

**Котляр Владимир Дмитриевич**

Kotlyar Vladimir Dmitrievich

Ростовский государственный строительный университет

Rostov State University of Civil Engineering

Заведующий кафедрой «Строительные материалы»

Head of the Department "Building materials"

Доктор технических наук

E-Mail: diatomit\_kvd@mail.ru

**Устинов Андрей Викторович**

Ustinov A.V.

Ростовский государственный строительный университет

Rostov State University of Civil Engineering

Инженер кафедры «Строительные материалы»

Engineering Department "Construction Materials"

E-Mail: diatomit\_kvd@mail.ru

Строительные материалы и изделия

## **Эффективная стеновая керамика на основе опоки и отходов углеобогащения**

### Effective wall ceramic on the basis of opoka and coal waste

**Аннотация:** На основе исследования свойств опоковидных пород и отходов углеобогащения предлагается их совместное использование для получения изделий стеновой керамики пониженной плотности и теплопроводности с существенным сокращением расходов на обжиг. Приведены зависимости влияния количества отходов углеобогащения и температуры обжига на плотность и прочность изделий. Предлагается технологическая схема производства с комбинированным способом подготовки сырьевой массы и пластическим способом формования изделий.

**The Abstract:** On the basis of study of the properties of opoka species and coal waste we offer their joint use for obtaining of products from wall ceramic of low density and thermal conductivity with a significant reduction of cost of firing. We have presented dependencies of the impact of number of coal waste and firing temperature on the density and durability of the products. We offer technological production scheme with the combined method of preparation of raw mass and with the plastic method of the product formation.

**Ключевые слова:** Опока, отходы углеобогащения, угольные шламы, плотность, прочность, технология, температура, стеновая керамика.

**Keywords:** Opoka, coal waste, coal sludge, the density, durability, technology, temperature, wall ceramic.

\*\*\*

Одной из актуальных задач промышленности стеновой керамики в настоящее время является производство изделий для несущих и ограждающих конструкций с классом по средней плотности 0,8 относящимся по теплотехническим характеристикам к группам изделий высокой эффективности с теплопроводностью менее 0,20 Вт/(м·°С). Уровень производства и потребления таких изделий в России в разы ниже чем в странах Европы, не смотря на то, что там климат мягче. При этом, неизменным условием должно быть снижение

производственных затрат, связанных в первую очередь с сокращением расходов на обжиг. С вступлением России в ВТО стоимость газа для промышленных предприятий будет постепенно повышаться до уровня Европейских стран. При выпуске изделий стеновой керамики пониженной плотности и эффективной работы предприятий расход газа на тысячу штук условного кирпича должен составлять не более 40-60 м<sup>3</sup>. Ориентация по расходу газа на «Временное руководство по проектированию предприятий по производству кирпича и камней керамических. Нормы технологического проектирования» (Союзгипростром, 1989 г.) априори делает работу предприятия не эффективной. Достижение плотности изделий менее 800 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводности менее 0,20 Вт/(м·°С), как показал опыт, наиболее целесообразно за счёт формирования пористой структуры черепка и пустотности изделий. Снижение данных показателей только за счёт пустотности изделий не эффективно. На практике существенное повышение вертикальной пустотности очень часто не даёт значимого теплотехнического эффекта и вызывает определенные трудности при возведении стен, так как раствор затекает в пустоты и трудно формировать наружный шов. Недостатком стеновых керамических изделий с высокой вертикальной пустотностью является то, что предел прочности при сжатии кирпичной кладки, выполненной даже на весьма прочном растворе, составляет 35-55 % предела прочности кирпича или камней. Резкое снижение прочности является следствием расклинивающего действия раствора, частично затекающего в пустоты и вызывающего растягивающие напряжения в кладке. Среди других причин некоторые исследователи выделяют неравномерное распределение давления по поверхности кирпича, вызывающее в нём кроме сжатия напряжения изгиба и среза, а также трещины, возникающие в плоскости вертикальных швов, которые проходят по сечениям изделия, ослабленного пустотами. Снижение расходов на обжиг достигается за счёт ввода топливосодержащего компонента в сырьевые массы, который выполняет и роль порообразователя, а также применения автоматизированных высокопроизводительных туннельных печей с широким каналом и регулированием режима обжига в каждой зоне печи.

Проведённый нами технико-экономический анализ позволил выявить высокую перспективность производства эффективных изделий стеновой керамики для юга России и других регионов на основе кремнистых опал-кристаллитовых пород – опок и флотационных отходов углеобогащения (угольных шламов).

Опоки это лёгкие микропористые породы, сложенные в основном мельчайшими частицами опалового кремнезёма. В различном количестве в опоках присутствуют глинистый материал, в виде гидрослюд и монтмориллонита, тонкодисперсный кальцит, цеолиты, терригенные примеси. Цвет от жёлтого до темно-серого. Средняя плотность 1100–1600 кг/м<sup>3</sup>, пористость достигает 50 %. Химический и минералогический состав опок весьма разнообразен. По химическому составу они близки к суглинкам, лёссам, по минералогическому составу имеются принципиальные отличия. В суглинках основная часть кремнезёма представлена кварцем, а в опоках – гораздо более реакционноспособным опалом. Залегают они на поверхности, на возвышенных участках являясь рельефообразующими отложениями. Месторождения отличаются большой мощностью продуктивных толщ и выдержанностью состава. Возможность производства изделий стеновой керамики по пластическому способу формования на основе глинистых и среднеглинистых опок обоснована нами в предыдущих работах [1-3].

Флотационные отходы углеобогащения представляют собой тёмно-серый порошок или во влажном состоянии пластичную массу фракционного состава 0-1 мм при содержании мелких фракций (< 0,315 мм) более 50 %. В Ростовской области работают 15 углеобогащительных фабрик, скопилось и продолжает увеличиваться большое количество угольных шламов. В настоящее время подготовлено к реализации около 5 млн. тонн. Состав и характеристики шламов достаточно разнообразны: зольность колеблется от 40 до 70 %,

теплотворная способность от 1200 до 4200 ккал/кг. Основными компонентами угольных шламов Ростовской области являются измельчённые аргиллиты, с преобладанием гидрослюд, и органическая часть, представленная антрацитом, за счёт чего в них мало летучих, они трудно воспламеняются и горят коротким пламенем.

Наши исследования основывались на следующих предпосылках.

1. Запасы глинистых опок и угольных шламов огромны, а производство крупноразмерных стеновых изделий (керамические камни) для юга России является весьма актуальным. В настоящее время данные изделия выпускает лишь один Славянский кирпичный завод.

2. Проблемой ввода угольных шламов в глинистые массы, за счёт их малой газопроницаемости, является неполное выгорание угольной составляющей [4,5]. Это влечёт за собой снижение физико-технических характеристик изделий, увеличение продолжительности обжига и не возможность в полной мере использовать угольные шламы для экономии газа. Микропористая структура опок, обладая высокой газопроницаемостью способствует полному выгоранию угольной составляющей, которая состоит преимущественно из антрацита. Область оптимальных температур его выгорания находится в пределах 900-1050 °С, т.е. в области максимальной температуры обжига изделий, это способствует существенной экономии газа.

3. Исходя из экономической целесообразности, для экономии газа транспортировка угольных шламов может достигать 1000 км. Многие заводы Ставропольского и Краснодарского краёв используют угольные шламы Ростовской области даже при выпуске рядового кирпича.

4. Количество топлива, содержащегося в сырьевой смеси не должно превышать 80 %, от количества топлива необходимого для обжига изделий.

5. В течение всего цикла обжига в рабочем пространстве печи должна поддерживаться окислительная атмосфера, что обеспечивает полное выгорание углерода и хороший внешний вид изделий.

Нами проводились эксперименты с различными месторождениями глинистых опок и угольными шламами различных обогатительных фабрик. В данной статье приводятся результаты экспериментов для опок Журавского и Шевченковского месторождений и отходов углеобогащения обогатительной фабрики «Обуховская».

Опока Шевченковского месторождения по литолого-технологическому виду является глинистой опокой, а Журавского карбонатно-среднеглинистой [1]. Минералогический состав представлен опалом (50-60 %), глинистыми минералами (25-35), терригенными примесями, тонкодисперсным кальцитом (около 15 %, для Журавской опоки). По огнеупорности данное сырьё классифицируется как легкоплавкое (1240-1270 °С). Пластичность измельчённых опок данных месторождений составляет 10-12 единиц. Угольные шламы ЦОФ «Обуховская» являются малосернистыми в сравнении с другими аналогичными отходами. Содержание угольной составляющей достигает 40 %. Минеральная часть представлена гидрослюдами с небольшой примесью кварца, полевых шпатов, слюды. Теплотворная способность составляет 3700-4000 ккал/кг. Химический состав используемых материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав используемых материалов, % по массе

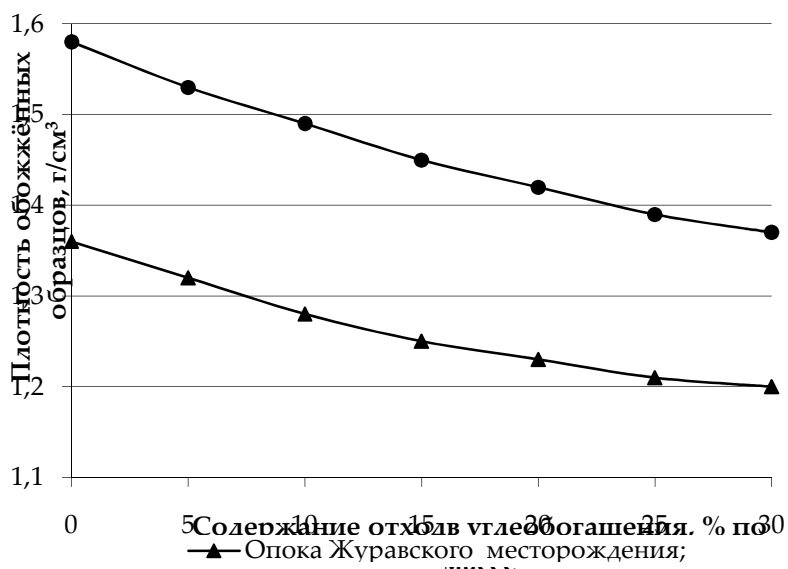
Месторождения опок и угольные шламы	п.п.п.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Шевченковское	5,25	71,53	12,49	4,27	1,95	1,09	0,85	1,83	0,69
Журавское	8,28	66,18	10,54	2,97	8,55	0,95	0,30	1,42	0,62
Угольные шламы ЦОФ «Обуховская»	49,48	29,67	12,35	4,07	1,03	1,07	0,72	0,91	0,24

При проведении лабораторно-технологических исследований опоки предварительно измельчались в сухом виде до прохождений через сито 0,63 мм. Затем в заданном соотношении составлялись сырьевые смеси, которые тщательно усреднялись в сухом виде. Затем исходная масса увлажнялась до необходимой формовочной влажности и тщательно перерабатывалась. Формовочная масса вылеживалась в условиях, исключающих подсушку, в течение 24 часов. Далее производилось формование образцов-кубиков 50x50x50 мм с диаметром вертикальной цилиндрической пустоты 10 мм для лучшего выгорания органической составляющей и с учётом того, что стандартные изделия будут пустотелыми, образцов-кирпичиков 67x30x15 мм и образцов-балочек 135x30x15 мм. Для контрольных испытаний изготавливались образцы-кирпичи стандартных размеров с пустотностью до 50 %. Отформованные образцы выдерживали в естественных условиях в течение суток, а затем подсушивались в сушильном шкафу в течение 24 часов при температуре до 105 °С. По истечении времени сушки образцы осматривались, фиксировались все изменения внешнего вида, определялись величины воздушной линейной и объёмной усадок образцов. Обжиг производился в лабораторных электрических печах с автоматической терморегулировкой в окислительной атмосфере по заранее установленному режиму в течение 36 часов при температурах 900-1100 °С. При охлаждении образцов и достижении температуры 40-80 °С образцы извлекались из печи.

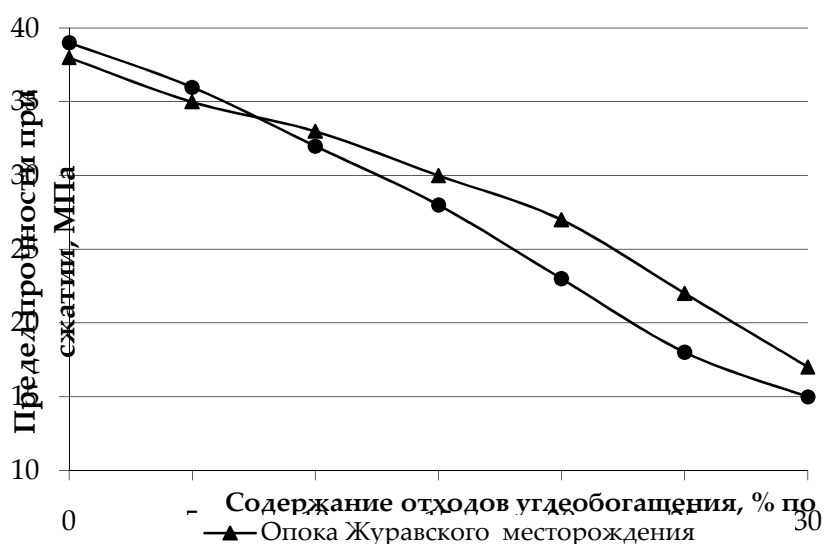
Теоретические расчёты показали, что максимальное содержание угольных шламов обогатительной фабрики «Обуховская» в сырьевых смесях не должно превышать 25-30 %. Формовочные массы на основе опок и угольных шламов являлись среднечувствительными к сушке, отличались небольшой воздушной усадкой – до 5,5 %, по числу пластичности относились к группе умереннопластичного сырья (число пластичности 8-10) с умеренной механической прочностью на изгиб в сухом состоянии (2,2-2,8 МПа), в силу микропористости опок отличались повышенной формовочной влажностью.

На рисунках 1 и 2 приведены результаты влияния содержания угольных шламов в формовочных массах на плотность и прочность образцов, т.к. эти показатели в большей мере определяют характеристики изделий. Средняя плотность образцов для лучшего понимания динамики процесса дана без учёта пустот. Предварительные эксперименты показали, что близкой к оптимальной для данного сырья с учётом выгорания органической составляющей и свойств изделий является температура обжига около 1000 °С. Как видно из результатов экспериментов, с увеличением содержания угольных шламов в шихте средняя плотность образцов закономерно снижается. Более интенсивно снижение плотности, в процентном выражении, происходит при небольшом содержании шлама, а с увеличением его количества процесс замедляется. Связано это с интенсификацией спекания обусловленным более активным взаимодействием составляющих угольных шламов, при их повышенном содержании, и составляющих опок. На графиках это видно по постепенному выравниванию кривых плотности с увеличением содержания шламов, а также по увеличению значений огневой усадки. Зависимость изменения средней плотности от содержания шламов может

быть выражена через квадратичную функцию. Как видно, необходимая плотность изделий менее  $800 \text{ кг/м}^3$  для опок Журавского месторождения достигается при содержании шламов 15-25 % и пустотности изделий 36-40 %, а для опок Шевченковского месторождения при пустотности 43-48 %. С увеличением содержания шламов снижается и прочность образцов. При этом наблюдаются следующие соотношения: если с увеличением содержания шламов до 25 % плотность уменьшается на 11-12 %, то предел прочности при сжатии уменьшается 42-54 %. Тем не менее, образцы обладают вполне необходимой прочностью и даже с учётом пустотности вполне возможно получать изделия с марками по прочности М75-125, что вполне достаточно для несущих и ограждающих конструкций. Микропористость опок и принятый режим обжига обеспечивают полное выгорание углерода и хороший внешний вид изделий.



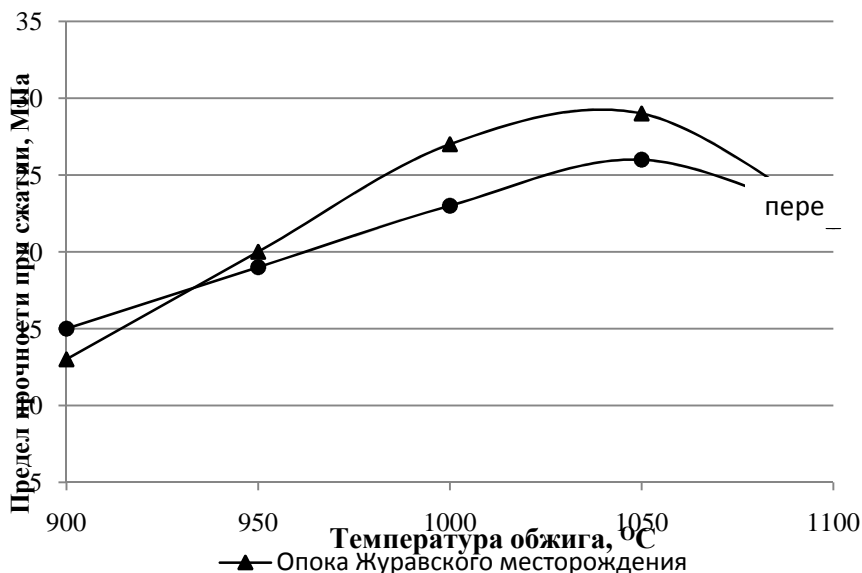
**Рис. 1.** Влияние содержания отходов углеобогащения на среднюю плотность образцов обожжённых при температуре  $1000^\circ\text{C}$



**Рис. 2.** Влияние содержания отходов углеобогащения на предел прочности при сжатии образцов обожжённых при температуре  $1000^\circ\text{C}$

Существенное влияние на прочностные свойства оказывает температура обжига. На рисунке 3 показано влияние температуры обжига на предел прочности при сжатии при содержании угольных шламов в шихте 20 %. Такие же закономерности наблюдаются и при

других количествах содержания угольных шламов. Как видно, температуры обжига 900-950 °С недостаточны для получения необходимой прочности с учётом производства пустотелых изделий. Для данных сырьевых материалов оптимальным интервалом обжига можно считать температурный интервал 1000-1050 °С. При температурах обжига выше 1070-1080 °С наблюдаются признаки пережога и прочность изделий уменьшается. Предел прочности при изгибе образцов превышает необходимые требования по соответствию пределу прочности при сжатии.



**Рис. 3.** Влияние температуры обжига на предел прочности при сжатии образцов при содержании отходов углеобогащения 20 %

Пористую структуру черепка на основе опок и угольных шламов условно можно классифицировать на поры различных уровней: микропоры размером менее 0,01-0,1 мкм это оставшиеся «первичные» поры опок в которых вода замерзает при температурах значительно ниже 0 °С; поры размером от 0,1 до 100 мкм это в основном капиллярные поры, оставшиеся после удаления влаги; макропоры размером более 100 мкм это в основном поры, оставшиеся после выгорания угольной составляющей шихты. В общем объёме структуры микро и макропоры занимают значительный объём. Морозостойкость изделий в большей степени определяется количеством пор среднего размера и задачей технолога является формирование структуры с минимальным количеством таких пор.

Предлагаемая технологическая схема производства пористо-пустотелых изделий керамических изделий, представленная без вспомогательного оборудования, показана на рисунке 4. Для улучшения формовочных свойств шихты возможен ввод среднепластичных глин в количестве до 15 %.



**Рис. 4.** Технологическая схема производства пористо-пустотелых изделий керамических изделий на основе опок и отходов углеобогащения

Реализация мероприятий по производству стеновой керамики на основе опок и флотационных отходов углеобогащения позволит получать изделия высокой эффективности с минимальными затратами. В настоящее время в Ростовской области проводится предпроектная подготовка строительства завода по производству крупноразмерных пористо-пустотелых керамических камней на основе указанных сырьевых материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Котляр В.Д. Классификация кремнистых опоковидных пород как сырья для производства стеновой керамики / В.Д. Котляр // Строительные материалы. – 2009. – № 3. – С. 36–39.
2. Котляр В.Д. Особенности глинистых опок как сырья для стеновой керамики / В.Д. Котляр, Д.И. Братский // Вестник МГСУ. – 2009. – № 4. – С. 142–147.
3. Котляр В.Д. Технологические особенности опок как сырья для стеновой керамики / В.Д. Котляр, К.А. Лапунова // Известия вузов. Строительство. – «НГАСУ». – 2009. – № 11–12. – С. 25–31
4. Лундина М.Г. Использование отходов угольной промышленности в качестве сырья для производства керамических стеновых изделий // Обзор инф., ВНИИНТИ и ЭПСМ, М.: 1976. – 43 с.
5. Лундина М.Г. Добавки в шихту при производстве керамических стеновых материалов // Обзор инф., ВНИИНТИ и ЭПСМ, М.: 1974. – 96 с.

**Рецензент:** Зубехин Алексей Павлович, профессор кафедры технологии керамики, стекла и вяжущих веществ, доктор технических наук, Южно-Российский государственный технический университет.