

DOI: 10.12737/22354

*Гребенюк А.А., аспирант,  
Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СУЛЬФОФЕРРИТНОГО КЛИНКЕРА НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

alexander.grebenuk@mail.ru

*Произведен расчет сульфоферритного клинкера из четырехкомпонентной сырьевой смеси с введением дополнительного силикоферритного модуля, позволяющего регулировать в широких пределах минералогический состав сульфоферритного клинкера. Осуществлено сравнение четырехкомпонентных сырьевых смесей, в которых содержится разное количество  $\beta$  – кварца, с трехкомпонентной сырьевой смесью.*

**Ключевые слова:** *сульфоферритный клинкер, силикоферритный модуль, расширяющаяся добавка, линейное расширение, прочность на сжатие.*

Укрепление промышленного и сельскохозяйственного комплексов и рост потребительской активности общества приносят огромную пользу как развитию отдельно взятого региона, так и государству в целом. Порой достижение поставленных целей тесно связано с развитием строительной индустрии и применением различных видов вторичных материалов, нашедших в виду рационального использования ресурсов и обострившейся экологической обстановки широкое применение. Некоторые виды техногенных отходов применяются в качестве вторичных сырьевых компонентов на многих производствах [1, 2]. Подобное использование решает сразу несколько проблем связанных с этими отходами: 1) оказывает положительное влияние на экологическую обстановку местности, где в противном случае было бы захоронение «мусора»; 2) оказывает положительный экономический эффект при использовании альтернативного сырья (дешевле купить никому ненужный материал, чем платить за традиционно используемые компоненты); 3) не оказывает пагубного вреда на качество готовой продукции и т. д.. Все вышеперечисленные достоинства использования вторичных сырьевых материалов могут оказаться невозможными из-за непреодолимых сложностей, возникающих в технологической линии при их производстве. Подобное происходит ввиду наличия в техногенных отходах нежелательных компонентов, делающих дальнейшее использование тех или иных вторичных материалов невозможным.

Использование в цементной промышленности сырьевой смеси на основе нескольких компонентов обусловлено требованием получить цемент нужного качества, которое возможно достичь только при обеспечении оптимального химического состава сырьевой смеси. На сегодняшний день для приготовления портландцемента, качество которого продиктовано ГОСТом

31108 – 2003, может использоваться три модульных характеристики, обеспечивающих необходимый минералогический состав, набор прочности в котором будет происходить на всех этапах твердения, а также оптимальное количество расплава и его вязкость – показатели продиктованные трудностями технологического процесса производства [3]. При изготовлении специальных видов цементов, в частности сульфоферритного (СФЦ), таких широких возможностей обеспечить необходимый химический состав сырьевой смеси при использовании «нечистых» компонентов нет [4]. Используемые модульные характеристики обеспечивают получение сульфоферритного клинкера (СФК) только из относительно чистых сырьевых компонентов. Применение «сильно загрязненных» материалов вызывает ряд трудностей как при расчете состава СФК, так и в дальнейших технологических процессах.

Для расчета химического состава СФК применяется два технологических модуля: ферритный ( $F_m$ ) и сульфатный ( $S_m$ ) [5]. Нами предлагается включить третий модуль в расчетную часть, который учитывал бы наиболее часто встречаемый вторичный оксид при производстве СФК — оксид кремния. Данный модуль регулировал бы отношение между содержанием сульфоферрита кальция и образующимся наряду с ним белитом. Поскольку в процессе обжига СФК наиболее важно получить сульфоферриты кальция, которые в процессе реакций гидратации и твердения расширяют цементный камень, а белит, находящийся в СФК, как известно, не только не обладает расширяющимися свойствами, но и приводит к его незначительной усадке. Следовательно, регулирование содержания белита в СФК обеспечило бы более полный контроль технологического процесса и регулирование физико-механических показателей получаемого цементного камня.

Приведем расчет четырехкомпонентной сырьевой смеси для получения СФК. Формулы используемых модульных характеристик выглядят следующим образом:

— Ферритный модуль

$$\Phi_M = \frac{C - 1,867S - 0,549A - 0,7\bar{S}}{F};$$

— Сульфатный модуль  $C_M = \frac{\bar{S} - 0,261A}{F};$

$$\Phi_M = \frac{(xC_1 + yC_2 + zC_3 + C_4) - 1,867(xS_1 + yS_2 + zS_3 + S_4) - 0,549(xA_1 + yA_2 + zA_3 + A_4) - 0,7(x\bar{S}_1 + y\bar{S}_2 + z\bar{S}_3 + \bar{S}_4)}{(xF_1 + yF_2 + zF_3 + F_4)};$$

— Сульфатный модуль

$$C_M = \frac{(x\bar{S}_1 + y\bar{S}_2 + z\bar{S}_3 + \bar{S}_4) - 0,261(xA_1 + yA_2 + zA_3 + A_4)}{(xF_1 + yF_2 + zF_3 + F_4)};$$

— Силикоферритный модуль

$$C\Phi_M = \frac{xS_1 + yS_2 + zS_3 + S_4}{xF_1 + yF_2 + zF_3 + F_4}.$$

После ряда математических операций по аналогии с расчетом четырехкомпонентной сырьевой смеси для получения портландцемента [6] получим систему уравнений:

$$\begin{cases} a_1x + b_1y + c_1z = d_1; \\ a_2x + b_2y + c_2z = d_2; \\ a_3x + b_3y + c_3z = d_3. \end{cases}$$

— Силикоферритный модуль  $C\Phi_M = \frac{S}{F}.$

Для удобства расчета условно примем компонентный состав сырьевой смеси: 1 – карбонатный компонент; 2 – железосодержащий компонент; 3 – железистый отход; 4 – сульфатсодержащий компонент. С учетом условного введения компонентов формулы вышестоящих модулей примут следующий вид:

— Ферритный модуль

В этой системе символы a, b, c и d приняты для сокращения полученных буквенных значений. Количество образующегося совместно с сульфферритом кальция белита определяется значением модуля СФ<sub>М</sub>: чем он ниже — тем количество белита меньше, а сульфферрита кальция больше и наоборот. Зависимость содержания белита и сульфферрита кальция от значения силикоферритного модуля (СФ<sub>М</sub>) можно представить в виде графика (рис. 1).

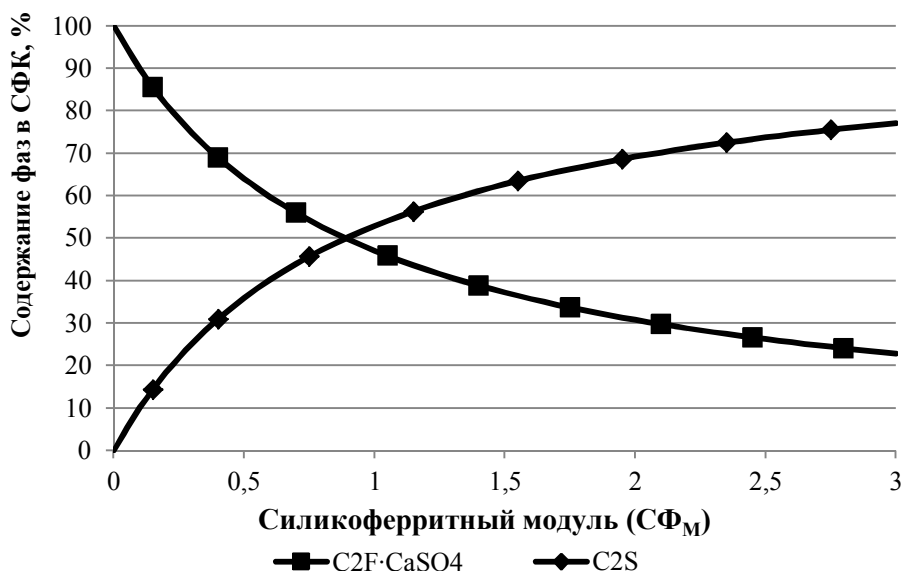


Рис. 1. Зависимость содержания белита в СФК от силикоферритного модуля

Разный угол наклона между осью абсцисс и касательными, проведенными к разным точкам кривых, говорит о разных значениях величин возрастания количества белита и уменьшения количества сульфферрита кальция в зависимости от показателя силикоферритного модуля. Так, наиболее интенсивно количество белита меняется в пределах СФ<sub>М</sub> = 0 – 0,5, затем следует участок «средней» зависимости возрастания

— 0,5 – 2,0, а наиболее меньшее влияние СФ<sub>М</sub> на количество белита соответствует его значениям выше 2,0.

Подтверждение целесообразности введения дополнительной модульной характеристики отследим на примере сравнения составов трехкомпонентной сырьевой смеси для получения СФК и четырехкомпонентной сырьевой смеси, в которой будет содержаться разное количество ок-

сида кремния, являющегося составляющей белита. Количество оксида кремния соответствовало минимальному, максимальному и среднему

содержанию белита в СФК. Полученный на основе расчета химический состав сырьевых смесей представлен в табл. 1.

Таблица 1

Расчетный химический состав сырьевых смесей

Сырьевая смесь	Химический состав сырьевых смесей, %								$\Phi_m$	$C_m$	$C\Phi_m$
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	R <sub>2</sub> O	ППП			
3 К	36,3 4	10,33	1,77	15,00	7,96	1,09	0,50	26,94	0,70	0,50	—
4 К (I)	32,7 5	3,63	0,76	24,20	12,3 0	2,31	0,68	23,33			0,15
4 К (II)	35,4 5	9,09	1,54	16,52	8,66	1,89	0,57	26,22			0,55
4 К (III)	34,3 7	6,15	1,19	20,98	10,8 0	1,14	0,57	24,75			0,29

Все рассчитанные составы отвечают получению высокоосновного сульфогеррита кальция  $C_2F \cdot CaSO_4$ . Как можно видеть из таблицы 1, содержание оксида кремния наивысшее у сырьевой смеси, состоящей из трех компонентов (3 К). В сырьевых смесях из четырех компонентов самое большое количество оксида кремния у состава со значением  $C\Phi_m = 0,55$  (4 К (II)), наименьшее – у состава со значением  $C\Phi_m = 0,15$  (4 К (I)), сырьевая смесь со значением  $C\Phi_m = 0,29$  (4 К (III)) отвечает среднему содержанию оксида кремния. Расчетное количество белита,

который может образоваться в процессе синтеза СФК, приведено в табл. 2. Использование дополнительной модульной характеристики при расчете позволяет снизить массовое содержание белита приблизительно в 3 раза в зависимости от исходного химического состава сырьевых компонентов. Уменьшение количества белита способно не только обеспечить получение качественного продукта на конечном этапе производства, но и стимулировать использование техногенных отходов, что благотворно скажется на экологической обстановке региона.

Таблица 2

Расчетный минералогический состав СФК

Сырьевая смесь	Минералогический состав СФК, %			
	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A <sub>3</sub> ·CaSO <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> F·CaSO <sub>4</sub>	3CF·CaSO <sub>4</sub>
3 К	40,59	4,83	52,36	—
4 К (I)	13,57	1,98	80,32	0,22
4 К (II)	35,31	4,17	56,97	0,16
4 К (III)	23,13	2,94	70,05	0,19

Для установления возможности получения качественного СФК на основе четырехкомпонентной сырьевой смеси и сравнения ее с трехкомпонентной смесью были сформованы образцы – таблетки диаметром 1 см, которые были предназначены для изучения кинетики фазообразования, диаметром 3 см – для петрографического анализа синтезированных образцов и физико – механических испытаний композиционных вяжущих с добавлением СФК. Процесс обжига производили в силитовой печи при температурах 700–1300 °С с шагом набора температуры равным 50 °С без изотермической выдержки. Установление минералогического состава образцов производилось на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA Thermo Fisher Scientific.

Синтезированные СФК хоть и отличались химическими составами сырьевых смесей, но

процессы, происходящие при их обжиге, имели ряд сходств. Так, закисная форма оксида железа, которая находится в железистом компоненте, окисляется до высшей степени окисления при температурах порядка 600 °С [7]. Начало реакций диссоциации карбоната кальция наблюдалось уже при температуре равной 750 °С, что несколько ниже температуры декарбонизации чистого карбоната кальция [8]. Подобное явление объясняется присутствием в составе сырьевой смеси примесей щелочей, которые образуют в процессе обжига на кристаллах карбоната кальция расплав, способствующий процессам диссоциации [9]. Оксид кальция, освобожденный в результате термического разложения карбоната кальция, быстро вступает в реакцию с оксидом железа, образуя ферриты кальция переменного состава уже при температурах 750–800 °С. Появление ферритов кальция при не-

сколько пониженных температурах объясняется эффектом Хэдвелла [10] (дополнительной энергией появившейся в реакции в результате окисления FeO до Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Взаимодействие ферритов кальция с ангидритом приводит к реакциям сульфатизации и получению соединений типа C<sub>m</sub>F·nCaSO<sub>4</sub>.

Образование белита было обнаружено при температурах порядка 800 °С. что также говорит о появлении низкотемпературного расплава, через который и происходила реакция. Вместе с «нужными» реакциями наблюдались также и побочные. Так при температуре 1000 °С в образцах присутствуют аналитические пики, принадлежащие силикосульфату кальция не обладающему вяжущими свойствами, образованному в результате взаимодействия белита и ангидрита. По мере увеличения температуры площадь пиков и их интенсивность возрастают и достигают своих максимальных значений при 1200 °С. Дальнейшее повышение температуры снижает интенсивность пиковых импульсов и при 1250 °С

сульфатный спуррит распадается на белит и ангидрит. Освободившийся сульфат кальция вступает в «запоздалые» реакции сульфатизации оставшихся ферритов кальция. К температуре равной 1300 °С образование всех необходимых фаз СФК заканчивается. О протекании реакций сульфатизации ферритов кальция говорит смещение межплоскостного угла пиков C<sub>2</sub>F с 2,697 Å до 2,675 Å.

Во всех четырех образцах СФК наблюдается присутствие трех основных минералов: двухкальциевого сульфферрита, белита и ангидрита (рис. 2). Образцы со значениями CФ<sub>м</sub> 0,15 и 0,29 практически не содержат в своем составе фазу белита, в то время как трехкомпонентная и четырехкомпонентная смеси со значением CФ<sub>м</sub> 0,55 содержат его значительное количество. Доля ангидрита, оставшегося после реакций сульфатизации ферритов кальция определялась методом Ритвелда [11] в программе Match! 3 и составило для всех синтезированных образцов СФК 0,09–0,16.

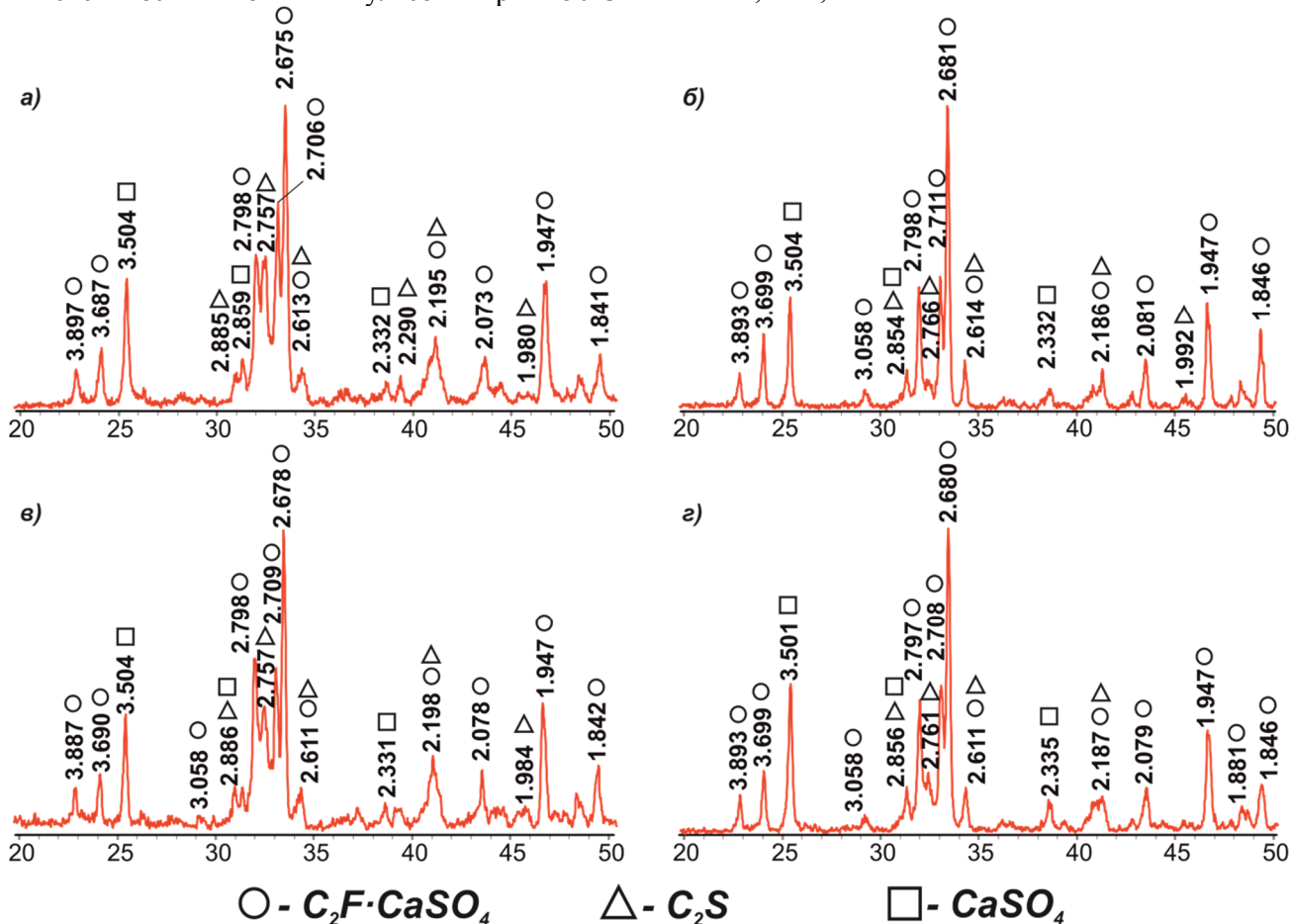


Рис. 2. Минералогический состав синтезированных образцов СФК:  
а — 3 К; б — 4 К (I); в — 4 К (II); г — 4 К (III)

Для установления кинетики усвоения образующегося оксида кальция было произведено определение последнего этил – глицератным методом в образцах, синтезированных при температурах 700–1300 °С с шагом 50 °С (рис. 3).

Формы кривых образцов 4 К (I), 4 К (II) и 4 К (III) идентичны за исключением максимального значения доли выделившегося и не усвоенного оксида кальция, что говорит об одинаковом механизме протекания реакций. Кинетика усвое-

ния оксида кальция у образцов на основе трехкомпонентной смеси отлична от всех других. Так, кинетическая кривая 3 К имеет два максимальных значения доли оксида кальция (при одном наибольшем значении у трех остальных) и большую площадь под кривой, что говорит о более плохой степени усвоения оксида кальция.

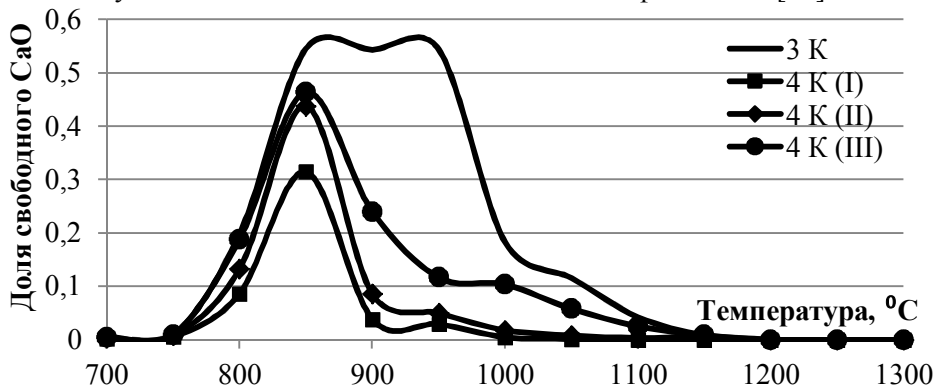


Рис. 3. Кинетика усвоения свободного оксида кальция

Образование СФК в процессе обжига сопровождалось незначительным улетучиванием оксида серы (рис. 4). Как можно видеть на рисунке 4, схожий характер кривых доли потерянного  $SO_3$  говорит об идентичных условиях синтеза всех образцов СФК, так как улетучивание вышеуказанного оксида зависит от значения температуры при которых происходит

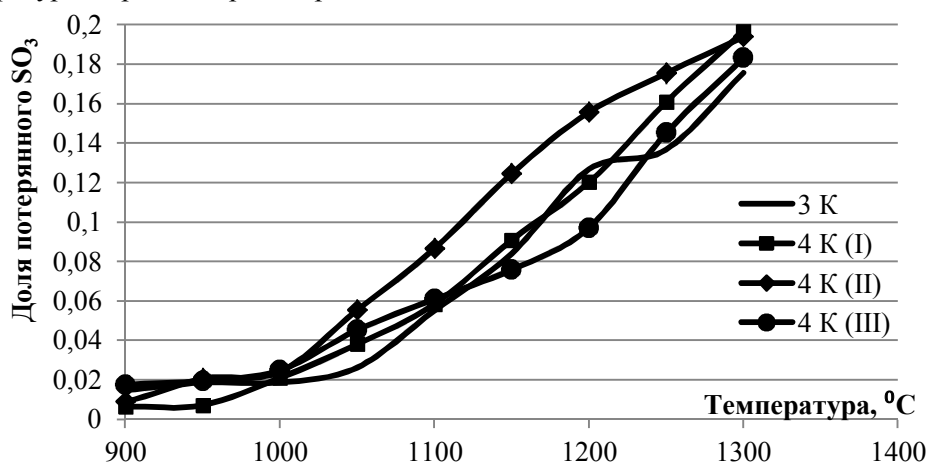


Рис. 4. Зависимость потери  $SO_3$  при обжиге СФК от величины температуры

Микроструктура СФК устанавливалась путем проведения петрографического анализа образцов синтезированных при температуре  $1300\text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 5). В зависимости от значения  $SF_m$  минералогический состав СФК менялся. В образцах где  $SF_m$  был равен  $0,15$  (рис. 5, б) значительно преобладает количество фазы двухкальциевого сульфферрита по отношению ко всем остальным фазам. Кристаллы  $C_2F \cdot CaSO_4$  равномерно распределены по всей поверхности аншлифа и их размер находится в диапазоне от  $4$  до  $8$  мкм со средним значением размеров равным приблизительно  $6$  мкм. В образцах  $4$  К (II)

Затянувшееся усвоение окиси кальция может быть связано с поздним, по сравнению с другими синтезированными образцами, образованием центров кристаллизации ферритов кальция, поскольку формирование ферритов кальция разной основности начинается раньше образования всех остальных фаз в СФК [12].

перестроение его кристаллической решетки и характера среды обжига [4, 13]. Для всех смесей начало выделения  $SO_3$  соответствует температуре  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  и продолжается до конца обжига. Потеря для всех составов составляет от  $0,02$  части от общего количества  $SO_3$  в образце до значения приблизительно равного  $0,195$  доли.

и  $4$  К (III) (рис.5, в и г) количество фазы белита возрастает согласно значению  $SF_m$ . Размер кристаллов  $C_2F \cdot CaSO_4$  находится в пределах от  $4$  до  $12$  мкм со средним показателем  $7$  мкм. Белит представлен кристаллами овальной формы светло-коричневого оттенка размером  $6$ – $14$  мкм. Структура аншлифа образца на основе трехкомпонентной сырьевой смеси (рис. 5, а) несколько отличается от структуры аншлифов на основе четырехкомпонентных сырьевых смесей. В аншлифе образца  $3$  К обнаружены места скопления сульфферритной фазы вокруг фазы белита. Кристаллы белита имеют нечеткую овальную

форму с размером от 6 до 16 мкм. Фаза двух-кальциевого сульфоферрита имеет размер 4 – 10

мкм со средним значением 8 мкм.

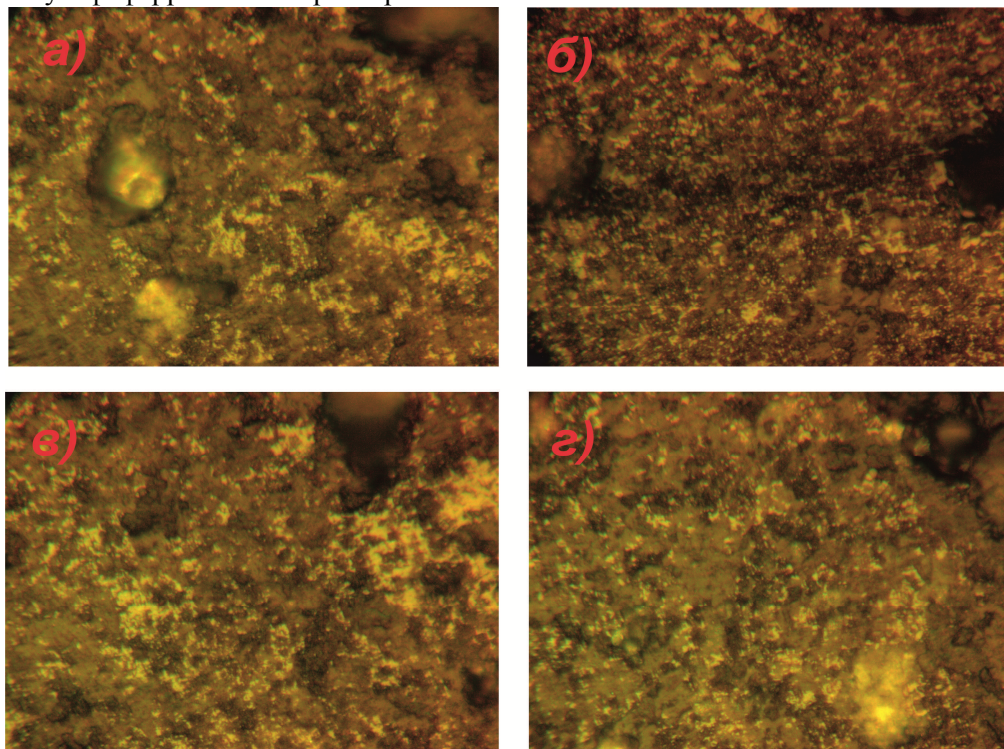


Рис. 5. Петрография обожженного СФК: а – 3 К; б – 4 К (I); в – 4 К (II); г – 4 К (III)

Для определения влияния ввода синтезированной расширяющейся добавки на физико-механические свойства композиционного вяжущего цемента были приготовлены смеси, состоящие из СФК различного состава и портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н. На основании литературных данных [14, 15] количество ввода добавки СФК составляло 6 %. Удельная поверхность портландцемента и добавляемого СФК составляла 320 и 310 м<sup>2</sup>/кг соответственно. Изучение физико – механических свойств, таких как

линейное расширение и прочность на сжатие, осуществляли на малых образцах – балочках и кубиках [6], размер которых составлял 10×10×60 мм и 14,1×14,1×14,1 мм соответственно.

Определение изменения линейного расширения цементного камня проводилось на индикаторе линейного расширения часового типа в возрасте 3, 5, 7, 15, 21 и 28 суток. Изменение линейного расширения (рис. 6) выражалось в процентах относительно первоначальных размеров после заформовки.

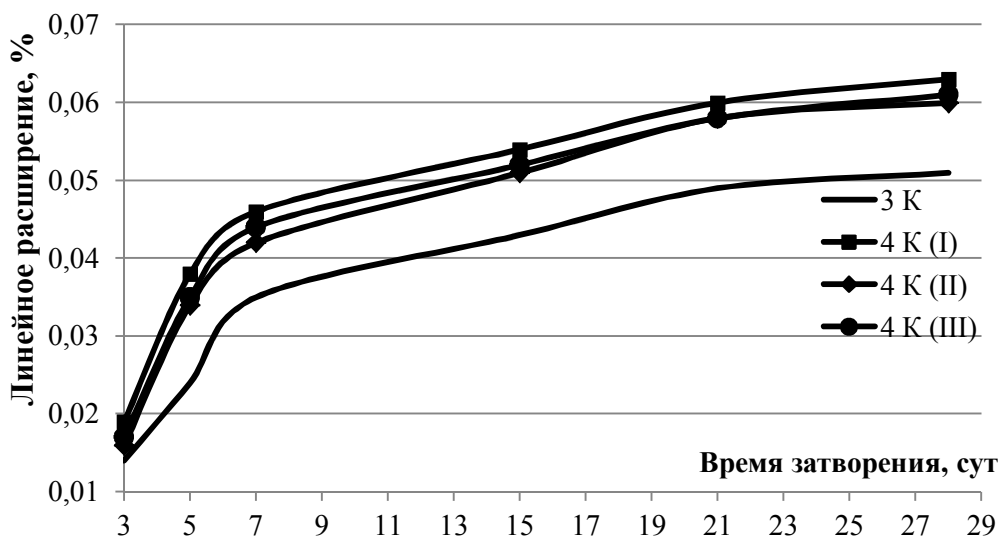


Рис. 6. Изменение линейного расширения цементного камня

По результатам замеров установлено, что все образцы цементного камня показали необ-

ходимые значения расширения. Наибольшее значение линейного расширения (0,063 %) имел

композиционный состав, в который входил двухосновный СФК со значением  $SФ_m = 0,15$ . Линейное расширение у трех других составов несколько ниже и находятся в пределах 0,051–0,061 %. Одинаковый характер кривых линейного расширения говорит об одинаковом механизме реакций гидратации, в которых гидросульфогерриты кальция ( $C_3F \cdot 3CaSO_4 \cdot H_{31}$  и  $C_4FH_{13}$ ) в процессе формирования цементного камня, пронизывают гелеобразный  $Fe(OH)_3$ , образующийся наряду с ними, заполняя, тем самым, пустоты и уплотняя цементный камень [5].

Исследование гидравлической активности образцов композиционного вяжущего на основе сульфогерритных клинкеров разного минералогического состава производилось в возрасте 2, 7 и 28 суток. Результаты испытаний свели в гистограмму (рис. 7). Как можно видеть из рис. 7, величина гидравлической активности для образ-

ца 4 К (I) во все время твердения имеет наибольшее значение и достигает наивысшей точки в 28-суточном возрасте равной 109,7 МПа, в то время как гидравлическая активность композиционного цемента с добавлением СФК на основе трех компонентов на протяжении всего периода твердения показывает наименьшие значения, достигая показателя к 28 суткам равного 99,8 МПа (разница с составом 4 К (I) составляет 9 %). Величина гидравлической активности для составов 4 К (II) и 4 К (III) во все периоды твердения практически совпадают и достигают в 28-суточном возрасте значений 102,4 и 105 МПа. Низкая по отношению к другим составам гидравлическая активность образца 3 К объясняется неравномерностью распределения фазы двухкальциевого сульфогеррита, которое было выявлено петрографическим анализом аншлифа.

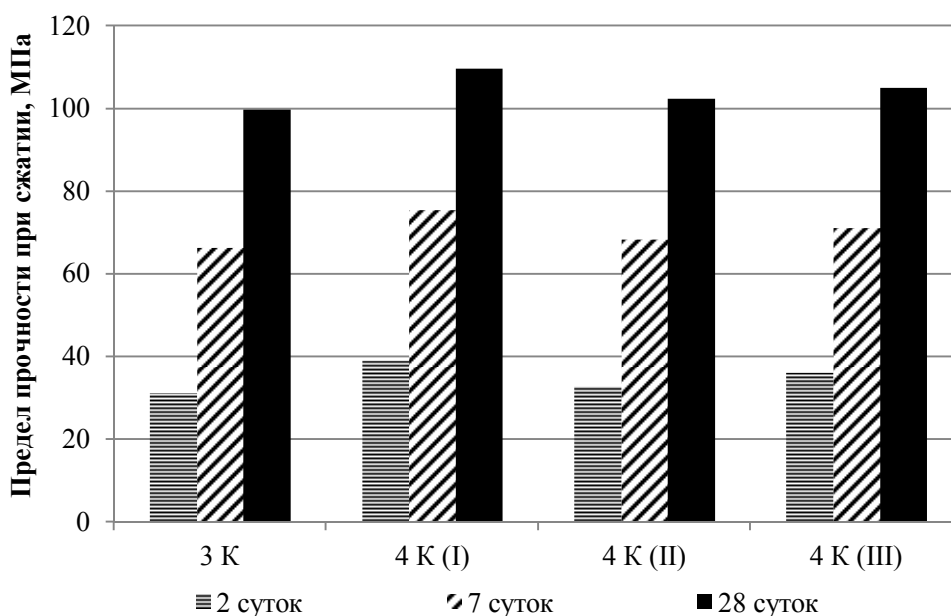


Рис. 7. Изменение гидравлической активности цементного камня

### Выводы

1. Введение в расчетную часть дополнительного модуля (силикогерритного модуля СФ<sub>м</sub>) способно регулировать в широких пределах образование в СФК не обладающего расширяющимися свойствами белита. Снижение образования побочных продуктов взаимодействия путем регулирования минералогического состава (белита и ангидрита) приводит к нивелированию потери линейного расширения и «потере» прочностных показателей за счет менее плотной структуры цементного камня.

2. Распределение фазового состава на поверхности аншлифа СФК на основе трехкомпонентной сырьевой смеси неоднородно. Кристаллы образованного белита сосредоточены группами, что может быть причиной излишних ло-

кальных напряжений, возникающих в процессах гидратации и твердения сульфогерритов кальция. СФК на основе четырехкомпонентных составов имеют равномерное распределение всех фаз, что может исключить локальные линейные деформации.

3. Прочностные характеристики цементного камня на всех этапах твердения при добавлении всех составов СФК на основе четырех компонентов выше, чем у состава на основе трех компонентов. Разница в прочности возникает за счет более плотной структуры цементного камня и меньшего количества локальных деформаций в четырехкомпонентных составах СФК.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Быховский Л.З., Спорыхина Л.В. Техногенные отходы как резерв пополнения минерально – сырьевой базы: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2011. №4. С. 15–20.
2. Ильичев В.А., Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности // Строительные материалы. 2011. №4. С.36–40.
3. Классен, В.К. Обжиг цементного клинкера. Красноярск: Стройиздат, 1994. 323 с.
4. Мандрикова О.С. Синтез сульфферритного клинкера с использованием техногенных материалов для получения специальных цементов: дис. ... канд. техн. наук. Белгород.: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. 141 с.
5. Осокин А.П., Кривобородов Ю.Р., Потапова Е.Н. Модифицированный портландцемент. М.: Стройиздат, 1993. 328 с.
6. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. М.: Высшая школа, 1973. 504 с.
7. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.
8. Киреев В.А., Ватулян К.С., Таубе П.Р., Филиппова К.И., Финогенов М.Ю., Хигерович М.И. Курс химии Ч. 2. Специальная. М.: Высшая школа; 1975. 235 с.
9. Лугинина И. Г., Кузнецова Т. В. Клинкерообразование во вращающихся печах при получении портландского и специальных цементов. М., Белгород: Моск. инж.-строит. ин-т им. В. В. Куйбышева; БГТИСМ им. И. А. Гришманова, 1988. 91 с.
- 10.Евтушенко Е.И. Активационные процессы в технологии строительных материалов. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2003. 209 с.
- 11.Чаттерджи А.К. Применение метода Ритвельда в рентгенофазовом анализе клинкера и цемента // Цемент и его применение 2015. №1. С. 33–38.
- 12.Гребенюк А.А., Борисов И.Н. Изучение возможности получения расширяющейся добавки на основе ферритного отхода с высоким содержанием  $\beta$  – кварца // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №7. С. 152–158
- 13.Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.
- 14.Кривобородов Ю.Р. Сульфатированные тампонажные цементы: дис. ... д-ра техн. наук. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2001. 358 с.
- 15.Борисов И.Н, Мандрикова О.С. Синтез сульфферритного клинкера для производства безусадочных и расширяющегося цементов // Современные проблемы науки и образования. 2012. №2. С. 269.

---

**Grebenyuk A.A., Borisov I.N.****SULFOFERRITE CLINKER QUALITY RAISE ON BASIS OF INDUSTRIAL REJECTIONS**

*The sulfoferrite clinker of quaternary raw mixture with additional silicate ferrite module injection was determined. The silicate module renders the arrangement of the highly variable sulfoferrite clinker mineral composition possible. The quaternary raw mixture with the different  $\beta$  –quartz content is compared with the ternary raw mixtures.*

**Key words:** *sulfoferrite clinker, silicate ferrite module, expanding additive, line expansion, compressive strength.*

---

**Гребенюк Александр Александрович**, аспирант кафедры технологии цемента и композиционных материалов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: alexander.grebeniuk@mail.ru

**Борисов Иван Николаевич**, доктор технических наук, зав. кафедрой ТЦКМ, профессор кафедры технологии цемента и композиционных материалов.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: borisov@intbel.ru