

нии, узел  $\text{CoN}_3\text{Cl}_2\text{O}$ . Один из лигандов координирован монодентатно атомом N(4) тетразольного кольца, а другой – бидентатно-циклически атомом N(2) тетразольного кольца и пиридиновым атомом азота.

Методом статической магнитной восприимчивости изучена зависимость  $\mu_{\text{эфф}}$  (Г) для комплекса меди (II) с 2-(1Н-тетразол-1-ил)пиридином. Значение  $\mu_{\text{эфф}}$  при 300 К составляет 1,78  $\mu\text{В}$

и хорошо согласуется с теоретическим чисто спиновым значением 1,73  $\mu\text{В}$ . При понижении температуры до 70 К  $\mu_{\text{эфф}}$  практически не меняется, затем уменьшается до 1,29  $\mu\text{В}$  при 5 К. Уменьшение  $\mu_{\text{эфф}}$  при понижении температуры указывает на проявление обменных взаимодействий между ионами меди (II) антиферромагнитного характера.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СУЛЬФОАЛЮМИНАТНОГО КЛИНКЕРА

М.А. Ивашина

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.Н. Борисов

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46, mashaiva15@mail.ru

Современное строительство, основанное на новых технологиях и способах его осуществления, обуславливает необходимость разработки специальных действенных цементов, модернизирующих технический уровень в строительной промышленности.

Сульфоалюминатные цементы – вяжущие вещества, при гидратации которых формируются гидросульфоалюминаты кальция, играющие важную роль в обеспечении свойств твердеющего цементного камня [1]. Они характеризуются высокой скоростью твердения, обеспечивают самонапряжение и расширение цементного камня в ходе твердения.

Производство сульфоалюминатных цементов, которые содержат более 40% сульфоалюмината кальция, требует применения дефицитных сырьевых материалов – чистых бокситов, технического глинозема, что существенно удорожает и, как результат, ограничивает производство этого вида цемента [2, 3]. В тоже время в химической и металлургической промышленности образуется значительное количество техногенных материалов, которые потенциально пригодны для промышленного производства цементов по химическому составу.

Следовательно, представляет практический и научный интерес разработка технологии суль-

фоалюминатных цементов с использованием отходов.

Для исследования были приготовлены сырьевые смеси на основе известняка и техногенных материалов: алюминиевого шлака и фосфогипса с разными сульфатными модулями  $S=0,26; 0,30$  и  $0,34$  (смеси №1–3).

Обжиг сырьевой смеси проходил в силитовой печи при температуре 1300 °С. Изотермическая выдержка – 1 час. Обожженный материал резко охлаждался на воздухе. Уровень спекаемости образцов оценивали по содержанию  $\text{CaO}_{\text{св}}$ , оставшегося после обжига. Из проведенного анализа узнали, что оксид кальция полностью усвоился в клинкерах. Химический состав клинкеров выполняли в лаборатории БГТУ имени В.Г. Шухова (табл. 1).

Минералогический состав образцов (по данным РФА) представлен основными минералами:  $\text{C}_3\text{A}_3\text{CS}$  ( $d=3,766; 2,996; 2,679 \text{ \AA}$ );  $\beta\text{-C}_2\text{S}$  ( $d=2,793; 2,748; 2,612 \text{ \AA}$ ). Свободного сульфата кальция в клинкерах не наблюдается. В качестве примесного минерала в пробах присутствуют только алюмоферриты кальция. Интенсивность дифракционных максимумов сульфоалюмината кальция ( $d=3,76 \text{ \AA}$ ) наибольшая в клинкере №3, что свидетельствует о большей реакционной способности клинкера с сульфатным модулем

Таблица 1. Химический состав клинкеров, масс. %

Клинкер	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
№1	42,22	36,89	10,66	3,63	3,13	1,33
№2	42,33	36,38	10,20	3,57	3,04	2,16
№3	42,83	34,70	10,10	3,52	2,92	2,90

**Таблица 2.** Прочность на сжатие исследуемых цементов, МПа

Цементы	Время твердения, сут				
	1	3	7	14	28
№1	29	32	24	28	36
№2	32	31	25	38	40
№3	36	37	44	52	56

$S=0,34$ .

Из полученных спеков были приготовлены цементы. Содержание гипса в составе цемента – 15%, дисперсность –  $S_{уд} \sim 320 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Физико-механические испытания образцов (табл. 2), которые были изготовлены при нормальной густоте и твердевшие в нормальных условиях, показали, что прочность цемента на основе клинкера с сульфатным модулем  $S=0,34$  выше, в отличие от цементов на основе клин-

керов с сульфатными модулями  $S=0,26$  и  $0,30$ . Повышенные прочностные характеристики цементного камня определены высоким содержанием основного клинкерного минерала – сульфоалюмината кальция – в количестве 59,9%.

Проведенные исследования показывают техническую возможность производства качественных сульфоалюминатных клинкеров с использованием техногенного материала – фосфогипса и шлака вторичной переплавки алюминия.

### Список литературы

1. Кузнецова Т.В. *Алюминатные и сульфоалюминатные цементы.* – М.: Стройиздат, 1986. – 208с.
2. Кривобородов Ю.Р., Самченко С.В. *Физико-химические свойства сульфатированных клинкеров.* – М.: ВНИИЭСМ, 1991. – 55с.
3. Кузнецова Т.В., Кривобородов Ю.Р. // *Технологии бетонов, 2014.* – №2. – С.8–11.

## ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-CaO-MgO}$

Е.А. Изосимова, Е.С. Лютова

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.П. Борило

Национальный исследовательский Томский государственный университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 36, eowacom@gmail.com

В области медицинских исследований широкое применение находят кальций-фосфатные материалы, которые относятся к классу биоактивных изделий. Высокий интерес к таким материалам обусловлен способностью к образованию апатитоподобных структур, состав которых эквивалентен минеральной фазе в кости [1]. Образование апатитоподобного слоя способствует естественному восстановлению костной ткани.

Российскими и зарубежными учеными доказана биоактивность оксидной системы  $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-CaO}$  [2]. Одним из способов получения необходимых микроскопических и макроскопических свойств, повышающих биоактивность данной системы является добавление магния. Магний входит в первую четверку минералов в организме, а по содержанию в клетке занимает второе место. Кроме того, магний играет важную роль в развитии и восстановлении костной

ткани человека за счет стимуляции пролиферации остеобластов [3].

Были получены пленкообразующие растворы на основе этилового спирта, тетраэтоксисилана, фосфорной кислоты, нитратов кальция и магния. Для исследования физико-химических свойств материалов на основе оксидной системы  $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-CaO-MgO}$  были выбраны составы со следующим содержанием оксидов: 1 состав: 52–18–25–5; 2 состав: 52–18–20–10; 3 состав: 52–18–15–15; 4 состав: 52–18–10–20 масс. %, соответственно.

Кинематическая вязкость растворов определена в капиллярном вискозиметре ВПЖ-2 по времени истечения определенного объема жидкости при комнатной температуре. Для четырех выбранных составов в первые сутки вязкость растворов имеет значение в интервале от 1,72 до 1,82 мм<sup>2</sup>/с. На вторые сутки в растворах с