

DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-4-17-25

Ушницкая Н.Н., Местников А.Е.Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова***E-mail: ushnitskaya.97@mail.ru*

СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА, АРМИРОВАННАЯ СТЕКЛОВОЛОКНОМ ИЗ ОТХОДОВ УТИЛИЗАЦИИ МИНЕРАЛОВАТНЫХ ПЛИТ

Аннотация. Перспективным направлением является создание матричной структуры строительной керамики способом полусухого прессования, где имеется возможность использования широкого круга некондиционных сырьевых материалов на основе природного и техногенного сырья. В статье приведены результаты исследования по повышению прочности керамического кирпича из низкокачественного глинистого сырья за счет объемного армирования с использованием стекловолокна из отходов утилизации минераловатных изделий. В качестве добавки опробованы стеклянные и базальтовые волокна. Максимальный эффект повышения прочности армированной керамики наблюдается у образцов с добавкой базальтовых волокон. Прочность на сжатие 24,74 МПа обожженного образца достигается при введении добавки из базальтового волокна 3,0 % по массе. При этом повышение прочности от значения контрольного образца составляет 45,6 %. Отмечены достаточно высокие прочностные показатели сырьевых материалов: без добавки - 13,8 МПа, с добавкой 3,2 % мас. стеклянного волокна - 16,7 МПа, с добавкой 3,0 % мас. базальтового волокна - 19,6 МПа. Показано влияние способа уплотнения на прочность конечной продукции на основе глинистых смесей с добавкой 3,0 % мас. базальтового волокна: полусухое прессование - 24,7 МПа, пластическое формование - 12,9 МПа и вибро-ударное формование - 11,2 МПа.

Ключевые слова: глинистое сырье низкого качества, полусухое прессование, объемное армирование, стекловолокно, повышение прочности, строительная керамика.

Введение. Целесообразность использования способа полусухого прессования в производстве керамического кирпича из низкокачественного глинистого сырья остается актуальной и на сегодняшний день [1–5]. К числу основных преимуществ полусухого прессования, как обычно, причисляют возможность использования малопластичного природного сырья и техногенных отходов, сокращение или отсутствие цикла сушки из-за малой начальной влажности шихты (8–12 % мас.), к недостаткам – высокая плотность и недостаточная морозостойкость выпускаемой продукции. Расширение сырьевой базы предусматривается за счет использования малопластичных суглинков, опал-кристаллитовых и других кремнеземсодержащих пород, а также минерального, алюмосиликатного техногенного сырья [6–10]. Перспективным направлением является идея создания матричной структуры керамики, состоящей из двух частей: ядра из недоспеченного материала и плотно спеченной оболочки [3, 4]. В матричных композитах различают 3 вида: армированные волокном, частицами и сплошным стеклом [11–13]. Научно-практический интерес представляют особенности создания армированной керамики. Как известно, объемное армирование фиброволокном широко используется для повышения прочности бетонов. В работах [14, 15] предложен принцип использования стекловолокна в составе керамической массы, не допускающий его расплавления в процессе обжига. Как

показывает патентный поиск, в технологии армированной керамики, в основном, используются базальтовые волокна, имеющие более высокий уровень оплавления при обжиге (1000–1050 °С). В ранге эффективных теплоизоляционных материалов в условиях холодного климата широко используются минераловатные плиты, отличающиеся разнообразием стекловолокон в зависимости от исходного сырья (стекловатные, минераловатные, базальтовые). Началом их широкомасштабного применения следует отметить 1995 год, когда были приняты повышенные требования к уровню тепловой защиты зданий [16]. В этот же период было начато строительство многоквартирных зданий из монолитных железобетонных конструкций с навесным вентилируемым фасадом. В качестве теплоизоляционного слоя широко применяются плотные минераловатные плиты на синтетическом связующем, гарантийный срок службы которых на практике составляет не менее 15–30 лет в зависимости от их качества и условий эксплуатации. В связи с созданием ФКР (фонд капитального ремонта) уже на сегодняшний день начались реставрационные работы по замене утеплителя из минераловатных плит, согласно заявлениям жильцов многоквартирных зданий. Прогноз коммунальных служб не утешительный, объем подлежащих утилизации минераловатных материалов со временем будет увеличиваться в лавинообразном порядке. По-

этому поиск и исследование эффективного использования большого объема отходов утилизации минераловатных изделий для холодных регионов РФ представляется актуальным.

Цель исследования: повышение прочности керамического кирпича за счет объемного армирования с использованием стекловолокон из отходов утилизации минераловатных изделий.

Материалы и методы.

В качестве основного глинистого сырья для производства керамического кирпича использовались легкоплавкие суглинки Аласского месторождения Республики Саха (Якутия). Аласское месторождение относится к месторождениям строительных материалов, учтенных сводным балансом [17]. По физико-механическим характеристикам суглинки относятся к виду сырья:

умеренно-пластичному (показатель пластичности 7,1-13,5), грубодисперсному, малочувствительному к сушке, полукислому по содержанию Al_2O_3 (табл. 1) в пересчете на прокаленное вещество (17,27 % мас.), с высоким содержанием красящих окислов (4,99 % мас.), по спекаемости – к неспекающемуся.

Ранее было установлено [17], что глинистое сырье Аласского месторождения по содержанию основных окислов вполне пригодно для производства керамического кирпича марки по прочности 125 с морозостойкостью 50 с использованием помольного оборудования и песка-отощителя (табл. 2). Для получения более высоких марок керамического кирпича было рекомендовано, в первую очередь, использовать добавки, способствующие улучшению спекаемости керамической массы.

Таблица 1

Содержание оксидов, мас. %

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3 общ	MnO	SO_3	П.п.п.
65,30	17,27	3,12	1,83	4,99	2,06	0,14	5,29

Таблица 2

Керамико-технологические свойства суглинков Аласского месторождения [17]

Показатели	Полузаводская проба		
	Без добавки	с добавкой 10–20 % песка	с добавкой 30 % песка или 0,5 % шамота и 30 % песка
Формовочная влажность, % мас.	16,1–18,4	16,1–17,1	15,6–15,9
Чувствительность к сушке, с	0,79–1,01	1,20–1,40	1,67–1,72
Воздушная усадка, %	4,4–6,2	5,1–5,9	4,1–4,8
Общая усадка, %	4,6–6,7	5,5–6,5	4,2–5,2
Водопоглощение, % мас.	14,6–15,9	14,7–15,0	14,0–15,2
Предел прочности при сжатии, МПа	19,7–21,1	18,3–18,6	17,5–17,8
Предел прочности при изгибе, МПа	3,7–6,7	–	3,4–3,8

В качестве добавки к глинистому сырью использовали волокнистый компонент из отходов использованных стекловатных и базальтовых

теплоизоляционных изделий отечественного производства (рис. 1).



Рис. 1. Отходы использованных минераловатных изделий от зданий и теплотрасс

По действующей технологии в производстве минераловатных плит используется до 30 % по

массе синтетическое вяжущее на основе фенолоформальдегидной смолы. Основным исход-

ным минеральным сырьем являются горные породы габро-базальтового типа и кварцевый песок. Как известно, для получения высококачественных базальтовых волокон могут использоваться горные породы следующего состава, % мас.: SiO_2 – 45–55, Al_2O_3 – 10–20, $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ и MgO – до 20.

Основные свойства глинистого сырья и изготовленных образцов в необожженном и обожженном виде определялись с использованием стандартных методов и поверенного оборудования [18].

Технология изготовления образцов полусухого прессования заключается в следующем. Исходное глинистое сырье просушивается, измельчается и просеивается через сито с размерами ячейки 1,25 мм. Половина отмеренного количества сухого глинистого сырья загружается в емкость скоростного измельчителя-смесителя, затем подается масса стеклянной ваты и сверху укладывается вторая половина исходной смеси, затем шихта тщательно измельчается, перемешивается и увлажняется до проектной влажности для прессования. Далее подготовленная шихта помещается в эксикатор на сутки для равномерного увлажнения сухой смеси до 7–7,5 % мас.

По условиям эксперимента цилиндрические образцы диаметром 50 мм и высотой 50 мм изготавливались с использованием пресс-формы ФУП-50,5 и гидравлического пресса с усилием прессования 25 МПа. Скорость нагружения составляет 0,3 кН/с с выдержкой 4 с после достижения максимального значения прессования в 25 МПа. Общая масса сухой смеси – шихты составляет 200 г. После формования готовые образцы оставляются на воздухе в течение суток, далее в сушильном шкафу при температуре 105 ± 5 °C высушиваются до влажности не более 3 % мас. Половина образцов обжигается в лабораторной муфельной печи в режиме: прогрев с 20 до 100 °C – 30 мин, выдержка – 30 мин, прогрев до 573 °C – 3 ч, выдержка – 30 мин, прогрев до 950 °C – 3 ч, выдержка – 30 мин, остывание 8–10 ч. Точность измерения штангенциркулем линейных размеров образцов составляет 0,02 мм, точность измерения массы для электронных весов – 0,01 г.

Основная часть. У готовых образцов определялись: средняя плотность, прочность на сжатие (табл. 3). Для проведения испытаний отбирают образцы без видимых дефектов и измеряют их среднее сечение по формуле:

$S_{\text{ср}} = (S_{\text{в}} + S_{\text{н}})/2$, где $S_{\text{в}}$ и $S_{\text{н}}$ – площади верхнего и нижнего сечений, соответственно.

При испытании образец устанавливается в центре нижней плиты пресса и прижимается

верхней плитой пресса, которая должна плотно прилегать ко всей верхней грани образца. При подаче нагрузки соблюдается постоянная скорость нагружения вплоть до разрушения образца, и фиксируется разрушающее (максимальное) напряжение.

Разрушающее напряжение $\sigma_{\text{сж}}$ (МПа) при сжатии определяют по формуле:

$$\sigma_{\text{сж}} = (P/S) \times 10, \text{ МПа},$$

где P – разрушающая сила согласно показанию пресса, кН;

$S = \pi r^2 = \pi(D/2)^2$ – площадь основания образца, см^2 , $v = S h$ – объем образца, см^3 .

$$\rho = m/v, \text{ плотность, кг/м}^3.$$

Результаты определений приведены в табл. 3 и 4. Количество добавки предварительно установлены в соответствии с ранее полученными результатами других исследователей [14].

Максимальная прочность на сжатие 21,81 МПа обожженного образца достигается при количестве добавки из стеклянного волокна 3,2 % по массе, повышение прочности составляет 28,4 %.

Максимальная прочность на сжатие 24,74 МПа обожженного образца достигается при количестве добавки из базальтового волокна 3,0 % по массе, при этом повышение прочности составляет 45,6 %. Таким образом, максимальный эффект повышения прочности армированной керамики наблюдается у образцов с добавкой базальтовых волокон. Разделение базальтовых волокон и помол глинистых частиц в производственных условиях может производиться, согласно патента 2722330 РФ [15], в дисковой мельнице, состоящей из вращающихся с большой угловой скоростью в противоположных направлениях дисков, что способствует повышению прочности керамической матрицы.

Для сравнительного анализа экспериментальные результаты сведены в диаграмму (рис. 2). Из диаграммы видно, что полусухое прессование образцов глинистого сырья с усилием 25 МПа обеспечивает высокую прочность сырьевых образцов в пределах 10,4–16,7 МПа. При обжиге прочность образцов повышается до значений 17,0–21,8 МПа, что составляет увеличение прочности образцов с добавкой стекловолокна при обжиге на 12,7–30,5 %. Введение стеклянного волокна от 0 до 3,2 % по массе обеспечивает увеличение прочности обожженных образцов от 17,0 до 21,8 МПа, что составляет повышение прочности на 28,3 %.

Таблица 3

Физико-механические свойства обожжённых образцов с добавкой стеклянного волокна

Добавка, % мас.	m, г	P, кН	S, см ²	V, см ³	ρ , г/см ³	$\sigma_{сж}$, кН/см ²	$\sigma_{сж}$, МПа	$\sigma_{сж.ср.}$, МПа	$\sigma_{сж.ср.}$, кгс/см ²
0,0	144,35	33,951	19,63	80,46	1,79	1,73	17,30	16,99	173,33
	144,6	33,665	19,63	82,43	1,75	1,71	17,15		
	143,7	32,425	19,63	80,46	1,79	1,65	16,52		
0,2	185,32	34,216	19,63	92,24	2,01	1,74	17,43	17,42	177,67
	182,3	34,51	19,63	94,20	1,94	1,76	17,58		
	183,86	33,88	19,63	98,13	1,87	1,73	17,26		
0,5	185,27	34,889	19,63	96,16	1,93	1,78	17,77	17,43	180,01
	184,02	34,551	19,63	94,20	1,95	1,76	17,60		
	184,7	34,516	19,63	94,20	1,96	1,76	17,58		
0,8	183,8	35,086	19,63	92,24	1,99	1,79	17,87	17,88	182,39
	183,46	35,105	19,63	88,31	2,08	1,79	17,88		
	181,75	35,112	19,63	94,20	1,93	1,79	17,89		
1,1	184,24	35,65	19,63	98,13	1,88	1,82	18,16	18,10	184,60
	185,9	35,51	19,63	96,16	1,93	1,81	18,09		
	183,72	35,449	19,63	94,20	1,95	1,81	18,06		
1,4	184,01	36,961	19,63	96,16	1,91	1,88	18,83	19,33	197,15
	184,55	37,891	19,63	94,20	1,96	1,93	19,30		
	183,46	39,006	19,63	98,13	1,87	1,99	19,87		
1,7	187,62	39,169	19,63	90,28	2,08	2,00	19,95	19,72	201,11
	190,02	38,889	19,63	94,20	2,02	1,98	19,81		
	186,86	38,086	19,63	92,24	2,03	1,94	19,40		
2,0	186,95	39,806	19,63	98,13	1,91	2,03	20,28	19,85	202,37
	190,02	37,396	19,63	98,13	1,94	1,91	19,05		
	187,16	39,672	19,63	94,20	1,99	2,02	20,21		
2,3	188,45	39,295	19,63	94,20	2,00	2,00	20,02	20,02	204,15
	189,04	38,999	19,63	98,13	1,93	1,99	19,87		
	189,93	39,605	19,63	96,16	1,98	2,02	20,18		
2,6	190,16	38,788	19,63	94,20	2,02	1,98	19,76	20,32	207,23
	190,26	38,818	19,63	98,13	1,94	1,98	19,77		
	190,52	39,893	19,63	96,16	1,98	2,03	20,32		
2,9	190,85	39,445	19,63	98,13	1,94	2,01	20,09	20,03	204,21
	190,77	39,225	19,63	100,09	1,91	2,00	19,98		
	186,9	39,265	19,63	94,20	1,98	2,00	20,00		
3,2	178,1	42,01	19,63	96,16	1,85	2,14	21,40	21,81	222,42
	174,55	44,56	19,63	100,09	1,74	2,27	22,70		
	180,25	41,88	19,63	98,13	1,84	2,13	21,33		
3,5	191,48	42,495	19,63	98,13	1,95	2,16	21,65	21,60	220,23
	187,39	41,811	19,63	96,16	1,95	2,13	21,30		
	191,05	42,882	19,63	98,13	1,95	2,18	21,85		
4,0	191,97	40,394	19,63	98,13	1,96	2,06	20,58	20,38	207,80
	183,75	39,266	19,63	96,16	1,91	2,00	20,00		
	190,25	40,345	19,63	98,13	1,94	2,06	20,55		
4,5	193,05	38,965	19,63	98,13	1,97	1,98	19,85	19,06	194,38
	192,78	37,262	19,63	98,13	1,96	1,90	18,98		
	192,68	36,03	19,63	96,16	2,00	1,84	18,35		
5,0	193,9	36,68	19,63	98,13	1,98	1,87	18,69	18,57	189,33
	194,37	37,371	19,63	98,13	1,98	1,90	19,04		
	193,69	35,291	19,63	98,13	1,97	1,80	17,98		

Сравнительная диаграмма прочности опытных образцов с добавкой базальтового волокна (рис. 3) показывает, что сырьевые образцы имеют прочность в пределах 10,4–16,7 МПа, а прирост прочности при обжиге составляет 21,5–49,2 %, что значительно выше,

чем прочность у керамических образцов с добавкой стеклянных волокон 12,7–30,5 %. Следует отметить, что такому увеличению прочности образцов способствовало объёмное армирование керамики использованием базальтовых волокон, у которых температура плавления выше, чем у стеклянных волокон [14].

Таблица 4

Физико-механические свойства обожжённых образцов с добавкой базальтового волокна

Добавка, % мас.	m, г	P, кН	S, см ²	v, см ³	ρ , г/см ³	$\sigma_{сж}$, кН/см ²	$\sigma_{сж}$, МПа	$\sigma_{сж}$, ср., МПа	$\sigma_{сж}$, ср., кгс/см ²
0,0	144,35	33,951	19,63	80,46	1,79	1,73	17,30	16,99	173,33
	144,6	33,665	19,63	82,43	1,75	1,71	17,15		
	143,7	32,425	19,63	80,46	1,79	1,65	16,52		
1,0	184,55	42,868	19,63	94,20	1,96	2,18	21,84	21,12	273,55
	184,44	55,695	19,63	96,16	1,92	2,84	28,37		
	186,36	59,415	19,63	98,13	1,90	3,03	30,27		
1,5	185,99	52,159	19,63	92,24	2,02	2,66	26,57	21,18	274,25
	187,04	54,026	19,63	94,20	1,99	2,75	27,52		
	188,33	52,197	19,63	98,13	1,92	2,66	26,59		
2,0	188,18	63,087	19,63	94,20	2,00	3,21	32,14	22,12	286,43
	186,43	48,972	19,63	94,20	1,98	2,49	24,95		
	187,85	53,359	19,63	96,16	1,95	2,72	27,18		
2,5	187,66	57,738	19,63	94,20	1,99	2,94	29,41	22,32	289,03
	186,86	56,206	19,63	96,16	1,94	2,86	28,63		
	187,45	52,975	19,63	98,13	1,91	2,70	26,99		
3,0	163,80	49,516	19,63	92,24	1,78	2,52	25,22	24,74	252,30
	178,60	47,269	19,63	92,24	1,94	2,41	24,08		
	179,50	48,919	19,63	98,13	1,83	2,49	24,92		
3,2	190,8	59,51	19,63	98,13	1,94	3,03	30,32	22,48	291,14
	189,83	52,644	19,63	96,16	1,97	2,68	26,82		
	187,41	55,982	19,63	94,20	1,99	2,85	28,52		
3,5	189,15	35,143	19,63	94,20	2,01	1,79	17,90	15,94	206,48
	189,01	31,901	19,63	96,16	1,97	1,63	16,25		
	191,75	52,201	19,63	96,16	1,99	2,66	26,59		

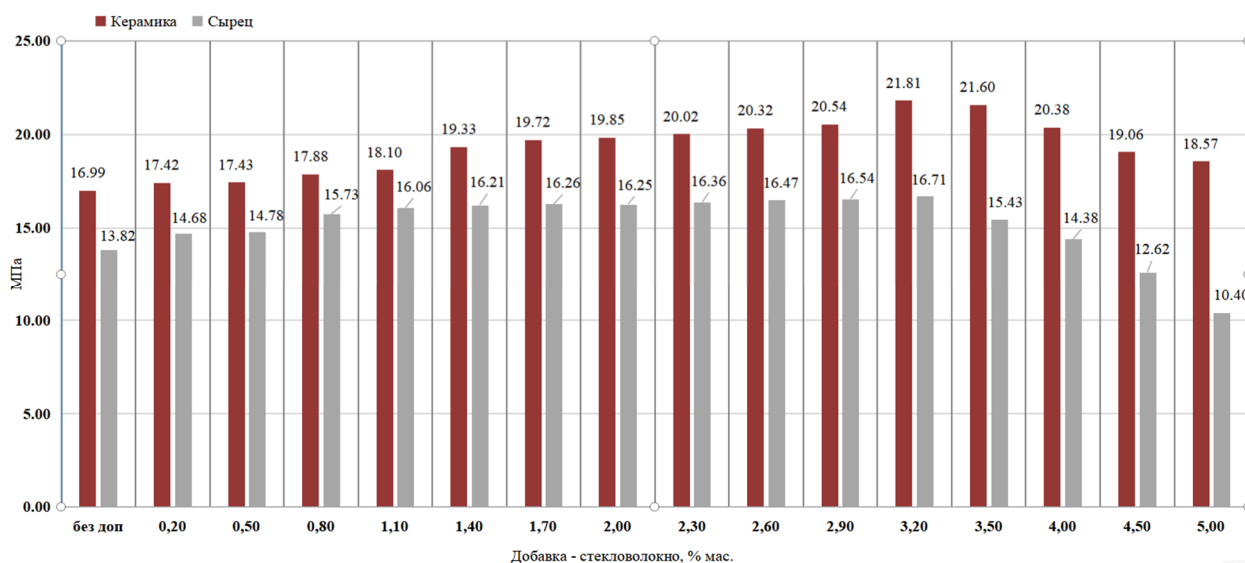


Рис. 2. Сравнительная диаграмма образцов с добавкой стеклянного волокна

При стремительно растущих транспортных расходах на огромной территории северных регионов РФ целесообразно предусмотреть производство керамического кирпича из местного сырья малой мощности вблизи потенциальных потребителей. Поэтому авторами проделаны работы по установлению эффективности разных

способов изготовления кирпича из глинистого сырья. Полученные результаты приведены в таблицах: пластическое формование – табл. 5 и вибро-ударное формование (моделирование способа зонного нагнетания) – табл. 6. В исходных глинистых смесях количество добавки из базальтового волокна составило 3,0 % мас.

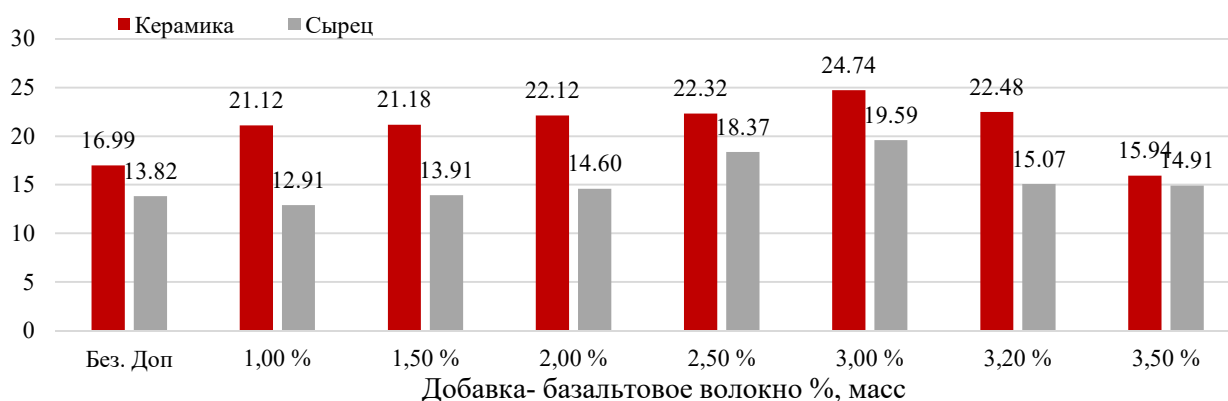


Рис. 3. Сравнительная диаграмма для образцов с добавкой базальтового волокна

Таблица 5

Физико-механические свойства образцов керамики пластического формования

m, г	P, кН	S, см ²	v, см ³	ρ _{сж} , г/см ³	σ _{сж} , кН/см ²	σ _{сж} , МПа	σ _{сж} , ср., МПа
130,0	24,939	17,61	73,29	1,76	1,42	14,16	12,9
130,4	19,844	17,12	72,99	1,79	1,16	11,59	
129,3	22,555	17,41	61,12	1,79	1,29	12,95	

Таблица 6

Физико-механические свойства образцов керамики вибро-ударного формования

m, г	P, кН	S, см ²	v, см ³	ρ _{сж} , г/см ³	σ _{сж} , кН/см ²	σ _{сж} , МПа	σ _{сж} , ср., МПа
165,05	22,173	19,63	94,20	1,75	1,13	11,30	11,10
166,20	21,985	19,63	92,24	1,80	1,12	11,19	
164,75	21,20	19,63	96,16	1,71	1,08	10,82	

Из сравнения показателей таблиц 3, 5 и 6 получается, что максимальное значение прочности на сжатие бездобавочных образцов составляет для полусухого прессования 17,0 МПа (табл. 3), пластического формования - 12,9 МПа (табл. 5) и вибро-ударного формования - 11,1 МПа (табл. 6). Вибро-ударное формование осуществляется на установке зонного нагнетания РК-250, мощность которой не превышает 10 кВт [19].

Выводы. Обоснована эффективность объемного армирования в изготовлении высокопрочного керамического кирпича полусухого прессования из низкокачественного глинистого сырья с использованием стекловолокна на основе отходов утилизации минераловатных изделий:

- установлен максимальный эффект повышения прочности на сжатие для опытных образцов строительной керамики, армированной базальтовыми волокнами, при этом прочность повысилась от 17,0 МПа до 24,74 МПа при количестве добавки из базальтового волокна 3,0 % мас., т.е. прочность увеличилась на 45,5 %;

- максимальная прочность на сжатие опытных образцов строительной керамики 21,81 МПа достигается при добавке из стеклянного волокна

в количестве 3,2 % мас., повышение прочности составляет 28,4 %;

- полусухое прессование маловлажных сыпучих смесей из глинистого сырья позволяет получать достаточно высокие показатели сырьевых материалов: без добавки – 13,8 МПа, с добавкой 3,2 % мас. стеклянного волокна – 16,7 МПа, с добавкой 3,0 % мас. базальтового волокна – 19,6 МПа;

- показана зависимость показателя прочности на сжатие опытных образцов от способа уплотнения на основе исходных глинистых смесей с добавкой 3,0 % мас. базальтового волокна: полусухое прессование – 24,7 МПа, пластическое формование – 12,9 МПа и вибро-ударное формование – 11,2 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ильина Л.В., Тацки Л.Н. Наномодифицирование низкокачественного глинистого сырья – способ повышения прочности керамического черепка // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2022. Т. 22. № 2. С. 28–36. DOI: 10.14529/build220204
- Акст Д.В., Столбоушкин А.Ю. Опытнотромышленные испытания технологии стеновой керамики объемного окрашивания с матричной

структурой // Строительные материалы. 2021. № 4. С. 9–15. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-790-4-9-15

3. Столбоушкин А.Ю. Перспективные направления развития строительных керамических материалов из некачественного сырья // Строительные материалы. 2018. № 4. С. 24–28. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-758-4-24-28

4. Stolboushkin A., Akst D., Fomina O., Ivavov A. Structure and properties of ceramic brick colored by manganese-containing wastes // 4th international young researchers conference on youth, science solutions: ideas and prospects. 2017. Vol. 143. 02009. DOI: 10.1051/mateconf/201714302009

5. Котляр В.Д., Терехина Ю.В., Небежко Ю.И. Перспективы развития производства керамического кирпича полусухого прессования // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 6–7.

6. Верецагин В.И., Бурученко А.Е., Кащук И.В. Возможности использования вторичного сырья для получения строительной керамики и ситаллов // Строительные материалы. 2000. № 7. С. 20–22.

7. Гурьева В.А., Дубинецкий В.В. Химический метод активации карбонатсодержащих сырьевых компонентов в технологии производства керамического кирпича методом полусухого прессования // Строительные материалы. 2021. № 9. С. 28–31. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-795-9-28-31

8. Гурьева В.А., Дубинецкий В.В. Керамический кирпич полусухого прессования на основе композиции алюмосиликатного сырья и минерального продукта отходов бурения // Строительные материалы. 2023. № 9. С. 18–22. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-817-9-18-22

9. Sahani A.K., Ghosh S., Samanta A.K., Adhikari R. Influence of fly ash on refractory properties and microstructural characteristics of sustainable refractory bricks // Journal of The Institution of Engineers (India): Series A. 2024. Vol. 105. Pp.317–329. DOI: 10.1007/s40030-024-00791-8

10. Ибе Е.Е., Миронов С.Е., Шibaева Г.Н. Эффективная керамика на основе местного сырья органических отходов Республики Хакасия // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27.

№ 4. С. 156–171. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-156-171. EDN: SBGXMZ

11. Weixia D., Qifu B., Jian-er Z., Tianguai Z., Kun L., Zhiwei H. Preparation of porcelain building tiles using K_2O-Na_2O feldspar flux as a modifier agent of low-temperature firing // Journal of the Ceramic Society of Japan. 2017. Vol. 125. Pp. 690–694. DOI: 10.2109/jcersj2.16327

12. Faraj R.Q. Assessment of some clay deposits from the gercus formation (middle eocene) for brick manufacturing in the dokan area, ne Iraq // Iraqi Bulletin of Geology and Mining. 2024. Vol. 20(1). Pp. 75–88. DOI:10.59150/ibgm2001a05

13. Mecholsky, J.J. Evaluation of mechanical property testing methods for ceramic matrix composites // American society-bulletin. 1986. Vol. 65. No. 2. Pp. 315–322.

14. Яценко А.И., Вильбицкая Н.А. Применение стекловолокна для упрочнения керамического пористого композита // Строительство и архитектура. 2022. № 2. С. 26–30. DOI: 10.29039/2308-0191-2022-10-2-26-30

15. Пат. 2722330, Российская Федерация, МПК C1 C04B 33/06. Способ изготовления изделий из армированной керамики / Г.А. Заборцев; заявитель и патентообладатель Заборцев Г.А. № 2019121594; заявл. 09.07.2019; опубл. 29.05.2020, Бюл. № 16. 3 с.

16. Иванова Л.В. Развитие нормативных требований к тепловой защите зданий // Архитектура и дизайн. 2020. № 1. С. 33–34. DOI: 10.7256/2585-7789.2020.1.35796

17. Пояснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Якутской АССР масштаба 1:2500000. Т. 1 и 2. М: Объединение «Союзгеолфонд», 1988. 421 с.

18. Ушницкая Н.Н., Местников А.Е. Исследование свойств глинистого сырья методами физико-химического анализа // Вестник БГТУ. № 4. 2024. С. 16–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-4-16-25

19. Производственный опыт эксплуатации установок РК мини 01 в условиях предприятия РСУ-51 г. Великий Новгород // Строительные и дорожные машины. 2018. № 9. С. 66–67.

Информация об авторах

Ушницкая Нюргуяна Нюргуновна, аспирант. E-mail: ushnitskaya.97@mail.ru. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Белинского, 58.

Местников Алексей Егорович, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики и строительного материаловедения. E-mail: mestnikovae@mail.ru. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Белинского, 58.

Поступила 04.11.2025 г.

© Ушницкая Н.Н., Местников А.Е., 2026

**Ushnitskaya N.N., Mestnikovae A.E.*

North-Eastern Federal University named M.K. Ammosov

**E-mail: ushnitskaya.97@mail.ru*

BUILDING CERAMICS REINFORCED WITH GLASS FIBER FROM WASTE FROM MINERAL WALLPAPER RECYCLING

Abstract. *A promising area is the creation of a matrix structure of building ceramics using semi-dry pressing, which allows for the use of a wide range of substandard raw materials based on natural and technogenic raw materials. The article presents the results of a study on increasing the strength of ceramic bricks made from low-quality clay raw materials by using volumetric reinforcement using fiberglass from waste materials from mineral wool products. Glass and basalt fibers were tested as additives. The samples with basalt fibers showed the highest increase in the strength of reinforced ceramics. The compressive strength of the fired sample is 24.74 MPa when a 3.0% mass addition of basalt fiber is introduced. This increases the strength by 45.6% compared to the control sample. The raw materials have relatively high compressive strengths: 13.8 MPa without addition and 16 MPa with a 3.2% mass addition of glass fiber.*

Keywords: *low-quality clay raw materials, semi-dry pressing, volume reinforcement, fiberglass, increased strength, construction ceramics*

REFERENCES

1. Il'ina L.V., Tacki L.N. Nanomodification of low-quality clay raw materials: a method for increasing the strength of ceramic shard [Nanomodifizirovanie nizkokachestvennogo glinistogo syr'ya – sposob povysheniya prochnosti keramicheskogo cherepka]. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture. 2022. Vol. 22. No 2. Pp. 28–36. DOI: 10.14529/build220204 (rus)
2. Akst D.V., Stolboushkin A.YU. Experimental-industrial tests of wall ceramics technology of volume staining with a matrix structure [Opytno-promyshlennyye ispytaniya tekhnologii stenovoy keramiki ob"emnogo okrashivaniya s matrichnoy strukturoy] Construction Materials. 2021. No 4. Pp. 9–15 DOI: 10.31659/0585-430X-2021-790-4-9-15 (rus)
3. Stolboushkin A.Yu. Perspective Direction of Development of Building Ceramic Materials From Low-Grade Stock [Perspektivnye napravleniya razvitiya stroitel'nykh keramicheskikh materialov iz nekachestvennogo syr'ya]. Construction Materials. 2018.No 4. Pp. 24–28 DOI: 10.31659/0585-430X-2018-758-4-24-28 (rus)
4. Stolboushkin A., Akst D., Fomina O., Ivavov A. Structure and properties of ceramic brick colored by manganese-containing wastes. 4th international young researchers conference on youth, science solutions: ideas and prospects. 2017. P. 02009. DOI: 10.1051/mateconf/201714302009
5. Kotlyar V.D., Terekhina YU.V., Nebezhko YU.I. Prospects for the development of semi-dry pressed ceramic brick production [Perspektivy razvitiya proizvodstva keramicheskogo kirpicha polusuhogo pressovaniya]. Construction Materials. 2011. No 2. Pp. 6–7 (rus)
6. Vereshchagin V.I., Buruchenko A.E., Kashchuk I.V. The use recycled for bulding ceramics and glass ceramics [Vozmozhnosti ispol'zovaniya vtorichnogo syr'ya dlya polucheniya stroitel'noj keramiki i sitallov]. Construction Materials. 2000. No 7. Pp. 20–22. (rus)
7. Gur'eva V.A., Dubineckij V.V. Chemical activation method for carbonate-containing raw components in the technology of ceramic brick production by semi-dry pressing [Himicheskij metod aktivacii karbonatsoderzhashchih syr'evykh komponentov v tekhnologii proizvodstva keramicheskogo kirpicha metodom polusuhogo pressovaniya]. Construction Materials. 2021. No 9. Pp. 28–31. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-795-9-28-31 (rus)
8. Gur'eva V.A., Dubineckij V.V. Semi-dry pressed ceramic brick based on a composition of aluminosilicate raw materials and mineral products from drilling waste [Keramicheskij kirpich polusuhogo pressovaniya na osnove kompozicii al'yumosilikatnogo syr'ya i mineral'nogo produkta othodov bureniya]. Construction Materials. 2023. No 9. Pp. 18–22. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-817-9-18-22 (rus)
9. Sahani A.K., Ghosh S., Samanta A.K., Adhikari R. Influence of fly ash on refractory properties and microstructural. Characteristics of sustainable refractory brics. Journal of The Institution of Engineers (India): Series A. 2024. DOI: 10.1007/s40030-024-00791-8
10. Ibe E.E., Mironov S.E., SHibaeva G.N. Efficient ceramics based on local raw materials and organic wastes of the Republic of Khakassia [Effektiv-

naya keramika na osnove mestnogo syr'ya organicheskikh othodov Respubliki Hakasiya]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture.. 2025. Vol. 27. No 4. Pp. 156–171. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-156-171. EDN: SBGXMZ (rus)

11. Weixia D., Qifu B., Jian-er Z., Tiangui Z., Kun L., Zhiwei H. Preparation of porcelain building tiles using K_2O – Na_2O feldspar flux as a modifier agent of low-temperature firing. Journal of the Ceramic Society of Japan. 2017. Vol. 125. Pp. 690–694. DOI: 10.2109/jcersj2.16327

12. Faraj R.Q. Assessment of some clay deposits from the gercus formation (middle eocene) for brick manufacturing in the dokan area, ne Iraq. Iraqi Bulletin of Geology and Mining. 2024. Vol. 20. No 1. Pp. 75–88. DOI: 10.59150/ibgm2001a05

13. Mecholsky J.J. Evaluation of mechanical property testing methods for ceramic matrix composites American society-bulletin. 1986. Vol. 65. No. 2, Pp. 315–322.

14. Yacenko A.I., Vil'bickaya N.A. Use of fiberglass to reinforce a porous ceramic composite [Primenenie steklovolokna dlya uprochneniya keramicheskogo poristogo kompozita] Stroitel'stvo i arhitektura. 2022. No 2. Pp. 26–30. DOI: 10.29039/2308-0191-2022-10-2-26-30 (rus)

15. Zaborcev G.A. Method of manufacturing products from reinforced ceramics. Patent RF No 2019121594, 2020

16. Ivanova L.V. Development of regulatory requirements for the thermal protection of buildings [Razvitie normativnykh trebovaniy k teplovoj zashchite zdaniy]. Arhitektura i dizajn. 2020. No 1. Pp. 33–34. DOI: 10.7256/2585-7789.2020.1.35796

17. Explanatory note for the overview map of Explanatory note to the review map of building material deposits of the Yakut ASSR at a scale of 1:2,500,000 [Poyasnitel'naya zapiska k obzornoj karte mestorozhdenij stroitel'nykh materialov YAKUTSKOJ ASSR masshtaba 1:2500000]. Vol. 1- 2. M: “Ob”edinenie Soyuzgeolfond”, 1988. P. 421 (rus)

18. Ushnitskaya N.N., Mestnikovae A.E Investigation of the properties of clay raw materials by methods of physico-chemical analysis [Issledovanie svoystv glinistogo syr'ya metodami fiziko-himicheskogo analiza]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 4. Pp. 16–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-4-16-25 (rus)

19. Operational experience with RK Mini 01 units at the RSU-51 plant in Veliky Novgorod [Proizvodstvennyy opyt ekspluatatsii ustanovok RK mini 01 v usloviyah predpriyatiya RSU-51 g. Velikiy Novgorod]. “Construction and Road Machines”. 2018. No 9. Pp. 66–67. (rus)

Information about the authors

Ushnitskaya, Niurguiana N. Postgraduate student. E-mail: ushnitskaya.97@mail.ru. North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov. Russia, 677000, Yakutsk, Belinskogo street, 58.

Mestnikov, Alexsey E. Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Applied Mechanics and Building Materials Science. E-mail: mestnikovae@mail.ru. North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov. Russia, 677000, Yakutsk, Belinskogo street, 58.

Received 04.11.2025

Для цитирования:

Ушницкая Н.Н., Местников А.Е. Строительная керамика, армированная стекловолокном из отходов утилизации минераловатных плит. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 4. С. 17–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-4-17-25

For citation:

Ushnitskaya N.N., Mestnikovae A.E. Building ceramics reinforced with glass fiber from waste from mineral wallpaper recycling. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 4. Pp. 17–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-4-17-25