

## Технологические особенности производства керамического кирпича методом пластического формования из сырья Пермского края

*К.А. Волосатова, Н.А. Волосатова*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь*

**Аннотация:** Приведен анализ использования керамической продукции в общем объеме использования стеновых материалов. Показано, что при пластическом способе формования керамических изделий изменение качества сырья может привести к выпуску продукции низкого качества (браку). Изучены базовые технологические свойства глинистого сырья Таушинского месторождения Пермского края, а также его гранулометрический и минеральный составы. Показано, что корректировка состава керамической шихты при изменении характеристик исходного сырья должна осуществляться с учетом особенностей минералообразования в 8-компонентной оксидной системе. Произведено сравнение физико-механических характеристик двух партий кирпича текущего и скорретированного составов, позволяющее с некоторыми допущениями считать их идентичными.

**Ключевые слова:** керамика, кирпич, глина, месторождение, оптимизация, шихта, обжиг, производство, пластическое формование, прочность.

Анализ статистических данных о производственно-финансовой деятельности хозяйствующих субъектов Российской Федерации показывает, что на отечественном рынке стеновых материалов за последние 10 лет не произошло существенных изменений: основной объем изделий представлен керамическим кирпичом, стеновыми блоками из ячеистого бетона, а также мелко- и крупноформатными изделиями из природного камня и гипса.

Между тем, керамический кирпич, несмотря на общее снижение объемов его производства (в сентябре 2021 года объемы производства снизились на 1,5% к уровню сентября 2020 года), традиционно занимает лидирующие позиции в общем объеме использования стеновых материалов (рис. 1) [1, 2].

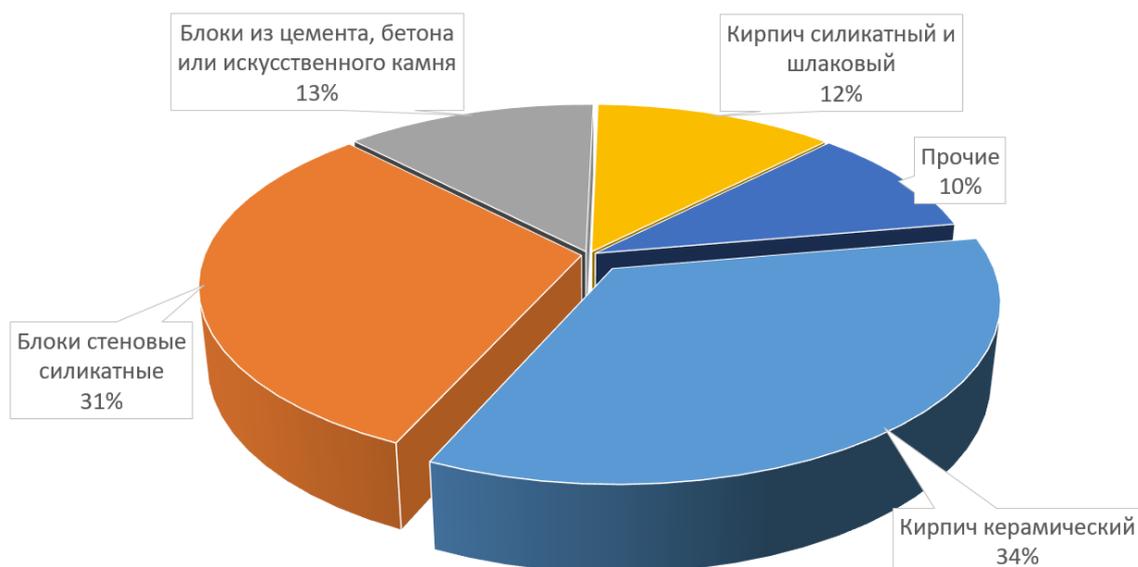


Рис. 1. – Доля производства основных видов стеновых изделий

Известно, что керамические изделия могут выпускаться тремя основными способами: шликерным литьем, полусухим и пластическим формованием [3]. При этом, учитывая особенности глинистого сырья многих регионов России, в частности, карьерную влажность и плотность сырья, его чувствительность к сушке, а также необходимость получения широкого ассортимента продукции, наибольшее распространение получила технология пластического формования керамических изделий [4, 5].

Однако, несмотря на множество положительных моментов при организации и реализации технологии пластического формования керамических изделий, у нее есть один существенный недостаток – высокая чувствительность к качеству исходного глинистого сырья.

Вопросами повышения качества глинистого сырья и стабильности выпускаемой продукции занимаются многие отечественные и зарубежные ученые [6, 7]. В основном их предложения сводятся к корректировке состава керамической шихты, в том числе за счет введения в ее состав дополнительных компонентов (например, высокопластичных каолиновых

глин) или оптимизации технологических параметров производства: изменение режимов формования сырца, его сушки и обжига.

Стоит отметить, что на многих керамических заводах производятся периодические испытания глинистого сырья, а при выявлении отклонений его качества у сотрудников имеется опыт корректировки технологических параметров производства [8].

Между тем, возникают ситуации, когда ранее используемые алгоритмы оптимизации состава шихты и технологических параметров производства не обеспечивают требуемого результата, что может привести к выпуску продукции низкого качества (браку). В таком случае, уместным будет проведение комплексного анализа всего технологического процесса с учетом его особенностей.

Рассмотрим особенности производства керамического кирпича с использованием сырья Таушинского месторождения Чернушинского района Пермского края. Исследуемая глина – легкоплавкая, в сухом состоянии цвет – коричневый, во влажном – тёмно-коричневый, текстура – беспорядочная, с низким содержанием крупнозернистых включений.

В результате изучения базовых технологических свойств глинистого сырья, поступившего с карьера, было выявлено отклонение отдельных показателей от текущих значений (табл. 1).

Таблица № 1

Базовые технологические характеристики глинистого сырья Таушинского месторождения

Характеристика	Проба	
	1 «Карьер»	2 «Производство»
Число пластичности (П)	11,6	14,3
Формовочная влажность ( $W_{отн}$ ), %	21,8	24,2
Воздушная линейная усадка ( $I_B$ ), %	6,2	5,7

Учитывая, что глинистое сырье, поступившее с карьера (проба 1 «Карьер»), является менее пластичным ( $П=11,6$ ) по сравнению с

сырьем, используемым в настоящее время на производстве (проба 2 «Производство», П=14,3), было принято решение о корректировке состава керамической шихты путем снижения расхода отощителя – полевошпатово-кварцевого песка. Однако в результате обжига опытной партии прочностные характеристики кирпича значительно отличались от значений в текущей партии (табл. 2).

Таблица № 2

Физико-механические характеристики текущей и опытной партий кирпича

Наим.	Предел прочности при сжатии, МПа		Предел прочности при изгибе, МПа		$\rho_{\text{ср}}$ , кг/м <sup>3</sup>	W, %
	средн.	мин.	средн.	мин.		
Текущ. (1)	13,9	12,2	3,5	2,7	1235	10,3
Опытн. (1)	7,9	7,2	2,1	1,9	1220	17,2

Поскольку при изготовлении опытной партии кирпича технологические режимы формования, сушки и обжига оставались неизменными, то основной причиной полученных отклонений физико-механических свойств готовой продукции могло являться изменение характеристик глинистого сырья.

Для выявления структурных отличий используемого на производстве сырья от «карьерной» глины были проведены исследования гранулометрического (табл. 3) и минерального (табл. 4) составов.

Таблица № 3

Гранулометрический состав частиц глинистых пород по результатам ситового отсева

Размерный класс, мм	Содержание, %					навеска
	более 1,0	01,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	менее 0,1	
Проба №1 «Карьер»	0,02	0,19	1,70	4,73	93,36	100,00
Проба № 2 «Производство»	0,12	0,17	3,97	11,76	83,99	100,00

Гранулометрический состав глинистых частиц класса менее 0,1 мм определялся с помощью лазерного дифракционного анализатора частиц Analysette 22 MicroTec plus (рис. 2, 3).

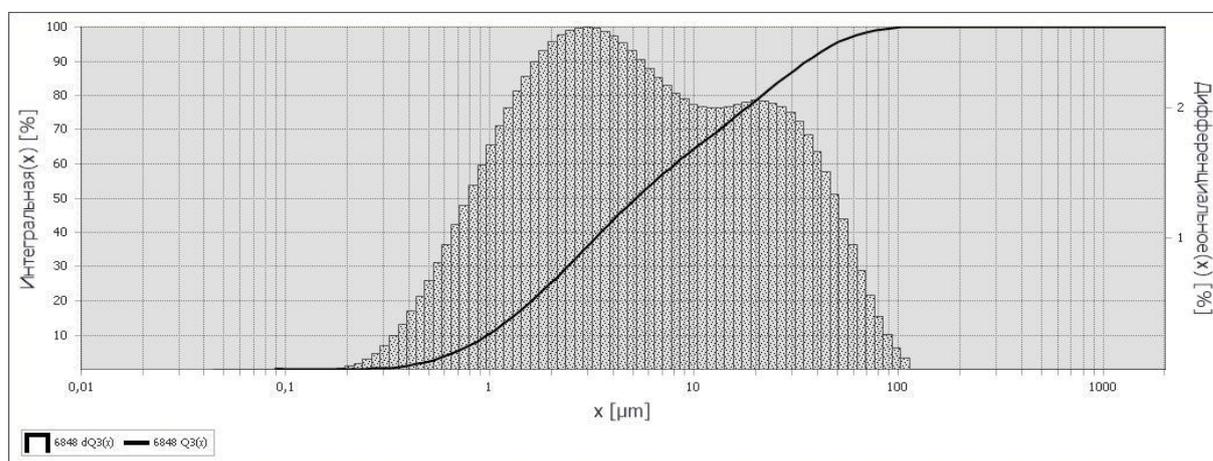


Рис. 2. – Гранулометрический состав глинистых частиц класса менее 0,1 мм пробы 1 «Карьер»

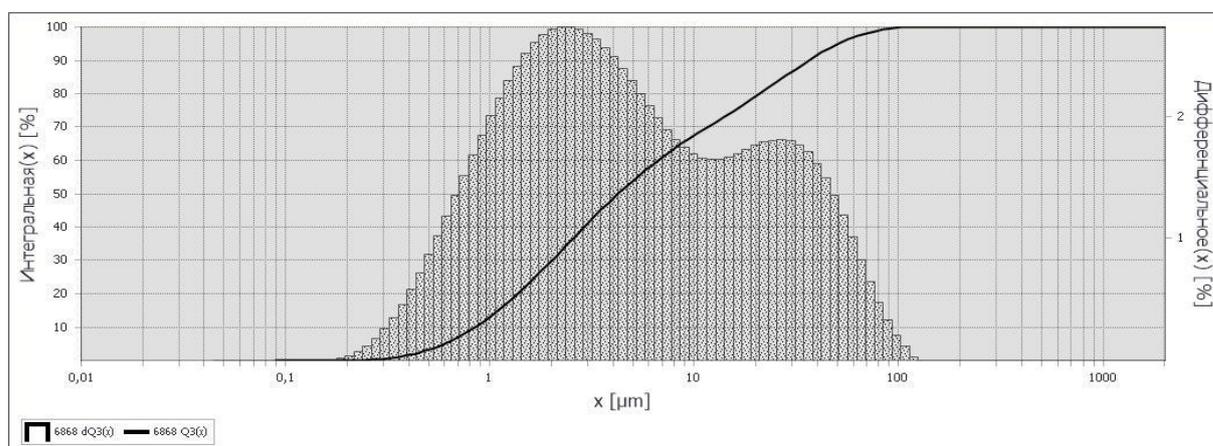


Рис. 3. – Гранулометрический состав глинистых частиц класса менее 0,1 мм пробы 2 «Производство»

По результатам анализа гранулометрического состава частиц можно отметить, что проба 2 «Производство» представлена большим количеством частиц крупностью 0,1-0,5 мм (15,73%) по сравнению с пробой 1 «Карьер» (6,43%), при этом распределение частиц у пробы 2 «Производство» смещено в сторону мелких фракций, а наибольшее монофракционное значение равно 6,31% (фр. 2,5-3,15 мкм); у пробы 1 «Карьер» наибольшее монофракционное значение равно 6,19% (фр. 3,15-4,0 мкм).

Таблица № 4

Результаты определения минерального состава образцов

Минерал	Кварц	Полевые шпаты	Гидрослюда	Хлорит	ССО	Кальцит	Сумма
Проба №1 «Карьер»	42,72	23,78	18,96	13,67	0,87	-	100
Проба № 2 «Производство»	37,91	28,48	18,66	11,07	1,15	2,73	100

Как видно из табл. 4, глинистое сырье пробы 1 «Карьер» отличается большим содержанием кварца (42,72%) по сравнению с пробой 2 «Производство» (37,91%), в которой содержание полевых шпатов больше, чем в пробе 1 «Карьер» (28,48% и 23,78% соответственно). Также следует отметить присутствие в пробе 2 «Производство» кальцита ( $\text{CaCO}_3$ ).

Известно, что полевые шпаты и карбонатные материалы являются плавнями, позволяющими снизить температуру обжига и обеспечить требуемую прочность кирпича [9].

Таким образом, первоначально принятое сотрудниками завода решение о снижении в шихте количества полевошпатово-кварцевого песка при сохранении температуры обжига привело к изменению минералогического состава кирпича и существенному снижению его прочностных характеристик.

С учетом технико-экономических ограничений и риска деформации готовой продукции, повышение температуры обжига в туннельной печи в качестве возможного варианта оптимизации параметров производства не рассматривалось.

Анализ опыта производства идентичных партий продукции на кирпичных заводах Пермского края и Свердловской области позволил скорректировать состав шихты на основе «карьерной» глины с учетом особенностей минералообразования в 8-компонентной оксидной системе

[10]. В качестве корректирующего компонента керамической шихты была выбрана высокопластичная светложгущаяся глина, химический состав которой приведен в табл. 5.

Таблица № 5

Химический состав высокопластичной светложгущейся глины

Среднее содержание оксидов, мас. %										
SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	п.п.п.
64,62	1,71	14,14	2,85	0,91	0,87	4,09	3,22	0,03	0,01	7,55

Для оценки корректности и адекватности выполненных расчетов в лабораторных условиях были изготовлены и проанализированы две серии образцов, состав шихты которых соответствовал текущему производственному («Состав 1») и скорректированному за счет введения светложгущейся глины («Состав 2»). Анализ идентичности полученных образцов осуществлялся путем сравнения их минерального (табл. 6) и фазового (рис. 4) составов.

Таблица № 6

Результаты определения минерального состава образцов

Минерал	Кварц	Полевые шпаты	Слюда	Хлорит	Доломит	Сумма
Состав 1	46,63	34,64	7,43	8,67	2,63	100
Состав 2	49,71	31,5	7,98	7,98	2,83	100

Из данных табл. 6 можно наблюдать, что значительных отличий в минеральном составе кирпича текущего («Состав 1») и скорректированного («Состав 2») состава, способных вызвать существенные изменения физико-механических характеристик керамического кирпича, не выявлено. Это также подтверждается результатами рентгено-флуоресцентного анализа (РФА).

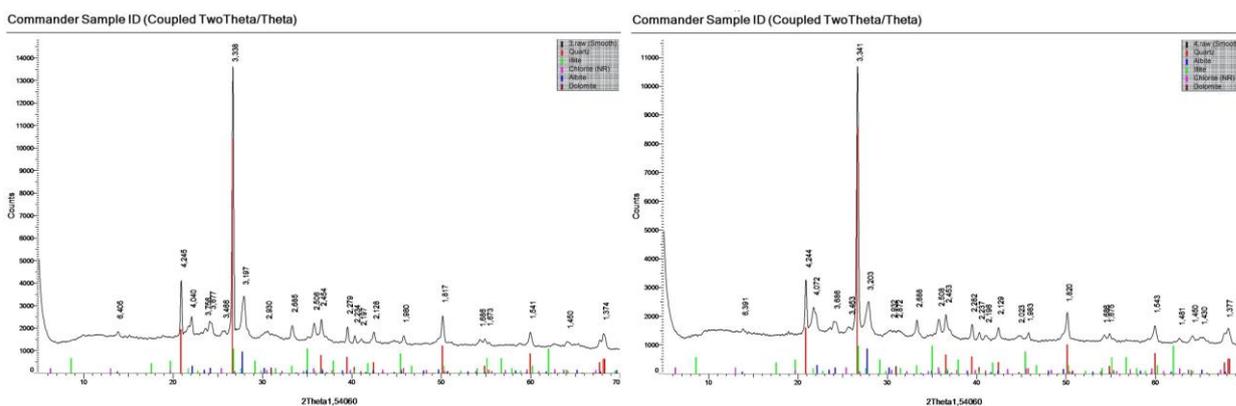


Рис. 4. – Дифрактограмма керамического кирпича: состав 1 (слева); состав 2 (справа)

Сравнение результатов РФА для проб керамического кирпича позволило выявить незначительные различия текущего («Состав 1») и скорректированного («Состав 2») составов в интервале углов излучения от 20 до 30 град., которые вызваны структурными изменениями гидрослюды типа иллит и полевых шпатов типа альбит. Однако указанные изменения не являются значимыми, и на практике не оказывают значительного влияния на механические свойства керамического кирпича.

Для окончательного подтверждения корректности состава шихты с добавлением светложгущейся глины была произведена очередная опытная партия керамического кирпича с сохранением начальных режимов формования, сушки и обжига продукции. Результаты физико-механических испытаний двух партий изделий (текущей и опытной) представлены в табл. 7.

Таблица № 7

Физико-механические характеристики текущей и опытной партии кирпичей

Наим.	Предел прочности при сжатии, МПа		Предел прочности при изгибе, МПа		$\rho_{\text{ср}}$ , кг/м <sup>3</sup>	W, %
	средн.	мин.	средн.	мин.		
Текущ. (2)	13,5	12,1	3,4	2,9	1225	10,7
Опытн. (2)	12,9	11,4	3,1	2,4	1195	11,2

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что отклонения физико-механических характеристик кирпича скорректированного состава («Опытн. (2)») по сравнению с текущими значениями («Текущ. (2)») незначительны: предел прочности при сжатии и изгибе снизился на 4,7% и 9,7% соответственно, значение средней плотности уменьшилось на 2,5%, а абсолютное значение водопоглощения кирпича по массе увеличилось на 0,5%.

Таким образом, выявленные в результате комплексного изучения глинистого сырья пробы 1 «Карьер» и пробы 2 «Производство» отличия фракционного и минералогического состава позволили произвести своевременную корректировку керамической шихты и предотвратить массовый выпуск бракованной продукции. Между тем, для достижения текущих показателей качества кирпича и производства идентичной продукции необходима дальнейшая оптимизация состава и, при необходимости, технологических параметров сушки и обжига кирпича.

### Литература

1. Промышленное производство в России. 2021: Стат.сб./Росстат. М., 2021. 305 с.
2. Рынок керамического кирпича в России 2015-2021 гг. Цифры, тенденции, прогноз. URL: [tk-solutions.ru/russia-rynok-keramicheskogo-kirpicha](http://tk-solutions.ru/russia-rynok-keramicheskogo-kirpicha).
3. Anant L. Murmu, A. Patel Towards sustainable bricks production: an overview // Construction and building materials. 2018. vol. 165. pp. 112-125.
4. Куликова Е.С., Мартынова А.С., Мазунина Н.С. Исследование свойств глинистого сырья для изготовления керамического кирпича методом пластического формования // Дальний восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2014. №1. С. 243-248

5. Наумов А.А., Мальцева И.В. Керамический кирпич из глинистого сырья Сухо-Чалтырского месторождения // Инженерный вестник Дона, 2017, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4447](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4447).

6. Flores Nicolas Mario, Vlasova Marina, Márquez Aguilar Pedro Antonio, Kakazey Mykola, Chávez Cano Marcos Mauricio, Matus Roberto Arroyo, PiPuig Teresa. Development of an energy-saving technology for sintering of bricks from high-siliceous clay by the plastic molding method // Construction and building materials. 2020. vol. 242. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118142.

7. Наумов А.А., Котляр В.Д. Керамический кирпич из вскрышной породы Ключевского месторождения песчаников // Инженерный вестник Дона, 2018, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5249](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5249).

8. Салиева М.Г. Исследование технологического процесса получения керамического кирпича // Известия ОшГУ. 2017. №3. С. 157-161.

9. Шишакина О.А., Паламарчук А.А. Применение плавней в производстве керамических материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 11. С. 105-109.

10. Иванова О.А., Клевакин В.А. Минералогический анализ как основа качества керамического кирпича // Строительные материалы. 2010. №12. С. 13-15.

### References

1. Promyshlennoye proizvodstvo v Rossii [Industrial production in Russia]. 2021: Stat.sb. Rosstat. M., 2021. 305 p.

2. Rynok keramicheskogo kirpicha v Rossii 2015-2021 gg. Tsifry, tendentsii, prognoz [Ceramic brick market in Russia 2015-2021 years. Figures, trends, forecast]. URL: [tk-solutions.ru/russia-rynok-keramicheskogo-kirpicha](http://tk-solutions.ru/russia-rynok-keramicheskogo-kirpicha).

3. Anant L. Murmu, A. Patel. Construction and building materials. 2018. vol. 165. pp. 112-125.



4. Kulikova E.S., Martynova A.S., Mazunina N.S. Dal'niy vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa. 2014. No. 1. pp. 243-248
5. Naumov A.A., Mal'tseva I.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4447](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4447).
6. Flores Nicolas Mario, Vlasova Marina, Márquez Aguilar Pedro Antonio, Kakazey Mykola, Chávez Cano Marcos Mauricio, Matus Roberto Arroyo, PiPuig Teresa. Construction and building materials. 2020. vol. 242. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118142.
7. Naumov A.A., Kotlyar V.D. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5249](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5249).
8. Saliyeva M.G. Izvestiya OshTU. 2017. No. 3. pp. 157-161.
9. Shishakina O.A., Palamarchuk A.A. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2019. No 11. pp. 105-109.
10. Ivanova O.A., Klevakin V.A. Stroitel'nye materialy. 2010. No. 12. pp. 13-15.