

НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЕ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОГО ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ – СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ КЕРАМИЧЕСКОГО ЧЕРЕПКА

Л.В. Ильина, Л.Н. Тацки

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Новосибирск, Россия*

В связи с тем, что керамический кирпич остается основным видом стеновых изделий в ряде регионов, в т. ч. в Сибири, остро встает вопрос о качестве глинистого сырья. Низкое качество глинистых пород предопределяет необходимость перехода на выпуск изделий полусухого прессования в сочетании с использованием добавок направленного действия и активации сырья. Новым направлением, позволяющим повысить прочность керамического черепка, является наномодифицирование сырья. Приведен анализ использования нанотехнологий в производстве изделий стеновой керамики. Экспериментально установлено, что добавка в шихту 0,005 мас. % нанокремнезема при оптимальных давлении прессования и температуре обжига позволяет повысить прочность керамического черепка на 32,8 % без изменения средней плотности и водопоглощения.

Ключевые слова: низкокачественное глинистое сырье, нанокремнезем, повышение прочности черепка.

Введение

С конца 2018 года в стране существенно активизировалось жилищное строительство. Положительная динамика сохранилась и в 2019–2020 гг. в связи с введением программы льготной ипотеки и поддержки строительного бизнеса в условиях пандемии. В структуре строительства жилых домов по видам используемых стеновых материалов в 2019 г. первое место принадлежало керамическому кирпичу. Следует отметить, что в Сибирском федеральном округе в 2020 г. его доля составляла более 60 %. Автор связывает это с увеличением объемов строительства индивидуальных жилых домов и ростом спроса на качественные стеновые изделия [1].

Известно, что большая часть глинистых пород Западно-Сибирской низменности содержит незначительное количество глинистых и высокое – пылеватых частиц [2–4]. Это является причиной высокой чувствительности сырья к сушке и склонности к трещинообразованию при выполнении этой технологической операции. Поэтому рекомендуется развивать технологию полусухого прессования кирпича с применением на стадии подготовки сырья измельчительно-сушильной установки (ИСУ), разработанной ООО «Баскей» с производительностью 25 т/ч по исходному сырью [5].

В пользу технологии полусухого прессования говорят также экономические соображения: отсутствие сушилок, парка сушильных вагонеток, автоматов укладчиков и разгрузчиков сырья.

При использовании для производства кирпича сырья с низким содержанием глинистых фракций важной задачей является повышение прочности керамического черепка. Достижение

подобного результата возможно различными способами:

- использование добавок направленного действия: плавней с повышенным содержанием RO и R_2O (диопсид, диабаз) или силикатного состава (нефелин-сиенит, оконное стекло), а также микроармирующего компонента (воластонит) [6–8];
- механо-термической и ударно-волновой активацией глинистого сырья [9];
- применением наномодифицирующих добавок.

Известно, что малые частицы нанодобавок имеют очень большую поверхность: 1 г вещества, состоящего из наночастиц, покрывает 400 м². На поверхности все атомы содержат много ненасыщенных связей, вследствие чего они гиперконтактны [10].

В зарубежных публикациях 2005–2007 гг. указывается, что по имеющимся оценкам едва ли найдется другая область науки, получившая в глобальном масштабе столь значительные государственные инвестиции за столь короткий период времени [11, 12]. Это, безусловно, оказало положительное влияние на развитие нанотехнологий в Европе и США.

Начало применения приставки «нано» в работах, опубликованных в журнале «Строительные материалы», положено в 2006 г. Вплоть до 2014 г. опубликовано около 200 статей и сделан вывод о том, что нанотехнологии в стране находятся в стадии становления [13]. Отечественной промышленностью в настоящее время освоен выпуск нанокремнезема и наноглинозема. Следует отметить, что в мире больше всего производится нано- SiO_2 – 40 % от общего объема выпуска нанопорошков [10].

В работе [14] решалась задача проверить эффективность использования аморфного кремнезема с различной удельной поверхностью после обжига композиций на основе глинистого сырья различного минерального состава. В качестве кремнегеля служил отход производства суперфосфатных заводов. Установлено, что наибольшую прочность имеют обожженные при 1000 °С образцы из гидрослюдисто-монтмориллонитового суглинка Калининского месторождения. Добавление к композиции минерализатора NaCl способствует повышению прочности обожженного материала.

Поскольку структура глинистых минералов складывается из параллельных слоев кремнекислородных тетраэдров и катион-кислородных октаэдров, модифицировать алюмосиликатные композиции целесообразно наноразмерными оксидами не только кремния, но и алюминия. Так, прочность при сжатии образцов из бентонитовой глины, обожженных при 1000 °С, составила 20 МПа, а с добавками 0,1 % кремнезоля и 0,1 % гидрозолья оксида алюминия – 25 МПа, т. е. на 25 % больше [15].

Показана также зависимость пластичности суглинка Калининского месторождения, упомянувшегося в статье [14], от добавки 0,1 мас. % гидрозолья Al_2O_3 : повышение числа пластичности составило 20 %.

В публикации [16] приведены результаты, показавшие, что повышения прочности керамического черепка можно достичь введением в состав отхода гальванического производства, содержащего, как известно, значительное количество оксида алюминия.

Автор [17] исследовал влияние на прочность керамического черепка добавок отхода гальванического производства и подмыльного щелока. Введение последнего увеличивает содержание в обожженном материале стекломассы. В кристаллической фазе черепка обнаружены иголки муллита, армирующие композицию.

В публикации [18] предлагается обработка материалов сверхвысокочастотными электромагнитными колебаниями (СВЧ) с целью улучшения их свойств. Разработана лабораторная установка с помощью излучения 800 Вт и рабочей частотой 2,45 ГГц. Сделан вывод о том, что применение СВЧ-электромагнитной энергии целесообразно по следующим показателям:

- 1) бесконтактный экологически чистый подвод энергии;
- 2) высокий КПД преобразования СВЧ-обработки в тепловую энергию с высокой интенсивностью.

Выполненные в [19, 20] исследования показали, что обработка бентонитовой глины и кварцевого песка полем СВЧ с последующей добавкой в шихту модификатора на основе оксида алюминия меняют технологические характеристики водных суспензий. Прочность отформованных из них и обожженных образцов возрастает в 1,5 раза. Автор

делает вывод о том, что для получения строительной керамики можно использовать глинистое сырье с высоким содержанием кварца и монтмориллонитовой составляющей, а в качестве модифицирующей добавки применять отход гальванического производства.

Выполненный литературный обзор позволяет сделать следующие выводы:

1. Керамический кирпич остается основным стеновым материалом для жилищного строительства в Сибири.

2. Поскольку месторождения качественного глинистого сырья оказались за пределами России, предприятия, выпускающие керамический кирпич, вынуждены ориентироваться на низкокачественные местные глинистые породы.

3. Низкое качество сырья предполагает необходимость развивать технологию полусухого прессования как наиболее экономичную и отвечающую сложившейся ситуации.

4. При использовании сырья с низким содержанием глинистых фракций возникает задача повышения прочности керамического черепка. Известно, что большинство предприятий выпускают пустотелый кирпич, что также способствует понижению прочности.

5. Новым направлением для повышения прочности является использование наномодифицирующих добавок. Особенностью наночастиц является присущая им громадная поверхность и наличие на ней множества ненасыщенных связей, определяющих их гиперпластичность.

6. Отечественной промышленностью освоен выпуск порошков нанокремнезема и наноглинозема.

7. Исследования показали, что обработка глинистого сырья полем СВЧ с последующей добавкой в шихту модификатора на основе оксида алюминия позволяет существенно повысить прочность обожженного материала.

8. Для получения строительной керамики можно использовать глинистое сырье с высоким содержанием кварца и монтмориллонитовой составляющей, а в качестве модификатора применять любой продукт с большим количеством Al_2O_3 , в т. ч. отход производства.

Целью работы явилась необходимость апробирования способа наномодифицирования низкокачественного глинистого сырья гелем нанокремнезема на типичной глинистой породе Западной Сибири.

1. Методы исследования

Гранулометрический состав сырья определялся методом Б.И. Рутковского, основанным на способности глинистых частиц набухать в воде и на различной скорости оседания частиц в воде в зависимости от их размера. Тип породы устанавливался по тройной диаграмме В.В. Охотина.

Химический состав сырья определялся силикатным анализом. Минеральный состав исследовался комплексным термическим и рентгенофазовым ана-

лизами. Термический анализ выполнен на термоанализаторе NETZSCH STA 449F1 в аргоне, скорость съемки 10 °С/мин. Рентгенограмма снята на порошковом дифрактометре D8 Advance (Bruker AXS, Германия) безэталонным методом Ритвельда. Технологические свойства глинистой породы определялись в соответствии с требованиями ГОСТ 21216-2014 «Сырье глинистое. Методы испытаний».

Технология изготовления образцов полусухого прессования заключалась в следующем. Высушенное глинистое сырье подвергалось помолу в шаровой мельнице в течение 2 часов (механоактивация). Приготавливался водный раствор добавки нано-SiO₂ и вводился в глинистое сырье из расчета обеспечения влажности пресс-порошка 12 мас. %. Затем пресс-порошок протирался через сито с диаметром отверстий 1,25 мм (имитация процесса грануляции), расфасовывался на пробы по 70 г, из которых при заданных условиях прессовались образцы-цилиндры диаметром 40 мм. Давление прикладывалось двухстадийно: первая стадия – давление составляло 50 % от требуемого, а на второй стадии оно поднималось до заданной максимальной величины. Отпрессованные образцы подвергались сушке: 3 суток под влажной тканью, затем 1 сутки в комнатных условиях и далее в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С. Обжиг осуществлялся в лабораторной муфельной печи в течение 8 часов с выдержкой при максимальной температуре 1 час.

Вещественный состав керамического черепка изучался рентгенофазовым анализом. Рентгенограммы получены на порошковом дифрактометре D8 Advance (BrukerAXS, Германия). Количественный анализ проверен методом Ритвельда (безэталонный метод), расчет выполнен в программе Toras 4.2 (BrukerAXS, Германия).

Для обожженных образцов определялись средняя плотность, предел прочности при сжатии, водопоглощение за 8 ч водонасыщения и коэффициент конструктивного качества, который вычислялся по формуле:

$$KKK = \frac{R_{сж}}{\rho_m},$$

где $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа; ρ_m – средняя плотность, г/см³.

Сырьевые материалы

В табл. 1 приведены результаты определения гранулометрического состава глинистого сырья месторождений, являющихся сырьевой базой кирпичных заводов г. Новосибирска [2].

Приведенные результаты показывают высокое содержание пылеватых частиц в сырье всех месторождений (65,6–75,2 об. %).

В настоящей работе в качестве глинистого сырья использована порода Верх-Тулинского месторождения, являющаяся сырьевой базой кирпичного завода «Ликолор» г. Новосибирска. Ее химический состав приведен в табл. 2.

Расшифровку дифрактограмм осуществляли по [21]. По минеральному составу порода полиминеральная: основным глинистым минералом являются гидрослюда, второстепенными – монтмориллонит, каолинит и хлорит. В качестве примесей установлены: кварц, альбит, полевошпат, кальцит, слюда. На рисунке приведена дифрактограмма глинистой породы Верх-Тулинского месторождения, по которой получена наиболее полная информация о минеральном составе сырья, в табл. 3 – ее дифракционные характеристики.

В соответствии с ГОСТ 9169-75 глинистая порода относится к группе кислого сырья ($Al_2O_3^* < 14$ мас. %). Ввиду высокого содержания красящего оксида Fe₂O₃ керамический черепок после обжига имеет красную окраску. Высокое содержание оксида CaO характеризует породу как закорбанизованную. По классификации с ГОСТ 9169-75 сырье умереннопластичное (число пластичности – 13).

При температуре обжига 1000 °С образцы полусухого прессования имели следующие физико-механические свойства: средняя плотность – 1810 кг/м³, предел прочности при сжатии – 28,4 МПа, водопоглощение за 48 ч водонасыщения – 14,1 мас. %. В соответствии с ГОСТ 21216-2017 «Сырье глинистое. Методы испытаний» порода является легкоплавкой и неспекающейся.

Таблица 1

Гранулометрический состав сырья

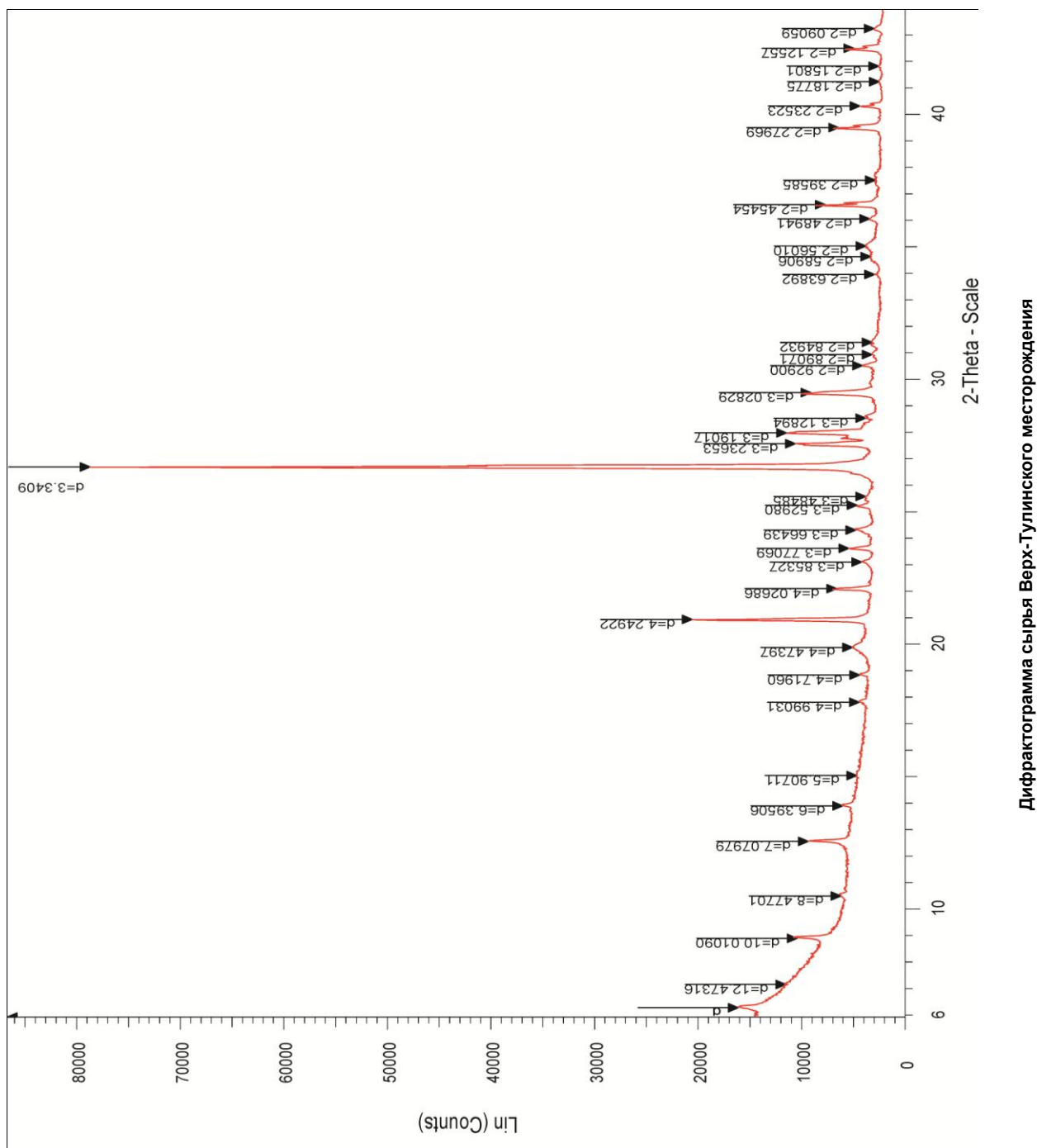
Месторождение сырья	Гранулометрический состав, % по объему			Тип сырья
	50–100 мкм	5–50 мкм	< 5 мкм	
Верх-Тулинское	10,17	71,70	18,13	Суглинок средний пылеватый
Каменское	24,30	65,60	10,10	Суглинок легкий пылеватый
Клещихинское	18,00	75,20	6,80	Супесь легкая пылеватая

Таблица 2

Химический состав глинистой породы

Содержание оксидов, мас. % на сухое вещество								Al ₂ O ₃ *
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	п.п.п.	
62,81	12,52	4,68	5,96	2,50	3,69	0,10	7,74	13,83

Примечание. Al₂O₃* – содержание оксида в расчете на прокаленное вещество.



Дифракционные характеристики глинистой породы Верх-Тулинского месторождения

Наименование минерала	Межплоскостные расстояния, d/n, Å
Гидрослюда	10,011; 4,990; 3,341; 3,236; 3,128; 2,891; 2,589; 2,396; 2,279; 2,188; 2,126
Монтмориллонит	12,473; 6,395; 2,639; 2,560; 2,396
Каолинит	7,079; 4,474; 3,485; 2,489
Хлорит	14,243; 4,719
Кварц	4,249; 3,664; 3,341; 2,279; 2,235; 2,126
Альбит	4,0269; 3,529
Полевой шпат	3,853; 3,771; 3,664; 3,236; 2,849; 2,235
Слюда	10,011; 5,907; 4,990; 3,341; 2,929; 2,560; 2,158
Кальцит	3,029; 2,454; 2,279; 2,091

В качестве наномодифицирующей добавки использовался кремнезоль «Лейксил 30» производства научно-технического центра «Компас» (г. Казань) [22]. В табл. 4 приведены физико-технические характеристики этой нанодобавки.

Таблица 4
Физико-технические характеристики «Лэйксил-30» [22]

№ п/п	Наименование показателя	Величина
1	pH, ед. pH	10,0
2	SiO ₂ , мас. %	28,4
3	Na ₂ O, мас. %	0,361
4	Вязкость при 20 °С, сСт	5,08
5	Плотность, г/см ³	1,202

2. Результаты экспериментов

Экспериментально установлено, что оптимальной дозировкой геля нанокремнезема является 0,005 мас. %. В табл. 5 представлены результаты испытания обожженных образцов с наномодифицирующей добавкой и без нее.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- введение геля нанокремнезема «Лейксил-30» в оптимальной дозировке 0,005 мас. % позволило повысить прочность обожженных образцов

на 32,8 % по сравнению с бездобавочным составом при прессовании образцов под давлением 25 МПа и обжиге при температуре 1050 °С; при этих условиях получено минимальное водопоглощение 13,1 мас. % и максимальный ККК = 25,45;

- на предел прочности при сжатии керамического черепка влияет как давление прессования, так и температура обжига; при оптимальной температуре обжига 1050 °С повышение давления прессования с 15 до 25 МПа увеличило прочность при сжатии на 15 %;

- использование геля нанокремнезема практически не влияет на среднюю плотность керамического черепка;

- при оптимальных технологических параметрах водопоглощение черепка как с добавкой, так и без нее близки (13,1 и 13,5 мас. %).

В табл. 6 представлен количественный фазовый состав керамического черепка.

Образцы имеют сложный фазовый состав. Основными фазами являются кварц, анортит, полевой шпат, гематит. В образцах 2, 3 и 6 обнаружено присутствие примесной фазы, возможно нефелина. Обращает на себя внимание высокое содержание во всех образцах анортита, который повышает прочность керамического черепка [23]. Однако содержание это-

Таблица 5

Свойства обожженных образцов

№ состава	Давление прессования, МПа	Температура обжига, °С	Количество добавки, % мас.	Наименование показателя				
				Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Увеличение прочности по отношению к бездобавочным составам	Водопоглощение за 48 ч, мас. %	Коэффициент конструктивного качества
1	15	950	0,005	1807	37,5	25,8	14,9	20,75
2	25	950	0,005	1818	40,2	18,9	14,8	22,11
3	15	1050	0,005	1803	40,2	24,8	14,8	22,30
4	25	1050	0,005	1819	46,3	32,8	13,1	25,45
5	15	950	0	1813	29,8	–	14,2	16,44
6	25	950	0	1804	33,8	–	14,7	18,74
7	15	1050	0	1805	32,2	–	14,1	17,84
8	25	1050	0	1810	34,9	–	13,5	19,28

Таблица 6

Количественный фазовый состав керамического черепка

№ образца	SiO ₂ кварц	K. 5 Na. 5 AlSi ₃ O ₈ полевой шпат	Ca{Al ₂ Si ₂ O ₈ } анортит	Fe ₂ O ₃ гематит	Na _{6,8} (Al _{6,3} Si _{9,7} · O ₃₂) нефелин
1	42	21	33	4	–
2	47	17	32	4	+
3	47	19	31	3	+
4	43	21	32	4	–
6	46	19	31	4	+
8	43	20	34	3	–

го минерала во всех образцах примерно одинаково, а прочность при сжатии керамического черепка образца № 4 самая высокая (см. табл. 5). Причиной этого следует считать влияние нанокремнезема.

Заключение

1. По данным литературного обзора в 2020 г. доля керамического кирпича в Сибирском федеральном округе составляла более 60 %.

2. Отсутствие в регионе высококачественного глинистого сырья для производства кирпича пластического формования вынуждает развивать технологию полусухого прессования, предусматривая мероприятия по снижению чувствительности глинистых пород к сушке и повышению прочности керамического черепка.

3. Одним из современных способов повышения прочности керамического черепка является модифицирование сырья нанодобавками.

4. Эксперименты выполнялись на суглинке среднем пылеватом Верх-Тулинского месторождения, являющемся сырьевой базой кирпичного завода «Ликолор» г. Новосибирска.

5. В качестве модифицирующей добавки использован гель нанокремнезема «Лейксил-30».

6. Показано, что наномодифицирование сырья гелем нанокремнезема позволяет повысить прочность при сжатии обожженного черепка на 32,8 % без изменения средней плотности и водопоглощения.

7. Оптимальными технологическими параметрами являются: содержание добавки геля нанокремнезема 0,005 мас. %, давление прессования 25 МПа, температура обжига 1050 °С.

8. При оптимальной температуре обжига 1050 °С повышение давления прессования с 15 до 25 МПа увеличило прочность керамического черепка с 40,2 до 46,3 МПа, т. е. на 15 %.

Целесообразно, на наш взгляд, продолжение исследований в следующих направлениях:

1. В публикации [6] утверждалась необходимость индивидуального подхода к каждой глинистой породе. В связи с этим интересно было бы апробировать добавку геля нанокремнезема на сырье с более низким, чем у Верх-Тулинского месторождения, содержанием глинистых частиц, например Клешихинского (см. табл. 1).

2. С научной точки зрения было бы интересно исследовать, как влияет нанодобавка геля кремне-

зема на глинистые минералы, входящие в состав сибирских глинистых пород (каолинит, гидрослюда, монтмориллонит).

3. Изучить влияние на свойства керамического черепка модификации гелями наноглинозема, в т. ч. совместно с нанокремнеземом.

4. Учитывая то, что сибирские глинистые породы относятся к неспекающемуся сырью, целесообразно апробировать введение в шихты наряду с наномодификаторами добавок-плавней силикатного состава (нефелин-сиенита, молотого стекла).

5. Необходимо провести испытание на морозостойкость.

Литература

1. Семёнов, А.А. Российский рынок керамического кирпича. Тенденции и перспективы развития / А.А. Семёнов // Строительные материалы. – 2020. – № 12. – С. 4–5.
2. Тацки, Л.Н. Вещественный состав и технологические свойства глинистого сырья для производства кирпича в Западной Сибири / Л.Н. Тацки, Л.В. Ильина, Т.Е. Шоева // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 3 (48). – С. 32–44.
3. Фомина, О.А. Анализ глинистого сырья для производства строительной керамики / О.А. Фомина, А.Ю. Столбоушкин, Д.В. Акст // Повышение качества и эффективности строительных и специальных материалов. – Новосибирск, 2019. – С. 82–89.
4. Столбоушкин, А.Ю. Особенности глинистого сырья Западной Сибири как сырьевой базы строительной керамики / А.Ю. Столбоушкин, О.А. Фомина // Вестник Тувинского гос. ун-та. технич. и физ.-мат. науки. – 2019. – № 3. – С. 27–36.
5. Гуров, Н.Г. Инновационные направления технологической и аппаратной реконструкции заводов полусухого прессования / Н.Г. Гуров, О.Е. Гурова, Г.И. Стороженко // Строительные материалы. – 2013. – № 12. – С. 52–55.
6. Тацки, Л.Н. Технологические принципы повышения качества керамического кирпича полусухого прессования из низкокачественного сырья / Л.Н. Тацки, Л.В. Ильина, Н.С. Филлин // Известия вузов. Строительство. – 2019. – № 7. – С. 35–48.

7. Ильина, Л.В. Керамический кирпич на основе низкокачественного глинистого сырья с добавкой отходов ферросиликомарганца / Л.В. Ильина, Л.Н. Тацки, Л.А. Барышок // *Строительство и реконструкция*. – 2021. – № 2 (94). – С. 96–104.
8. Тацки, Л.Н. Влияние состава шихты из низкокачественного сырья на свойства осветленного керамического черепка / Л.Н. Тацки, Л.В. Ильина // *Строительство и реконструкция*. – 2020. – № 2 (88). – С. 114–122.
9. Тацки, Л.Н. Пути повышения качества керамического кирпича на основе низкокачественного местного сырья / Л.Н. Тацки, Е.В. Машкина // *Актуальные вопросы строительства*. – Новосибирск, 2014. – С. 209.
10. Кузьмина, В.П. Нанодиоксид кремния. Применение в строительстве / В.П. Кузьмина // *Сухие строительные смеси*. – 2016. – № 5. – С. 8–11.
11. PCAST. The national nanotechnology initiative at five years: Assessment and recommendations of the National Nanotechnology Advisory Board. PCAST. 2005.
12. Roco, M.C. National nanotechnology initiative: Past, present and future / M.C. Roco // *Handbook on nanoscience, engineering and technology*. Ed. Goddard, W.A. et al. CRC, Taylor and Francis, Boca Raton and London, 2007. – P. 3.1–3.26.
13. Королев, Е.В. Нанотехнология в строительном материаловедении. Анализ состояния и достижений, пути развития / Е.В. Королев // *Строительные материалы*. – 2014. – №11. – С. 47–49.
14. Женжурист, И.А. Эффективность использования техногенного аморфного кремнезема в качестве активатора спекания полиминерального глинистого сырья / И.А. Женжурист, И.Р. Мусин // *Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России*. – Новокузнецк, 2019. – С. 152–155.
15. Женжурист, И.А. Перспективные направления наномодифицирования в строительной керамике // *Строительные материалы*. – 2014. – № 4. – С. 36–39.
16. Женжурист, И.А. Перспективы нано- и энергомодифицирования сырьевых композиций из низкосортного глинистого сырья и отходов производства в строительной керамике / И.А. Женжурист // *Ресурсы и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении*. – Новосибирск, 2016. – С. 131–136.
17. Мавлюбердинов, А.Р. К вопросу изучения механизма повышения прочности пористого керамического черепка при введении химических добавок / А.Р. Мавлюбердинов // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2013. – № 4 (26). – С. 228–232.
18. Филиппов, В.А. Перспективные технологии обработки материалов сверхвысококачественными электромагнитными колебаниями / В.А. Филиппов, Б.В. Филиппов // *Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева*. – 2012. – № 4. – С. 181–184.
19. Женжурист, И.А. Микроволновая обработка полей СВЧ с модификаторами на основе оксида алюминия / И.А. Женжурист // *Стекло и керамика*. – 2015. – № 7. – С. 39–43.
20. Женжурист, И.А. Влияние микроволновой энергии на фазовые преобразования алюмосиликатов и свойства материалов на их основе / И.А. Женжурист // *Неорганические материалы*. – 2018. – Т. 54. – № 9. – С. 924–928.
21. Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов / В.И. Михеев. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр. – 1958. – 862 с.
22. Влияние pH среды кремнезема на прочность цементных систем / Н.М. Красникова, В.Г. Хозин, З.Ф. Иксанова и др. // *Вестник Технологического университета*. – 2018. – Т. 21. – № 12. – С. 72–74.
23. Химическая технология керамики / под ред. И.Я. Гузмана. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2003. – С. 34.

Ильина Лилия Владимировна, доктор технических наук, профессор, советник РААСН, Институт цифровых и инженерных технологий, директор, профессор кафедры строительных материалов, стандартизации и сертификации, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (Новосибирск), nsklika@mail.ru

Тацки Людмила Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов, стандартизации и сертификации, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (Новосибирск), nsklika@mail.ru

Поступила в редакцию 28 февраля 2022 г.

NANOMODIFICATION OF LOW-QUALITY CLAY RAW MATERIALS: A METHOD FOR INCREASING THE STRENGTH OF A CERAMIC SHARD

L.V. Ilina, nsklika@mail.ru

L.N. Tatski, nsklika@mail.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

Due to the fact that ceramic bricks remain the main type of wall products in a number of regions, including Siberia, the question regarding the quality of clay raw materials arises. Low quality of clayey rocks facilitates the need to switch to the production of semi-dry pressing products in combination with the use of additives of directional action and activation of raw materials. A new field that makes it possible to increase the strength of a ceramic shard is the nanomodification of raw materials. The analysis of the use of nanotechnologies in the production of wall ceramics is given. It has been experimentally established that the addition of 0.005 wt. % nanosilica at optimal pressing pressure and firing temperature allows to increase the strength of the ceramic shard by 32.8% without changing the average density and water absorption.

Keywords: low-quality clay raw materials, nanosilica, increasing the strength of the shard.

References

1. Semenov A.A. [Russian market of Ceramic Bricks. Trends and Development Prospects]. *Stroitel'nyye materialy* [Building Materials], 2020, no. 12, pp. 4–5. (in Russ.)
2. Tatski L.N., Ilina L.V., Shoyeva T.E. [Material Composition and Technological Properties of Clay Raw Materials for the Production of Bricks in Western Siberia]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction], 2021, no. 3 (48), pp. 32–44. (in Russ.)
3. Fomina O.A., Stolboushkin A.Yu., Akst D.V. [Analysis of Clay Raw Materials for the Production of Building Ceramics]. *Povyshenie kachestva i effektivnosti stroitel'nykh i spetsial'nykh materialov. Sbornik Natsional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Improving the Quality and Efficiency of Construction and Special Materials. Collection of the National Scientific and Technical Conference with International Participation]. Novosibirsk, 2019, pp. 82–89. (in Russ.)
4. Stolboushkin A.Yu., Fomina O.A. [Features of Clay Raw Materials of Western Siberia as a Raw Material Base for Building Ceramics]. *Vestnik Tuvinskogo gos. un-ta. tekhnich. i fiz.-mat. nauki* [Bulletin of the Tuva State University. University Tech. and Phys.-Math. Sciences], 2019, no. 3, pp. 27–36. (in Russ.)
5. Gurov N.G., Gurova O.E., Storozhenko G.I. [Innovative Directions of Technological and Apparatus Reconstruction of Semi-Dry Pressing Plants]. *Stroitel'nyye materialy* [Building Materials], 2013, no. 12, pp. 52–55. (in Russ.)
6. Tatski L.N., Ilina L.V., Filin N.S. [Technological Principles for Improving the Quality of Semi-Dry Pressed Ceramic Bricks from Low-Quality Raw Materials]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [Proceedings of Universities. Construction], 2019, no. 7, pp. 35–48. (in Russ.)
7. Ilina L.V., Tatski L.N., Baryshok L.A. [Ceramic Brick Based on Low-Quality Clay Raw Materials with the Addition of Ferrosilicomanganese Waste]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction], 2021, no. 2 (94), pp. 96–104. (in Russ.)
8. Tatski L.N., Ilina L.V. [Influence of the Composition of the Charge from Low-Quality Raw Materials on the Properties of a Clarified Ceramic Shard]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction], 2020, no. 2 (88), pp. 114–122. (in Russ.)
9. Tatski L.N., Mashkina E.V. [Ways to Improve the Quality of Ceramic Bricks Based on Low-Quality Local Raw Materials]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [Proceedings of Universities. Construction]. Novosibirsk, 2014, no. 4 (664), p. 64–67. (in Russ.)
10. Kuz'mina V.P. [Nano Silicon Dioxide. Application in Construction]. *Sukhiye stroitel'nyye smesi* [Dry Building Mixtures], 2016, no. 5, pp. 8–11. (in Russ.)
11. [PCAST. The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Board]. PCAST, 2005.
12. Roco M.C. Goddard W.A. (Ed.) [National Nanotechnology Initiative: Past, Present and Future. Handbook on Nanoscience, Engineering and Technology]. Taylor and Francis, Boca Raton and London, CRC Publ., 2007, pp. 3.1–3.26.
13. Korolev E.V. [Nanotechnology in Building Materials Science. Analysis of the State and Achievements, Ways of Development]. *Stroitel'nyye materialy* [Building Materials], 2014, no. 11, pp. 47–49. (in Russ.)

14. Zhenzhurist I.A., Musin I.R. [Efficiency of Using Technogenic Amorphous Silica as a Sintering Activator of Polymineral Clay Raw Materials]. *Aktual'nye voprosy sovremennogo stroitel'stva promyshlennykh regionov Rossii* [Topical Issues of Modern Construction of Industrial Regions of Russia]. Novokuznetsk, 2019, pp. 152–155. (in Russ.)
15. Zhenzhurist I.A. [Perspective Directions of Nanomodification in Building Ceramics]. *Stroitel'nyye materialy* [Building Materials], 2014, no. 4, pp. 36–39. (in Russ.)
16. Zhenzhurist I.A. [Prospects for Nano- and Energy Modification of Raw Compositions From Low-Grade Clay Raw Materials and Production Waste in Building Ceramics]. *Resursy i resursosberegajushhie tehnologii v stroitel'nom materialovedenii* [Resources and Resource-Saving Technologies in Building Materials Science]. Novosibirsk, 2016, pp. 131–136. (in Russ.)
17. Mavlyuberdinov A.R. [On the Issue of Studying the Mechanism of Increasing the Strength of a Porous Ceramic Shard with the Introduction of Chemical Additives]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2013, no. 4 (26), pp. 228–232. (in Russ.)
18. Filippov V.A., Filippov B.V. [Perspective Technologies for Processing Materials with Ultrahigh-Frequency Electromagnetic Oscillations]. *Vestnik ChGPU im. I.Ya. Yakovleva* [Bulletin of ChGPU im. I.Ya. Yakovlev], 2012, no. 4, pp. 181–184. (in Russ.)
19. Zhenzhurist I.A. [Microwave Processing by a Microwave Field with Modifiers Based on Aluminum Oxide]. *Steklo i keramika* [Glass and Ceramics], 2015, no. 7, pp. 39–43. (in Russ.)
20. Zhenzhurist I.A. [Influence of Microwave Energy on Phase Transformations of Aluminosilicates and Properties of Materials Based on Them]. *Neorganicheskiye materialy* [Inorganic Materials], 2018, vol. 54, no. 9, pp. 924–928. (in Russ.)
21. Mikheyev V.I. *Rentgenometricheskii opredelitel' mineralov* [X-ray Determinant of Minerals]. Moscow, Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo literatury po geologii i okhrane nedr Publ., 1958. 862 p.
22. Krasnikova N.M., Khozin V.G., Iksanova Z.F. [Influence of the pH of the Silica Sol Medium on the Strength of Cement Systems]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2018, vol. 21, no. 12, pp. 72–74. (in Russ.)
23. Guzman I.Ya. (Ed.). *Khimicheskaya tekhnologiya keramiki* [Chemical Technology of Ceramics]. Moscow, LLC RIF Stroymaterialy Publ., 2003. 34 p.

Received 28 February 2022

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Ильина, Л.В. Наномодифицирование низкокачественного глинистого сырья – способ повышения прочности керамического черепка / Л.В. Ильина, Л.Н. Тацки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 28–36. DOI: 10.14529/build220204

FOR CITATION

Ilina L.V., Tatski L.N. Nanomodification of Low-Quality Clay Raw Materials: A Method for Increasing the Strength of a Ceramic Shard. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2022, vol. 22, no. 2, pp. 28–36. (in Russ.). DOI: 10.14529/build220204
