

DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-25-34

Володченко А.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН
Россия, 127238, Москва, Локомотивный проезд, 21
E-mail: alex-0904@mail.ru

СТЕНОВЫЕ СИЛИКАТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРЕМНЕЗЕМИСТОГО СЫРЬЯ И АЛЮМОСИЛИКАТНОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Аннотация. Среди используемых строительных материалов конструкционные автоклавные силикатные изделия занимают одно из лидирующих мест. В традиционной технологии силикатных материалов используется автоклавная обработка изделий, главный недостаток которой - высокая энергоемкость. С целью создания неавтоклавных силикатных композитов на традиционном кремнеземистом сырье предлагается использование специального алюмосиликатного вяжущего на основе глинистых пород незавершенной стадии минералообразования определенного генезиса, и негашеной извести. Рост прочности силикатных материалов в данном случае происходит в результате процесса образования новообразований, синтезирующихся в ходе химической реакции негашеной кальциевой извести с компонентами глинистых пород, не только при использовании режимов повышенных давлений и температур в автоклаве, но и при режимах пропарки с температурами до 100 °С. Высокая удельная поверхность алюмосиликатного вяжущего обеспечивает увеличение плотности упаковки материала. За счет особенностей структурообразования системы $\text{CaO-SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)\text{-H}_2\text{O}$ на основе нетрадиционных глинистых пород процесс формирования микроструктуры материала, который продолжается и после гидротермальной обработки изделий придает материалу гидравлические свойства. Предлагаемые вяжущие и технологии их производств можно реализовать в условиях малого и среднего бизнеса, что позволит получать конкурентоспособные неавтоклавные силикатные материалы с пределом прочности при сжатии до 25 МПа и средней плотностью 1850 кг/м³.

Ключевые слова: неавтоклавные материалы, силикатный кирпич, техногенное сырье, техногенный метасоматоз, нетрадиционные глинистые породы.

Введение. Среди используемых строительных материалов конструкционные автоклавные силикатные изделия занимают одно из лидирующих мест. В классической технологии производства подобных стеновых материалов [1–3] используется определенный вяжущий компонент, который получают совместным помолом негашеной кальциевой извести совместно с кремнеземистым компонентом, как правило, это кварцевый песок. Процесс синтеза гидросиликатов кальция на основе подобного сырья [4–5] происходит при высоких температурах и давлениях, что предопределяет высокую энергоемкость производства, также стоит отметить невысокую прочность кирпича-сырца.

Одними из актуальных задач, в строительном материаловедении, является проектирование и разработка композитов нового поколения [6–9] способных улучшить качество жизни человека, поиск путей снижения энергоемкости производства композитов, используемых в строительстве. Решение подобных задач возможно при использовании нетрадиционных и техногенных видов сырьевых ресурсов [10–14]. Теоретической базой решения данных актуальных задач является

трандисциплинарное научное направление геоника (геомиметика) [15, 16].

В осуществленных ранее экспериментальных исследовательских работах [17, 19] было установлено, что нетрадиционные для строительной индустрии глинистые породы, имеющие определенный вещественный состав, возможно использовать в качестве сырья в технологии неавтоклавных силикатных материалов. Использование таких пород в технологии конструкционных силикатных материалов позволяет существенно увеличить не только прочность кирпича-сырца, и как следствие эксплуатационные показатели изделий, но и синтезировать новообразования в системе $\text{CaO-SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)\text{-H}_2\text{O}$ в неавтоклавных условиях.

Исходя из вышеизложенного, представляется интересным вопрос о получении неавтоклавных силикатных композитов на традиционном кремнеземистом сырье с применением специального алюмосиликатного вяжущего на основе глинистых пород незавершенной стадии минералообразования определенного генезиса, и негашеной извести. Рост прочности силикатных материалов в данном случае происходит в ре-

зультате синтеза новообразований, образующихся в результате реакции гидроксида кальция с пороодообразующими минералами глинистых пород.

Цель работы – получение стеновых силикатных материалов неавтоклавного твердения с применением кремнеземистого сырья и алюмосиликатного вяжущего на основе нетрадиционных глинистых пород и исследование влияния условий эксплуатации на их свойства.

Материалы и методы исследования. В качестве сырьевых материалов для исследований использовали наиболее представительные нетрадиционные глинистые породы региона Курской магнитной аномалии, по своему составу относящиеся к эолово-элювиально-делювиальным глинистым породам четвертичного возраста. В качестве кремнеземистого компонента, для получения неавтоклавных силикатных материалов использовался кварцевый песок Нижнеольшанского месторождения Белгородской области. Алюмосиликатное вяжущее получали совместным помолом исследуемых глинистых пород незавершенной стадии минералообразования и негашеной кальциевой извести, соответствующей ГОСТ 9179–2018.

При изготовлении образцов использовали смесь, включающую в себя предварительно приготовленное алюмосиликатное вяжущее с удельной поверхностью $1000 \text{ м}^2/\text{кг}$ и кварцевый песок Нижнеольшанского месторождения Белгородской области.

Образцы-цилиндры формовали на гидравлическом прессе при давлении прессования – 20 МПа. После формования образцы-цилиндры помещались в камеру тепловлажностной обработки с последующим выдерживанием в ней в течение 9 ч при температуре водяного пара $95 \text{ }^\circ\text{C}$.

Исходя из требований необходимой нормативной документации в ходе исследований были определены физические, а также механические свойства полученных образцов.

Для определения вещественного состава применяемых нетрадиционных глинистых пород, состава образующихся новообразований получаемых композитов использовали методы рентгенофазового, дифференциально-термического анализов. Морфологические особенности исходных сырьевых материалов и синтезируемых новообразований определяли при использовании методов растрово-электронной микроскопии (РЭМ).

Результаты исследования и их обсуждение. Получение стеновых силикатных материалов неавтоклавного твердения с применением традиционного кремнеземистого сырья, возможно за счет использования алюмосиликатного вяжущего, на

основе нетрадиционных глинистых пород, которые позволяют синтезировать прочный каркас новообразований, представленный соединениями системы $\text{CaO-SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)\text{-H}_2\text{O}$ и гидрогранатами, не только при использовании режимов повышенных давлений и температур в автоклаве, но и при режимах пропарки с температурами до $100 \text{ }^\circ\text{C}$ [18, 20]. Таким образом, достижение необходимого уровня структурообразования предопределяет возможность получения неавтоклавных силикатных материалов на основе кремнеземистого сырья с определенным набором свойств.

Для исследований использовали три наиболее представительные глинистые породы, отличающиеся по составу и относящиеся к эолово-элювиальные-делювиальные смешанослойным образованиям четвертичного возраста, отобранные в регионе Курской магнитной аномалии. Определение фракционного состава глинистой породы производили методом ситового анализа. Установлено, что в используемых глинистых породах № 2 и № 3 преобладают частицы относящиеся к пелитовой фракции (51,1 %), для глинистой породы № 1 этот показатель составляет – 22,6 %. Исходя из данных гранулометрического анализа и установленному числу пластичности, используемых в исследованиях глинистых пород региона КМА, глинистая порода № 1 – относится к супеси (число пластичности 6), а глинистые породы № 2, 3 (число пластичности 7 и 11) – к суглинкам.

По результатам рентгенофазового, дифференциально-термического методов анализа установлен минеральный состав (рис. 1). Так, применяемые глинистые породы имеют в своем составе смешанослойные образования вида гидрослюда-монтмориллонит (рефлексы на рентгенограмме $8 - 18 \text{ \AA}$), также присутствует гидрослюда ($10,0; 5,0; 3,32 \text{ \AA}$), в небольших количествах каолинит ($7,138-7,2 \text{ \AA}$) и монтмориллонит ($14,25-17,96 \text{ \AA}$), тонкодисперсный слабоокатанный кварц, имеющий кородированную в различной степени поверхность. Используемые для исследования глинистые алюмосиликатные горные породы имеют весьма переменный химический состав, а также характеризуются несовершенством их кристаллической решетки. Исходя из наличия фона на анализируемых рентгенограммах можно предположить о наличии рентгеноаморфной фазы. Таким образом, исходя из генезиса используемых глинистых пород, представляющих очень сложную систему с весьма различным набором свойств, и характеризующуюся незавершенностью

процессов глинообразования, наличием тонкодисперсной пелитовой фракции, предопределяется возможность активного химического взаимодействия компонентов подобных глинистых пород с кальциевой известью с образованием новообразований в системе $\text{CaO-SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)\text{-H}_2\text{O}$ в неавтоклавных условиях, способную с течением времени перекристаллизовываться, что приводит к повышению эксплуатационных характеристик материала.

Задачей проведенных исследований явилось проектирование составов сырьевых смесей с применением алюмосиликатного вяжущего на основе нетрадиционных глинистых пород и кремнеземистого сырья с целью оптимизации структуры композита на всех размерных уровнях, и как следствие, достижения необходимых физико-механических свойств неавтоклавных силикатных материалов.

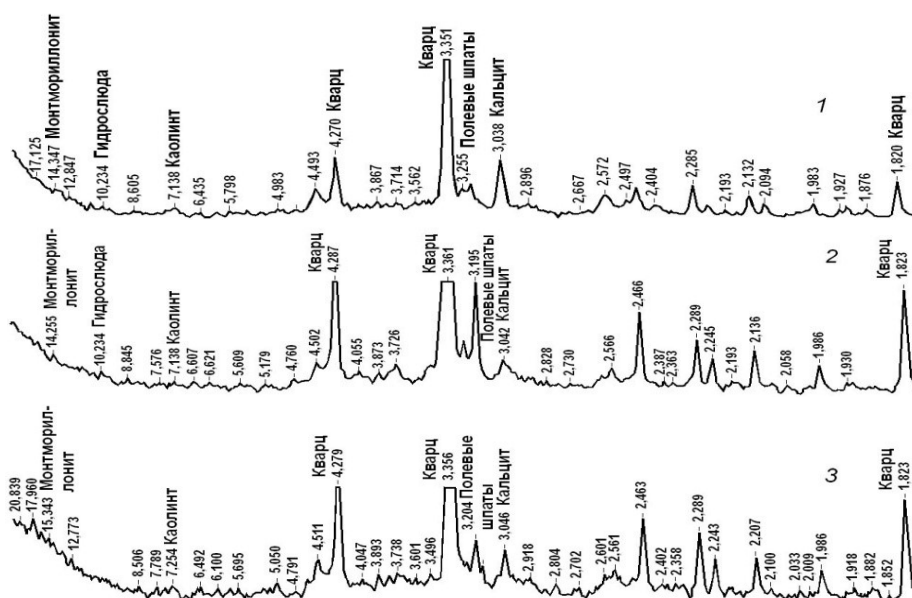


Рис. 1. Рентгенограммы используемых глинистых пород региона КМА:
1 – глинистая порода № 1; 2 – глинистая порода № 2; 3 – глинистая порода № 3

В предыдущих экспериментальных исследованиях в качестве вяжущего компонента использовали молотую негашеная кальциевую известь, а также, в зависимости от состава, известково-глинистое вяжущее. Исходную глинистую породу использовали как заполнитель. Установлено, что рациональное содержание негашеной кальциевой извести для смесей на основе нетрадиционных глинистых пород [18–20] находится в пределах 10–12 мас. %. Исходя из этого, для

проведения исследований было приготовлено алюмосиликатное вяжущее (табл. 1), путем совместного помола в вибромельнице используемых глинистых пород и негашеной кальциевой извести. Процентное содержание CaO в алюмосиликатном вяжущем составило 12 и 20 мас. %. Помол вяжущего осуществлялся до удельной поверхности $1000 \text{ м}^2/\text{кг}$, что обеспечивает увеличение плотности упаковки материала.

Таблица 1

Состав полученного алюмосиликатного вяжущего на основе используемого сырья

№	Негашеная известь, мас. %	Глинистая порода, мас. %	Удельная поверхность вяжущего, $\text{м}^2/\text{кг}$
1	12	85	1000
2	20	80	1000

Сырьевую смесь для изготовления образцов получали путем смешивания полученного алюмосиликатного вяжущего и кремнеземистого компонента, затем в смесь добавляли требуемое количество воды. Далее увлажненную сырьевую смесь помещали в герметичную емкость (с целью гашения CaO) с последующим выдерживанием.

Алюмосиликатное вяжущее вводилось в сырьевую смесь в количество 20 – 50 мас. %. Сырьевая влажность смеси варьировалась в зависимости от состава и составляла 8–12 %. После формования образцы-цилиндры подвергали гидротермальной обработке. Составы сырьевых смесей, использованные для проведения экспериментов, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Составы сырьевых смесей, использованные для проведения экспериментов

Компоненты	№ состава			
	1	2	3	4
Кремнеземистый компонент, мас. %	50	60	70	80
Вязущее, мас. %	50	40	30	20

После тепловлажностной обработки образцы-цилиндры выдерживали 3-е суток в есте-

ственных условиях, с последующим определением свойств образцов. Результаты испытаний представлены на рисунке 2 и в таблице 3.

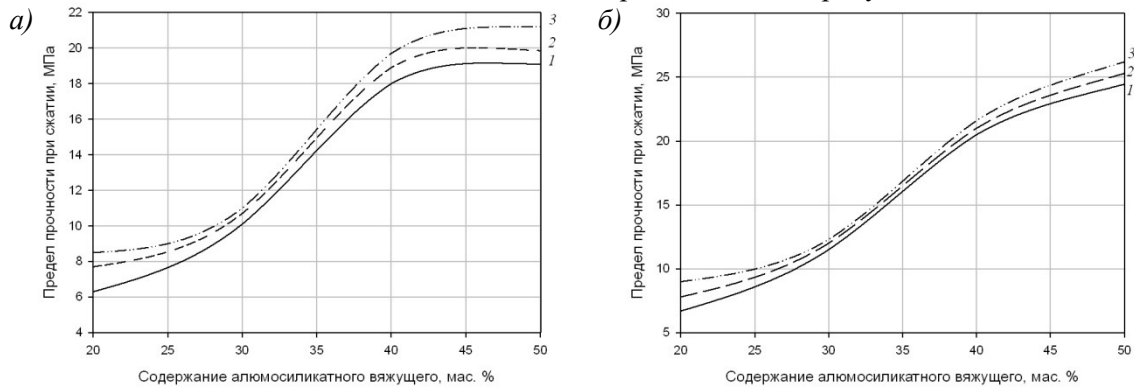


Рис. 2. Влияние содержания алюмосиликатного вязущего (а – содержание СаО в алюмосиликатном вязущем, 12 мас. %; б – содержание СаО в алюмосиликатном вязущем, 20 мас. %) на показатель предела прочности образцов на основе глинистых пород (1 – глинистая порода № 1; 2 – глинистая порода № 2; 3 – глинистая порода № 3)

Таблица 3

Эксплуатационные свойства неавтоклавных силикатных материалов на основе алюмосиликатного вязущего и кремнеземистого компонента

Физико-механические характеристики	№ состава			
	1	2	3	4
<i>Содержание СаО в алюмосиликатном вязущем, 12 мас. %</i>				
Глинистая порода № 1				
Предел прочности при сжатии, МПа	19	18,1	10,2	6,3
Предел прочности при сжатии, МПа (6 месяцев в условиях повышенной влажности)	25,3	21	14	7
Средняя плотность, кг/м ³	1850	1875	1855	1850
Глинистая порода № 2				
Предел прочности при сжатии, МПа	19,6	18,8	10,5	7,6
Предел прочности при сжатии, МПа (6 месяцев в условиях повышенной влажности)	26	21,5	13,5	8,9
Средняя плотность, кг/м ³	1850	1875	1860	1860
Глинистая порода № 3				
Предел прочности при сжатии, МПа	20,2	19,7	11	8,5
Предел прочности при сжатии, МПа (6 месяцев в условиях повышенной влажности)	27	21,5	14	10
Средняя плотность, кг/м ³	1865	1880	1850	1850
<i>Содержание СаО в алюмосиликатном вязущем, 20 мас. %</i>				
Глинистая порода № 1				
Предел прочности при сжатии, МПа	24,4	20,4	11,6	6,8
Предел прочности при сжатии, МПа (6 месяцев в условиях повышенной влажности)	31,5	30	15	7,5
Средняя плотность, кг/м ³	1920	1922	1930	1925
Глинистая порода № 2				
Предел прочности при сжатии, МПа	25,1	21,2	12,3	7,9
Предел прочности при сжатии, МПа (6 месяцев в условиях повышенной влажности)	30	29,5	14,7	9,1
Средняя плотность, кг/м ³	1925	1920	1920	1930
Глинистая порода № 3				
Предел прочности при сжатии, МПа	26,3	21,7	12,4	9,9
Предел прочности при сжатии, МПа (6 месяцев в условиях повышенной влажности)	31	29	14,5	11
Средняя плотность, кг/м ³	1935	1925	1920	1930

Увеличение в сырьевой смеси доли алюмосиликатного вяжущего (рис. 1, *a*) повышает показатель предела прочности на сжатие образцов (алюмосиликатное вяжущее на основе глинистой породы №1 и содержанием CaO – 12 мас. %) с 6,3 до 19 МПа (см. таблица 3). В образцах, где использовалось алюмосиликатное вяжущее, полученное на основе глинистой породы №2 (CaO 12 мас. %), предел прочности при сжатии повышается 7,6 до 19,6 МПа, а при использовании вяжущего (CaO 12 мас. %) на основе глинистой породы №3 – с 8,5 до 20,2 МПа.

Увеличение содержания доли CaO в алюмосиликатном вяжущем с 12 до 20 мас. % приводит к повышению показателя предела прочности при сжатии (таблица 3 и рис. 1, *b*). Это увеличение составляет до 20 %.

Показатель средней плотности образцов в основном зависит от процентного содержания негашеной кальциевой извести в алюмосиликатном вяжущем. Установлено, что при увеличении процентного содержания CaO в алюмосиликатном вяжущем значение показателя средней плотности варьируется от 1850 до 1920 кг/м³. Показатель коэффициента размягчения находится в пределах 0,5–0,6. При использовании такого вида сырьевой смеси, показатель коэффициента размягчения ниже по отношению к образцам, в которых в качестве заполнителя использовали исходную нетрадиционную для стройиндустрии глинистую породу [18]. Исходя из этого, предлагаемый материал может использоваться при возведении несущих стен, перегородок внутри зданий и сооружений.

В ранее проведенных исследованиях [21] изучено изменение свойств неавтоклавных силикатных материалов, с использованием нетрадиционных глинистых пород, в условиях повышенной влажности. Установлено, что пелитовая составляющая используемых глинистых пород обеспечивает синтез новообразований, которые обладают гидравлическими свойствами. Исходя из этого, представляется интересным влияния условий повышенной влажности на свойства неавтоклавных силикатных материалов на основе кремнеземистого сырья и алюмосиликатного вяжущего.

Установлено, что после выдерживания образцов в течение 6 месяцев в условиях повышенной влажности показатель предела прочности при сжатии всех составов увеличивается на 20–25 % (см. таблица 3). Увеличение доли негашеной кальциевой извести, в алюмосиликатном вяжущем, с 12 до 20 мас. % не значительно влияет на проявление гидравлических свойств синтезируемых новообразований в системе CaO-SiO₂(Al₂O₃)-H₂O.

Таким образом, в полученных образцах синтезируются новообразования, которые в процессе эксплуатации композита, и особенно в условиях повышенной влажности, способны к перекристаллизации. Описанный процесс способствует модификации структуры формируемых цементирующих соединений, синтезирующихся в алюмосиликатном вяжущем в неавтоклавных условиях, что улучшает свойства композитов на основе кремнеземистого сырья.

Микроструктура полученных образцов на основе используемых глинистых пород при небольших увеличениях представляет собой плотный композит, в котором располагаются сцементированные зерна кварцевого песка (рис. 3). Сформированные новообразования, представляют собой низкоосновные слабокристаллизованные гидросиликаты кальция, которые образуют пространственную сетку, и заполняют поровое пространство между зернами кварца, и формируют кристаллизационную структуру.

Прочность синтезируемой структуры получаемого композита существенно зависит от контактной зоны частиц кварцевого песка с вяжущим компонентом. Так на микрофотографиях наблюдаются крупные зерна кварца, которые покрыты плотной матрицей сформированных новообразований, формирующих кристаллизационную структуру на его поверхности (рис. 4), что определяет необходимые прочностные показатели изделий, за счет адгезии между вяжущим компонентом и заполнителем.

В микроструктуре исходного образца наблюдаются участки со сферическими новообразованиями (рис. 3, *a*) диаметром около 0,5 мкм, которые расположены как на поверхности кварцевых зерен, так и в структуре вяжущего компонента, и скреплены между собой пространственной сеткой новообразований, представленной системой CaO-SiO₂(Al₂O₃)-H₂O, которая частично переходит в гелеобразную форму.

После выдерживания образцов в течение 6 месяцев в условиях повышенной влажности наблюдается изменение морфологии сформированных новообразований (рис. 5) в сравнении с исходными образцами (рис. 3). Так, сферических новообразований в микроструктуре материала не наблюдаются. Однако можно отметить увеличение объема и уплотнения пространственной сетки из новообразований, которая также принимает более хорошо окристаллизованный вид, что также способствует более лучшему скреплению частиц заполнителя, и как следствие повышению эксплуатационных характеристик материала.

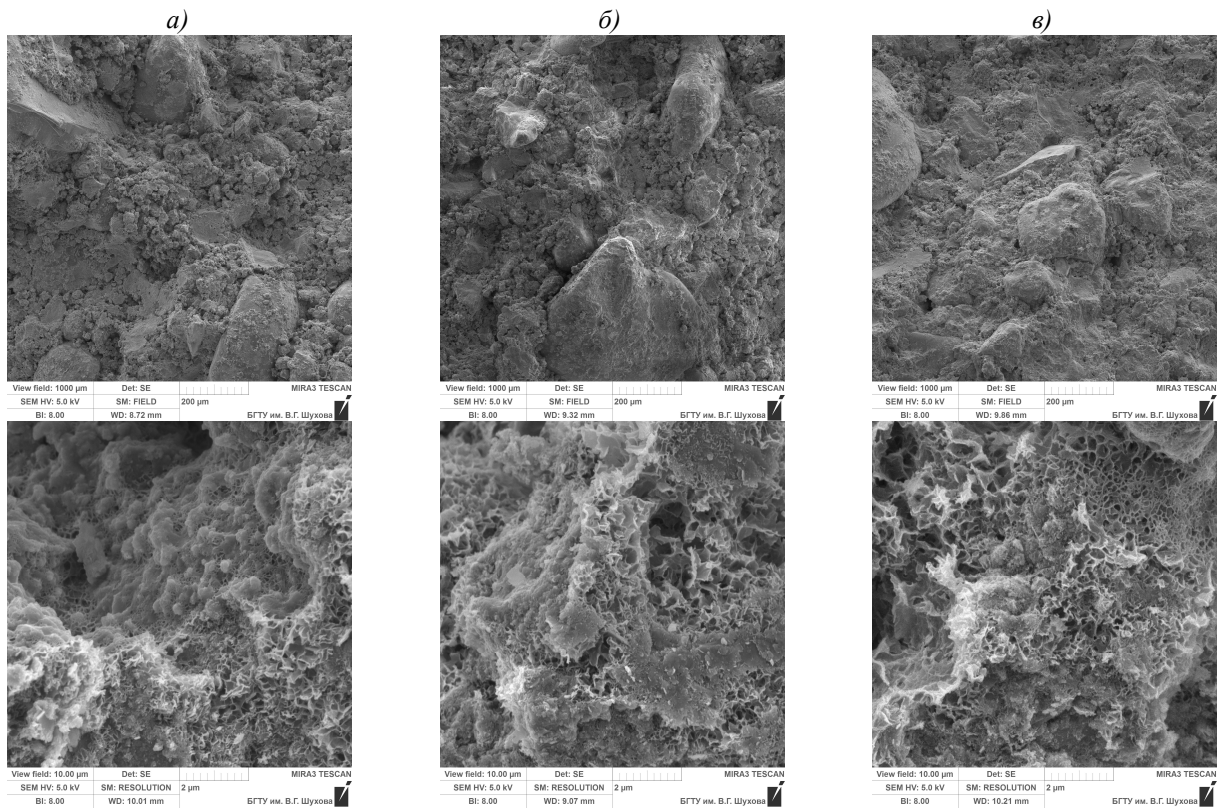


Рис. 3. Микроструктура неавтоклавных силикатных материалов на основе алюмосиликатного вяжущего (CaO – 12 мас. %) и кремнеземистого сырья:
 а – на основе глинистой породы № 1; б – на основе глинистой породы № 2; в – на основе глинистой породы № 3

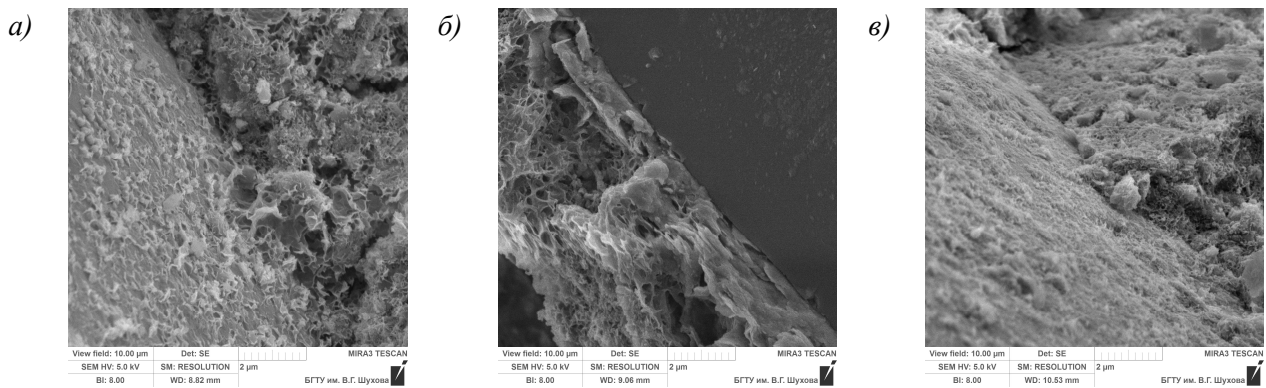


Рис. 4. Контактная зона частиц кварцевого песка с алюмосиликатным вяжущим (CaO – 12 мас. %):
 а – на основе глинистой породы № 1; б – на основе глинистой породы № 2; в – на основе глинистой породы № 3

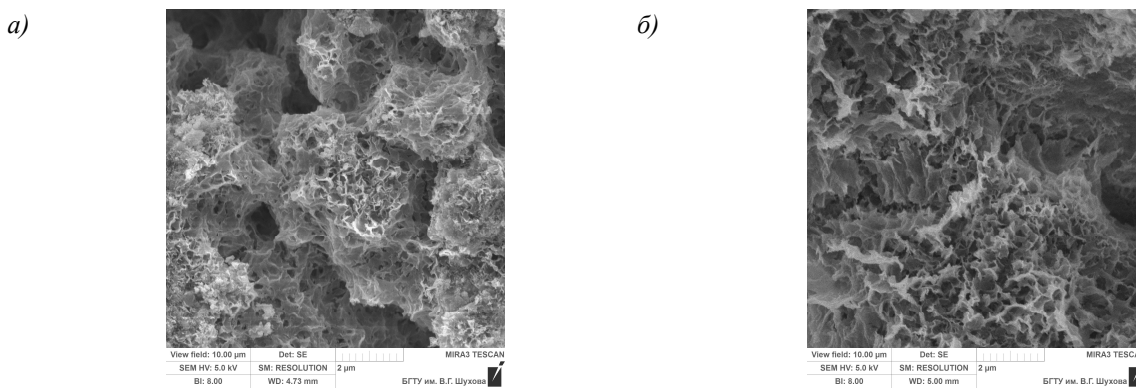


Рис. 5. Кристаллические новообразования в микроструктуре образца на основе алюмосиликатного вяжущего (CaO – 12 мас. %):
 а – глинистая порода № 1; б – глинистая порода № 2

Таким образом, синтезирующиеся первоначальные сферические новообразования, распределенные по всей структуре материала, выступают в виде подложки, на которой в последующем формируются микрокристаллические новообразования, способные к перекристаллизации, что предопределяет оптимизацию структуры композита.

Заключение. Таким образом, с целью создания неавтоклавных силикатных композитов на традиционном кремнеземистом сырье предлагается использование специального алюмосиликатного вяжущего на основе глинистых пород незавершенной стадии минералообразования определенного генезиса и негашеной извести. Рост прочности силикатных материалов в данном случае происходит в результате процесса образования новообразований, синтезирующихся в ходе химической реакции негашеной кальциевой извести с компонентами глинистых пород. Высокая удельная поверхность вяжущего обеспечивает увеличение плотности упаковки материала. За счет особенностей структурообразования системы $\text{CaO-SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)\text{-H}_2\text{O}$ на основе нетрадиционных глинистых пород процесс формирования микроstructures материала, который продолжается и после гидротермальной обработки изделий, придает материалу гидравлические свойства.

Предлагаемые вяжущие и технологии их производств можно реализовать в условиях малого и среднего бизнеса, что позволит получать конкурентоспособные неавтоклавные силикатные материалы с пределом прочности при сжатии до 25 МПа и средней плотностью 1850 кг/м³. Установлено, что необходимые эксплуатационные показатели получаемых изделий достигаются при расходах алюмосиликатного вяжущего более 30 % от всей массы сырьевой смеси. Исходя из значения коэффициента размягчения, рациональной областью применения разработанных композитов будет использование в качестве стенового материала при возведении внутренних несущих стен и перегородок зданий и сооружений.

Источник финансирования. *Исследование выполнено за счет средств Государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы, Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, в рамках Плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН, тема 7.5.1.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brozovsky J. Rebound hammer tests of calcium silicate bricks – effects of internal compressive stress on measurement results // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 595. Pp. 155–158. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.595.155.
2. Starostina Y.L., Plotnikova O.A. Efficient autoclaved silicate concretes with the use of steelmaking slag // *Solid state phenomena*. 2018. Vol. 284. Pp. 956–962. doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.284.956.
3. Nourredine A., Juberthie R. Calcium silicate materials: substitution of hydrated lime by ground granulated blast furnace slag in autoclaving conditions // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2012. Vol. 24(9). Pp. 1230–1236. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000480.
4. Danielle Klimesch, Abhi Ray. Evaluation of phases in a hydrothermally treated $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ system // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2002. Vol. 70(3). Pp. 995–1003. doi: 10.1023/A:1022289111046.
5. 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 $\text{CaO-SiO}_2\text{-D}_2\text{O}$ // *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. 2012. Vol. 58 (2–3). Pp. 84–91. doi: 10.1061/j.pcrystgrow.2012.02.006.
6. Pukharensko 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.
7. Строкова В.В., Сумин А.В., Нелюбова В.В., Шаповалов Н.А. Модифицированное вяжущее с использованием наноструктурированного минерального компонента // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2015. № 3. С. 36–39.
8. Лесовик В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. Вып. 1(100). С. 9–16. doi: 10.22227/1997-0935.2017.1.9-16.
9. Лесовик В.С., Попов Д.Ю., Глаголев Е.С. Текстиль-бетон – эффективный армированный композит будущего // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 81–84. doi: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-746-3-81-84>.
10. 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.
11. Фролова М.А., Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Тутыгин А.С. Алюмосиликатное вя-

жущее на основе сапонит содержащих отходов алмазодобывающей промышленности // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 68–70.

12. Гончарова М.А., Ивашкин А.Н., Симбаев В.В. Разработка оптимальных составов силикатных бетонов с использованием местных сырьевых ресурсов // Строительные материалы. 2016. № 9. С. 6–8.

13. Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Глаголев Е.С., Вишневская Я.Ю. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих с учетом генезиса кремнеземсодержащего компонента. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 91 с.

14. Murtazaev S-A.Y., Zaurbekov Sh.Sh. A.Kh., Saydumov M.S., Murtazaeva T.S-A., Khadzhiyev 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.

15. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 287 с.

16. 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.

17. 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.

18. Володченко А.А., Загороднюк Л.Х., Прасолова Е.О., Чхин Сован. Нетрадиционное глинистое сырье как компонент неорганических дисперсных систем // Вестник МГСУ. 2014. № 9. С. 67–75.

19. Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Glagolev E.S., Chernysheva N.V., Lashina I.V., Feduk R.S. Theoretical backgrounds of non-tempered materials production based on new raw materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 042064. doi:10.1088/1757-899X/327/4/042064.

20. 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.

21. Володченко А.А. Влияние условий эксплуатации на свойства неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 12–20. doi: 10.12737/article_5c1c994ccee958.42995245.

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. Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН. Россия, 127238, Москва, Локомотивный проезд, 21

Поступила в сентябре 2019 г.

© Володченко А.А., 2019

Volodchenko A.A.

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46
Research Institute of Building Physics RAASN
Russia, 127238, Moscow, Lokomotivnyy proyezd, 21
E-mail: alex-0904@mail.ru

WALL SILICATE MATERIALS OF NON-AUTOCLAVE HARDENING WITH THE USE OF SILICA RAW MATERIALS AND ALUMINOSILICATE BINDING BASED ON NON-CONVENTIONAL CLAY ROCKS

Abstract. Among the used building materials, structural autoclave silicate products occupy one of the leading places. The traditional technology of silicate materials uses autoclave processing of products, the main disadvantage of which is the high energy intensity. In order to create non-autoclave silicate composites based on conventional siliceous raw materials, it is proposed to use a special aluminosilicate binder based on clay rocks of the incomplete stage of mineral formation of a certain genesis and quicklime. The strength of

silicate materials is growing as a result of the neoplasm process. They are synthesized in the chemical reaction of quicklime with components of clay rocks when using high pressure and temperature modes in an autoclave, and when steaming with temperatures up to 100 °C. The high specific surface of the aluminosilicate binder provides an increase in the packing density of the material. Due to the structural features of the CaO-SiO₂ (Al₂O₃)-H₂O system based on unconventional clay rocks, the process of formation of the microstructure of the material, which continues and after hydrothermal treatment of the products, gives the material hydraulic properties. The proposed binders and their production technologies can be implemented in small and medium-sized businesses, which will allow to obtain competitive non-autoclave silicate materials with a compressive strength of up to 25 MPa and an average density of 1850 kg/m³.

Keywords: non-autoclave materials, silicate brick, technogenic raw materials, technogenic metasomatism, unconventional clay rocks.

REFERENCES

1. Brozovsky J. Rebound hammer tests of calcium silicate bricks – effects of internal compressive stress on measurement results. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 595. Pp. 155–158. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.595.155.
2. Starostina Y.L., Plotnikova O.A. Efficient autoclaved silicate concretes with the use of steelmaking slag. *solid state phenomena*. 2018. Vol. 284, Pp. 956–962. doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.284.956.
3. Nourredine A., Juberthie R. Calcium silicate materials: substitution of hydrated lime by ground granulated blast furnace slag in autoclaving Conditions. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2012. Vol. 24(9). Pp. 1230–1236. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000480.
4. 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.
5. 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: 10.1061/j.pcrystgrow.2012.02.006.
6. Pukharensko 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.
7. Strokova V.V., Sumin A.V., Nelubova V.V., Shapovalov N.A. Modified binder with application of nanostructured mineral components [Modificirovannoe vjashushhee s ispol'zovaniem nanostrukturovannogo mineral'nogo komponenta]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2015. No. 3. Pp. 36–39. (rus)
8. Lesovik V.S. *Construction Materials. The Present and the Future [Stroitel'nye materialy. nastoyashchee i budushchee]*. Vestnik MGSU. 2017. Vol. 12. Issue 1(100). Pp. 9–16. doi: 10.22227/1997-0935.2017.1.9-16. (rus)
9. Lesovik V.S., Popov D.Ju., Glagolev E.S. Textile-concrete efficient reinforced composite of the future [Tekstil'-beton – jeffektivnyj armirovannyj kompozit budushhego]. *Construction Materials*. 2017. No. 3. Pp. 81–84. doi: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-746-3-81-84> (rus)
10. 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.
11. 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 othodov almazodobyvajushhej promyshlennosti]. *Construction Materials*. 2017. No. 7. Pp. 68–70. (rus)
12. Goncharova M.A., Ivashkin A.N., Simbaev V.V. Development of optimal silicate concrete compositions using local raw materials [Razrabotka optimal'nyh sostavov silikatnyh betonov s ispol'zovaniem mestnyh syrevykh resursov]. *Construction Materials*. 2016. No. 9. Pp. 6–8. (rus)
13. Alfimova N.I., Lesovik V.S., Glagolev E.S., Vishnevskaya Ya.Yu. Optimization of hardening conditions of composite binders taking into account the genesis of the silica-containing component. [Optimizaciya uslovij tverdeniya kompozicionnyh vyazhushchih s uchetom genezisa kremnezem-soderzhashchego komponenta]. Belgorod: BG TU, 2016. 91 p. (rus)
14. Murtazaev S-A.Y., Zaurbekov Sh.Sh. A.Kh., Saydumov M.S., Murtazaeva T.S-A., Khadzhiyev 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.
15. Lesovik V.S. Geonics (geomimetics). Implementation examples in building materials science. [Geonika (geomimetika). Primery realizacii v stroitel'nom materialovedenii]. Belgorod: BG TU, 2016. 287 p. (rus)
16. 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/

17. Volodchenko A.N., Strokovaya 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)

18. Volodchenko A.A., Zagorodnyuk L.Kh., Prasolova E.O., Chin Sovann. Nontraditional Clay Raw Materials as a Component of Inorganic Dispersed Phases [Netraditsionnoe glinistoe syr'e kak komponent neorganicheskikh dispersnykh system]. Vestnik MGSU. 2014. No. 9. Pp. 67–75. (rus)

19. Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Glagolev E.S., Chernysheva N.V., Lashina I.V., Feduk R.S.

Theoretical backgrounds of non-tempered materials production based on new raw materials. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 042064. doi:10.1088/1757-899X/327/4/042064

20. 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 neavtoklavnykh silikatnykh kompozitov s ispol'zovaniem netraditsionnogo syr'ya]. Modern high technologies. 2018. No. 12(2). Pp. 173–178. (rus)

21. Volodchenko A.A. The influence of exploitation conditions on properties of non-autoclaved silicate materials on the basis of alternative raw materials. [Vliyanie usloviy ekspluatatsii na svoystva neavtoklavnykh silikatnykh materialov na osnove netraditsionnogo syr'ya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 12. Pp. 12–20. (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. Research Institute of Building Physics RAASN. Russia, 127238, Moscow, Lokomotivnyy proyezd, 21

Received in September 2019

Для цитирования:

Володченко А.А. Стеновые силикатные материалы неавтоклавного твердения с применением кремнеземистого сырья и алюмосиликатного вяжущего на основе нетрадиционных глинистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 25–34. DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-25-34

For citation:

Volodchenko A.A. Wall silicate materials of non-autoclave hardening with the use of silica raw materials and aluminosilicate binding based on non-conventional clay rocks. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 11. Pp. 25–34. DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-25-34