

ОБЗОРЫ

УДК 691.42:691.43

**ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Шишакина О.А., Паламарчук А.А.**

*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Владимир, e-mail: olya.shishakina@mail.ru*

Керамические материалы находят широкое применение в различных областях: машиностроении, приборостроении, авиакосмической отрасли. Но наиболее широкое применение керамика нашла в строительстве. Использование керамических материалов в современном строительстве является актуальным вследствие их экологичности, долговечности и большого положительного опыта их применения. Целью данной работы является анализ основных разновидностей керамических строительных материалов и специфики их применения. Наиболее распространенным керамическим материалом является полнотелый рядовой кирпич, который используется для возведения различных зданий и сооружений по всему миру. Помимо традиционного полнотелого кирпича быстро развивается производство новых эффективных стеновых материалов, отличающихся малым весом, высокими теплоизоляционными свойствами и значительными размерами, упрощающими перевозку и строительство. Керамическая плитка активно применяется для отделки ванн, кухонь, бассейнов, помещений общепита, а также наружной облицовки стен для защиты от воды и механических повреждений. Керамическая черепица, использование которой в последнее время снижается из-за большого веса и дороговизны, обладает очень высокой прочностью, огнестойкостью и длительным сроком службы. Большой популярностью пользуются изделия санитарно-технической керамики – умывальники, унитазы, ванны и т.п. Керамические теплоизоляционные материалы, применяемые для утепления стен и теплоизоляции различного оборудования, обладают не только низкой теплопроводностью, но и высокой теплостойкостью, а также биологической и химической инертностью. Для помещений с особыми требованиями применяются специальные керамические материалы: кислотоупорные, термостойкие и огнеупорные. В результате данной работы была собрана и проанализирована информация, подтверждающая, что строительная керамика является перспективным материалом с широчайшей сферой применения.

**Ключевые слова:** строительная керамика, стеновые изделия, облицовочные изделия, черепица, кислотоупорная керамика, термостойкая керамика, теплоизоляционная керамика

**CHARACTERISTICS OF SPECIAL CONSTRUCTION CERAMIC PRODUCTS**

**Shishakina O.A., Palamarchuk A.A.**

*Vladimir State University named A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: olya.shishakina@mail.ru*

Ceramic materials are widely used in various fields: engineering, instrumentation, and aerospace. But the most widely used ceramics found in construction. The use of ceramic materials in modern construction is relevant due to their environmental friendliness, durability and a large positive experience of their use. The purpose of this work is to analyze the main types of ceramic building materials and the specifics of their use. The most common ceramic material is full-bodied ordinary brick, which is used for the construction of various buildings and structures around the world. In addition to the traditional full-bodied brick, the production of new efficient wall materials with low weight, high thermal insulation properties and significant dimensions that simplify transportation and construction is rapidly developing. Ceramic tiles are actively used for finishing baths, kitchens, swimming pools, catering facilities, as well as external wall cladding to protect against water and mechanical damage. Ceramic tiles, the use of which has recently been reduced due to the high weight and high cost, have a very high strength, fire resistance and long service life. Sanitary ceramics products are very popular – washbasins, toilets, bathtubs, etc. Ceramic heat-insulating materials used for wall insulation and thermal insulation of various equipment have not only low thermal conductivity, but also high heat resistance, as well as biological and chemical inertness. For rooms with special requirements, special ceramic materials are used: acid-resistant, heat-resistant and fire-resistant. As a result of this work, information was collected and analyzed, confirming that construction ceramics is a promising material with a wide range of applications.

**Keywords:** building ceramics, wall products, cladding products, roof tiles, acid-resistant ceramics, heat-resistant ceramics, heat-insulating ceramics

Производство строительных материалов с каждым годом растёт. Увеличение темпов строительства и новые, всё возрастающие требования к строительным материалам и изделиям являются основной движущей силой модернизации промышленности строительных материалов. В число главных задач модернизации производств входит: получение высококачественной продукции при минимальных затратах; разработка новых строительных материалов

с заранее прогнозируемыми свойствами, отвечающих требованиям, предъявляемым к современным строительным изделиям; активное использование экологически чистых материалов и технологий производства [1].

Керамические материалы и изделия приобрели большую популярность в современном строительстве. Долговечность, экологичность, огнестойкость, разнообразие свойств и типов изделий позволяет использовать керамические материалы

в различных областях строительства: для возведения стен, облицовки наружных и внутренних помещений, теплоизоляции тепловых агрегатов, прокладки канализации керамическими трубами, заполнения полостей и создания лёгких бетонов на основе лёгких пористых заполнителей, а также для облицовки аппаратов химической промышленности и декоративно-художественной отделки. Помимо значительных преимуществ, применяемые в строительстве керамические материалы имеют и недостатки, такие как сравнительно высокая стоимость и сложность укладки.

Целью данной работы является анализ основных разновидностей керамических строительных материалов и специфики их применения.

#### *Классификация керамических строительных материалов и изделий*

Свойства готовых керамических изделий определяются многими факторами, среди которых состав шихты, метод переработки, и в особенности условия обжига – температура, время обжига, тип газовой среды. Сам материал (тело), из которого и состоят готовые керамические изделия, в технологии керамики называют керамическим черепком или просто черепком. Классификация строительных керамических материалов и изделий может осуществляться по структуре черепка или по их конструктивному назначению [2].

По структуре черепка различают изделия с пористым и со спекшимся черепком, а также изделия грубой и тонкой керамики. Пористыми в технологии керамики условно считают изделия, у которых водопоглощение черепка превышает 5%, обычно такой черепок пропускает воду. Спекшимся считают черепок с водопоглощением ниже 5%, как правило, он водонепроницаем.

Изделия из грубой керамики имеют макронеоднородный черепок, у которого на изломе хорошо видно зернистое строение. Кирпичи, черепица, канализационные трубы и большинство других строительных изделий из керамики относятся именно к грубой керамике.

У изделий тонкой керамики излом черепка имеет макрооднородное строение. Он может быть пористым, как, например, у фаянсовых облицовочных глазурованных плиток, и спекшимся (плитки для полов, кислотостойкий кирпич, фарфоровые изделия). Изделия со спекшимся черепком с водопоглощением ниже 1% называют каменными керамическими. Если при этом черепок обладает еще и просвечиваемостью, то его называют фарфором [3].

По конструктивному назначению различают следующие группы строительной керамики: стеновые изделия; фасадные изделия; изделия для внутренней облицовки стен; плитки для облицовки пола; изделия для кровли и перекрытий; изделия для подземных коммуникаций; теплоизоляционные изделия; кислотоупорные и термостойкие изделия; огнеупоры.

#### *Стеновые керамические материалы и изделия*

Стеновые керамические материалы весьма разнообразны – помимо традиционных керамических кирпичей (называемых также обыкновенными), существуют и эффективные керамические материалы – лёгкие, пористые и пустотелые кирпичи, плиты и блоки, а также готовые панели из кирпича и крупногабаритные блоки.

Керамические кирпичи и камни изготавливают из легкоплавких глин с добавками или без них и применяются для кладки наружных и внутренних стен и других элементов зданий и сооружений, а также для изготовления стеновых панелей и блоков, которые применяют для повышения индустриальности строительства [4, 5].

Керамические кирпичи используются для строительства домов и коммерческих зданий, а также для кладки из-за их прочности и визуальной привлекательности. Кирпичи могут быть изготовлены по экологически чистым технологиям, на их основе могут быть легко собраны конструкции различных форм и размеров, они не будут гореть, плавиться, деформироваться, гнить, ржаветь или повреждаться насекомыми. Кирпичные дома лучше защищены от погодных явлений, таких как грозы, ураганы и высокая влажность, чем дома, построенные из дерева и винила или фиброцементного сайдинга.

Панели и блоки из кирпича производят в горизонтальном положении с применением специальной металлической формы, обеспечивающей хорошую прочность готовой конструкции и приятный внешний вид. Применение эффективных стеновых керамических изделий позволяет обеспечить высокий уровень тепло- и звукоизоляции при снижении толщины стен, значительно сократить транспортные расходы за счёт низкого кажущегося веса готовых изделий и существенно уменьшить нагрузки на фундамент здания [5].

#### *Облицовочные керамические изделия*

Активное применение облицовочных изделий из керамики для отделки зданий обеспечивает не только привлекательный

внешний вид, но и эффективную защиту от загрязнений, различных агрессивных веществ и негативных факторов окружающей среды (снега, дождя, ультрафиолетового излучения и т.п.) [6].

В помещении керамическая плитка используется для покрытия полов, стен, кухонных столешниц и стен (например, в тоscanском стиле) и каминов. Плитка – это очень прочный и гигиеничный строительный материал, который придает эстетический внешний вид любой поверхности. В дизайне интерьера плитки также применяют, чтобы сформировать мозаику и настенные росписи как форму искусства и художественного оформления. На открытом воздухе керамическая плитка в основном используется для мощения террас, патио, лестниц, подъездов, проезжей части и у бассейна.

Облицовка стен производится двумя основными типами плиток – майоликовыми и фаянсовыми. Для производства майоликовой плитки используются красножгущие глины, а готовые плитки покрывают глазурью. При изготовлении фаянсовых плиток применяют смесь из полевого шпата, каолина и кварцевого песка. Пористый черепок обеспечивает хорошее сцепление готового изделия с клеящим составом, а также уменьшает вес плитки, глазурь способствует созданию эстетичного внешнего вида и гигиеничности [7].

Плитки с пористым черепком нельзя применять в наших климатических условиях для наружной отделки из-за низкой морозостойкости. Для настилки полов они также абсолютно непригодны, так как пористый черепок впитывает жидкости, что служит источником биокоррозии. Кроме того, пористый черепок имеет пониженную прочность и износостойкость.

Однако за счет введения добавок, позволяющих формировать мелкопористую структуру и получать самоглазурование поверхности возможно наружное применение плиток с пористым черепком и использование для их производства низкокачественных глин [8–10].

#### *Керамические изделия для кровли и перекрытий*

Керамическая черепица в качестве основного материала для кровли широко распространена в теплых регионах, особенно в европейских странах, как экономичный, долговечный кровельный материал для архитектурной элегантности и для обеспечения надлежащего водного барьера от сильных осадков и хорошей изоляции от солнца. Это объясняется хорошей устойчивостью

черепицы к атмосферным воздействиям, доступностью сырья и относительно простой технологией производства. Высокая долговечность, которая может достигать 300 лет, огнестойкость, и привлекательный внешний вид сделали керамическую черепицу одним из наиболее эффективных строительных материалов [11].

Наиболее существенным недостатком, сдерживающим применение черепицы из керамики, является большой вес готовой кровли, что приводит к необходимости увеличения прочности перекрытия крыши. Также большой вес черепицы усложняет кровельные работы, а конструкция изделия требует значительного (больше 30°) уклона крыши, что ограничивает возможные архитектурные решения [12].

Применение пустотелых камней и плит для обустройства перекрытий имеет значительные преимущества. Керамические камни имеют высокую тепло- и огнестойкость, хорошую звукоизоляцию, био- и коррозионную стойкость. При обустройстве конструкций из керамических плит обеспечивается малый расход цемента и стали, а также не требуется дополнительная засыпка пустот. Благодаря высокой пустотности, колеблющейся в пределах от 50% до 80%, керамические камни и плиты имеют малую массу и дешёвы в производстве [13].

#### *Изделия для подземных коммуникаций*

Для прокладки подземных коммуникаций используются канализационные и дренажные трубы из керамики. Основной областью применения дренажных труб являются системы водоотведения для снижения уровня грунтовых вод, в сельском хозяйстве, при возведении различных сооружений и дорожных работах. Отличительной особенностью дренажных труб является пористый черепок с водопоглощением не более 18% [14].

Основным отличием керамических канализационных труб является плотный, водонепроницаемый черепок, обладающий высокой химической стойкостью (кислотостойкость >90%). Данные свойства обеспечиваются химически стойкой глазурью, которой покрываются как внутренняя, так и наружная поверхности трубы. Но при этом черепок труб отличается высокой хрупкостью. Основное сырьё для производства данных труб – тугоплавкие или огнеупорные глины, к которым в качестве отощителя добавляют шамот, полученный из тугоплавких глин. Главным предназначением керамических канализационных труб является отвод жидких отходов в сельском хозяйстве и промышленности [15].

*Теплоизоляционные изделия*

Активное применение изделий из теплоизоляционной керамики позволяет значительно снизить затраты топлива и электроэнергии на нагрев и поддержание температуры в жилых и производственных помещениях. Использование теплоизоляционной керамики для футеровки печей, трубопроводов и другого высокотемпературного оборудования способствует не только экономической эффективности производств, но и созданию комфортных условий труда [16].

Высокая эффективность керамических теплоизоляционных изделий обусловлена не только низкой теплопроводностью и негорючестью, но также малой плотностью, негигроскопичностью и коррозионной стойкостью.

Для строительной теплоизоляции наиболее широко используются пенидиатомитовые, диатомитовые и трепельные, перлитовые – и вермикулитокерамические изделия, аглопорит и керамзит. Применяются они в виде плит, блоков, кирпича, скорлуп и сегментов, а также в виде щебня и гравия. Так, пенидиатомитовые камни и блоки применяются в виде теплоизоляционных вкладышей при многоэтажном строительстве из кирпича с целью уменьшения толщины стен и обеспечения требуемых теплотехнических качеств. С применением трепела или выгорающих добавок могут быть получены энергоэффективные керамические материалы, которые за счет самоглазурования поверхности могут применяться в качестве лицевых изделий для наружной облицовки [17, 18]. Применение укрупненных камней, обеспечивает экономичность и высокую технологичность строительного процесса, позволяя в первую очередь сократить сроки строительства [19].

*Кислотоупорная керамика*

Кислотоупорные керамические изделия пользуются большой популярностью в современном строительстве. Кислотоупорная керамика устойчива не только к кислотам, но и к другим химическим реактивам, что способствует её активному применению не только в химической, но, и в пищевой, медицинской и металлургической отраслях промышленности. Плотная структура изделий обеспечивает не только кислотостойкость, но и газонепроницаемость, высокую плотность, диэлектрическую прочность, и низкий коэффициент температурного расширения [20]. Кислотоупорность, прочность и морозостойкость керамики могут быть повышены путем жидкофазного спекания с остекловыванием поверхности частиц при использовании плавней и химически стойких стеклообразующих добавок [21].

Одним из наиболее широко применяемых и востребованных в строительстве кислотоупорных материалов является клинкерная плитка, применяемая, преимущественно, для отделки фасадов разнообразных зданий. Среди основных достоинств данного материала можно отметить низкие показатели водопоглощения за счет мелкопористой структуры. Также важными достоинствами считаются долговечность, морозостойкость, высокая прочность, устойчивость к кислотным дождям и прочим негативным факторам [22]. При всех положительных свойствах керамики высокой кислотостойкости, у нее есть такой недостаток как высокая цена.

*Термостойкая и огнеупорная керамика*

Термостойкая керамика выделяется уникальным комплексом свойств, сочетая в себе высокую химическую стойкость, прочность и твердость. Но основным отличительным признаком термостойкой керамики является способность многократно выдерживать циклы нагрева и охлаждения. Другие типы керамических материалов быстро разрушаются при резком нагреве или охлаждении. Но термостойкая керамика, благодаря специально подобранному составу шихты и режиму термообработки, позволяет значительно снизить внутренние напряжения, возникающие в изделии во время резкого охлаждения/нагрева. Термостойкие керамические изделия наиболее широко применяются для ответственных деталей в авиакосмической, машиностроительной, автомобильной, радиоэлектронной и энергетической отраслях промышленности. Термостойкую плитку применяют для футеровки каминов, дымоходов, печей для кремации, облицовки кухонных фартуков и помещений металлургической промышленности. Помимо плитки из термостойкой керамики изготавливают фасонные изделия – уголки, трубы для дымоходов, а также сковороды, кофеварки и другую кухонную утварь. Термостойкую керамику получают в основном путем спекания оксидов, карбидов, нитридов и других бескислородных соединений алюминия, лития, циркония и др. металлов, но существуют составы шихты позволяющие повысить термостойкость керамики на основе глин низкой пластичности за счет введения флюсующе-упрочняющих добавок и оксида церия [23].

К огнеупорным относят материалы, способные в течение длительного времени выдерживать без разрушения и значительной потери механических свойств воздействие высоких (>1580 °C) температур, а также расплавов, раскалённых газов, шлаков и т.п.

Классификация огнеупорных материалов

Вид огнеупора	Состав	Свойства	Примечание
Полукислые	Кремнезем (70–80%); оксид алюминия (15–25%)	Удовлетворительная стойкость при воздействии силикатных расплавов и шлаков	Наименьшая стоимость, используется в неотвественных конструкциях вместо шамота
Динасовые	93–97% SiO <sub>2</sub> ; 2–5% CaO	Высокая огнеупорность (1730 °С), невысокая прочность (10..30 МПа), малая термостойкость	Используется для возведения и облицовки стен мартеновских печей, печей для выплавки стекла
Кварцевые	>98% SiO <sub>2</sub>	Высокая термостойкость благодаря малому коэффициенту термического расширения	Применяется для футеровки тепловых агрегатов со значительным тепловыделением, создания штампов для горячего прессования и других деталей, имеющих множество циклов нагрев-охлаждение
Шамотные	50–70% SiO <sub>2</sub> ; 28–46% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Высокая огнеупорность (1750 °С), термостойкость и шлакоустойчивость	Применяются для облицовки печей обжига, стен и пола доменных и стекловаренных печей, для кладки топок, дымоходов и т.д.
Доломитовые	25–35% MgO; 40–50% CaO; 10–20% SiO <sub>2</sub>	Хорошая химическая стойкость	Для футеровки печей
Карборундовые	60–90% SiC	Очень высокая твердость, высокая прочность, отличная термостойкость	Для футеровки электрических печей, изготовления литевых форм и оборудования по переработке цветных металлов
Магнезитовые	>90% MgO	Отличная химическая стойкость, высокая огнеупорность (до 2000 °С), низкая термостойкость	Футеровка печей; Защитное покрытие термопар
Циркониевые	ZrO; кремнезем	Высокая огнеупорность (2500 °С); шлакостойкость; низкая теплопроводность.	Используется для футеровки печей, соляных ванн, изготовления высокотемпературных тиглей и изоляторов, форм для отливки сталей и сплавов
Коксовые	30–92% углерода	Высокая огнеупорность (выше 2000 °С)	Кладка доменных печей

Изделия из огнеупорных материалов применяют при кладке промышленных печей, топок, дымоходов и других тепловых агрегатов, работающих при высоких температурах. Поэтому помимо высокой огнеупорности, механической прочности и термостойкости они должны обладать низким коэффициентом температурного расширения, устойчивостью к высокотемпературным расплавам и шлакам, газонепроницаемостью и стойкостью к истиранию [24]. Классификация огнеупорных материалов представлена в таблице [25].

**Заключение**

В последние десятилетия резко возрос интерес к строительным керамическим материалам. Номенклатура керамических изделий, используемых в строительстве, превышает 2000 различных видов. Такой ассортимент обеспечивает комплексное возведение зданий, благоустройство внутри

помещений и прилегающей к дому территории. Значительные перспективы использования керамики в строительстве обусловлены многообразием свойств, сильно зависящих от состава шихты и метода изготовления. Возможность регулировать свойства готовых изделий в широких пределах, экологичность, термо- и морозостойкость, низкая тепло и электропроводность – всё это преимущества керамических изделий. Недостатки керамики, к которым можно отнести хрупкость, а также дороговизну успешно решаются подбором состава шихты и разработкой новых композиционных материалов, сочетающих преимущества керамики и полимеров [26]. Перечисленные преимущества и недостатки надо учитывать при выборе области и условий эксплуатации, что позволит эффективно использовать керамические изделия для защиты поверхностей и сооружений от различного рода воздействий и придания им эстетического внешнего вида.

## Список литературы

1. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия: учебник для инженерно-экономических специальностей строительных вузов, 5-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1988. 527 с.
2. Захаров А.И. Основы технологии керамики: учебное пособие. РХТУ им. Д.И. Менделеева. М., 2005. С. 79.
3. Августиник А.И. Керамика. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Стройиздат (Ленингр. отд-ние), 1975. 592 с.
4. Сухарникова М.А., Пикалов Е.С. Исследование возможности производства керамического кирпича на основе малопластичной глины с добавлением гальванического шлама // Успехи современного естествознания. 2015. № 10. С. 44–47.
5. Керамические материалы в строительстве [Электронный ресурс]. URL: <http://perekos.net/sections/view/55> (дата обращения: 13.02.2020).
6. Величко Е.Г. Строеие и основные свойства строительных материалов: учебное пособие. М.: ЛКИ, 2014. 496 с.
7. Шишакина О.А., Паламарчук А.А., Кочуров Д.В., Аракелян А.Г. Характеристика материалов для внутренней и наружной облицовки зданий и сооружений // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19539> (дата обращения: 04.03.2020).
8. Шахова В.Н., Березовская А.В., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г., Сысоев Э.П. Разработка облицовочного керамического материала с эффектом самоглазурования на основе малопластичной глины // Стекло и керамика. 2019. № 1. С. 13–18.
9. Шахова В.Н., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Получение облицовочной керамики с использованием несортированного боя тарных стекол // Экология и промышленность России. 2019. № 2. С. 36–41.
10. Воробьева А.А., Шахова В.Н., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г., Сысоев Э.П., Чухланов В.Ю. Получение облицовочной керамики с эффектом остекловывания на основе малопластичной глины и техногенного отхода Владимирской области // Стекло и керамика. 2018. № 2. С. 13–17.
11. Киреева Ю.И. Строительные материалы: учебное пособие. Минск: Новое знание, 2005. 399 с.
12. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы: учебник для вузов. М.: Студент, 2012. 440 с.
13. Домокеев А.Г. Строительные материалы: учебник для строительных вузов, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1989. 495 с.
14. Рыбьев И.А. Материаловедение в строительстве. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 528 с.
15. Алимов Л.А., Воронин В.В. Строительные материалы: учебник для бакалавров. М.: Академия, 2012. 320 с.
16. Миккульский В.Г. Строительные материалы и изделия. М.: АСВ, 2009. 520 с.
17. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка энергоэффективной облицовочной керамики на основе местного сырья и стекольного боя // Экология промышленности России. 2019. № 3. С. 22–26.
18. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Применение полимерных и стекольных отходов для получения самоглазурующейся облицовочной керамики // Экология и промышленность России. 2019. № 11. С. 38–42.
19. Основин В.Н., Шуляков Л.В., Дубяго Д.С. Справочник по строительным материалам и изделиям. М.: Феникс, 2006. 448 с.
20. Шишакина О.А., Паламарчук А.А., Кочуров Д.В. Применение кислотоупорной керамики в современной промышленности // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19251> (дата обращения: 11.02.2020).
21. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Использование отходов, содержащих тяжелые металлы, для получения кислотоупорной керамики с эффектом самоглазурования // Экология промышленности России. 2018. № 2. С. 2–6.
22. Салахоф А.М. Современные керамические материалы; Министерство образования и науки РФ, Казанский федеральный университет. Казань: КФУ, 2016. 407 с.
23. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка состава шихты для получения термостойкой керамики // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 126–130.
24. Дятлова Е.М., Климош Ю.А. Химическая технология керамики и огнеупоров. В 2 ч. Ч. 1: тексты лекций для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 09 «Технология тонкой функциональной и строительной керамики». Минск: БГТУ, 2014. 224 с.
25. Сентюрин Е.Г., Мекалина И.В., Тригуб Т.С. Все материалы. Энциклопедический справочник. М.: Химия, 2012. 203 с.
26. Белов В.В., Петропавловская В.Б., Храмцов Н.В. Строительные материалы: учебник для бакалавров. М.: АСВ, 2014. 272 с.