

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-5-8-17

Володченко А.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: alex-0904@mail.ru

НЕАВТОКЛАВНЫЕ СИЛИКАТНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

Аннотация. При возведении зданий и сооружений применяют многие стеновые материалы, в число которых входят силикатные изделия различного функционального назначения. В традиционной технологии производства подобных материалов процесс твердения происходит за счет формирования кристаллической структуры в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Существуют различные способы модификации кристаллического сростка цементирующего вещества одним, из которых, является использование разного рода кристаллических затравок, в частности использования природных и синтетических гидросиликатов кальция. Задачей проведенных экспериментов явилось исследование возможности повышения эксплуатационных свойств неавтоклавных силикатных композитов за счет модификации структурообразования в системе «известь-нетрадиционное алюмосиликатное сырье», заключающиеся в кристаллохимическом регулировании процессов структурообразования синтетическим кристаллическим наполнителем $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (C-S-H). Установлено, что использование синтетического кристаллического наполнителя C-S-H, синтезированного гидротермальным синтезом в автоклаве при давлении 1 МПа и температуре 175 °С из смеси $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и кристаллического кремнезема при их соотношении раным $C/S=1$ в технологии неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья позволяет повысить эксплуатационные показатели получаемых изделий до 18 % и более. Оптимальное содержание CaO и кристаллического наполнителя C-S-H при которых обеспечиваются максимальные прочностные характеристики составляет 8 и 2,5 мас. % соответственно, что позволяет разработать оптимальные составы сырьевых смесей для технологии получения методом прессования высокопустотных неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья с пределом прочности при сжатии не менее 20 МПа и более, со средней плотностью изделий не более 2000 кг/м³.

Ключевые слова: неавтоклавные силикатные материалы, синтетические гидросиликаты кальция, кристаллические затравки, техногенное сырье, нетрадиционные глинистые породы

Введение. Одной из важнейших научных проблем современности является создание принципиально новых технологических решений в сфере энерго- и ресурсосбережения, рационального природопользования. Необходимо внедрение новых производств строительных материалов с минимальным воздействием на окружающую среду, которые позволят устойчиво развивать имеющуюся технологическую базу и реализовывать политику импортозамещения с целью повышения конкурентоспособности экономики регионов и страны в целом [1]. Согласно Указу Президента РФ от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» требуется увеличить объем жилищного строительства до 120 млн. квадратных метров в год. Увеличение объемов жилищного строительства сложная задача для отрасли промышленности строительных материалов. На строительном рынке распространены материалы низкого качества, ограничена номенклатура выпускаемых эф-

фективных изделий региональными предприятиями, используются нормативные документы, не учитывающие появление новых сырьевых ресурсов и материалов на их основе. В связи с этим в Российской Федерации необходимо создание производства широкой номенклатуры высококачественных энергосберегающих и конкурентоспособных строительных материалов. Таким образом, в рамках решения проблемы по увеличению номенклатуры выпускаемых строительных материалов, можно выделить следующие направления:

- улучшение и модернизация существующих и используемых в больших количествах строительных материалов, за счет использования традиционно применяемых, кондиционных сырьевых ресурсов со стабильными свойствами;
- разработка, исследование принципиально новых строительных материалов за счет применения ранее не используемого сырья.

В исследованиях, по возможности использования новых видов сырьевых ресурсов, для получения строительных материалов можно выделить

некоторые этапы. На первом этапе производится анализ сырья с последующей разработкой технологии получения строительных композитов на его основе [2–6]. Вторым моментом – это исследование в области повышения эффективности таких композитов, что может быть осуществлено за счет использования различных модификаторов структуры [7–10]. Здесь стоит отметить, что способы повышения эффективности строительных композитов на основе традиционных сырьевых ресурсов известны, установлены зависимости влияния различных модификаторов на их свойства. Однако, использование нетрадиционного природного и техногенного сырья в технологии производства строительных композитов, как правило, изменяет характер процессов структурообразования и, следовательно, и свойства готовых изделий [11–14]. В этом случае, с целью улучшения свойств таких композитов необходимы дополнительные исследования по установлению характера влияния различных модификаторов, так как, известные зависимости, апробированные на традиционных сырьевых ресурсах, могут оказаться не эффективными. В связи с этим помимо разработки технологии получения строительных композитов на новых видах сырьевых ресурсов, также необходимы исследования по определению оптимальных способов дальнейшего улучшения их характеристик.

При возведении зданий и сооружений применяют многие стеновые материалы, в число которых входят силикатные изделия различного функционального назначения. В традиционной технологии производства подобных материалов процесс твердения происходит за счет формирования кристаллической структуры в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$, которая, в зависимости от условий гидротермальной обработки, представлена в основном гидросиликатами кальция различной основности [15–16]. Существуют различные способы модификации кристаллического сростка цементирующего вещества одним, из которых, является использование разного рода кристаллических затравок, в частности использования природных и синтетических гидросиликатов кальция [17–20]. Исследования по повышению свойств строительных композитов синтетическими гидросиликатами кальция в основном связано с цементными системами, и материалами на их основе [18–19].

Для повышения прочностных показателей силикатных изделий может использоваться бой этого материала, а также определенного рода кристаллические затравки [21]. Использование боя может не давать разный эффект, т.к. он представляет поликомпонентную систему, состоящую из гидросиликатов кальция, с неизвестными

свойствами. Поэтому гидросиликаты кальция определенного состава лучше получать синтетическим путем.

Таким образом, с целью повышения эксплуатационных характеристик неавтоклавно-силикатных композитов на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья, представленного глинистыми породами незавершенной стадии минералообразования, актуальным и на данный практически не изученным является вопрос использования в технологии их получения синтетических кристаллических наполнителей, представленных системой $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$.

Материалы и методы исследования. Для получения неавтоклавно-силикатных материалов на основе алюмосиликатного сырья использовали в качестве вяжущего негашеную известь соответствующую ГОСТ 9179-2018.

Для разработки неавтоклавно-силикатных материалов использовалось нетрадиционное алюмосиликатное сырье, представленное глинистой породой незавершенной стадии минералообразования региона Курской магнитной аномалии. По гранулометрическому составу данная порода относится к супеси ($\text{Ip}=6$).

Синтез кристаллического наполнителя $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (C-S-H) осуществляли в условиях повышенного давления и температуры из смеси $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и кремнезема. В качестве кремнезема выступал фракционированный кварцевый песок Вольского месторождения помолотый до удельной поверхности $300 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Изучение вещественного состава сырьевых компонентов, а также формируемого состава новообразований, полученных образцов проводилось при помощи методов рентгенофазового и дифференциально-термического анализов. Анализ микроструктуры полученных образцов на микро-, наноуровне проводили при помощи метода растрово-электронной микроскопии.

Исходную сырьевую смесь для формирования образцов получали в результате смешивания исходных компонентов (вяжущее, нетрадиционное алюмосиликатное сырье и кристаллический наполнитель C-S-H) в лабораторной вибротрамбле, обеспечивающей равномерное распределение и смешивание компонентов. Готовую сухую смесь увлажняли необходимым количеством воды. С целью гашения CaO смесь помещали в герметичную емкость. Формование образцов-цилиндров осуществляли на гидравлическом прессе (давление прессования 20 МПа). После формирования образцы-цилиндры помещали в пропарочную камеру с целью их тепловлажностной обработки при атмосферном давлении при следующих условиях: температурный режим $90\text{--}95 \text{ }^\circ\text{C}$; длительность выдерживания составила 9 часов.

Результаты исследования и их обсуждение.

Задачей проведенных экспериментов явилось исследование возможности повышения эксплуатационных свойств неавтоклавных силикатных композитов за счет модификации структурообразования в системе «известь-нетрадиционное алюмосиликатное сырье», заключающиеся в кристаллохимическом регулировании процессов структурообразования синтетическим кристаллическим наполнителем С-S-H, и, как следствие, повышение свойств неавтоклавных силикатных композитов строительного назначения.

Исходя из анализа вещественного состава, используемого в данной работе нетрадиционного алюмосиликатного сырья установлено, что

данное сырье характеризуется наличием высокодисперсных компонентов: глинистые минералы (каолинит и монтмориллонит), а также смешанослойные соединения на их основе, также присутствует мелкодисперсный кварц, характеризующийся наличием дефектов поверхности и кристаллической решетки.

Синтетический кристаллический наполнитель представленный системой $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ был получен путем гидротермального синтеза в автоклаве при давлении 1 МПа и температуре 175 °С из смеси Ca(OH)_2 и кристаллического кремнезема при их соотношении раным $C/S=1$. Синтезированные гидросиликаты кальция представляют собой кристаллические длиноволокнистые волокна диаметром 30–40 нм (рис. 1).

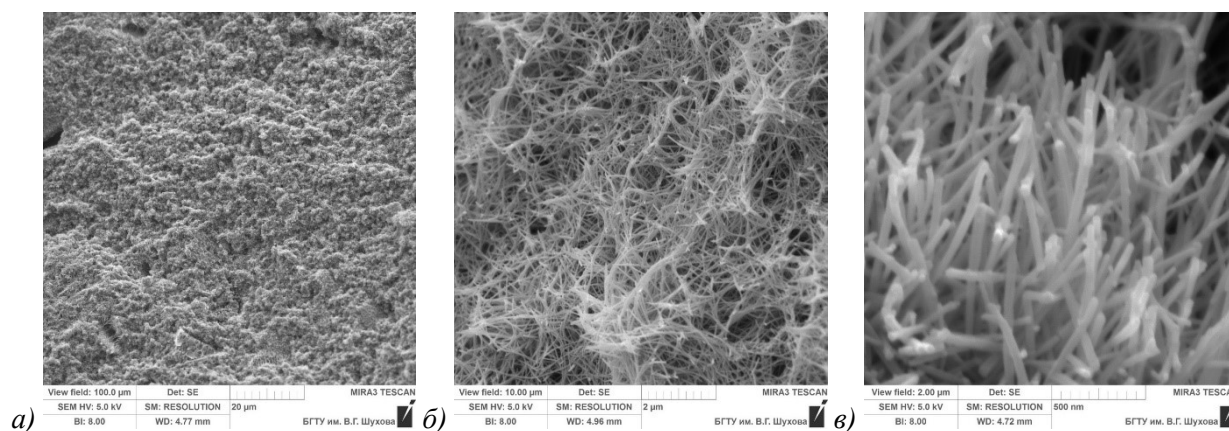


Рис. 1. Микроструктура синтезированного кристаллического наполнителя С-S-H, РЭМ: а – $\times 1000$; б – $\times 10000$; в – $\times 50000$

Результаты рентгенофазового анализа (рис. 2) синтезированных гидросиликатов кальция свидетельствуют о присутствии низкоосновных

гидросиликатов кальция С-S-H (I) – рефлексы – 5,3, 2,8, 3,07, 2,1 Å.

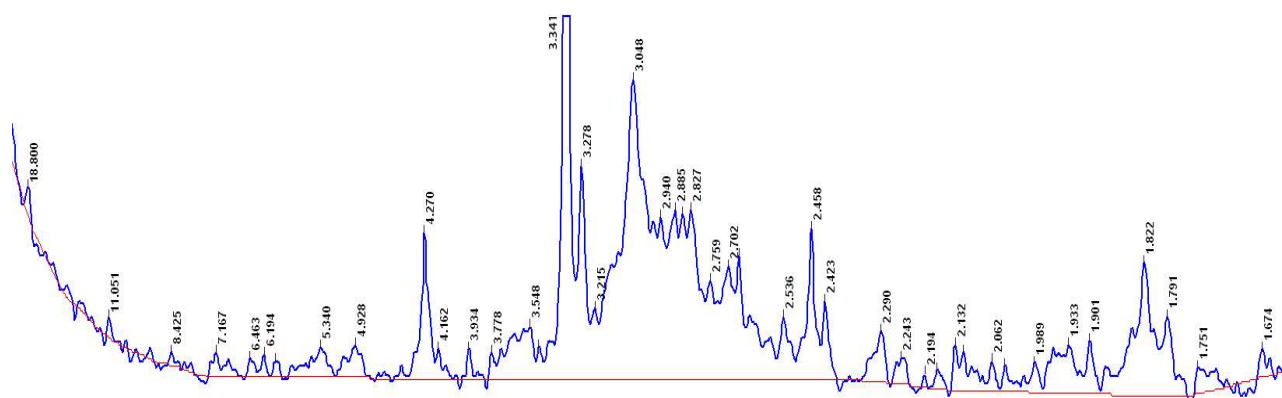


Рис. 2. Рентгенограмма синтезированного кристаллического наполнителя С-S-H

Стоит отметить, что по литературным источникам известно, что в связи с плавным подъемом температуры, в процессе гидротермальной обработки изменяется растворимость компонентов (SiO_2 и Ca(OH)_2), в результате чего непрерывно изменяется состав жидкой фазы и соответственно состав формируемых новообразований в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Так, на первых этапах гидротермальной обработки смеси Ca(OH)_2 и

кристаллического кремнезема образуются двухосновные гидросиликаты кальция C_2SH , а с увеличением температуры и длительности гидротермальной обработки образуются преимущественно низкоосновные гидросиликаты кальция группы CSH. Таким образом, исходя из исходного соотношения $C/S=1$ и присутствия на рентгенограмме (рис. 2) рефлексов – 3,9; 3,548; 3,28; 2,8; 2,7; 2,0–2,2 Å вероятно в синтезированном

кристаллическом наполнителе в небольшом количестве присутствуют в двухосновные гидросиликаты кальция – C_2SH (А).

Исходя из дифференциально-термического анализа на кривых ДТА по эндотермическому

эффекту в районе $120\text{ }^\circ\text{C}$ и экзотермическому эффекту при $863\text{ }^\circ\text{C}$ можно судить о том, что синтезированная система $CaO-SiO_2-H_2O$ преимущественно состоит из низкоосновных гидросиликатов кальция переменного состава (рис. 3).

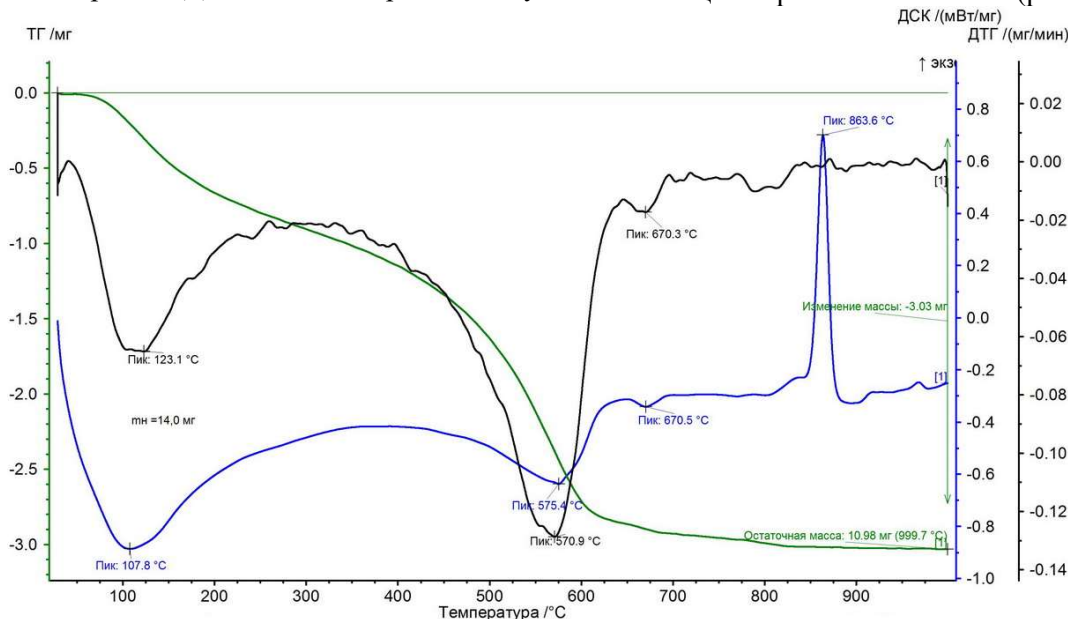


Рис. 3. Деривотограмма синтезированного кристаллического наполнителя С-S-H

Количество негашеной извести в сырьевой смеси в данном эксперименте составило 6, 8, 10 мас. %. Синтетический кристаллический модификатор вводился в количестве 1, 3, 6 мас. %. Влажность сырьевой смеси составила 10 мас. %.

После тепловлажностной обработки при атмосферном давлении, образцы хранились в естественных условиях, после чего были определены их эксплуатационные характеристики (рис. 4).

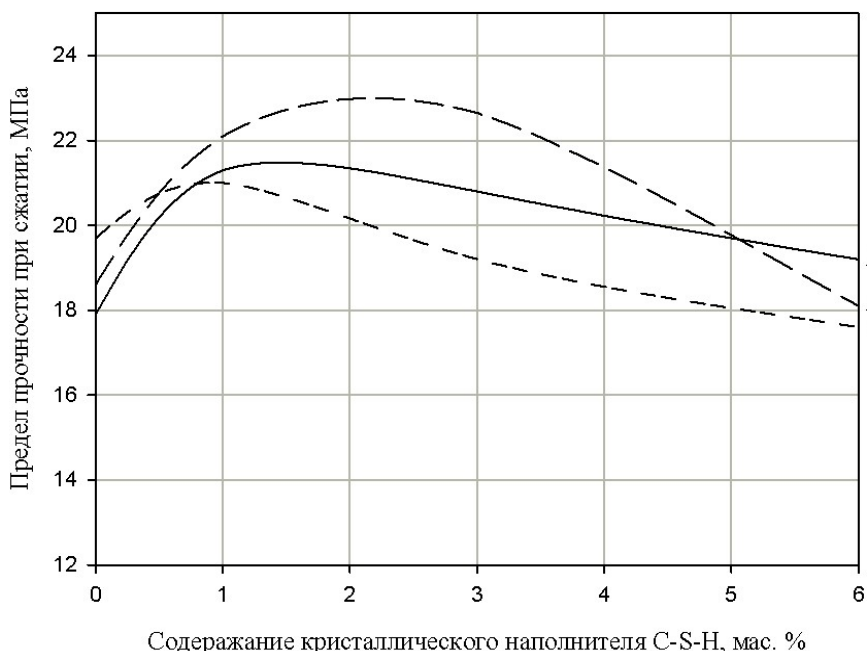


Рис. 4. Влияние кристаллического наполнителя на свойства полученных образцов: 1 – содержание CaO 6 мас. %; 2 – содержание CaO 8 мас. %; 3 – содержание CaO 10 мас. %

Увеличение в сырьевой смеси доли синтезированного кристаллического наполнителя С-S-H (рис. 4) в количестве до 2,5 мас. % повышает показатель предела прочности на сжатие образцов (содержание CaO – 6 мас. %) с 17,9 до 21 МПа,

стоит отметить, что при увеличении содержания в сырьевой смеси кристаллического наполнителя с 3 до 6 % происходит снижение прочностных показателей изделий с 21 МПа до 19,2 МПа. В об-

разцах с содержанием CaO 8 мас. % при увеличении содержания доли кристаллического наполнителя в количестве до 3 мас. % значение показателя предела прочности при сжатии повышается от 18,6 до 22,5 МПа, а при дальнейшем увеличении доли кристаллического наполнителя С-S-H происходит снижение прочностных показателей. Прирост прочности для образцов с содержанием CaO 10 мас. % оказался наименьшим и составил 6 % при содержании кристаллического наполнителя С-S-H в количестве 1 мас. %. Таким образом, содержание кристаллического наполнителя С-S-H в количестве 1–3 мас. %, обеспечивает

прирост прочностных показателей неавтоклавных силикатных материалов на основе алюмосиликатного сырья до 18 %, оптимальное содержание CaO в сырьевой смеси при этом составляет 8 мас. %.

С целью определения общего влияния на эксплуатационные характеристики изделий содержания CaO и кристаллического наполнителя С-S-H был поставлен эксперимент по методу математического планирования эксперимента. Данные для проведения эксперименты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Данные для эксперимента методом математического планирования

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	
CaO, мас. %	x_1	4	8	12	4
Кристаллический наполнитель С-S-H, мас. %	x_2	0,5	3	5,5	6

После анализа и обработки исходных данных были получены математические уравнения регрессии, описывающие изменения показателя

предела прочности при сжатии, а также показателя водостойкости и средней плотности.

Уравнения регрессии имеют вид:

$$R_{сж} = 22,41 - 1,75 \cdot x_2 - 2,42 \cdot x_1^2 - 1,5 \cdot x_2^2$$

$$\rho = 1879,43 - 42,51 \cdot x_1 - 45,84 \cdot x_2 - 7,644 \cdot x_1^2 - 7,644 \cdot x_2^2 + 3,75 \cdot x_1 \cdot x_2$$

$$K_{раз} = 0,802 - 4,06 \cdot 10^{-2} \cdot x_1^2 - 5,06 \cdot 10^{-2} \cdot x_2^2$$

После обработки имеющихся уравнений регрессии были построены графические зависимости

свойств неавтоклавных силикатных материалов от содержания CaO и кристаллического наполнителя С-S-H (рис. 5).

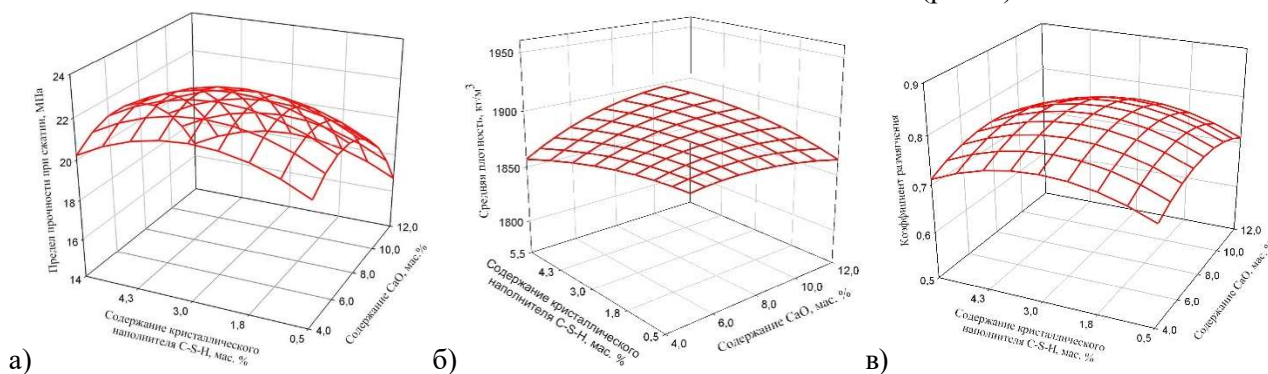


Рис. 5. Номограммы зависимости свойств неавтоклавных силикатных материалов от содержания CaO и кристаллического наполнителя С-S-H:

а – номограмма зависимости предела прочности при сжатии; б – номограмма зависимости показателя средней плотности; в – номограмма зависимости коэффициента размягчения

Средняя плотность образцов (рис. 5, б) понижается с увеличением содержания CaO с 1960 кг/м³ до 1890 кг/м³. Введение в сырьевую смесь кристаллического синтетического наполнителя С-S-H снижает этот показатель до 1850 кг/м³.

Использование синтезированного кристаллического наполнителя С-S-H в технологии неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья позволяет повысить значение коэффициента размягчения с 0,7 до 0,8 (рис. 5, в), что может расширить области использования данного материала.

Снижение прочностных показателей неавтоклавных силикатных материалов при введении в сырьевую смесь синтетического кристаллического наполнителя в количестве более 3 мас. %, а также небольшой прирост прочности, при содержании СаО 10 мас. %, можно объяснить формированием нерациональной микроструктуры получаемых композитов. Так, оптимальной с точки зрения микроструктуры композитов, является синтез новообразований, представленных преимущественно низкоосновными гидросиликатами кальция. Введение в сырьевую смесь синтетического кристаллического наполнителя С-S-H, в том числе при повышенном расходе СаО, способствует увеличению в микроструктуре материала кристаллической фазы, в том числе вероятно представленной высокоосновными гидросиликатами кальция. Формирование новообразований с нерациональным соотношением между низкоосновными и высокоосновными гидросиликатами

кальция вероятно и способствует уменьшению прочностных показателей изделий.

При исследовании микроструктуры образца контрольного состава, наблюдается присутствие кристаллической слабокристаллизованной сетки из новообразований (рис. 6, а). В образцах с добавлением синтетического кристаллического наполнителя С-S-H подобная структура новообразований имеет более окристаллизованный вид в общей массе которой распределены кристаллы синтетического С-S-H (рис. 6, б), выполняющие роль подложки интенсифицирующей процесс синтеза новообразований, в том числе на ранних стадиях твердения. Это может способствовать сокращению времени изотермической выдержки изделий при сохранении требуемых показателей и, как следствие, снижению энергозатрат при неавтоклавном способе производства.

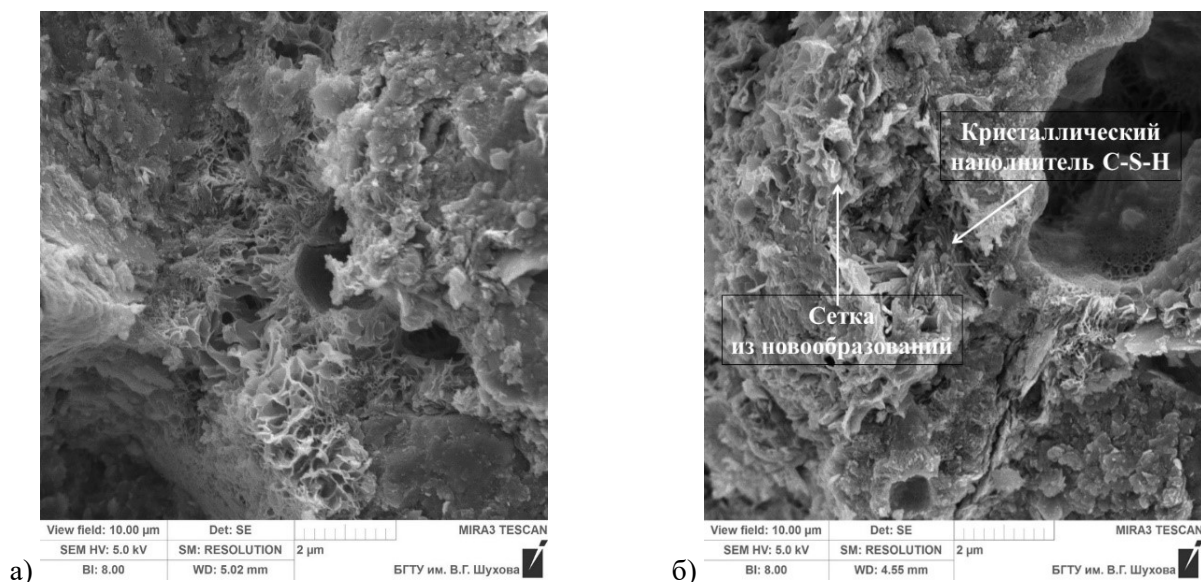


Рис. 6. Влияние синтетического кристаллического наполнителя на микроструктуру образца с 8 мас. % СаО: а – контрольный состав; б – содержание С-S-H – 3 мас. %

Волокнистое строение синтетического кристаллического наполнителя С-S-H способствует микроармированию цементирующего вещества, что в совокупности с интенсификацией процессов структурообразования также способствует повышению прочностных характеристик и водостойкости изделий.

По данным дифференциально-термического анализа (рис. 7) в образцах с добавлением полученного синтетического кристаллического наполнителя С-S-H отмечается увеличение в системе «известь-нетрадиционное алюмосиликатное сырье» более окристаллизованных новообразований, представленных преимущественно низкоосновными гидросиликатами кальция.

На кривой ДТА (рис. 7, а) контрольного образца (содержание СаО – 10 мас. %) присутствует широкий двоякий экзотермический эффект в районе 900–921 °С, свидетельствующий о формировании плохо кристаллизованных низкоосновных гидросиликатов кальция. В образцах с содержанием кристаллического наполнителя С-S-H в количестве 6 мас. % отмечается присутствие более острого экзотермического эффекта при 894 °С, свидетельствующего о формировании в материале более окристаллизованных новообразований представленных низкоосновными гидросиликатами кальция, обеспечивающих более высокую прочность и водостойкость готовых изделий.

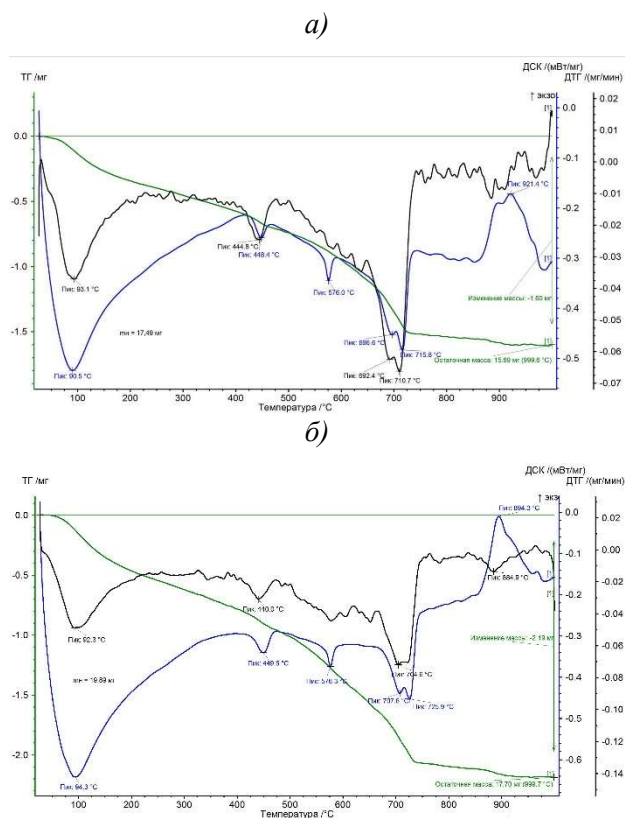


Рис. 7. Деривотограммы образцов с содержанием CaO – 10 мас. %:

а – контрольный состав;
б – содержание C-S-H 6 – мас. %

Заключение. Таким образом, использование синтетического кристаллического наполнителя C-S-H, синтезированного гидротермальным синтезом из смеси $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и кристаллического кремнезема при их соотношении раным C/S=1 в технологии неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья позволяет повысить эксплуатационные показатели получаемых изделий до 18 % и более. Оптимальное содержание CaO и кристаллического наполнителя C-S-H при которых обеспечиваются максимальные прочностные характеристики составляет 8 и 2,5 мас. % соответственно

Повышение прочностных показателей обеспечивается за счет кристаллохимического модифицирования системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья синтетическим кристаллическим наполнителем C-S-H, представленного преимущественно низкоосновными гидросиликатами кальция переменного состава, которые выполняют роль кристаллической подложки, что позволяет ускорить процесс синтеза новообразований всей системы в целом. Синтезированные гидросиликаты кальция имеют волокнистое строение (диаметр волокна 30-40 нм) которое будет способствовать увеличению как прочности кирпича-сырца, так и готовых изделий за счет микроармирования структуры композита. Повышение сырьевой

прочности композитов позволит выпускать высокоэффективные высокопустотные силикатные изделия неавтоклавного твердения.

Полученные результаты исследований позволяют разработать оптимальные составы сырьевых смесей для технологии получения методом прессования высокопустотных неавтоклавных силикатных материалов с пределом прочности при сжатии не менее 20 МПа и более, со средней плотностью изделий не более 2000 кг/м³. Использование синтетического кристаллического наполнителя C-S-H в технологии неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья способствует улучшению водостойкости материала и, как следствие, позволяет рассмотреть вопрос об использовании полученного материала в помещениях с повышенной влажностью, что может расширить области использования данного материала. Внедрение результатов исследований позволит использовать местную сырьевую базу, увеличить номенклатуру строительных материалов, а также создать предприятия в рамках малого и среднего бизнеса не требующие больших капитальных вложений.

Источник финансирования: Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-00185).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С., Фомина Е.В. Новая парадигма проектирования строительных композитов для защиты среды обитания человека // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. №10. С. 1241–1257. doi: 10.22227/1997-0935.2019.10.1241-1257
2. Fediuk R., Mosaberpanah M., Lesovik V., Baranov A.. Link of self-compacting fiber concrete behaviors to composite binders and superplasticizer // Journal of Advanced Concrete Technology. 2020. Vol. 18(3). Pp. 67–82. doi: 10.3151/jact.18.67
3. Lesovik V.S. Leshchev S.I., Ageeva M.S., Alfimova N.I. Zeolite-containing terra-silicea as a component of composite binders // Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. Pp.136-141. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.136>
4. Fediuk R.S., Yevdokimova Yu.G., Smoliakov A.K., Stoyushko N.Yu., Lesovik V.S. Use of geonics scientific positions for designing of building composites for protective (fortification) structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 221. 012011. doi: 10.1088/1757-899X/221/1/012011
5. Володченко А.Н., Строкова В.В. Разработка научных основ производства силикатных автоклавных материалов с использованием глинистого сырья // Строительные материалы. 2018. №

9. С. 25-31. doi: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-25-31>

6. Фролова М.А., Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Тутыгин А.С. Алюмосиликатное вяжущее на основе сапонит содержащих отходов алмазодобывающей промышленности // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 68–70.

7. Pukharenko Yu.V., Letenko D.G., Nikitin V.A., Morozov V.I. Obtaining the nanomodifier for cement composites based on the «dealtom» carbon nanotubes // Materials Physics and Mechanics. 2017. Vol. 31. Pp. 59–62.

8. Fomina E.V., Lesovik V.S., Kozhukhova, N.I., Chulenyov, A.S. Role of solutions when metamorphic transformations in construction composites // Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. Pp. 168–174. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.168>

9. Alfimova N.I., Shadskiy E.E., Lesovik R.V., Ageeva M.S. Organic-mineral modifier on the basis of volcanogenic-sedimentary rocks // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10(24). Pp. 45131–45136.

10. Murtazaev S-A.Y., Zaurbekov Sh.Sh. A.Kh., Saydumov M.S., Murtazaeva T.S-A., Khadzhiev M.R., Impact of technogenic raw materials on the properties of high-quality concrete composites // Advances in Engineering Research. 2018. Vol. 177. Pp. 275-279. doi: 10.2991/isees-18.2018.53.

11. Лесовик В.С., Абсиметов М.В., Елистраткин М.Ю., Поспелова М.А., Шаталова С.В. К вопросу изучения особенностей структурообразования композиционных вяжущих для неавтоклавных газобетонов // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 3. С. 41–47.

12. Лесовик В.С., Алексеев С.В., Бессонов И.В., Вайсера С.С. Управление структурой и свойствами акустических материалов на основе пеностеклокомпозиатов // Строительные материалы. 2018. №6. С. 41–44. doi: 10.31659/0585-430X-2018-760-6-41-44

13. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Glagolev E.S. On the issue of reducing

the energy intensity of the silicate composites production with the unconventional aluminosilicate raw materials use // Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. Pp. 20–25. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.20

14. Володченко А.А., Лесовик В.С. К вопросу влияния комплексного вяжущего на свойства неавтоклавных силикатных композитов с использованием нетрадиционного сырья // Современные наукоемкие технологии. 2018. №12 (2) С.173-178. doi: 10.17513/snt.37298

15. Danielle Klimesch, Abhi Ray. Evaluation of phases in a hydrothermally treated CaO-SiO₂-H₂O system // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2002. Vol. 70(3). Pp. 995–1003. doi: 10.1023/A:1022289111046.

16. Bernstein S., Thomas Karl Fehr. The formation of 1.13 nm tobermorite under hydrothermal conditions: 1. The influence of quartz grain size within the system CaO-SiO₂-D₂O // Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials. 2012. Vol. 58 (2–3). Pp. 84–91. doi: 10.106/j.pcrysgrow.2012.02.006.

17. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Мороз М.Н., Троянов И.Ю., Володин В.М., Суздальцев О.В. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 88–91.

18. Людвиг Х.-М., Дрессель Д. Синтетические гидраты силиката кальция в сборных железобетонных конструкциях // СРІ Международное бетонное производство. 2011. № 5. С. 42–46.

19. Овчаренко Г.И., Ибе Е.Е., Садрашева А.О., Викторов А.В. Контактная прочность цементной фазы С-S-H с добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8 (716). С. 48–57.

20. Кривобородов Ю.Р., Еленова А.А. Применение микродисперсных добавок для ускорения твердения цемента // Строительные материалы. 2016. №9. С. 65–67.

21. Бутт Ю.М., Рашкович Л.Н. Твердение вяжущих при повышенных температурах. М.: Стройиздат, 1965. 253 с.

Информация об авторах

Володченко Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: alex-0904@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 13.04.2020

© Володченко А.А., 2020

Volodchenko A.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

E-mail: alex-0904@mail.ru

NON-AUTOCLAVE SILICATE COMPOSITES USING NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS AND CRYSTAL FILLER

Abstract. In the construction of buildings and structures, many wall materials are used, including silicate products of various functional purposes. In traditional production technology of such materials, the hardening process occurs due to the formation of a crystal structure in the $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ system. There are various ways to modify the crystalline growth of the cementing substance, one of which is the use of various kinds of crystal seedings, in particular the use of natural and synthetic calcium hydrosilicates. The purpose of the experiments is to study the possibility of improving the performance properties of non-autoclave silicate composites by modifying the structure formation in the "lime-non-traditional aluminosilicate raw materials" system, which consists in the crystal-chemical regulation of the structure formation processes with a synthetic crystal filler $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (C-S-H). The use of synthetic crystalline filler C-S-H synthesized by hydrothermal synthesis in an autoclave at a pressure of 1 MPa and a temperature of 175 °C from a mixture of Ca(OH)_2 and crystalline silica in a ratio different $C/S=1$ in the technology of non-autoclave silicate materials on the basis of alternative aluminium raw material allows to increase the operational indicators resulting products to 18 % or more. The optimal content of CaO and crystal filler C-S-H at which the maximum strength characteristics are provided is 8 % and 2,5 %, respectively, which allows to develop optimal compositions of raw materials for the technology of producing high-density non-autoclave silicate materials based on non-traditional aluminosilicate raw materials with a compressive strength of at least 20 MPa and more, with an average product density of no more than 2000 kg/m³.

Keywords: non-autoclave silicate materials, synthetic calcium hydrosilicates, crystal seedings, man-made raw materials, non-traditional clay rocks.

REFERENCES

1. Lesovik V.S., Fomina E.V. The new paradigm of designing construction composites to protect the human environment [Novaya paradigma proektirovaniya stroitel'nykh kompozitov dlya zashchity sredey obitaniya cheloveka]. Vestnik MGSU. 2019. Vol. 14. No. 10. Pp. 1241–1257. doi: 10.22227/1997-0935.2019.10.1241-1257 (rus).
2. Fediuk R., Mosaberpanah M., Lesovik V., Baranov A. Link of self-compacting fiber concrete behaviors to composite binders and superplasticizer. Journal of Advanced Concrete Technology. 2020. Vol. 18(3). Pp. 67–82. doi: 10.3151/jact.18.67
3. Lesovik V.S., Leshchev S.I., Ageeva M.S., Alfimova N.I. Zeolite-containing terra-silicea as a component of composite binders. Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. Pp. 136–141. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.136>
4. Fediuk R.S., Yevdokimova Yu.G., Smoliakov A.K., Stoyushko N.Yu., Lesovik V.S. Use of geonics scientific positions for designing of building composites for protective (fortification) structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 221. 012011. doi: 10.1088/1757-899X/221/1/012011/
5. Volodchenko A.N., Strokova V.V. Development of scientific bases for production of silicate autoclave materials using clay raw materials [Razrabotka nauchnykh osnov proizvodstva silikatnykh avtoklavnykh materialov s ispol'zovaniem glinistogo syr'ya]. Construction Materials. 2018. No 9. Pp. 25–31. doi: https://doi.org/10.31659/0585_430X-2018-763-9-25-31 (rus)
6. Frolova M.A., Morozova M.V., Aizenshtadt A.M., Tutygin A.S. An aluminum-silicate binder on the basis of saponite-containing waste of diamond industry [Aljumosilikatnoe vjashushhee na osnove saponitsoderzhashhih othodovalmazodobyvajushhej promyshlennosti]. Construction Materials. 2017. No. 7. Pp. 68–70. (rus)
7. Pukhareno Yu.V., Letenko D.G., Nikitin V.A., Morozov V.I. Obtaining the nanomodifier for cement composites based on the «dealtom» carbon nanotubes. Materials Physics and Mechanics. 2017. Vol. 31. Pp. 59–62.
8. Fomina E.V., Lesovik V.S., Kozhukhova N.I., Chulyenyov A.S. Role of solutions when metasomatic transformations in construction composites. Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. Pp.168–174. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.168>
9. Alfimova N.I., Shadskiy E.E., Lesovik R.V., Ageeva M.S. Organic-mineral modifier on the basis of volcanogenic-sedimentary rocks. International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10(24). 45131–45136.
10. Murtazaev S-A.Y., Zaurbekov Sh.Sh. A.Kh., Saydumov M.S., Murtazaeva T.S-A., Khadzhiev

M.R., Impact of technogenic raw materials on the properties of high-quality concrete composites. *Advances in Engineering Research*. 2018. Vol. 177. Pp. 275–279. doi: 10.2991/isees-18.2018.53.

11. Lesovik V.S., Absimetov M.V., Elistratkin M.Yu., Pospelova M.A., Shatalova S.V. For the study of peculiarities of structure formation of composite binders for non-autoclaved aerated concrete [K voprosu izucheniya osobennostej strukturoobrazovaniya kompozitsionnyh vyazhushchih dlya neavtoklavnyh gazobetonov]. *Construction Materials and Products*. 2019. Vol. 2. No. 3. Pp. 41–47. (rus)

12. Lesovik V.S., Alekseev S.V., Bessonov I.V., Vaisera S.S. Control of the structure and properties of acoustic materials on the basis of foam glass composites [Upravlenie struktur i svoystvami akusticheskikh materialov na osnove penosteklokompozitov]. *Construction Materials*. 2018. No. 6. Pp. 41–44. doi: 10.31659/0585-430X-2018-760-6-41-44. (rus)

13. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Glagolev E.S. On the issue of reducing the energy intensity of the silicate composites production with the unconventional aluminosilicate raw materials use. *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 974. Pp. 20–25. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.20

14. Volodchenko A.A., Lesovik V.S. To the question of the influence of complex binder on the properties of non-autoclave silicate composites with the using non-traditional raw materials [K voprosu vliyaniya kompleksnogo vyazhushchego na svoystva neavtoklavnyh silikatnyh kompozitov s ispol'zovaniem netraditsionnogo syr'ya]. *Modern high technologies*. 2018. No. 12(2). Pp. 173–178. (rus)

15. Danielle Klimesch, Abhi Ray. Evaluation of phases in a hydrothermally treated CaO-SiO₂-H₂O

system. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2002. Vol. 70(3). Pp. 995–1003. doi: 10.1023/A:1022289111046.

16. Bernstein S., Thomas Karl Fehr. The formation of 1.13 nm tobermorite under hydrothermal conditions: 1. The influence of quartz grain size within the system CaO-SiO₂-D₂O. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. 2012. Vol. 58 (2–3). Pp. 84–91. doi: 10.106/j.pcrystgrow.2012.02.006.

17. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Moroz M.N., Troyanov I.Yu., Volodin V.M., Suzdal'tsev O.V. Nanohydrosilicate Technologies in Concrete Production [Nanogidrosilikatnye tekhnologii v proizvodstve betonov]. *Construction Materials*. 2014. No. 5. Pp. 88–91. (rus)

18. Lyudvig Kh-M., Dressel' D. Synthetic calcium silicate hydrates in precast concrete structures [Sinteticheskie gidraty silikata kal'ciya v sbornyyh zhelezobetonnyh konstrukciyah]. *CPI Mezhdunarodnoe betonnoe proizvodstvo*. 2011. No. 5. Pp. 42–46 (rus).

19. Ovcharenko G.I., Ibe E.E., Sadrasheva A.O., Viktorov A.V. Contact strength of c-s-h cement phase with additives [Kontakt'naya prochnost' cementnoj fazy S-S-H s dobavkami]. *News of higher educational institutions. Construction*. 2018. No. 8 (716). Pp. 48–57. (rus)

20. Krivoborodov Yu.R., Elenova A.A. The Use of Micro-Disperse Additives for Accelerating Cement Hardening [Primenenie mikrodispersnyh dobavok dlya uskoreniya tverdeniya cementa]. *Construction Materials*. 2016. No. 9. Pp. 65–67. (rus)

21. Butt Yu.M., Rashkovich L.N. Binder hardening at elevated temperatures [Tverdenie vyazhushchih pri povyshennyh temperaturah]. M.: Strojizdat. 1965. 253 p. (rus)

Information about the authors

Volodchenko, Alexander A. PhD, Assistant professor. E-mail: volodchenko.aa@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 13.04.2020

Для цитирования:

Володченко А.А. Неавтоклавные силикатные композиты с применением нетрадиционного сырья и кристаллического наполнителя // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 5. С. 8–17. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-5-8-17

For citation:

Volodchenko A.A. Non-autoclave silicate composites using non-traditional raw materials and crystal filler. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No. 5. Pp. 8–17. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-5-8-17