3	композиционное гипсовое вяжущее	1:2	0,5	150	1980 / 2000*	7,4 / 8,3*
4			0,85		2040 / 2065*	6,9 / 9,2*

Примечание: \*- бетонная смесь, подвергшаяся магнитной обработке.

1,3 – составы на песке; 2,4 – составы на отходах ММС железистых кварцитов.

Степень гидратации портландцемента оценивалась по снижению интенсивности линий основных минералов 1,76Å (C<sub>3</sub>S); 2,74 и 2,76 Å (C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S) и увеличению интенсивности линий продуктов гидратации, в частности портландита (4,92; 2,63 Å). Гидратация алита у бетона на отходах ММС без магнитной обработки проходит менее интенсивно, чем у бетона с магнитной обработкой.

Гидратация КГВ в композите без магнитной обработки проходит также менее интенсивно, чем с магнитной обработкой. Степень гидратации КГВ оценивалась по снижению интенсивности линий портландита ( $d=2,73; 1,95; 1,93; 1,78... \text{Å}$ ), и увеличению интенсивности линий частично закристаллизованного низкоосновного гидросиликата кальция CSH(B) ( $d = 11,3; 5,00; 3,07; 2,87; 2,79; 2,41; 1,99; 1,84; 1,81... \text{Å}$ ).

Магнитная обработка бетонных смесей на КГВ способствует увеличению прочностных показателей композита за счет более интенсивной гидратации основных минералов портландцемента. Следует отметить, что пики двуводного гипса в образцах с магнитной обработкой несколько интенсивнее, что свидетельствует о повышенной дисперсности его кристаллов и степени гидратации (рис. 2).

Методом акустополярископии (рис. 3) было установлено, что у образцов, прошедших магнитную обработку, снижается анизотропия по сравнению с контрольными образцами.

Так, МЗБ с отходами ММС без магнитной обработки представляет собой слоистую среду, причем плоскость слоистости не ортогональна ни одной из граней образца. Так как образцы являются анизотропными, то прочность и деформации по разным направлениям у них будут разные.

Анализ акустополяриграмм показал, что после магнитной обработки образцы становятся менее анизотропны. Это можно объяснить следующим.

Под влиянием внешнего магнитного поля происходит поляризация электронных облаков молекул воды, поэтому изменяется энергия ближней и дальней гидратации [8]. Магнитное поле вызывает асимметрию гидратных оболочек ионов воды в смеси, создавая более благоприятные условия для образования ионных ассоциаций, которые являются центрами кристаллизации. Уменьшение макродефектов, крупных пор и пустот в материале после магнитной обработки способствует повышению прочностных свойств бетона по разным направлениям.

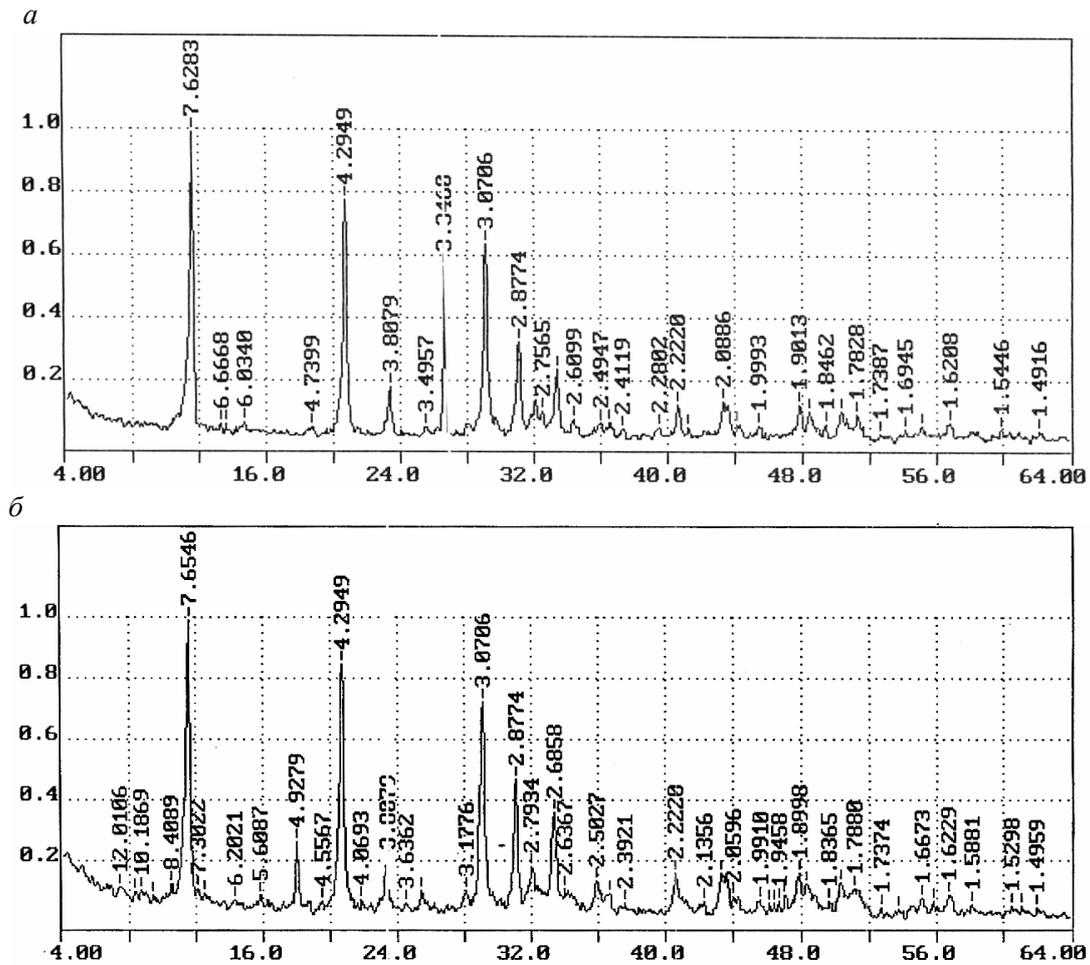


Рисунок 2. Рентгенограммы затвердевшего КГВ в МЗБ на основе отходов ММС  
 а - без магнитной обработки; б - с магнитной обработкой

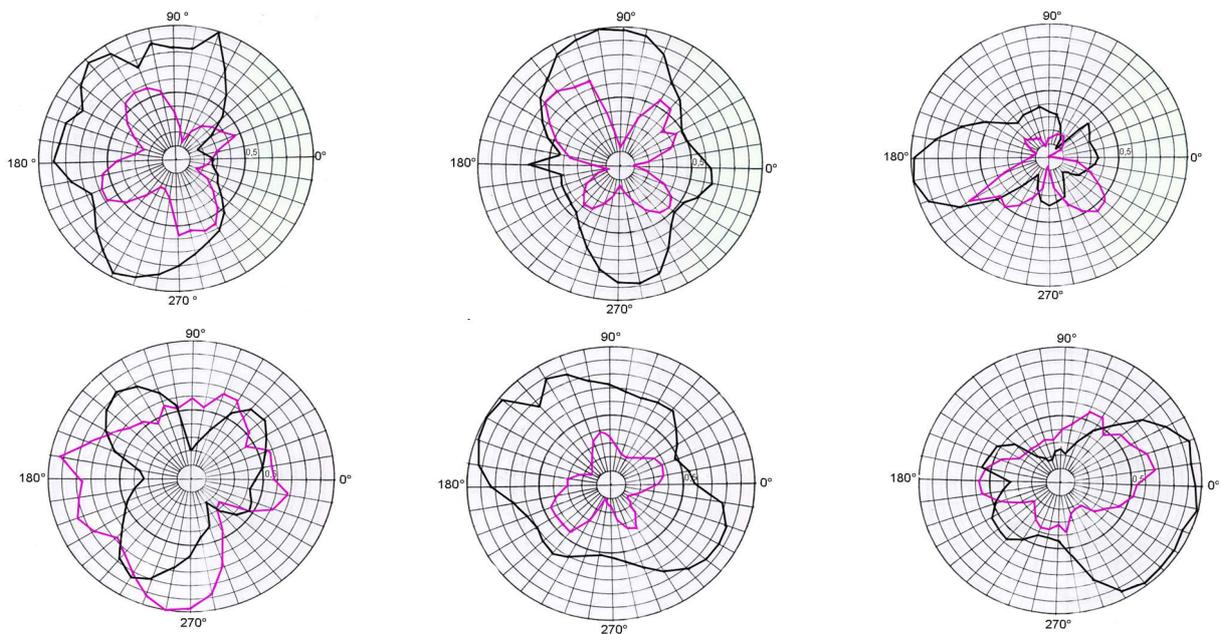


Рисунок 3. Акустополариграмма бетонных образцов на портландцементе:  
 верхний ряд – подвергшихся магнитной обработке,  
 нижний ряд – без магнитной обработки

Важна роль железа, присутствующего в отходах ММС (особенно в качестве тонкомолотой активной минеральной добавки в составе КГВ) как возбудителя кристаллизации. Ферромагнитные оксиды железа, входящие в состав кристаллических частиц, могут проявлять стрикционный эффект, приводящий к дроблению зародыша, в результате которого увеличивается количество центров кристаллизации и соответственно возрастает скорость гидратации клинкерных минералов. Поэтому, магнитное поле, не влияя на скорость кристаллизации, увеличивает количество центров кристаллизации, вследствие чего образуются более мелкокристаллическая, малопористая структура композитов с лучшими прочностными свойствами.

Таким образом, низкоэнергетическая активация мелкозернистого бетона на основе отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (отходов ММС) внешним магнитным полем позволяет на 30-35 % повысить его прочностные показатели.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горленко, Н.П. Электромагнитная обработка жидкости затворения цементных композиций / Н.П. Горленко, А.Н. Еремина, Ю.С. Саркисов // Физика и химия обработки материалов. – 2004. - №5. – С.98-102.
2. Помазкин, В. Физическая активация воды затворения бетонных смесей // Строительные материалы. - 2003.- №2 (приложение) - С. 14-16.
3. Баженев, Ю.М. Активация композиций в роторно-пульсационных аппаратах / Ю.М. Баженев, В.В. Плотников // Брянск: БГИТА. – 2001. – 336 с.
4. Лесовик, В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов / В.С. Лесовик // Изв. Вузов. Строительство.- 1994. - №7,8. – С.96-100.
5. Эпштейн, Е.А. Магнитная активация воды в промышленности строительных материалов. Применение магнитоактивной воды в производстве пазогребневых плит / Е.А.Эпштейн, В.А.Рыбаков // Инженерно-строительный журнал.- 2009.- №4. -С.32-38.
6. Запольский, А.К. Гидратация четырехкальциевого алюмоферрита в присутствии кренгов / Б.Э. Юдович, В.А Дмитриева., Л.Г Надел. Н.А Павлова // Цемент, № 8, 1987.– С. 14-15.
7. Гладких, Ю.П. Влияние УФ - облучения на физико-химическую активность кварцевого песка и процессы формирования цементопесчаного бетона / Ю.П. Гладких, В.В. Ядыкина., В.И. Завражина // Коллоидный журнал. – 1989. – Т.51. – №3. – С. 445-450.
8. Зацепина, Г.Н. Физические свойства и структура воды. - М.: изд-во МГУ, 1998. - 184 с.