

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-7-8-16

^{1,*}Баранов А.А., ¹Шанин А.О., ²Акулова М.В.¹ООО ПК «КУБИ БЛОК ЕГОРЬЕВСКИЙ»²Ивановский государственный политехнический университет

*E-mail: baranov.gazobeton@list.ru

СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО КРЕМНЕЗЕМИСТОГО КОМПОНЕНТА – ПЕРСПЕКТИВНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГАЗОБЕТОНА

Аннотация. Научная статья относится к отрасли промышленности строительных материалов, а именно, к производству ячеистого бетона автоклавного твердения. Целью исследования являлось раскрытие потенциальных возможностей технологии изготовления газобетона. В качестве базовых переделов рассмотрены: подготовка кремнеземистого компонента, осуществляемая энергоемким и металлоемким способом – помолом в шаровой мельнице; резка массива-сырца с образованием горбушки – возвратных отходов, применение которых только в сырьевой смеси не позволяет получить максимальный технико-экономический эффект. Показано, что принципиально новый способ использования обратного шлама при измельчении кварцевого песка дает возможность изготавливать модифицированный кремнеземистый компонент. Дана оценка его свойств, которая позволила раскрыть механизм: повышения седиментационной и агрегативной устойчивости; смещения рН в сторону основности; наличия аморфизованной поверхности на частицах; увеличения степени диспергирования и приобретения активной составляющей по СаО. Выявлены изменения в химическом составе модифицированного кремнеземистого компонента по сравнению с базовым. Морфологический анализ показал формирование компонентов полиминерального состава и первичных новообразований силикатной системы. Преимущество получения и применения модифицированного кремнеземистого компонента заключается не только в повышении эффективности работы помольного участка, экономии вяжущих веществ, улучшении параметров процесса производства, перспективе роста эксплуатационных физико-механических характеристик готовой продукции, но и в отсутствии необходимости существенных изменений технологических переделов действующих линий изготовления газобетона.

Ключевые слова: газобетон, кремнеземистый компонент, седиментационная устойчивость, удельная поверхность, активность по СаО, химический состав, морфология.

Введение. В России на предприятиях по производству газобетона автоклавного твердения в качестве кремнеземистого компонента (КК) преимущественно используется кварцевый песок. При этом в составе сырьевой смеси он занимает не менее 50 % по массе [1, 2]. Согласно классификации Боженова П.И. кремнеземосодержащий естественный песок входит в группу механически активного сырья [3]. Основные требования, предъявляемые к нему для подтверждения пригодности к применению, отмечены многими авторами [1, 4, 5]. Однако, немаловажным является еще и качество подготовки исходного материала.

На современных производственных линиях КК в ячеистобетонную смесь чаще поступает в виде песчаного шлама. Специфика его изготовления и использования в виде суспензии имеет ряд недостатков. Кузнецов Ю.С. [6] отмечает проблемы оптимальной гомогенизации, кинетической и агрегативной устойчивости шлама, а также энергоемкость процесса помола. Таубе П.Р. [7] выделяет, что насыщение КК железом, образующимся в результате истирания мелющих тел, снижает долговечность газобетона.

Авторы исследования в работе [8] показывают способ получения модифицированного кремнеземистого компонента (МКК), позволяющий снизить перечисленные отрицательные факторы. Он заключается в разделении возвратных отходов горбушки (обратный шлам – ОШ) на две составляющие. Одна часть, как и при стандартной технологии изготовления газобетона, подается непосредственно в заливочную смесь в качестве сырьевого компонента. Вторая часть используется при мокром помолу кварцевого песка в шаровой мельнице. В ранее выполненном исследовании [9] дана оценка качественных характеристик базовых песчаного и обратного шламов. Анализ их значений выявил свойства МКК, требующие рассмотрения.

В данной работе цель – раскрытие потенциальных возможностей технологии изготовления газобетона за счет повышения эффективности использования возвратных отходов. Задачи – оценить изменения седиментационной и агрегативной устойчивости песчаного шлама; определить причинно-следственные связи поверхностной аморфизации и механоактивации частиц

кварцевого песка; установить содержание активного СаО. Объектом изучения выступал процесс измельчения КК с дополнительным введением ОШ. Предметом исследования являлась оценка свойств МКК.

Материалы и методы. Научная работа проведена на предприятии ООО ПК «КУБИ БЛОК ЕГОРЬЕВСКИЙ» Московская обл., г. Егорьевск.

В качестве КК использовался кварцевый песок карьера «Есино» Московская обл., г. Электросталь с характеристиками, приведенными в таблице 1.

Применяемый в апробации ОШ получен при резке массива-сырца плотностью D600. Его характеристики указаны в таблице 2.

Таблица 1

Качественные характеристики кварцевого песка

Насыпная плотность, кг/м ³	Влажность, %	Остаток на сите 0.63, %	Модуль крупности	Содержание глинистых, илистых и пылевидных частиц, %
1,58	1,8	15,19	1,96	0,88

Таблица 2

Качественные характеристики обратного шлама

Плотность, кг/м ³	Удельная поверхность, м ² /кг	Водородный показатель	Содержание активного СаО, %
1310	618,4	9,77	17,2

При приготовлении МКК подавали ОШ в количестве $4,25 \pm 0,25$ м³/час, что при плотности 1310 кг/м³ соответствует $5,57 \pm 0,33$ т/час (в свою очередь при истинной плотности 2480 кг/м³ соответствует 2,10–2,36 т/час твердого вещества и 3,14–3,54 т/час воды). Помол в среде воды и ОШ осуществлялся в промышленной шаровой мельнице Semtec (Австрия) с параметрами: рабочая камера Ø 2,5 м и L 8,0 м; загрузка шарами фракции 10–40 мм 25–27 %; число оборотов 21 об/мин; производительность по сухому компоненту 29 т/час. Для достижения требуемой плотности МКК дополнительную воду вводили в количестве 5,5 т/час ($8,64$ – $9,04$ т/час с учетом доли воды из ОШ). Базовая подача воды при помолу КК на момент испытаний составляла 9,5 т/час.

Седиментационная устойчивость определялась по динамике изменения высот осветленного слоя и осадка в мерных цилиндрах объемом 500 мл без механического воздействия, при комнатной температуре, за равные промежутки времени.

Показатель активности ионов водорода фиксировали рН-метром рН-150МИ (Россия) потенциометрическим методом измерения.

Степень диспергирования оценивалась по величине удельной поверхности на приборе ПСХ-12 (Россия), работа которого основывается на методе газопроницаемости Козени-Кармана. Подготовка пробы выполнена по методике MASA-Henke, позволяющей учитывать агрегацию частиц при сушке как постоянный фактор. Шлам распределялся минимальным тонким слоем по всей площади чаши выпарительной

ГОСТ 9147-80 и сушился при температуре 105 ± 5 °С до постоянной массы. Соскоб порошка для навески выполнялся с чаши резиновым пестиком без чрезмерного воздействия. При испытании температура воздуха 23–24 °С, вязкость воздуха 0,000183 П. Абсолютная погрешность результатов $\pm 0,45$ м²/кг, относительная погрешность $\pm 0,1$ %. Для расчета массы навески были определены истинные плотности порошков прибором Ле-Шателье.

Изменение содержания активного СаО выполнено методом титрования в присутствии индикатора фенолфталеина раствором НСl 1н.

Количественный анализ, выраженный в массовом проценте элемента в виде оксида Ox-Wt%, определялся на спектрометре Bruker S8 Tiger (Германия) с волновой дисперсией WDS. Образцы в виде стеклянных дисков (рецепт: 1,25 г исследуемого образца + 10 г борного флюса (66 % тетрабората лития + 34 % метабората лития + 0,2 % бромида лития)) изготовлены в газовой печи с быстрым охлаждением расплава.

Изучение морфологии поверхности частиц выполнено на сканирующем электронном микроскопе LEO-1430 VP (Карл Цейс, Германия) в условиях высокого вакуума с использованием 4QBSD детектора обратноотраженных электронов; ускоряющее напряжение ЕНТ 20 кВ; фокусное расстояние от детектора – WD. Предварительно образцы наклеивали на медные пластины с помощью двухстороннего электропроводного скотча и напыляли платиной в атмосфере аргона (0,1–0,2 мбар) в камере катодного напыления установки Val-Tec SCD 005 (Бальцерс, Лихтенштейн) в течение 130 сек.

Основная часть. Вода является сильной поверхностно активной средой при помоле кварцевого песка – гидрофильного тела. Она, проникая в зоны предразрушений, препятствует смыканию дефектов в виде микротрещин. Расклинивающий эффект положительно влияет на кинетику измельчения [10, 11]. Однако, в среде воды с долей ОШ диспергирование КК проходит рациональнее.

ОШ, как система продуктов гидратации цемента и извести в виде $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ и Ca(OH)_2 , а также активной части CaO , имеет специфические свойства и по отношению к помолу КК выступает в роли добавки полифункционального действия.

Известно [6], что для повышения седиментационной устойчивости суспензии необходимо стремиться к снижению водоотделения. Для агрегативной устойчивости требуется уменьшить коагуляцию системы. В работе [12] установлено, что использование молотых отходов газобетона (аддитива) повышает водопотребность песчаного шлама. По данным [13, 14] поверхность зерен кварца при трении приобретает общий отрица-

тельный заряд, как и цемент в процессе гидратации. У ОШ за счет механического многократного воздействия в шаровой мельнице с полностью непрореагировавших частиц вяжущих срывается оболочка и обнажаются активные слои. Их дополнительное взаимодействие с водной средой увеличивает и без того развитую поверхность.

В настоящем исследовании установлено, что МКК обладает наиболее стабильной структурой, чем КК (рис. 1). Данное наблюдение коррелирует с ожидаемыми изменениями, происходящими при введении в помол доли ОШ. Седиментационная устойчивость модифицированного песчаного шлама к 90 минуте на 16,7 % лучше, чем у базового. Через 960 минут разница составила 22,2 %. При этом следует уточнить, что за наихудшее значение принята высота осветленного слоя при расслоении КК к 16 часам. Дальнейшие изменения от времени наблюдения были несущественны и ими можно пренебречь. Анализируемый интервал от 0 до 90 минут выбран, так как именно в это время на этапе заливки и созревания газобетонной смеси важна ее однородность, поскольку формируется макроструктура ячеистого бетона.

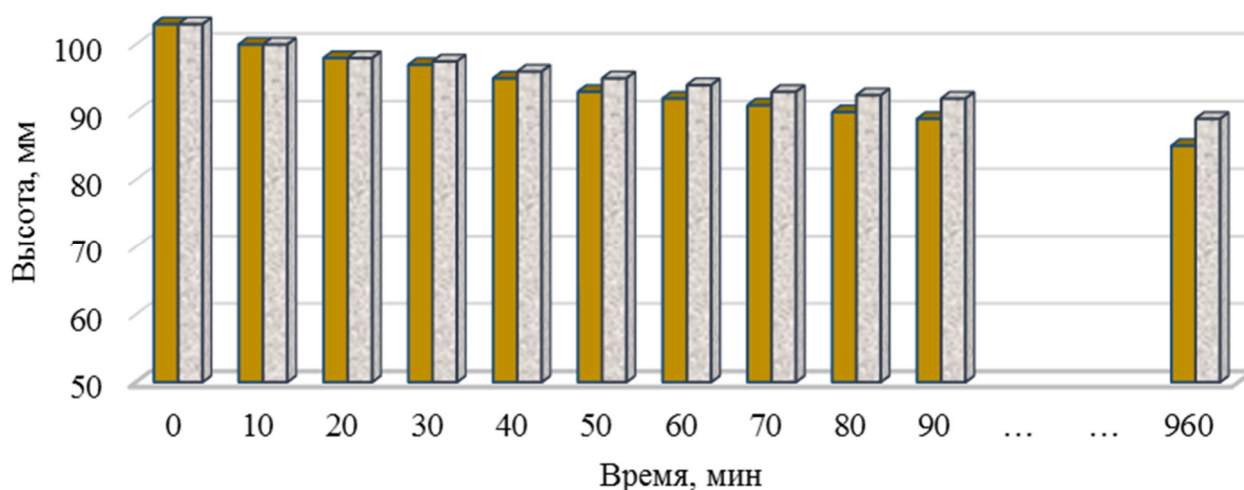


Рис. 1. Зависимость высот осветленного слоя и осадка КК и МКК от длительности наблюдения
■ Осадок КК с $\rho = 1740 \text{ кг/м}^3$; ■ Осадок МКК с $\rho = 1730 \text{ кг/м}^3$

Общий положительный эффект изменения устойчивости у МКК обусловлен уменьшением количества свободной воды в системе, увеличением содержания мелкодисперсной фракции во взвешенном состоянии и повышением доли одноименно заряженных частиц.

Снижение расслаиваемости МКК также происходит благодаря возникающим хемосорбционным связям, а преодоление тенденции к агрегации – за счет образующихся электрических потенциалов и двойных слоев. В [15] отмечено, что для системы с очень мелкими частицами кремнезема нижней границей области стабильности яв-

ляется рН 7. Ca(OH)_2 и SiO_2 при совместном помоле в H_2O подвержены физико-химическому взаимодействию, что приводит к появлению ионной оболочки. На поверхности кварца адсорбируется гидроксил ион, а на определенном расстоянии от частицы располагается заряженное и уравновешенное облако из катионов. Увеличение удельной поверхности в дисперсной системе приводит к росту концентрации противоионов двойного слоя [6]. Нарастание активности Ca^+ с повышением рН до 9 отражено у Клименко В.Г. [16]. За счет поступления из ОШ щелочных остатков путем восстановительной реакции про-

исходит смещение раствора в сторону основности [17]. Получаемый МКК приобретает рН 9,12 вместо нейтрального, который присущ базовому КК.

При помоле в шаровой мельнице поверхности частиц подаваемых компонентов взаимодействуют как друг с другом, так и со средой. ОШ, благодаря начальной высокой дисперсности, обеспечивает хороший и интенсивный контакт с КК. Айлер Р.К. [18, 19] использует понятия «кажущаяся растворимость» и «катализатор растворимости». Именно гидроксил ион в щелочных растворах является единственным в своем роде катализатором для КК. На первом этапе происходит адсорбция иона OH^- после чего поверхностный атом кремния переходит в раствор в виде силикат иона. Так как $\text{pH} > 9$, то он гидролизует с образованием молекул растворимого кремнезема $\text{Si}(\text{OH})_4$ и ионов OH^- . Затем процесс повторяется снова, а одновременное перемешивание и помол этому способствуют. При этом более тонкие частицы имеют большую толщину растворимого слоя, который можно трактовать как образование аморфной нарушенной структуры.

При изготовлении МКК отмечено снижение количества используемой воды до 8,64 т/час, что на 9,05 % меньше по сравнению с 9,50 т/час при производстве КК. Основным критерием, по которому оценивали и регулировали подачу воды на помол, являлась плотность получаемого песчаного шлама. Как для базового, так и для модифицированного целевой показатель, в соответствии

$$W(\text{CaO}) = \frac{W_{\text{CaO,изв}} \times P_{\text{изв}} + W_{\text{CaO,цем}} \times P_{\text{цем}} + W_{\text{CaO,обр.шл}} \times P_{\text{обр.шл}}}{P_{\text{сух}}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{CaO,изв}}$ – содержание активного СаО в известке, %; $W_{\text{CaO,цем}}$ – содержание активного СаО в цементе, %; $W_{\text{CaO,обр.шл}}$ – содержание активного СаО в обратном шламе, %; $P_{\text{изв}}$ – масса известки в смеси, кг/м³; $P_{\text{цем}}$ – масса цемента в смеси, кг/м³; $P_{\text{обр.шл}}$ – масса обратного шлама в смеси (по сухому веществу), кг/м³; $P_{\text{сух}}$ – масса сухих компонентов в смеси, кг/м³.

Учитывая специфику изготовления МКК, в ходе апробации была определена его активность по СаО. Значение установлено для пробы, отобранной после намолла целого шламбассейна в момент усреднения. Содержание активного СаО

$$W(\text{CaO}) = \frac{W_{\text{CaO,изв}} \times P_{\text{изв}} + W_{\text{CaO,цем}} \times P_{\text{цем}} + W_{\text{CaO,обр.шл}} \times P_{\text{обр.шл}} + W_{\text{CaO,МКК}} \times P_{\text{МКК}}}{P_{\text{сух}}}, \quad (2)$$

где $W_{\text{CaO,МКК}}$ – содержание активного СаО в МКК, %; $P_{\text{МКК}}$ – масса МКК в смеси (по сухому веществу).

При оценке химического состава КК [1, 4, 5] принято уделять внимание содержанию общего и не связанного кремнезема, примесей глинозема, слюды и полевого шпата, наличию щелочей и солей, а также потере массы при прокаливании.

с технологическим регламентом, находился на уровне 1720 ± 20 кг/м³. Предполагается, что капсуляция твердых частиц у МКК сопровождается снижением толщины оболочки воды. Это улучшает условия формирования аморфизованного слоя и свободных связей, обуславливающих наличие активных центров. Но образование новых поверхностей приводит к значительному расходу части воды на их смачивание. Факторы, влияющие на вязкость шлама, отмечены в работе [20]. Вязкость МКК несколько выше, чем КК. Однако промышленная апробация показала, что гомогенизация в шламбассейне и подача насосом Metso (Италия) не выявили ухудшений в технологическом процессе производства газобетона.

Важной характеристикой кремнеземосодержащих компонентов является наличие активного кремнезема, который предопределяет реакционную способность взаимодействия с вяжущими в сырьевой смеси. Оценка степени активации возможна по пуццолановой и гидравлической активности [21]. Для МКК данные методики не подходят в силу особенности его получения в среде воды с долей ОШ. Но именно о лучшей механоактивации частиц говорит тот факт, что удельная поверхность КК 204,5 м²/кг, а МКК 247,9 м²/кг при прочих равных условиях помола (истинная плотность КК – 2650 кг/м³, МКК – 2570 кг/м³).

В диссертации Кафтаевой М.В. [22] предложен расчет общей активности сырьевой смеси с учетом вносимой доли СаО возвратными отходами (формула 1).

у МКК составило 0,85 %. Таким образом, отмечено, что МКК, в отличие от КК, перестает быть инертным компонентом на этапе заливки газобетонной смеси. Активность МКК по СаО определяется остаточной активностью по СаО у ОШ, плотностью и количеством подаваемого ОШ на помол КК и продолжительностью их взаимодействия. Несмотря на незначительный процент активного СаО, большой вес МКК (в количественном выражении) в составе ячеистобетонной смеси позволяет регулировать общую активность. В связи с этим предложенный Кафтаевой М.В. расчет примет вид (формула 2).

Производители современных технологических линий по изготовлению газобетона декларируют свои требования [23, 24]. В таблице 3 приведен химический состав базовых ОШ, КК и полученного на их основе МКК.

МКК по химическому составу отвечает требованиям как отечественных, так и зарубежных

нормативных источников. Количественный анализ основных оксидов подтверждает комплексную механохимическую модификацию КК долей ОШ. Прослеживается увеличение СаО и снижение SiO₂. Потери при прокаливании МКК стоит

интерпретировать как улетучивание химически связанной воды из компонентов ОШ, а не как выгорание органических веществ, характерных для КК.

Таблица 3

Химический состав шламовых масс

Материал	Содержание оксидов, %											п.п.п
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	Mn ₂ O ₃	
КК	96,65	0,97	0,59	0,83	0,09	0,70	0,44	0,33	0,02	0,10	0,02	0,57
ОШ	69,14	1,20	0,78	19,78	0,75	0,86	0,14	0,20	0,04	0,08	0,03	8,74
МКК	95,63	1,10	0,67	1,84	0,14	0,62	0,45	0,34	0,02	0,10	0,02	1,01

Необходимость применения кремнеземсодержащего сырья с повышенной степенью реакционного взаимодействия для наиболее полного использования эффекта гидратационного твердения СаО в силикатной системе отмечена у Строковой В.В. [25]. Оптимальный гранулометрический состав кварцевого песка для повышения эффективности производства, а также улучшения

механических свойств газобетона приведен в работе [26]. Вероятность образования первичных гидросиликатов кальция при тонком совместном измельчении извести и влажного песка показана у Кудеяровой Н.П. [27]. В настоящем исследовании выявлено, что у МКК дисперсность частиц твердой фазы значительно выше, чем у базового КК. Он обладает и более развитой морфологией поверхности (рис. 2).

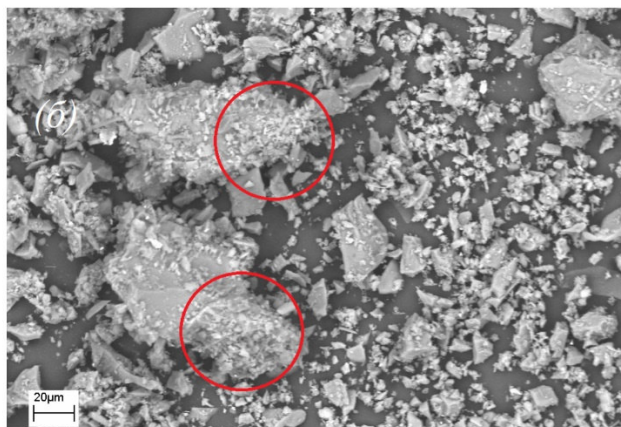
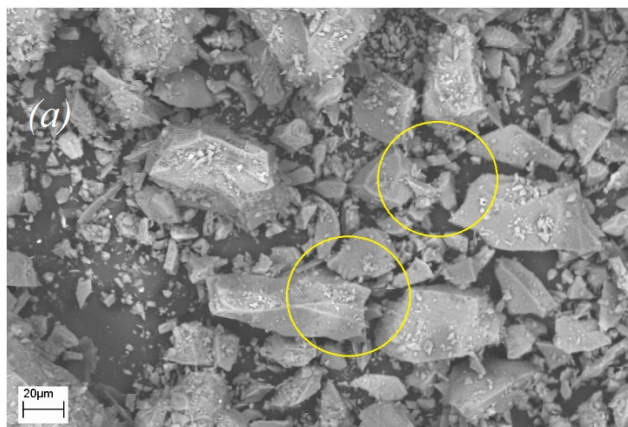


Рис. 2. Морфология поверхности КК (а) и МКК (б)

Стандартный КК имеет обширные участки обнаженных зерен кварца – достаточно крупных, с размером более 10 мкм. Микроструктурные особенности МКК характеризуются наличием явных следов растворения и новообразований. Наблюдается поверхностный слой в виде намола компонентов ОШ на частицы КК. Прослеживаются межчастичные контакты. Тончайшая оболочка обеспечивает разрыхление, активирование и химическое сходство МКК с будущими компонентами сырьевой ячеистобетонной смеси. Зерна кварца менее заметны в общей массе ковра из хлопьевидных агрегатов, формирующих разветвленную сеть образованного вещества.

Выводы. Внедрение технологии изготовления модифицированного кремнеземистого ком-

понента способствует повышению эффективности работы помольного участка. А именно, появляется возможность увеличить производительность мельницы на 2–4 т/ч без ухудшения качественных показателей песчаного шлама, или уменьшить расход мелющих тел на 15 % и снизить затраты электроэнергии на 20 кВт/ч с сохранением удельной поверхности на уровне базовой.

Активность по СаО модифицированного кремнеземистого компонента и ее учет при расчете требуемой общей активности заливочной смеси позволяет снизить расход извести и/или цемента. Применение обратного шлама в помол кварцевого песка дает возможность получить от возвратных отходов, как от сырья, максимальный

техничко-экономический эффект. Потенциал вяжущей композиции при этом будет использоваться в полной мере.

Увеличение удельной поверхности, повышение седиментационной и агрегативной устойчивости, поверхностная аморфизация частиц, образование первичных гидросиликатов кальция – приобретаемые свойства модифицированного кремнеземистого компонента позволяют спрогнозировать перспективность его применения при производстве газобетона автоклавного твердения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н. Технология силикатных стеновых ячеистых материалов автоклавного твердения: учебное пособие. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Казань, 2016. 120 с.
2. Martin Homann. Porenbeton handbuch. Planen und bauen mit system. 7. Auflage. Berlin, 2018. 239 p.
3. Боженов П.И. Технология автоклавных материалов. М.: Стройиздат. 1978. 367 с.
4. Сажнев Н.П., Сажнев Н.Н., Сажнева Н.Н., Голубев Н.М. Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика. Минск: Стринко. 2010. 464 с.
5. Мартыненко В.А., Морозова Н.В. Справочник специалиста лаборатории завода по производству газобетонных изделий. Днепропетровск: ПГАСА. 2009. 308 с.
6. Кузнецов Ю.С., Новокрещенова С.Ю. К проблеме перемешивания сырьевых шламов в производстве композиционных строительных материалов // Десятые академические чтения РААСН, ПГУАС. 2006. С. 263–265.
7. Вылегжанин В.П., Пинскнер В.А. Перспективы развития технологии производства автоклавного газобетона // Сб. докладов научно-практической конференции «Современный автоклавный газобетон». Санкт-Петербург, 2015. С. 14–15.
8. Баранов А.А., Акулова М.В. Получение модифицированного кремнеземистого компонента в промышленных условиях при производстве газобетона // Информационная среда вуза: материалы XXIII Международной научно-технической конференции. Иваново, 2016. С. 60–64.
9. Баранов А.А., Шанин А.О. Оценка качественных характеристик песчаного и возвратного шламов, используемых при производстве газобетона // Современное строительство и архитектура. 2023. № 1 (32). С. 9–13. DOI: 10.18454/mca.2023.1.32.002
10. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. М.: Стройиздат. 1972. 239 с., ил.
11. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. М.: Наука. 1979. 379 с.
12. Морозова Н.Н., Кузнецова Г.В., Клоков В.В. Влияние гидросиликатов на свойства песчаного шлама в производстве газобетона автоклавного твердения // Инновационная наука. 2016. №5 С. 137–140.
13. Пат. № 2205811, Российская Федерация, МПК С04В 38/00, С04В 20/10. Способ активации молотого кварцевого песка для производства ячеистых бетонов / Г.В. Макридов, С.Ф. Коренькова; заявитель и патентообладатель Самарская государственная архитектурно-строительная академия. № 2001119795/03; заявл. 16.07.2001; опубл. 10.06.2003, Бюл. № 16. 8 с.
14. Кудеярова Н.П. Твердение композиционных вяжущих с использованием техногенных продуктов: учебное пособие. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2016. 120 с.
15. Venkataraman M. The effect of colloidal stability on the heat transfer characteristics of nanosilica dispersed fluids. University of Central Florida, 2005. 93 p.
16. Клименко В.Г., Павленко В.И. Влияние рН жидкости затворения на прочностные свойства гипсовых вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №5. С. 16–20.
17. Сидорова О.Г., Вернигорова В.Н., Саденко С.М. Кинетические особенности системы CaO-SiO₂-H₂O в бетонной смеси // Вестник магистратуры. 2014. №11 (38). Том 1. С. 88–90.
18. Айлер Р.К. Химия кремнезема: растворимость, полимеризация, коллоидные и поверхностные свойства, биохимия: Пер. с англ. М.: Мир. 1982. Ч. 1. 416 с.
19. Айлер Р.К. Химия кремнезема: растворимость, полимеризация, коллоидные и поверхностные свойства, биохимия: Пер. с англ. М.: Мир. 1982. Ч. 2. 712 с.
20. Kim J., Choi S., Jeong J. Applicability of stone powder sludge as a substitute material for quartz sand in autoclaved aerated concrete. The Korea institute of building construction. Vol. 17. No. 1. 2017. Pp. 111–117.
21. Долотова Р.Г., Смирнская В.Н., Верещин В.И. Оценка активности низкокремнеземистого сырья и его пригодности в качестве заполнителя ячеистого бетона // Строительные материалы. 2008. № 1. С. 40–42.
22. Кафтаева М.В. Теоретическое обоснование основных пределов технологии производ-

ства ячеистых силикатных материалов автоклавного твердения: дис. док. техн. наук. Белгород, 2013. 215 с.

23. Косенко Н.Ф., Моисеев П.И. Химия и технология автоклавного ячеистого бетона: учебное пособие. Ивановский государственный химико-технологический университет. Иваново, 2014. 273 с.

24. Labormethoden für das Porenbeton-Betrieb-slabor. MASA-Henke Maschinenfabrik. 2010. 82 p.

25. Пат. № 2448929, Российская Федерация, МПК С04В 38/02, В82В 1/00. Сырьевая смесь и способ ее получения для наноструктурированного автоклавного газобетона / В.В. Строкова; заявитель и патентообладатель Государственное

образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». № 2010136094/03; заявл. 01.09.2010; опубл. 27.04.2012, Бюл. №12. 12 с.

26. Matsushita F., Aono Y., Shibata S. Particles size distribution of quartz sand for AAC production. Cement Wapno Beton. 2011. Pp. 7–11.

27. Кудеярова Н.П. Кинетика автоклавного твердения известковопесчаного вяжущего при изменении условий гашения извести // Сб. докладов Международной конференции. Белгород: БелГТАСМ, 1997. С. 79–83.

Информация об авторах

Баранов Александр Алексеевич, главный технолог. E-mail: baranov.gazobeton@list.ru. ООО ПК «КУБИ БЛОК ЕГОРЬЕВСКИЙ». Россия, 140301, Московская обл., г. Егорьевск, ул. Меланжистов, д. 3Б.

Шанин Александр Олегович, ведущий инженер технолог. E-mail: shanin.a@cubi-block.ru. ООО ПК «КУБИ БЛОК ЕГОРЬЕВСКИЙ». Россия, 140301, Московская обл., г. Егорьевск, ул. Меланжистов, д. 3Б.

Акулова Марина Владимировна, доктор технических наук, профессор, советник РААСН, заведующая кафедрой Архитектуры и строительных материалов. E-mail: m_akulova@mail.ru. Ивановский государственный политехнический университет. Россия, 153000, Ивановская обл., г. Иваново, Шереметевский проспект, д. 21.

Поступила 03.04.2023 г.

© Баранов А.А., Шанин А.О., Акулова М.В., 2023

^{1,*}Baranov A.A., ¹Shanin A.O., ²Akulova M.V.

¹LLC PC «KUBI BLOCK YEGORYEVSKY»

²Ivanovo State Polytechnic University

*E-mail: baranov.gazobeton@list.ru

PROPERTIES OF THE MODIFIED SILICA COMPONENT – A PROMISING RAW MATERIAL IN THE PRODUCTION OF AERATED CONCRETE

Abstract. The scientific article relates to the building materials industry, namely, to the production of autoclaved cellular concrete. The purpose of the study was to reveal the potential possibilities of aerated concrete manufacturing technology. The following are considered as basic processing stages: preparation of the silica component, carried out by an energy-intensive and metal-intensive method - grinding in a ball mill; cutting of the raw mass with the formation of a crust - recyclable waste, the use of which only in the raw mixture does not allow obtaining the maximum technical and economic effect. It is shown that a fundamentally new method of using reverse sludge when grinding quartz sand makes it possible to manufacture a modified silica component. An assessment of its properties was given, which made it possible to reveal the mechanism: increase in sedimentation and aggregative stability; pH shift towards basicity; the presence of an amorphous surface on the particles; increasing the degree of dispersion and the acquisition of the active component in CaO. Changes in the chemical composition of the modified silica component compared to the base component were revealed. Morphological analysis showed the formation of components of the polymineral composition and primary neoplasms of the silicate system. The advantage of obtaining and using a modified silica component is not only in increasing the efficiency of the grinding section, saving binders, improving the parameters of the production process, the prospect of increasing the operational physical and mechanical characteristics of the finished product, but also in the absence of the need for significant changes in technological conversions of existing lines for the production of aerated concrete.

Keywords: aerated concrete, silica component, sedimentation stability, specific surface area, CaO activity, chemical composition, morphology.

REFERENCES

1. Kuznetsova G.V., Morozova N.N. Technology of silicate cellular wall materials of autoclave hardening: textbook [Tekhnologiya silikatnykh stenovykh yacheistykh materialov avtoklavnogo tverdeniya: uchebnoe posobie]. Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. Kazan, 2016. 120 p. (rus)
2. Martin Homann. Porenbeton handbuch. Planen und bauen mit system. 7. Auflage. Berlin, 2018. 239 p.
3. Bozenov P.I. Technologie von Autoklavmaterialien [Tekhnologiya avtoklavnykh materialov]. Moscow: Stroyizdat. 1978. 367 p. (rus)
4. Sazhnev N.P., Sazhnev N.N., Sazhneva N.N., Golubev N.M. Production of cellular concrete products: theory and practice [Proizvodstvo yacheistobetonnykh izdelij: teoriya i praktika]. Minsk: Strinko. 2010. 464 p. (rus)
5. Martynenko V.A., Morozova N.V. Handbook of the laboratory specialist of the plant for the production of aerated concrete products [Spravochnik specialista laboratorii zavoda po proizvodstvu gazobetonnykh izdelij]. Dnepropetrovsk: PGASA. 2009. 308 p. (rus)
6. Kuznetsov Yu.S., Novokreschenova S.Yu. On the problem of mixing raw sludge in the production of composite building materials [K probleme peremeshivaniya syr'evykh shlamov v proizvodstve kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov]. Desyatye akademicheskie chteniya RAASN, PGUAS. 2006. Pp. 263–265. (rus)
7. Vylegzhanin V.P., Pinskner V.A. Prospects for the development of autoclaved aerated concrete production technology [Perspektivy razvitiya tekhnologii proizvodstva avtoklavnogo gazobetona]. Sb. dokladov nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennyy avtoklavnyy gazobeton». Saint Petersburg, 2015. Pp. 14–15. (rus)
8. Baranov A.A., Akulova M.V. Obtaining a modified silica component in industrial conditions in the production of aerated concrete [Poluchenie modifitsirovannogo kremnezemistogo komponenta v promyshlennykh usloviyakh pri proizvodstve gazobetona]. Informatsionnaya sreda vuza: materialy XXIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Ivanovo, 2016. Pp. 60–64. (rus)
9. Baranov A.A., Shanin A.O. Evaluation of the qualitative characteristics of sand and return sludge used in the production of aerated concrete [Ocenka kachestvennykh harakteristik peschanogo i vozvratnogo shlamov, ispol'zuemykh pri proizvodstve gazobetona]. Sovremennoe stroitel'stvo i arhitektura. 2023. No. 1 (32). Pp. 9–13. DOI: 10.18454/mca.2023.1.32.002 (rus)
10. Khodakov G.S. Fine grinding of building materials [Tonkoe izmel'chenie stroitel'nykh materialov]. Moscow: Stroyizdat. 1972. 239 p.. (rus)
11. Rebinder P.A. Surface phenomena in dispersed systems [Poverhnostnye yavleniya v dispersnykh sistemah]. Moscow: Nauka. 1979. 379 p. (rus)
12. Morozova N.N., Kuznetsova G.V., Klovov V.V. Influence of hydrosilicates on the properties of sand sludge in the production of autoclaved aerated concrete [Vliyanie gidrosilikatov na svoystva peschanogo shlama v proizvodstve gazobetona avtoklavnogo tverdeniya]. Innovatsionnaya nauka. 2016. No. 5. Pp. 137–140. (rus)
13. Makridov G.V. Method of activation of ground quartz sand for the production of cellular concrete. Patent RF, no. 2205811, 2003. (rus)
14. Kudayarova N.P. Hardening of composite binders using technogenic products: textbook [Tverdenie kompozitsionnykh vyazhushchih s ispol'zovaniem tekhnogennykh produktov: uchebnoe posobie]. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Belgorod, 2016. 120 p. (rus)
15. Venkataraman M. The effect of colloidal stability on the heat transfer characteristics of nanosilica dispersed fluids. University of Central Florida, 2005. 93 p.
16. Klimenko V.G., Pavlenko V.I. Influence of the pH of the sealing liquid on the strength properties of gypsum binders [Vliyanie pH zhidkosti zatvoreniya na prochnostnye svoystva gipsovyyh vyazhushchih]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 5. Pp. 16–20. (rus)
17. Sidorova O.G., Vernigorova V.N., Sadenko S.M. Kinetic features of the CaO-SiO₂-H₂O system in a concrete mixture [Kineticheskie osobennosti sistemy CaO-SiO₂-H₂O v betonnoy smesi]. Vestnik magistratury. 2014. No 11 (38). Vol. 1. Pp. 88–90. (rus)
18. Iler R.K. The chemistry of silica: solubility, polymerization, colloidal and surface properties, biochemistry: Trans. from English [Himiya kremnezema: rastvorimost', polimerizatsiya, kolloidnye i poverhnostnye svoystva, biokhimiya: Per. s angl.]. Moscow: Mir. 1982. Part 1. 416 p. (rus)
19. Iler R.K. The chemistry of silica: solubility, polymerization, colloidal and surface properties, biochemistry: Trans. from English [Himiya kremnezema: rastvorimost', polimerizatsiya, kolloidnye i poverhnostnye svoystva, biokhimiya: Per. s angl.]. Moscow: Mir. 1982. Part 2. 712 p. (rus)
20. Kim J., Choi S., Jeong J. Applicability of stone powder sludge as a substitute material for quartz sand in autoclaved aerated concrete. The Korea institute of building construction. Vol. 17. No. 1. 2017. Pp. 111–117.

21. Dolotova R.G., Smirenskaya V.N., Vereshchagin V.I. Evaluation of the activity of low-silica raw materials and its suitability as a filler of cellular concrete [Ocenka aktivnosti nizkokremnezemistogo syr'ya i ego prigodnosti v kachestve zapolnitelya yacheistogo betona]. Stroitel'nye materialy. 2008. No. 1. Pp. 40–42. (rus)

22. Kaftaeva M.V. Theoretical substantiation of the main alterations of the production technology of cellular silicate materials of autoclave hardening [Teoreticheskoe obosnovanie osnovnykh peredelov tehnologii proizvodstva yacheistykh silikatnykh materialov avtoklavnoy tverdeniya]: dis. PhD in Technical Sciences. Belgorod, 2013. 215 p. (rus)

23. Kosenko N.F., Moiseev P.I. Chemistry and technology of autoclaved cellular concrete: textbook [Himiya i tekhnologiya avtoklavnoy yacheistogo betona: uchebnoe posobie]. Ivanovo State University

of Chemistry and Technology. Ivanovo, 2014. 273 p. (rus)

24. Labormethoden für das Porenbeton-Betrieb-labor. MASA-Henke Maschinenfabrik. 2010. 82 p.

25. Strokova V.V. Raw material mixture and method of its preparation for nanostructured autoclaved aerated concrete. Patent RF, no. 2448929, 2012. (rus)

26. Matsushita F., Aono Y., Shibata S. Particles size distribution of quartz sand for AAC production. Cement Wapno Beton. 2011. Pp. 7–11.

27. Kudeyarova N.P. Kinetics of autoclave hardening of lime-sand binder under changing conditions of lime quenching [Kinetika avtoklavnoy tverdeniya izvestkovopeschanogo vyazhushchego pri izmenenii usloviy gasheniya izvesti]. Collection of reports of the International Conference. Belgorod: BelGTASM, 1997. Pp. 79–83. (rus)

Information about the authors

Baranov, Alexander A. Chief Technologist. E-mail: baranov.gazobeton@list.ru. LLC PC «KUBI BLOCK YEGORYEVSKY». Russia, 140301, Moscow region, Yegoryevsk, Melangistov str., 3B.

Shanin, Alexander O. Leading Engineer Technologist. E-mail: shanin.a@cubi-block.ru. LLC PC «KUBI BLOCK YEGORYEVSKY». Russia, 140301, Moscow region, Yegoryevsk, Melangistov str., 3B.

Akulova, Marina V. Doctor of Technical Sciences, Professor, Advisor to the RAASN, Head of the Department of Architecture and Building Materials. E-mail: m_akulova@mail.ru. Ivanovo State Polytechnic University. Russia, 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetyevo Avenue, 21.

Received 03.04.2023

Для цитирования:

Баранов А.А., Шанин А.О., Акулова М.В. Свойства модифицированного кремнеземистого компонента – перспективного сырья при производстве газобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 7. С. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-7-8-16

For citation:

Baranov A.A., Shanin A.O., Akulova M.V. Properties of the modified silica component – a promising raw material in the production of aerated concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 7. Pp. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-7-8-16