

УДК 691.42 : 666.31

В.З. АБДРАХИМОВ

**ВЛИЯНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА  
МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ – ДИАБАЗОВОЙ ШИХТЫ  
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА**

На основе легкоплавкой глины и отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты получен керамический кирпич с высокими физико-механическими показателями марки М150 и выше. Исследования показали, что отходы минеральной ваты способствуют образованию муллита, который повышает прочность кирпича. Разработаны инновационные предложения по использованию отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты в производстве керамического кирпича на основе легкоплавкой бейделлитовой глины, новизна которых подтверждена патентом РФ.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** керамический кирпич, фазовый состав, отходы производства минеральной ваты – диабазовой шихты, легкоплавкая глина.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-728-8-37-44

Для улучшения природных свойств глиняного сырья – уменьшения общей усадки, чувствительности к сушке и обжигу, улучшения формовочных свойств широко используют отощающие добавки: песок, шамот, дегидратированную глину и другие минеральные невыгорающие добавки [1, 2]. Применение в качестве отощителя кварцевого песка не всегда дает желаемый результат, потому что наиболее подходящий для отощения зерновой состав песка должен быть от 0,5 до 1,5 мм. Для повышения качества керамического материала из природных материалов во многих регионах России можно использовать только дегидратированную глину, обожженную до 600–800 °С, из которой удалена значительная часть химически связанной воды. Благодаря этому дегидратированная глина резко снижает усадку керамического материала, пластичность и чувствительность к сушке. Дегидратированную глину можно вводить в пределах 30–50 % от общего объема шихты [3]. Большинство легкоплавких (кирпично-черепичных) глин Российской Федерации классифицируются как полукислые и кислые, причем неспекающиеся с высоким содержанием красящих оксидов и низким содержанием оксида алюминия ( $Al_2O_3 = 10–12\%$ ). При таком содержании оксида алюминия в глинистых компонентах проблематично получить кирпич марок М125 и выше. Для возведения несущих стен нижних этажей зданий повышенной этажности (10 этажей и более) требуется керамический кирпич марок – М150–М300. Основным резервом для получения высокомарочных керамических кирпичей и камней являются отходы с содержанием оксида алюминия более 15 %.

Цель работы: а) получение керамического материала на основе легкоплавкой глины и отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты; б) исследование фазового состава полученного кирпича.

© Абдрахимов В.З., 2019

Таблица 1. Химический состав компонентов, мас. %

Компоненты	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	П.п.п.
Легкоплавкая глина	64,2	10,3	5,68	2,2	4,02	2,5	0,5	8,4
Отходы производства минеральной ваты – диабазовой шихты	53,8	15,8	8,3	3,4	13,4	4,7	–	–

**Сырьевые материалы.** В качестве глинистого сырья для производства стенового материала использовалась легкоплавкая глина Даниловского месторождения Самарской области. Глина Даниловского месторождения характеризуется как грубодисперсная, преимущественно с высоким содержанием крупных и средних включений, представленных кварцем, железистыми минералами, гипсом и карбонатными включениями (табл. 1). Основным породообразующим минералом глины является гидрослюда (25–30 мас.%).

В состав легкоплавкой глины входят, мас. %: кварц 25–30; гипс 5–7; полевоы шпат 10–15; каолинит 10–15; оксиды железа 4–5. Технологические свойства легкоплавкой глины: число пластичности 7–9; содержание глинистых частиц (размером менее 0,005 мм) 15–25; огнеупорность 1100–1200 °С. Глина не спекается.

Диабазовая шихта образуется при производстве минеральной ваты (отходы производства минеральной ваты – диабазовой шихты) и используется в составе керамической массы для производства керамического кирпича в качестве отощителя и интенсификатора спекания (см. табл. 1). Отходы производства минеральной ваты в основном представлены стеклообразующими оксидами:

Таблица 2. Гранулометрический состав отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты

Фракция, мм	Содержание, %	Фракция, мм	Содержание, %
2,50–500	2,51	0,315–0,630	28,58
1,25–2,50	3,33	0,140–0,315	38,52
0,63–1,25	8,84	Менее 0,140	18,22

SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, R<sub>2</sub>O и примесями, например, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Гранулометрический состав приведен в табл. 2.

Повышенное содержание оксидов железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 13,4 %) и щелочей (R<sub>2</sub>O – 4,7 %) в отходах

производства минеральной ваты интенсифицирует процессы обжига (снижает температуру обжига). Неоднородность физико-химических свойств расплава приводит к тому, что при его диспергировании наряду с минеральным волокном образуются «корольки» (рис. 1) застывшего расплава сферической, каплеобразной и вытянутой формы [4–6].

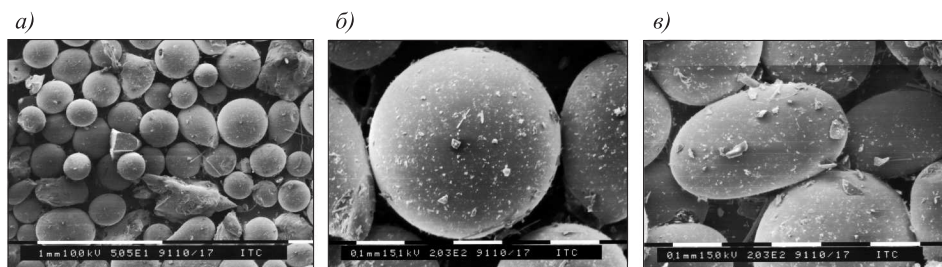


Рис. 1. «Королек»  
Увеличение: ×50 (а); ×200 (б, в)

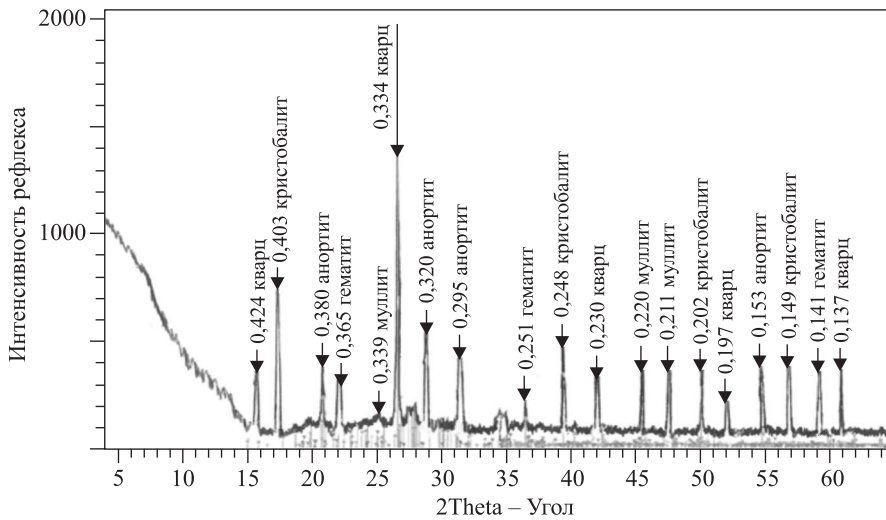


Рис. 2. Рентгенограмма отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты

Качественный минералогический состав отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты был проведен с помощью рентгенодифрактометрического анализа (рис. 2) на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с  $\text{Cu}_{K\alpha}$ -излучением,  $\beta$ -фильтр. Условия съемки дифрактограмм:  $U = 35$  кВ;  $I = 20$  мА; съемка  $\theta - 2\theta$ ; детектор 2 град./мин. Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам порошковых проб методом равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF2 (PowderDiffractionFile) и дифрактограмм чистых от примесей минералов.

Исследования показали, что минералогический состав отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты представлен в основном стеклофазой, гематитом, анортитом, кристобалитом, кварцем, муллитом и примесями до 3 %.

**Технологический процесс.** Сырьевые компоненты измельчали до прохождения сквозь сито 1 мм, затем тщательно перемешивали. Керамическую массу готовили пластическим способом при влажности 20–22 %, из нее формовали кирпич, затем высушивали кирпич-сырец до влажности не более 5 % и обжигали в муфельной печи при температуре 1050 °С. Изотермическая выдержка при конечной температуре 1 ч. В табл. 3 приведены составы керамических масс, в табл. 4 – физико-механические показатели кирпича. На составы, представленные в табл. 3, получен патент РФ [7].

Таблица 3. Составы керамических масс

Компоненты	Содержание компонентов, мас. %			
	1	2	3	4
Легкоплавкая глина	100	90	80	70
Отходы производства минеральной ваты – диабазовой шихты	–	10	20	30

Таблица 4. Физико-механические показатели кирпича

Показатель	Составы			
	1	2	3	4
Механическая прочность на сжатие, МПа	10,3	15,4	16,2	17,1
Механическая прочность при изгибе, МПа	2,1	3,3	3,7	4,1
Морозостойкость, циклы	16	50	55	62
Термостойкость, циклы (350 °С – вода 20 °С)	2	2	3	3

Керамический кирпич без использования отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты имел марочность не более М100, а образцы, содержащие отходы (составы 2–4), соответствуют марке М150. Из кирпича М150 благодаря использованию в его составе отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты (отходов диабазовой шихты производства минеральной ваты), содержащих  $Al_2O_3$  более 15 %, можно возводить несущие стены нижних этажей для зданий повышенной этажности (10–12 этажей и более). Оптимальным составом для получения керамического кирпича, как видно из табл. 4, является состав 4, содержащий 30 % отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты. Дальнейшее увеличение в составах керамических масс на основе малопластичной легкоплавкой глины отходов минеральной ваты нецелесообразно, так как на образцах при пластическом формовании появляются трещины, по-видимому, из-за недостаточной связующей способности глинистого компонента.

Для определения фазового состава керамического кирпича были исследованы образцы из двух составов: 1 (без содержания отходов минеральной ваты) и 4 (оптимальный состав) с помощью рентгенодифрактометрического анализа (рис. 3).

Анализ показал наличие в образцах кристобалита, анортита, гематита и в составе 4 – муллита. Как видно из рис. 3, в образцах обоих составов обнаружен кристобалит. Содержание кристобалита снижает механическую прочность изделий, а образование его из аморфного кремнезема, выделившегося в результате муллитизации, обуславливает проницаемость изделий [6, 8, 9]. Объемный эффект при переходе  $\alpha$ -кварца в  $\alpha$ -кристобалит составляет 15,4 %, что способствует разрыхлению поверхности кристаллической решетки. У разрыхленных и богатых дефектами, а также аморфных веществ твердофазовые реакции протекают быстрее, благодаря ускоренной самодиффузии и гетеродиффузии [6, 8, 9].

Анортит – полевой шпат  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ , являющийся конечным членом плагиоклазов, обладает всеми свойствами, присущими полевошпатовым минералам, и в составе неметаллических материалов встречается только в устойчивой модификации [9]. Процессы формирования кристаллических новообразований анортита и его влияние на рост прочности при обжиге керамических материалов в литературе описываются крайне редко [2]. В работах [2, 10] приводятся данные о влиянии золошлаковых материалов на рост прочности керамического материала, полученного на основе традиционных природных глин при обжиге в интервале температур 1000–1100 °С. Увеличение прочности авторы связывают с образованием анортита.

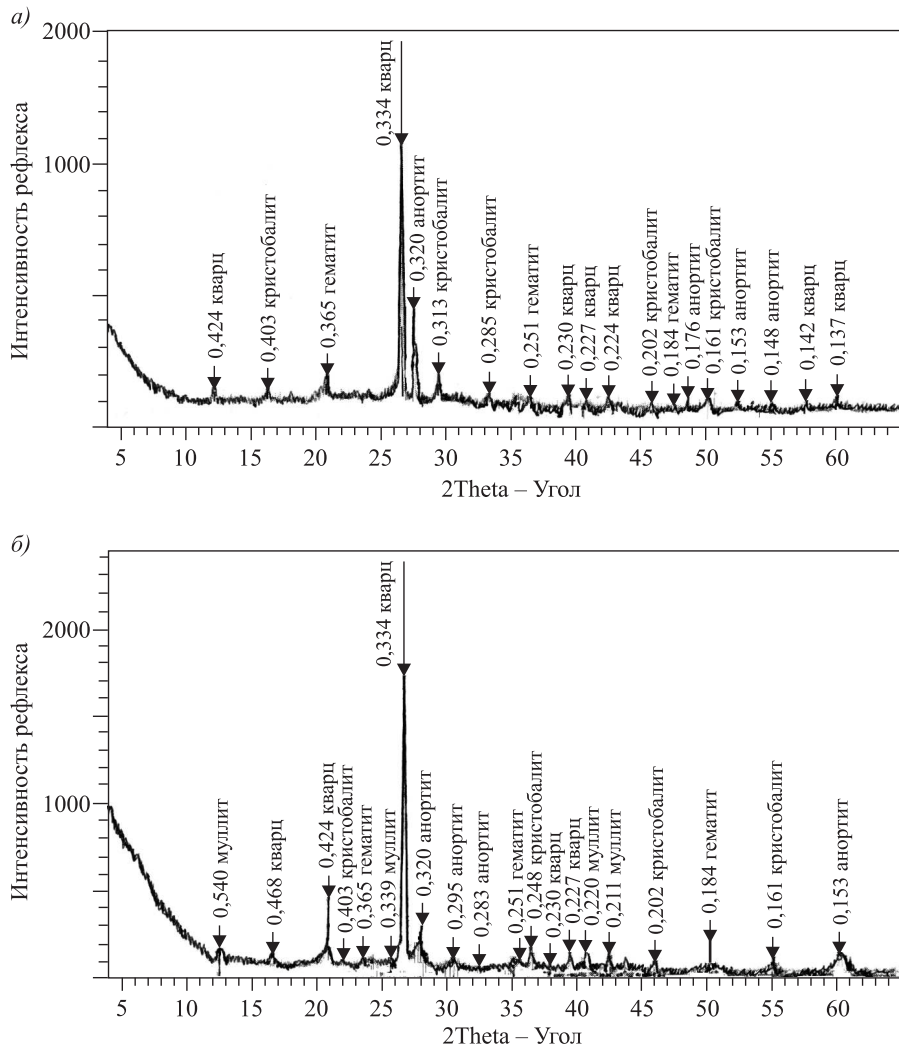


Рис. 3. Рентгенограммы образцов из составов 1 (а) и 4 (б)

Гематит – самый низкотемпературный оксид железа и поэтому может образовываться в области низких температур (ниже 500 °С) [8, 9]. При температуре 550 °С происходит потеря магнитных свойств и изменение решетки, что связано с переходом β-фазы в устойчивую α-форму. Гематит в керамических материалах способствует формированию железистого стекла, которое инициирует образование муллита [8, 9].

Основные физико-механические свойства керамическим материалам сообщает муллит, поэтому необходимо вводить такие добавки, которые способствуют его образованию при 1000 °С. Муллит ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) – один из часто встречающихся минералов в обожженных керамических материалах. Высокие показатели его огнеупорности, плотности, химической стойкости и механической прочности привлекли внимание исследователей как к получению синтетического муллита, так и к исследованию его структуры [2, 3, 8]. При обжиге керамического кирпича механизм кристаллизации муллита в керамических материалах включает две стадии: образование центров кристал-

лизации (зародышей) и рост кристаллов в них. По-видимому, при обжиге керамического кирпича с использованием в составах керамических масс отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты будет происходить гетерогенная кристаллизация муллита.

**Выводы.** 1. На основе легкоплавкой глины и отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты получен керамический кирпич с высокими физико-механическими показателями.

2. Исследования показали, что отходы производства минеральной ваты – диабазовой шихты, содержащие  $Al_2O_3$  более 15 %, способствуют повышению марочности кирпича с М100 до М150.

3. Введение в составы керамических масс отходов производства минеральной ваты – диабазовой шихты способствует образованию муллита, который улучшает основные физико-механические свойства керамических материалов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашкаев И.С., Шейман Е.С. Производство глиняного кирпича. М.: Высш. шк., 1970. 284 с.
2. Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Ралко А.В. Золочерамические стеновые материалы. Алма-Ата: Наука, 1982. 292 с.
3. Будников П.П., Балкевич В.Л., Бережной А.С., Булавин И.А., Куколев Г.В., Полубояринов Д.Н., Попильский Р.Я. Химическая технология керамики и огнеупоров. М.: Стройиздат, 1972. 551 с.
4. Крашенинников Н.С., Нефедова И.К., Лотова Л.Г., Косинцев В.И., Гарбер Е.Г. Возможности использования отходов производства минеральной ваты // Ползунов. вестн. 2004. № 4. С. 124–126.
5. Вдовина Е.В., Абдрахимова Е.С. Исследование влияния фазового состава на морозостойкость керамических материалов, обожженных при различных температурах // Башкир. хим. журн. 2007. Т. 14, № 5. С. 99–100.
6. Вдовина Е.В., Абдрахимова Е.С. Экологические и практические аспекты использования «королька» (отхода производства минеральной ваты) в производстве кирпича // Материалы 66-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР университета за 2008 г. / СГАСУ. Самара, 2009. С. 164.
7. Пат. РФ № 2388723. Керамическая масса для изготовления керамического кирпича / Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. С1 С04В 33/132. Заявл. 16.12.2008; Опубл. 10.05.2010; Бюл. № 13.
8. Куколев Г.В. Химия кремния и физическая химия силикатов. М.: Высш. шк., 1966. 463 с.
9. Литвинова Т.И., Пирожкова В.П., Петров А.К. Петрография неметаллических включений. М.: Металлургия, 1972. 184 с.
10. Сулейменов С.Т. Физико-химические процессы структурообразования в строительных материалах и минеральных отходах промышленности. М., 1996. 298 с.

**Абдрахимов Владимир Закирович**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: 3375892@mail.ru  
Самарский государственный экономический университет

Получено после доработки 22.07.2019

**Abdrakhimov Vladimir Zakirovich**, DSc, Professor; E-mail: 3375892@mail.ru  
Samara State University of Economics, Russia

**THE USE OF THE IMPACT OF MINERAL  
WOOL PRODUCTION – DIABASE OF THE CHARGE  
ON THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES  
AND PHASE COMPOSITION OF CERAMIC BRICK**

On the basis of low-melting clay and mineral wool production waste – diabase charge obtained ceramic brick with high physical and mechanical properties of the brand M150 and above. Studies have shown that mineral wool waste contributes to the formation of mullite, which increases the strength of the brick. Developed innovative proposals for the use of waste mineral wool production – diabase of the charge in the production of ceramic bricks on the basis of fusible clay beidellite, the novelty of which is confirmed by patent of the Russian Federation.

**Key words:** ceramic brick, phase composition, waste of mineral wool production – diabase charge, fusible clay.

**REFERENCES**

1. Kashkaev I.S., Sheiman E.S. *Proizvodstvo glinyanogo kirpicha* [Production of clay bricks]. Moscow, 1970. 284 p. (in Russian)
2. Saybulatov S.Sh., Suleymenov S.T., Ralko A.V. *Zolokeramicheskie stenovye materialy* [Raw meal zolokeramicheskikh wall materials]. Alma-Ata: Science, 1982. 292 p. (in Russian)
3. Budnikov P.P., Balkewich V.L., Berezhnoy A.S., Bulavin I.A., Kukolev G.V., Poluboyarinov D.N., Popil'skiy R.Ya. *Khimicheskaya tekhnologiya keramiki i ogneporov* [Chemical technology of ceramics and refractories]. Moscow, 1972. 551 p. (in Russian)
4. Krashennikov N.S., Nefedova I.K., Lotova L.G., Kosintsev V.I., Garber E.G. *Vozможности ispol'zovaniya otkhodov proizvodstva mineral'noy vaty* [Possibilities of use of waste mineral wool production]. *Polzunovskiy vestnik* [Papers of the Polzunov]. 2004. No. 4. Pp. 124–126. (in Russian)
5. Vdovina E.V., Abdrakhimova E.S. *Issledovanie vliyaniya fazovogo sostava na morozostoykost' keramicheskikh materialov, obozhzhennykh pri razlichnykh temperaturakh* [Investigation of the effect of phase composition on the frost resistance of ceramic materials burnt at different temperatures]. *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal* [Bashkir chemical journal]. 2007. Vol. 14, No. 5. Pp. 99–100. (in Russian)
6. Vdovina E.V., Abdrakhimova E.S. *Ekologicheskie i prakticheskie aspekty ispol'zovaniya «korol'ka» (othoda proizvodstva mineral'noy vaty) v proizvodstve kirpicha* [Ecological and practical aspects of the use of «korolka» (waste production of mineral wool) in the production of bricks]. *Materialy 66-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po itogam NIR universiteta za 2008 god* [Materials of the 66th all-Russian scientific and technical conference on the results of research of the University in 2008]. Samara, 2009. P. 164. (in Russian)
7. Pat. RF 2388723. *Keramicheskaya massa dlya izgotovleniya keramicheskogo kirpicha* [Ceramic mass for the manufacture of ceramic bricks]. V.Z. Abdrakhimov, E.S. Abdrakhimova. S1 C04B 33/132; appl. 16.12.2008; publ. 10.05.2010; Bull. No. 13. (in Russian)
8. Kukolev G.V. *Khimiya kremniya i fizicheskaya khimiya silikatov* [Silicon chemistry and physical chemistry of silicates]. Moscow, 1966. 463 p. (in Russian)

9. Litvinova T.I., Pirozhkova V.P., Petrov A.K. Petrografiya nemetallicheskikh vklyucheniye [Petrography of nonmetallic inclusions]. Moscow, 1972. 184 p. (in Russian)
  10. Suleymenov S.T. Fiziko-khimicheskie protsessy strukturoobrazovaniya v stroitel'nykh materialakh i mineral'nykh otkhodakh promyshlennosti [Physical and chemical processes of structure formation in building materials and mineral waste industry]. Moscow, 1996. 298 p. (in Russian)
-