

Сулейманова Л. А., канд. техн. наук, проф., докторант  
Жерновский И. В., канд. геол.-мин. наук, доц., докторант  
Шамиуров А. В., канд. техн. наук, доц.,

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## СПЕЦИАЛЬНОЕ КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ ГАЗОБЕТОНОВ НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

[ludmilasuleimanova@yandex.ru](mailto:ludmilasuleimanova@yandex.ru)

*Разработано специальное композиционное вяжущее с прочностью на сжатие не менее 80 МПа, обладающее уникальными свойствами, обеспечивающими стабильность технологических процессов, протекающих на всех стадиях производства газобетонов неавтоклавного твердения.*

**Ключевые слова:** композиционное вяжущее, газобетоны неавтоклавного твердения, метод Ритвельда, полнопрофильный анализ.

Вопросами изучения активированных и композиционных вяжущих (КВ), вяжущих низкой водопотребности занимались такие известные ученые, как Б.Г. Скрамтаев, В.Н. Юнг, С.М. Рояк, Ю.М. Бутт, А.Е. Шейкин, Г.М. Рущук, М.И. Стреков, В.И. Соломатов, В.И. Калашников, А.В. Шейнфельд, С.В. Демьянова, Б.Э. Юдович, Ш.Т. Бабаев, М.Я. Бикбау, В.Р. Фаликман и многие другие.

Основные свойства вяжущего, в том числе его активность и скорость твердения, определяются не только химическим и минералогическим составом клинкера, формой и размерами кристаллов алита и белита, наличием тех или иных добавок, но и, в большей степени, тонкостью помола продукта, его гранулометрическим составом, а также формой его частиц.

Для ячеистых бетонов с улучшенными структурой и показателями качества необходимы специальные КВ, обладающие уникальными свойствами, обеспечивающими стабильность технологических процессов, протекающих на всех стадиях производства газобетонов [1].

Для разработки специального КВ для газобетонов неавтоклавного твердения, в том числе и для монолитного строительства, использовали в качестве активного компонента вяжущего клинкер и портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО «Белгородский цемент»; гипс ОАО «Кубанский гипс – Кнауф», Краснодарский край; в качестве наполнителя – мел технический дисперсный МТД-2 ОАО «Мелстром», Белгородская обл.; в качестве модифицирующей добавки применялся суперпластификатор Полипласт П-1 производства ООО «Полипласт Новомосковск», в качестве кварцсодержащих добавок использовали кварцевые пески Нижнеольшанского (Белгородская обл.), Вяземского (Смоленская обл.), Курского (Курская обл.), Привольского (Саратовская обл.), Безлюдовского (Харьковская обл., Украина) месторождений и отсева дробления

кварцитопесчаника (КВП) ОАО «Лебединского ГОКа» (Белгородская обл.).

Разработка специального композиционного вяжущего (КВ) с удельной поверхностью 500...600 м<sup>2</sup>/кг, оптимальным гранулометрическим составом, усовершенствованной морфологией и характером поверхности частиц, модификаторами и ультратонкими наполнителями, обладающего уникальными свойствами – это реальная возможность существенно снизить производственные удельные затраты топлива и электроэнергии, увеличить объем производства и повысить качество вяжущего с минимальными капиталовложениями.

Измельчение цемента составляет три четверти от общих затрат электроэнергии, поэтому снижение расхода электроэнергии на помол и повышение его эффективности является приоритетной тенденцией, направленной на улучшение его качества, и достигается путем выбора вида ПАВ и его дозировки, избирательностью помола цемента, оптимальной энергонапряженностью процесса помола, применением принципиально нового оборудования для измельчения.

Помол КВ проводился с заменой клинкерной составляющей кварцсодержащими добавками до 30 % в новом оборудовании для измельчения в центробежном помольно-смесительном агрегате (ЦПСА), обеспечивающем снижение удельных энергозатрат на 35...40 %, позволяющем получать тонкую и сверхтонкую структуру измельчаемого материала за счет ударно-истирающего воздействия рабочих органов с заданными траекториями движения.

Подбор оптимального количества суперпластификатора «Полипласт П-1» (П-1), проведенный методом мини-конуса, показал, что необходимый расплыв конуса достигается при содержании добавки в количестве 1 %, а дальнейшее увеличение экономически и технологически не целесообразно.

Анализ кинетики и кинетических констант помола кварцевых песков и отсевов дробления КВП (рис. 1) показал, что энергетически целесообразно использовать отсевы дробления КВП, частицы которых представлены агрегатами зерен с более развитой поверхностью, многочисленными сколами, заостренными и выщербленными местами в сравнении с кварцевыми песками, что и подтверждается наибольшей начальной скоростью

помола  $U_0 = 6,89...7,3 \text{ м}^2/(\text{кг}\cdot\text{мин})$  и малыми коэффициентами торможения  $k_t = 0,0003...0,0004 \text{ кг/м}^2$ .

Анализ кинетики помола КВ (рис. 2) в ЦПСА позволил определить оптимальное время помола для каждого вида вяжущего по достижении эффективной удельной поверхности  $S_{уд} = 500...550 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

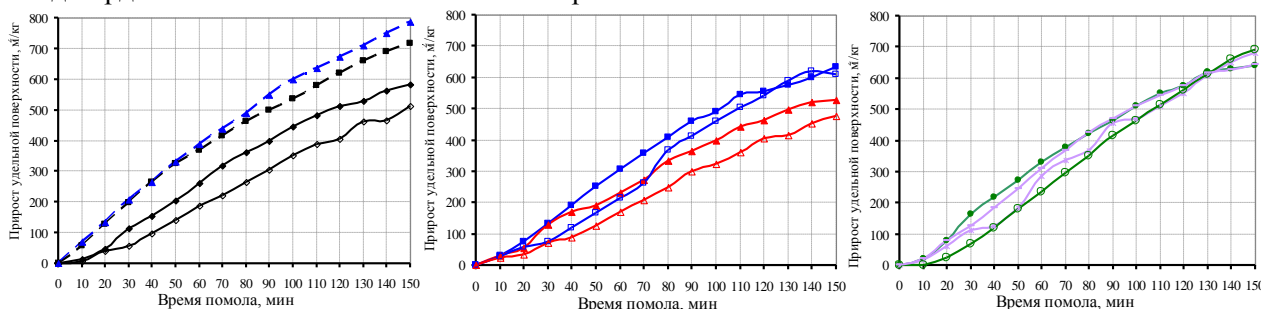


Рис. 1. Зависимость прироста удельной поверхности кварцевых песков и отсевов дробления КВП от времени помола: —◆— нижне-ольшанский песок + П-1; —■— вяземский песок + П-1; —▲— курский песок + П-1; —●— вольский песок + П-1; —◇— безлюдовский песок + П-1; —○— нижне-ольшанский песок; —□— вяземский песок; —△— курский песок; —◇— вольский песок; —◇— безлюдовский песок; —■— отсевы дробления КВП; —▲— отсевы дробления КВП + П-1

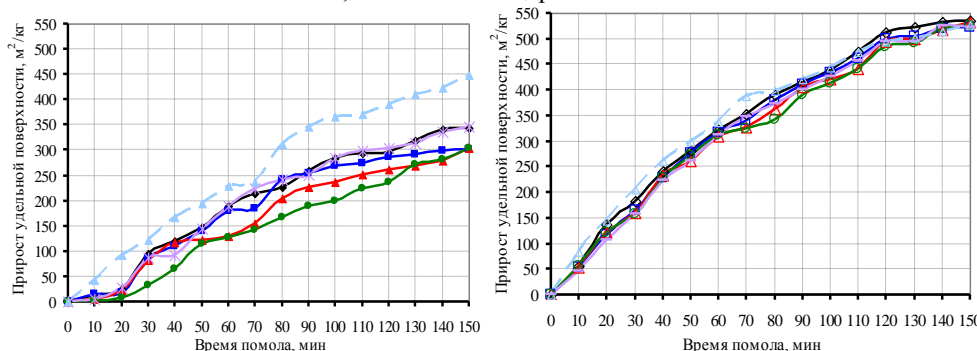


Рис. 2. Зависимость прироста удельной поверхности КВ от времени помола:

—■— цемент + нижне-ольшанский песок + П-1 (1); —■— цемент + вяземский песок + П-1 (2); —▲— цемент + курский песок + П-1 (3); —●— цемент + вольский песок + П-1 (4); —◇— цемент + безлюдовский песок + П-1 (5); —◇— клинкер + гипс + нижне-ольшанский песок + П-1 (6); —□— клинкер + гипс + вяземский песок + П-1 (7); —△— клинкер + гипс + курский песок + П-1 (8); —◇— клинкер + гипс + вольский песок + П-1 (9); —◇— клинкер + гипс + безлюдовский песок + П-1 (10); —▲— цемент + отсевы дробления КВП + П-1 (11); —▲— клинкер + гипс + отсевы дробления КВП + П-1 (12)

Анализ кинетических констант помола (табл. 1) показал, что наилучшей размолоспособностью обладает КВ на клинкерной основе с использованием отсевов дробления КВП, имеющее начальную скорость помола  $U_0 = 9,13 \text{ м}^2/(\text{кг}\cdot\text{мин})$  и коэффициент торможения

$k_t = 0,0007 \text{ кг/м}^2$ , при этом тонкодисперсные отсевы дробления КВП позволяют наиболее полно использовать энергетику кристаллической решетки минералов, накопленную в результате геологических и техногенных воздействий.

Таблица 1

**Кинетические константы помола КВ**

№ состава	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U_0, \text{ м}^2/(\text{кг}\cdot\text{мин})$	3,66	3,49	3,26	2,27	3,47	7,07	6,49	6,42	6,45	5,92	4,64	9,13
$k_t, \text{ кг/м}^2$	$9 \cdot 10^{-4}$	$12 \cdot 10^{-4}$	$12 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$11 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
Коэффициент корреляции ( $k_{кор}$ )	0,724	0,852	0,965	0,733	0,834	0,965	0,956	0,967	0,971	0,902	0,923	0,997

Гранулометрический анализ показал, что КВ на клинкерной основе имеют полимодальное распределение частиц. Кривые гранулометрического состава КВ на клинкерной основе по сравнению с КВ на основе цемента смещены в область мелких частиц с повышенным их содержанием (рис. 3). При этом КВ на основе клинкера имеют повышенное содержание мелкодис-

персных частиц. При этом КВ на основе клинкера имеют повышенное содержание мелкодис-

персных частиц с выраженным максимумом в интервале 0,66...2,7 мкм по сравнению с КВ на основе цемента, что приводит к увеличению скорости гидратации, особенно в ранние сроки твердения, что является важным в технологии газобетонов.

Введение мела в состав КВ приводит к увеличению содержания мельчайших частиц в диапазоне 0,54...2,21 мкм (рис. 4), что обусловлено особенностями строения самого мела. Реологические кривые суспензий на основе цемента и клинкера имеют классический тиксотропный характер.

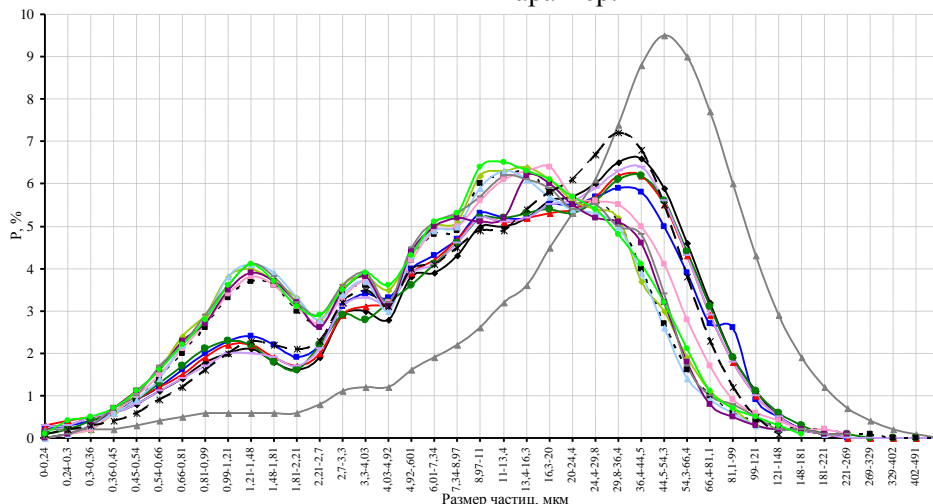


Рис. 3. Распределение частиц КВ по размерам:

— 1; — 2; — 3; — 4; — 5; — 6; — 7; — 8; — 9; — 10; — 11; — 12; — — цемент; - - - клинкер + гипс + П-1

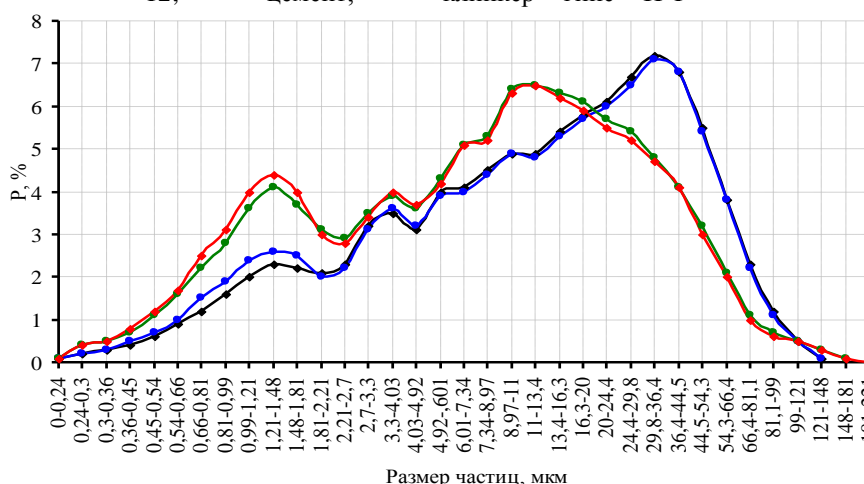


Рис. 4. Распределение частиц КВ с мелом по размерам:

— — 11; — — цемент + отсеvy дробления КВП + П-1 + мел (13); — — 12; — — клинкер + гипс + отсеvy дробления КВП + П-1 + мел (14)

Использование в системах кварцсодержащих добавок изменяет их тиксотропные свойства, заключающиеся в снижении эффективной вязкости по сравнению с бездобавочными составами. При этом вязкость КВ, полученных помолком, клинкера больше, по сравнению с КВ, полученными домолком цемента, что можно объяснить ускорением процессов гидратации в ранние сроки. Изменение дисперсности КВ с добавлением мела и особенности строения его частиц оказывают влияние на реологические свойства КВ, которое проявляется в увеличении вязкости суспензий, что объясняется повышением плотности упаковки частиц КВ за счет большей их полидисперсности и подверженностью отсеvов

дробления КВП воздействию анионоактивного суперпластификатора. Это позволило получить КВ, суспензия которого имеет оптимальную вязкость для получения газобетона улучшенной структуры.

С учетом полученных данных гранулометрического состава, реологических характеристик и физико-механических испытаний вяжущих предложены рациональные составы КВ (табл. 2) с клинкерной составляющей и суперпластификатором Полипласт П-1.

Сроки схватывания КВ и реологические свойства суспензий, полученных на основе клинкера (табл. 2), позволяют совместить во времени период интенсивного структуро-

образования КВ с газовыделением при вспучивании газобетонной смеси, тем самым предотвратить прорывание газовых пор, стабилизировать их размеры и местоположение,

уменьшить дефектность и получить газобетоны с повышенными прочностными характеристиками.

Таблица 2

**Составы и физико-механические характеристики КВ**

Состав вяжущего	НГ, %	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности, МПа, в возрасте, сут					
		начало	конец	при изгибе			при сжатии		
				3	7	28	3	7	28
Цемент + отсе́вы дробления КВП+ П-1	23,3	1-30	3-05	6,9	8,1	9,63	44,3	55,4	69,3
Клинкер + гипс + отсе́вы дробления КВП + П-1	20,3	1-05	2-35	8,2	9,6	11,55	53,2	64,8	82,4
Цемент + отсе́вы дробления КВП + мел + П-1	23,8	1-20	2-50	7,2	9,4	11,03	47,8	61,3	75,5
Клинкер + гипс + отсе́вы дробления КВП + мел + П-1	20,0	0-50	2-30	8,5	10,6	12,26	62,4	74,0	87,7

Степень гидратации КВ оценивалась по снижению интенсивности отражений 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 отражений портландита (4,92; 2,63 Å), как продукта гидратации.

Количество образующегося портландита в начальный период твердения у КВ различно. Так, содержание портландита максимально у КВ с нижне-ольшанским песком и КВ с отсе́вами дробления КВП, что подтверждается, в частности, и повышением прочности в ранние сроки твердения.

Степень гидратации алита в 28-суточном возрасте у КВ с отсе́вами дробления КВП значительно выше, по сравнению с КВ с остальными песками, что подтверждается интенсивностью его отражений. Этим и объясняется значительно больший предел прочности на сжатие КВ с отсе́вами дробления КВП. КВ с добавлением мела в первые сутки твердеет несколько медленнее, чем КВ без него, о чем свидетельствуют отражения портландита (рис. 5). К 3-м суткам твердения интенсивность отражений портландита у КВ с отсе́вом дробления КВП и мелом превышает интенсивность отражений портландита у КВ без мела. К 28-м суткам твердения увеличение отражений у КВ с отсе́вами дробления КВП составило 210 %, а у КВ с отсе́вами дробления КВП и мела – 305 %.

Для оценки степени влияния количественных соотношений гидросиликатов кальция (С-S-N) на прочностные показатели КВ была применена модифицированная (внутристандартная) методика РФА на основе ритвельдовских (полнопрофильных) расчехенных процедур (рис. 6), основанная на использовании интенсивности дифракционного рассеяния поликристаллическим образцом в каждой точке дифракционного спектра для определения структурных параметров веществ [2, 3].

Метод основан на минимизации разницы между экспериментальным и расчетным дифракционными спектрами. Причем последний

рассчитывали из кристаллоструктурных параметров веществ, составляющих поликомпонентный материал. В этом методе интенсивность дифракционного спектра  $y_{расч}$  в точке  $i$  вычисляли по формуле:

$$y_{расч}(i) = \sum_j S_j \sum_{hkl} (LPA)_{hkl} \cdot f(2\theta_i - 2\theta_{hkl}) \cdot F_{hkl}^2 \cdot m_{hkl} \cdot Y_{hkl} + B(i), \quad (1)$$

где  $S_j$  – масштабный множитель для  $j$ -ой фазы;  $L$  – фактор Лоренца;  $P$  – поляризонный фактор;  $A$  – фактор поглощения для образца;  $f$  – функция формы дифракционного отражения;  $2\theta_i$  – угол, соответствующий точке спектра  $i$ ;  $2\theta_{hkl}$  – угловое положение  $hkl$ -отражения;  $F_{hkl}$  – структурный фактор;  $m_{hkl}$  – фактор повторяемости для  $hkl$ -отражения;  $Y_{hkl}$  – фактор преимущественной ориентировки;  $B(i)$  – интенсивность фона в точке  $i$ .

Суммирование производили по всем отражениям  $hkl$  всех фаз.

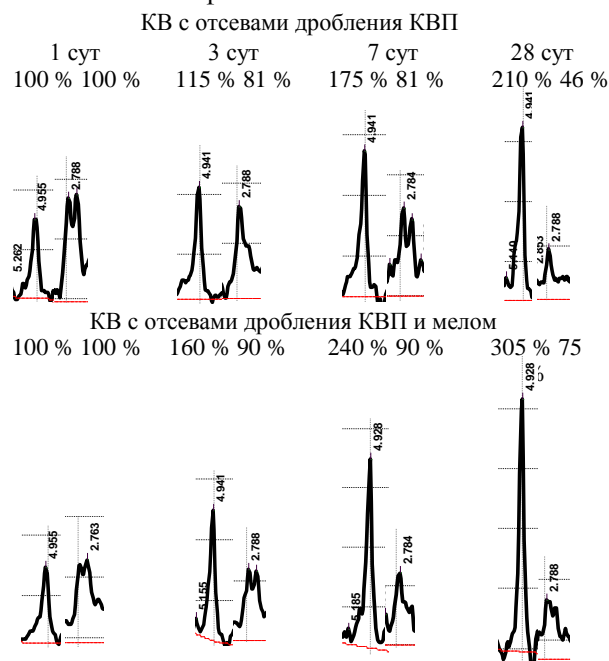
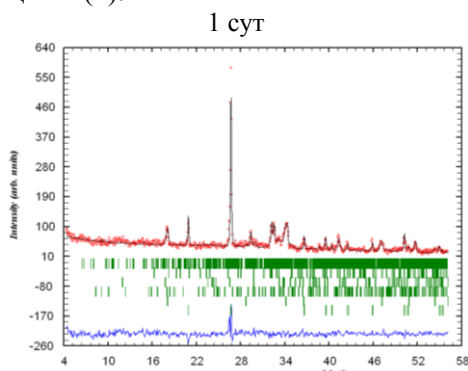


Рис. 5. Дифракционные профили отражений алита и белита (2,76Å и 2,78Å) и портландита (4,94Å) в КВ с добавлением мела

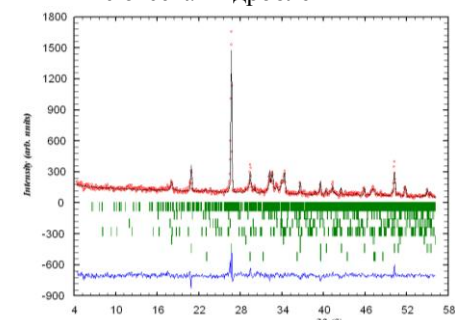
Метод Ритвельда заключается в минимизации функционала

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N w_i \{y_i^{y_{\text{exp}}} - y_i^{\text{calc}}\}^2 \rightarrow \min \text{ (где } w_i = 1/\sigma_i^2 = 1/y_i^{y_{\text{exp}}}) \text{ (2)}$$

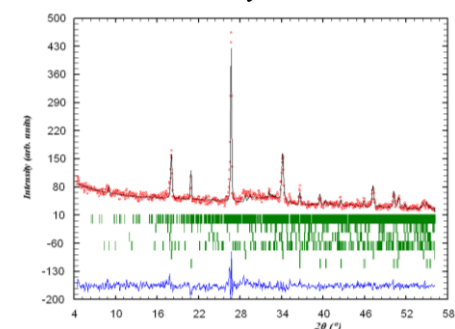
нелинейным методом наименьших квадратов путем итерационного уточнения аппаратурных, профильных и структурных параметров, входящих в (1).



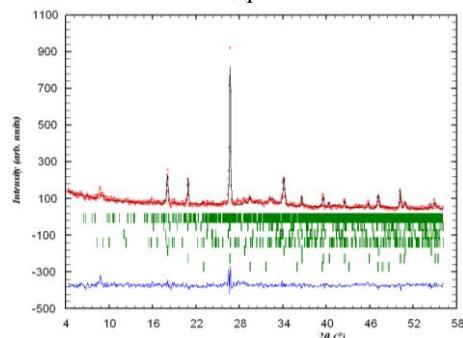
КВ с отсевами дробления КВП



КВ с отсевами дробления КВП и мелом 28 сут



КВ с отсевами дробления КВП



КВ с отсевами дробления КВП и мелом

Рис. 6. Ритвельдовская диаграмма прогидратированного КВ на основе клинкера

Для описания профилей отражений применяли аппроксимирующие функции,

представляющие собой суперпозиции колоколообразных функций Гаусса и Лорентца (Коши) [4, 5 и др.].

Поскольку метод полнопрофильного анализа включает в себя оптимизацию по нескольким десяткам параметров функции, то он очень чувствителен к точности начальных данных. Неудовлетворительное начальное приближение уточняемых при итерации параметров, как правило, приводит функционал (2) в локальный минимум.

К обязательным требованиям относятся максимально высокое качество результатов дифракционного эксперимента (желательна монохроматизация излучения, съемка в максимально значимом интервале углов дифракции, достаточная диспергация образца или использование вращения в его плоскости для снятия эффектов крупнокристалличности, обязательное использование щелей Соллера; адекватное и максимально полное моделирование минеральной композиции объекта исследования, а также использование вызывающих доверие кристаллоструктурных данных; начальные значения профильных параметров, желательно использовать на основе параметров конкретной рентгенооптической системы (их можно получить на основе уточнения профилей в процедуре экстракции интенсивностей по А. LeBail от крупнокристаллического эталонного образца) [5].

Метод Ритвельда позволяет уточнять на основе дифракционных данных структурные параметры исследуемого вещества – параметры элементарной ячейки, координаты атомов, степень заселенности атомных позиций и т.д.

Полученные на основе этого подхода количественные концентрационные параметры позволили построить графическое представление изменения концентрации портландита в прогидратированном КВ (рис. 7).

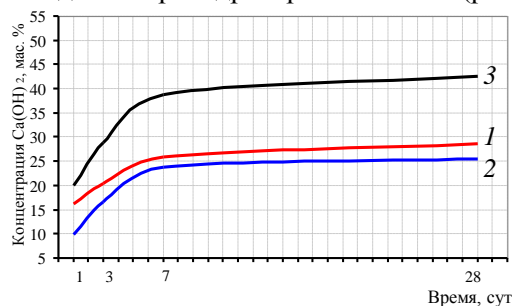


Рис. 7. Изменение концентрации портландита в КВ в процессе гидратации по результатам полнопрофильного РФА:

1 – Са(ОН)<sub>2</sub> (КВ с КВП); 2 – Са(ОН)<sub>2</sub> (КВ с КВП и мелом); 3 – Са(ОН)<sub>2</sub> (клинкер)

Для корректного сравнения концентрации портландита в КВ с отсевами дробления КВП и



в КВ с отсевами дробления КВП и мелом нормированы к концентрации портландита в гидратированном клинкере. Концентрация портландита в КВ с отсевами дробления КВП и в КВ с отсевами дробления КВП и мелом меньше, чем у бездобавочного цемента. Можно утверждать, что заметное уменьшение концентрации портландита объясняется его связыванием активным кремнеземистым компонентом отсевов дробления КВП и формированием дополнительного количества низкоосновных гидросиликатов кальция, которое приводит к повышению прочностных характеристик КВ.

При объяснении различной реакционной активности кремнеземных компонентов КВ приводятся данные об их «степени кристалличности» [6]. Следует отметить, что эта величина представляет собой весьма отвлеченную, существенно качественную, характеристику кристаллических материалов и не несет количественной информации о структурном состоянии объекта исследования.

В настоящее время вместо этой характеристики все чаще в строительном материаловедении применяются комплексные количественные параметры фазовой и размерной гетерогенности. К этим параметрам относятся концентрация рентгеноаморфной (скрытокристаллической) фазы материала, его количественный фазовый состав и размер областей когерентного рассеяния рентгеновского излучения, интерпретируемый как размер кристаллитов.

Для получения количественной информации о степени кристалличности кремнеземистого компонента КВ проведено количественное рентгенофазовое определение концентрации аморфной составляющей кварцитопесчаника (рис. 8).

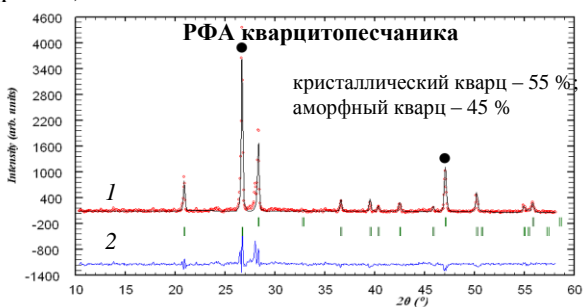


Рис. 8. Ритвельдовская диаграмма кварцитопесчаника:  
 ○ – экспериментальная дифракционная кривая;  
 1 – расчетная кривая; 2 – разностная кривая экспериментального и расчетного дифракционного спектра; | – брегговские маркеры отражений для всех фаз;  
 ● – отражения флюорита

Методика определения концентрации аморфной фазы основана на введении в исследуемый образец определенной концентрации хорошо закристаллизованного вещества с известной кристаллической структурой, в данном

случае в качестве эталона применялся природный флюорит.

После проведения количественного РФА с применением метода Ритвельда определение концентрации рентгеноаморфной фазы производится на основе истинной и расчетной концентрации внутреннего эталона:

$$C_{аморф.} = \{100 \cdot (C_{этал. расщ.} - C_{этал. истин.})\} \frac{100 \cdot (C_{этал. расщ.} - C_{этал. истин.})}{C_{этал. расщ.} \cdot (100 - C_{этал. истин.}) / 100}$$

Для диспергированного в ЦПСА до  $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$  отсевов дробления КВП концентрация аморфной фазы составила 45 вес. %.

Параметры фазово-размерной гетерогенности кристаллической компоненты кварцитопесчаника, определенные рентгенографическим полнопрофильным количественным микроструктурным анализом, представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Параметры фазово-размерной гетерогенности отсевов дробления КВП**

Полиморфные модификации	Концентрация, вес. %	Размер кристаллитов, нм
α-кварц	75	70
β-кварц	25	30

Полученные результаты коррелируются с аналогичными данными, приведенными в работе [7].

В исходном (негидратированном) состоянии в КВ с отсевом дробления КВП и мелом содержится около 9 вес. % аморфного кремнезема. На основании количественного РФА, концентрация кальцита в КВ с отсевом дробления КВП и 10 % мела составляет около 7 вес. %. Следовательно, аморфная фаза в карбонатном компоненте КВ равна 3 вес. %.

Суммарное содержание аморфных фаз в этом КВ составляет 12 вес. %, что обеспечивает его высокую реакционную активность.

Таким образом, определены количественные параметры фазово-размерной гетерогенности кремнеземистого компонента (отсевов дробления КВП) КВ в виде концентраций полиморфных модификаций кварца, размеров их кристаллитов, а также концентрация аморфной (наноразмерной) фазы кремнезема, обеспечивающей его высокую реакционную активность.

Исследования на РЭМ показали, что у образцов на основе КВ с различными песками в возрасте 1 сут наблюдается рыхлая структура с порами и пустотами, у образцов КВ с курским песком и отсевами дробления КВП наблюдается схожая однородная мелкозернистая землистая структура.

В образцах в возрасте 1 сут наблюдается большее количество зерен кварца, непокрытых новообразованиями, чем в образцах в 28 сут, у которых количество этих зерен значительно

меньше вследствие зарастания глобулярными новообразованиями. В процессе гидратации к 28-сут у КВ на основе отсевов дробления КВП происходит упрочнение структуры в результате переплетения отдельных сростков кристаллогидратов, прорастания массы геля кристаллическими сростками.

В 1 сут гидратации в КВ с отсевом дробления КВП наблюдаются зародыши кристаллов гидросиликатов кальция, при этом его структура более рыхлая по сравнению с КВ с отсевом дробления КВП и мелом. Как в 1-е, так и на 28-е сут твердения в КВ наблюдается достаточное количество зерен кварца, по морфологии типичных для обломочных структур, не покрытых продуктами реакций гидратации.

У образцов КВ с отсевом дробления КВП и мелом структура монолитная. Отмечается большая степень покрытия зерен кварца продуктами новообразований, что связано с увеличением количества центров кристаллизации, которыми выступают частицы мела (рис. 9).

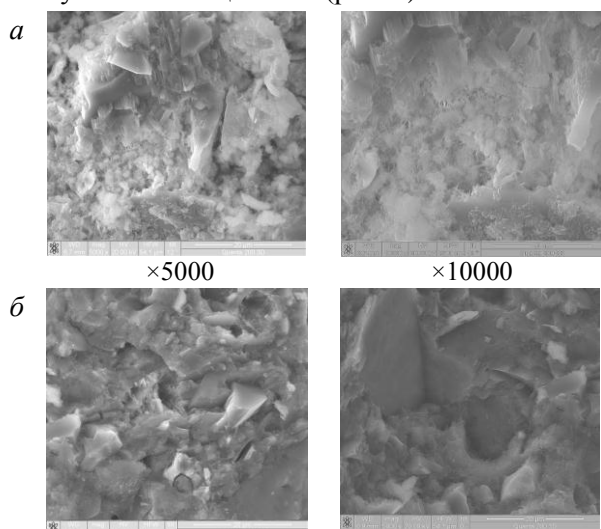


Рис. 9. Микрофотографии КВ с отсевами дробления КВП и мелом: а – 1 сут; б – 28 сут

В КВ с отсевом дробления КВП и мелом наблюдаются плоские гексагональные пластинки моносulfоалюмината кальция размером 10...20 мкм, которые не наблюдаются в КВ с отсевом дробления КВП. Фиксируется замоналичность вяжущим частиц кварца, играющих скелетообразующую роль.

На зернах кварца имеются псевдокристаллические новообразования гидросиликатов кальция, при этом наблюдаются реакционные зоны на поверхности зерен кварца, что не наблюдается в КВ без мела. Видна сетка из гидросиликатов кальция с достаточной степенью взаимодействия между вяжущим и скелетной фазой.

При гидратации в 1-суточном возрасте наблюдаются мелко глобулярные новообразования, поверхность которых покрыта гидросили-

катами кальция. При увеличении  $\times 10000$  наблюдаются реакционные зоны между частицами кварца и матрицей КВ. Наблюдаются фрагменты поверхности растворения на частицах кварца, что может указывать на реализацию процессов растворения отсевов дробления КВП, что свидетельствует о начале пуццолановых реакций.

Таким образом, разработано специальное композиционное вяжущее с прочностью на сжатие не менее 80 МПа, обладающее уникальными свойствами, обеспечивающими стабильность технологических процессов, протекающих на всех стадиях производства газобетона для монолитного строительства. Минералогический состав и связанное с ним тепловыделение при гидратации клинкерных минералов, дисперсность, водоцементное отношение, сроки схватывания разработанного КВ позволили получить газобетон неавтоклавного твердения с улучшенными показателями качества ( $\rho_{\text{ср}} = 270...300 \text{ кг/м}^3$ ,  $R_{\text{сж}} = 1,5...1,7 \text{ МПа}$ ,  $\lambda = 0,078...0,08 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$  и F15).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова, Л.А. Алгоритм получения энергоэффективного газобетона с улучшенными показателями качества [Текст] / Л.А. Сулейманова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 4. – С. 59–61.
2. Rietveld, H. M. Line profiles of neutron powder-diffraction peaks for structure refinement [Text] / H. M. Rietveld // Acta Cryst. – 1967. – № 22. – P. 151–152.
3. Rietveld, H.M. A Profile Refinement Method for Nuclear and Magnetic Structures [Text] / H.M. Rietveld // J. Appl. Cryst. – 1969. – № 2. – P. 65–71.
4. Chaleigner, D. Combined Analysis: structure-texture-microstructure-phase-stresses reflectivity determination by X-ray and neutron scattering: CRISMAT-ENS1- CAEN, UMR CNRS n 6508, 6 Bd. M. Juin, F-14050 Caen, France.
5. Rodriguez-Carvajal, J. An Introduction to the Program FullProf 2000: Laboratoire Leon Brillouin (CEA-CNRS) CEA [Text] / J. Rodriguez-Carvajal // Saclay, 91191 Cif sur Yvette Cedex, France. – 2000. – 139 p.
6. Жерновский, И.В. Некоторые возможности применения полнопрофильного РФА в задачах строительного материаловедения [Текст] / И.В. Жерновский [и др.] // Строительные материалы. Наука. – 2010. – № 3. – С. 2–5.
7. Лесовик, Р.В. Выбор кремнеземсодержащего компонента композиционных вяжущих веществ [Текст] / Р.В. Лесовик, И.В. Жерновский // Строительные материалы. – 2008. – № 8. – С. 78–79.